

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra technické a informační výchovy

**Konstrukce a stavba 3D tiskárny a její využití při
výuce na základní a střední škole**

Diplomová práce

Olomouc 2015

Vedoucí práce:

Mgr. Martin Havelka, Ph.D.

Autor práce:

Bc. Tomáš Nevřela

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a s použitím pramenů uvedených v seznamu literatury.

V Olomouci dne 20. dubna 2015

.....

Tomáš Nevřela

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, panu Mgr. Martinovi Havelkovi, Ph.D, za odborné vedení, připomínky a rady, které mi poskytl při zpracování této práce.

Obsah

ÚVOD	6
Teoretická část.....	7
1 Definice 3D tisku.....	7
2 Technologie 3D tisku	8
2.1 SLS – Slective Laser Sintering.....	8
2.2 FDM – Fused Deposition Modeling.....	9
2.3 SLA – Stereolitografie.....	10
2.4 Z Corp.....	11
2.5 LOM - Laminated Object Manufacturing	11
2.6 Polyjet matrix	12
2.7 Multi jet modeling	13
2.8 Thermoplastic Inkjet with milling.....	13
2.9 Digital light projection	14
3 Historie 3D tisku	15
4 Trendy v 3D tisku.....	17
4.1 Takto lze tavit plast či kovový drát	17
4.2 Necháme vám vytisknout nové zuby.....	18
4.3 S přesností na miliardtiny metru	18
4.4 Největší 3D tiskárna svého druhu stojí na Moravě	19
4.5 Standardně se ale tiskne v řádu hodin	19
4.6 Ekonomické aspekty: zlevňuje se brutálně	20
4.7 Jak ale s dodržováním práv k intelektuálnímu vlastnictví	20
5 Platformy 3D tisku	21
5.2 Open source platforma RepRap	23
Praktická část.....	33
1 Stavba 3D tiskárny	33

1.1	Mechanická konstrukce tiskárny	34
1.2	Elektronika tiskárny.....	38
1.3	Software tiskárny.....	41
1.3	Kalibrace 3D tiskárny	43
2	Praktické využití 3D tiskárny při výuce	57
2.1	Využití 3D tiskárny při výuce na základní škole	57
2.1	Využití 3D tiskárny při výuce na střední škole	58
	ZÁVĚR.....	61
	Citace:.....	64

ÚVOD

Stojíme na prahu třetí průmyslové revoluce – alespoň podle novinářů britského týdeníku The Economist. Bušení, ohýbání, řezání, šroubování a lepení těch nejrůznějších materiálů v čínských továrnách již brzy nahradí 3D tisk. Nové produkty se jednoduše vytisknou na 3D tiskárně, která vytvoří pevný objekt postupným vršením jednotlivých vrstev materiálu. (1)

Například společnost 3D Systems reportérovi magazínu The Economist nedávno „vytiskla“ během několika desítek minut kladivo s elegantním topůrkem dřevěného vzhledu a kovovou hlavou. Schválně zkuste dnes zavolat nejstaršímu finskému výrobcí náradí Fiskars a navrhnout mu, aby vám vyrobil kladivo dle vašeho návrhu. Buď vám řeknou, že něco takového je nemožné, anebo za to zaplatíte pěkný balík. Ve Fiskarsu by museli nejprve vyrobit na základě vašich pokynů návrh a formu, následně odlít hlavu, strojově ji upravit, vysoustružit násadu a nechat to celé sestavit. (1)

Uvést takový proces do pohybu by dávalo smysl jen v případě, že byste svými kladivy chtěli vybavit například každého Pražana. Pokud byste žádali nástroj pouze pro sebe, manželku a syna, u Fiskarsu byste pravděpodobně neuspěli. V případě 3D tiskáren však pokles nákladů, k němuž dochází růstem objemu produkce, takovou roli nehraje. Není totiž nic snazšího, než naskenovat klasické kladivo, v počítači ho upravit podle vašich představ a zmáčknout tlačítko tisk.

3D tisk se stává stále populárnějším a začíná pronikat k běžným uživatelům. Ze zábavy pro podivíny a experimentátory se tak dost možná již brzy stane běžná věc. Nakonec tak třeba přímo z webového prohlížeče spustíme 3D tisk jedním kliknutím. (2)

3D tisk patří k několika oblastem IT světa, které v posledních pár letech zaznamenaly raketový vzestup. Používají se stále dokonalejší materiály, vyšší rozlišení a nyní i plné spektrum barev. (3)

Teoretická část

1 Definice 3D tisku

3D tisk je laické označení technologie tzv. aditivní výroby, při které vzniká výsledný předmět postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují např. tavením nebo lepením. Na rozdíl o tzv. konvenčních způsobů výroby, jako je třeba třískové obrábění, při nichž je materiál naopak odebírán, lze s pomocí 3D tisku vytvářet náročné tvary a konstrukce, jež by nebylo možné zhotovit žádným jiným způsobem. 3D tisk je pro rychlou přípravu vhodný zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Hojně je proto využíván pro výrobu prototypů. (4)

Josef Průša z josefprusa.cz definuje 3D tisk podobně: 3D tisk je proces, při kterém z digitální předlohy (3D model) vytváříme fyzický model. Je to aditivní proces, to znamená, že se materiál přidává. Na rozdíl od obráběcích strojů, kde se z celistvého bloku materiál odebírá, až zbyde jen požadovaný tvar. (5)

Server ARMÁDNÍ NOVINY CZ popisuje 3D tisk jako technologii, díky které můžeme vytvořit jakýkoliv pevný objekt pomocí počítačové předlohy. Základem je digitální model tisknutého objektu. Model můžeme v počítači nakreslit, nebo ho vytvořit (oskenovat) na základě reálného předmětu. Kýžený objekt vzniká tak, že 3D tiskárna pokládá jednu vrstvu materiálu na druhou. V současné době není problém vytvářet součástky z plastu, kovu, kompozitu, skla nebo dokonce z biologického materiálu. Jako zdroj materiálu 3D tiskárny využívají zvolenou látku v práškové formě. (6)

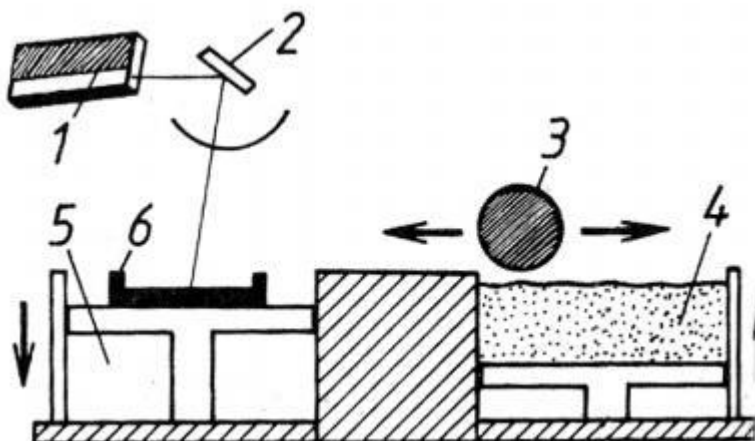
2 Technologie 3D tisku

Všechna zařízení na výrobu 3D modelů pracují na principu rozložení počítačového modelu do tenkých vrstev a jejich následném sestavení do reálného modelu v pracovním prostoru tiskárny. Na rozdíl od klasického obrábění se materiál neubírá, ale naopak je po vrstvách přidáván. Model je stavěn na základní desce, která po dokončení každé vrstvy poklesne dolů právě o tloušťku této vrstvy. Dále uvádíme stručný přehled technologií v oblasti 3D tisku, které se nejvíce používají:

- SLS - Selective Laser Sintering;
- FDM - Fused Deposition Modeling;
- SLA – Stereolitografie;
- Z CORP;
- LOM - Laminated Object Manufacturing;
- POLYJET MATRIX;
- MULTI JET MODELING;
- THERMOPLASTIC INKJET WITH MILLING;
- DIGITAL LIGHT PROJECTION. (7)

2.1 SLS – Slective Laser Sintering

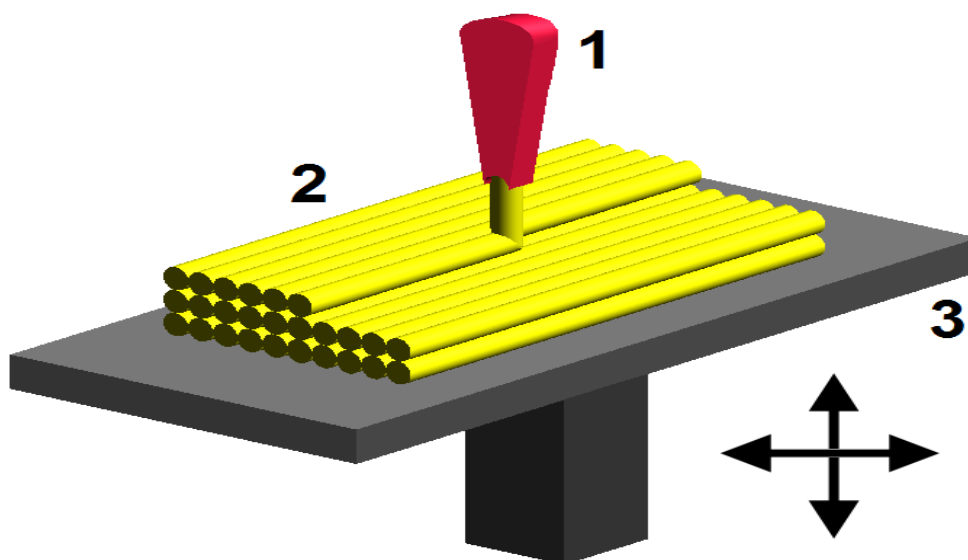
SLS je jednou z nejstarších, ale velmi efektivních metod výroby prototypů. Využívá vysoce výkonný laserový paprsek k tavení a spékání jemných zrněk tiskového materiálu do požadovaného tvaru. Tvorba objektů probíhá podobně jako u našich tiskáren po vrstvách, jak ukazuje obrázek č. 1. Tato technologie nabízí řadu výhod. Pro tisk lze použít široké spektrum komerčních materiálů, dodávaných v práškové formě - plasty, kov, či dokonce sklo. Vzhledem k tomu že tištěný objekt je v době tvorby trvale obklopen neroztaveným materiálem, není nutná tvorba přídavného supportu ani při tisku složitých objektů. Mezi nevýhody této technologie lze bezesporu zařadit vysokou energetickou náročnost, cenu zařízení, a dále pak nemožnost tisku uzavřených dutin, ve kterých samozřejmě materiál zůstane po tisku uzavřen. (8)



Obrázek č. 1: Schéma zařízení pro technologii SLS (1 - laser, 2 – zrcátko, 3 – válec pro dopravu prášku materiálu obrobku, 4 – zásobník prášku, 5 – pracovní komora, 6 – vyráběná součást) (9)

2.2 FDM – Fused Deposition Modeling

V současné době se jedná o jednu z nejpoužívanějších technologií pro 3D tisk, tvorbu prototypů a funkčních vzorků výrobků. Tato technologie je užívána i tiskárnami, dodávanými naší společností. Princip není podobně jako u SLS technologie složitý. Do tiskové hlavy je pod tlakem zaváděn tiskový materiál - termoplast. Tisková hlava materiál roztaví a vytlačuje jej ven tenkou tryskou. Celá soustava se pohybuje nad tiskovým stolem a z vytlačovaného materiálu opět po jednotlivých vrstvách tvoří výsledný objekt (viz. Obrázek č. 2).

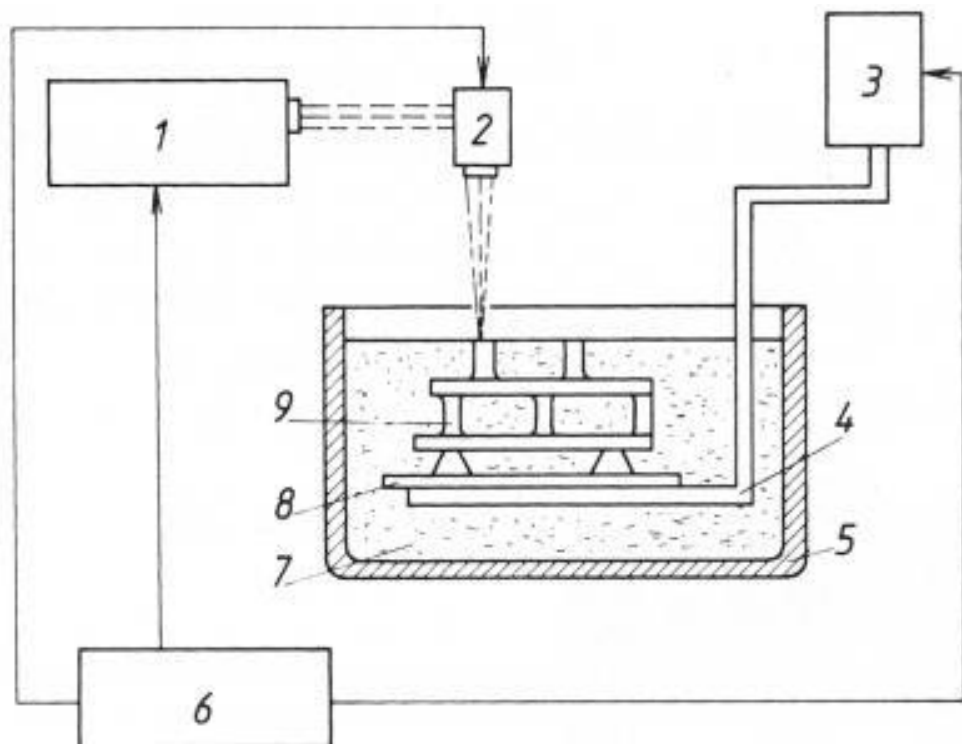


Obrázek č. 2: Fused Deposition Modeling (8)

2.3 SLA – Stereolitografie

Stereolitografie (zkratka SLA) je označení procesu aditivní výroby nebo 3D tisku. Model při tomto postupu vzniká působením ultrafialového laserového paprsku na tekutou fotopolymerickou pryskyřici, která je působením laseru ztvrdována ve vrstvách, jejichž tvar vždy odpovídá dané vrstvě řezu STL modelu. Po vytvrzení vrstvy se platforma posune ve vertikálním směru o tloušťku další vrstvy (mezi 0,05 až 0,15 mm), nanese se další vrstva pryskyřice a laser v ní opět vytvrdí vzor dle řezu STL modelu. Pro stavbu tvarově složitějších modelů je při stereolitografii nutno budovat dočasné podpory, které se po vyhotovení modelu manuálně odstraňují. Schéma této technologie je zobrazeno na obrázku č. 3. (10)

Výhodou stereolitografie je možnost vytvářet velké modely s dobrými fyzikálními vlastnostmi, pro které lze takové výrobky dále obrábět nebo využívat například jako formy pro vstřikování plastů. Zařízením pro stereolitografii je však vlastní vyšší cena, což se týká také používaných materiálů. (10)



Obrázek č. 3: Schéma zařízení pro technologii stereolitografie (1 – laser, 2 – pracovní hlava laseru, 3 – systém pro posuv nosné desky, 4 – nosná deska, 5 – pracovní vana, 6 – CNC řídicí systém, 7 – fotopolymer, 8 – podložka, 9 – vyráběná součást) (11)

2.4 Z Corp

Tiskové 3D systémy Z Corp vytvářejí rychlé a cenově výhodné plnobarevné prototypy s vysokou kvalitou. 3D tisk používá standardní inkoustové technologie tisku pro vytváření dílů, vrstva po vrstvě, nanášením tekutého pojiva na tenké vrstvy prášku. Místo posunování papíru pod tiskové hlavy, jako je tomu u 2D tiskárny, tiskový 3D systém posunuje tiskové hlavy přes vrstvu prášku, na kterou tiskne data příčného řezu. Prášek je distribuován přesně a rovnoměrně přes celou výrobní plošinu za pomoci podávacího pístu a plošiny, která se postupně zvedá s každou další vrstvou. Válečkový mechanismus pak rozprostírá prášek podávaný z podávacího pístu po povrchu výrobní plošiny. (12)

Po rozprostření vrstvy prášku pak inkoustové tiskové hlavy vytisknou plochu příčného řezu pro první nebo spodní vrstvu dílu na hladkou vrstvu prášku, čímž dojde ke spojení prášku. Píst potom sníží výrobní plošinu o 0,1 mm a na povrch je nanesena nová vrstva prášku. Tiskové hlavy aplikují data pro další příčný řez na novou vrstvu, která se spojí s vrstvou předchozí. Tento tiskový 3D proces se opakuje pro všechny vrstvy až do vytvoření fyzického modelu. (12)

2.5 LOM - Laminated Object Manufacturing

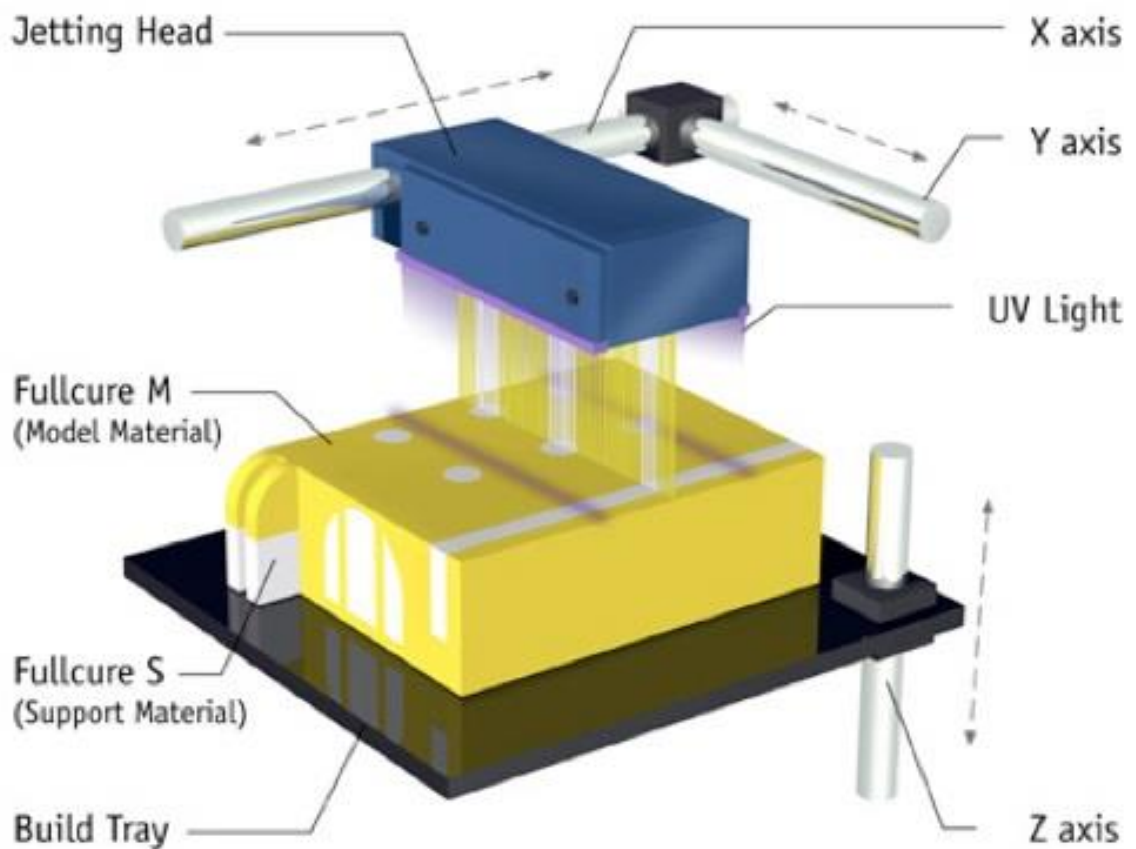
Tato technologie je založena vyříznutí každé vrstvy z plastu a jejím plošným přilepení k vrstvě předchozí. Tloušťka vrstvy je 0,165 mm. Stavební materiál patří mezi nejlevnější, model je po dokončení umístěn v kvádru materiálu o maximálních rozměrech 3D modelu (X x Y x Z). Velké množství stavebního materiálu je nevyužito (odpad), podpurný materiál se odstraňuje mechanicky. Technologie dosahuje nejkvalitnější povrch vodorovných ploch. Oblasti použití jsou: hmotové modely, nevhodné pro velmi subtilní konstrukce, velmi kvalitní povrch a přesnost. Na obrázku č. 4 je zobrazena tiskárna založená na technologii LOM. (7)



Obrázek č. 4: tiskárna Solido SD 300 Pro (13)

2.6 Polyjet matrix

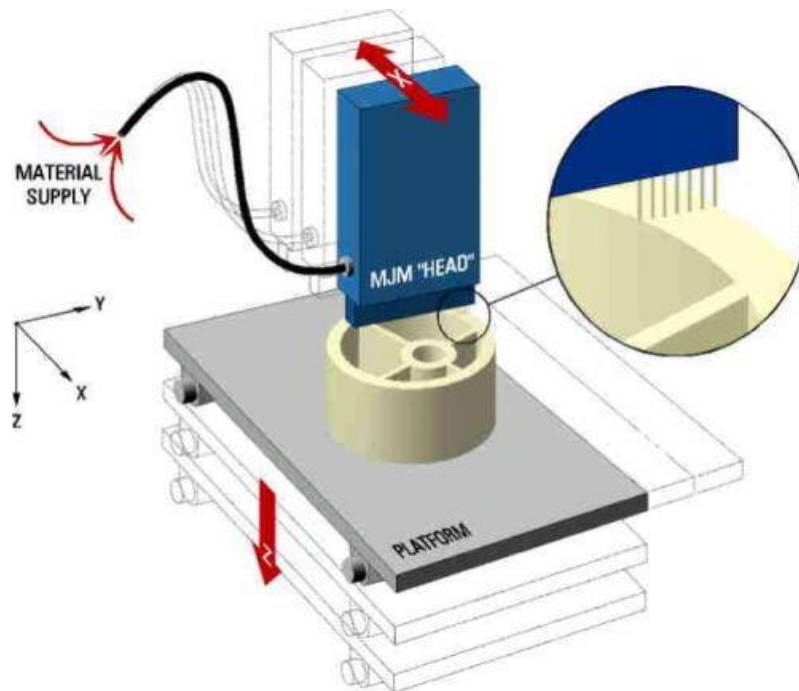
Při Polyjet matrix technologii je tiskovými hlavami vytlačován fotonpolymer, který je vytvrzován pomocí UV lampy viz. obrázek č. 5). Jsou používány dva druhy materiálu: modelovací a podpurný. Vzniká velice kvalitní povrch modelů díky tloušťce vrstvy 0,016mm. Podpurný materiál se odstraňuje tlakovou vodou. Nevýhodou je relativně krátká doba životnosti stavebního materiálu jeden rok. Technologie je vhodná na modely s vysokou mírou detailu. (7)



Obrázek č. 5: Schéma technologie Polyjet matrix (14)

2.7 Multi jet modeling

Princip metody spočívá v nanášení jednotlivých vrstev termopolymeru postupně na sebe pomocí speciální tiskové hlavy. Hlava má řadu trysek uspořádaných rovnoběžně vedle sebe. Průtok nanášeného materiálu je pro každou trysku řízen programem. Model se opět vytváří na zvláštní nosné desce podobné jako u Stereolitografie. Pracovní hlava se pohybuje nad nosnou deskou ve směru osy X, jelikož je součástka širší jak pracovní hlava, posouvá se ve směru osy Y tak, aby se vytvořila celá součástka. Velký počet trysek zaručuje rychlé a rovnoměrné nanášení materiálu. Nanášený termoplastický materiál ztuhne při styku s už naneseným materiálem téměř okamžitě. Schéma metody je na obrázku č. 6. (15)



Obrázek č. 6: Schéma Multi Jet Modeling (16)

2.8 Thermoplastic Inkjet with milling

Thermoplastic Inkjet with milling je technologie založená na kombinaci vytlačování termoplastického materiálu (např. vosku) s horizontálním frézováním. Tato metoda je velice přesná a je vhodná pro stavby modelů pro odlévání metodou ztraceného modelu. (7)

2.9 Digital light projection

Toto je nejmodernější technologie založená na nasvícení fotopolymeru UV projekcí modelového řezu. Je to bezodpadová technologie. Ve srovnání s FDM je velice přesná, ale pomalá. Fotopolymer má omezenou životnost, proto se používá jako model při vytváření forem. (7)

Tato technologie je velice lehce realizovatelná (ve srovnání s FDM) v amatérských podmínkách. Samotné zařízení se skládá z projektoru, nádoby s fotopolymerem a stolem, který je pohyblivý v ose Z. Posun je realizován buď ručně, což je nepřesné nebo pomocí krokového motoru, kdy se dosahuje vysoké přesnosti. Více informací je k dispozici ve vlákně na diskuzním fóru <http://www.c-n-c.cz/viewtopic.php?f=81&t=8114>.

V další kapitole se seznámíme s historií 3D tisku.

3 Historie 3D tisku

Historie 3D tisku se datuje od druhé poloviny 80.let dvacátého století. (17)

V roce 1984 Charles Hull zkoumá fotopolymery inkoustových tiskáren, objevuje jejich specifické fyzikální vlastnosti zajišťující tuhnutí materiálu při působení UV záření a vyvíjí technologii pro tisk fyzických 3D objektů z digitálních dat. (17)

V roce 1986 Charles Hull získává patent a pojmenovává svou technologii Stereolitografie. Zakládá společnost 3D Systems a vyvíjí první skutečnou 3D tiskárnu SLA 1 (Stereolithographic apparatus #1). (17)

V roce 1988 3D Systems přináší veřejnosti první verzi 3D tiskárny s názvem SLA 250. Současně jsou představeny další technologie podobné stereolitografii, Fused Deposition Modeling (FDM) od Scotta Crumpa, zakladatele společnosti Stratasys a Selective Laser Sintering (SLS) – spiekanie práškového materiálu pomocí laserového paprsku do přesného 3D objektu. (17)

V roce 1992 bylo poprvé použito 3D tisku při výrobě a testování prototypů součástek v automobilovém a leteckém průmyslu. (17)

V roce 1999 byly vytvořeny části orgánu potažené pacientovými vlastními buňkami, což způsobilo převrat v medicínském průmyslu a otevírá nové možnosti při transplantaci orgánů. (17)

V roce 2002 byla poprvé vytištěna první miniaturní funkční ledvina, která byla úspěšně použita při transplantaci pro nemocné zvíře. (17)

Rok 2005 znamená začátek revoluce 3D tisku, kdy Dr. Adrian Bowyer na Univerzitě v Bath zakládá RepRap, open – source iniciativu vyrobit 3D tiskárnu, která by dokázala replikovat většinu svých součástek, a tím by umožnila snížit náklady na výrobu a zvýšit dostupnost i pro domácí uživatele. (17)

V roce 2008 vychází první verze z projektu RepRap, samoreplikační tiskárna Darwin, schopná vytisknout většinu vlastních komponent. Lidé už vlastníci tento přístroj tak mohli vytisknout tiskárnu i pro své známé. V tomto roce se technologie 3D tisku dostala na úroveň, kdy nabízí dostatečnou kvalitu pro různé průmyslové oblasti. 3D tisk proniká do protetiky. „Vytištění“ komplexní protézy nohy skládající se z několika částí, která nepotřebuje následnou montáž. Objet geometrie Ltd. představuje svůj revoluční Connex500 TM rapid prototyping systém – první systém umožňující výrobu 3D dílů pomocí různých druhů materiálů současně. (17)

V roce 2009 se společnosti Organovo daří pomocí 3D biotiskárny vytisknout orgánové cévy použitelné při transplantaci pro lidského pacienta. MakerBot, OpenSource společnost, začíná vyrábět DIY balíky, ze kterých si domácí uživatelé mohou sami poskládat 3D tiskárnu za dostupnou cenu. (17)

V roce 2010 společnost Stratasys spouští novou službu RedEye on Demand sloužící na tisk nadrozměrných 3D objektů. Stratasys prezentuje první prototyp automobilu – Urbee v životní velikosti, jehož celá karoserie a všechny externí komponenty jsou vytištěny pomocí služby RedEye on Demand. (17)

V roce 2011 vědci na Cornell University oznamují začátek vývoje 3D tiskárny na výrobu jídla. Shapeways ve spolupráci s Continuum Fashion prezentují první vytištěné bikini. Univerzita Brunel ve spolupráci s Univerzitou Exeter vyrábějí první 3D tiskárnu na čokoládu. Inženýři z Univerzity v Southamptonu sestrojili pomocí 3D tisku první bezpilotní letadlo. Výroba trvá 7 dní a díky této technologii tisku je možné snížit běžné náklady na výrobu tohoto typu letadla. Společnost i.materialise nabízí jako první 3D tisk ze 14 karátového zlata a stříbra. Šperkařskému průmyslu tak otevírá bránu levnějšího a přesnějšího vývoje a výroby klenotů. Vídeňská Technická Univerzita prezentuje nejmenší 3D tiskárnu. Váží 1,5 kg a její cena se pohybuje kolem 1200 EUR. (17)

V roce 2012 si lékaři v Nizozemsku nechávají od společnosti LayerWise vytvořit novou spodní čelist pro 83 letou pacientku, kterou jí následně úspěšně implantují. (17)

Kam asi tato technologie bude směřovat v budoucnu? Objevují se informace, že armáda USA na své misi nevozí hromady náhradních dílů, ale pouze schémata a 3D tiskárny, pomocí nichž si je tiskne dle potřeby na místě. Tak snad bude tato technologie v blízké době přístupná i běžným uživatelům a budeme si schopni třeba vytisknout automobil dle svých představ a potřeb. V následující kapitole se podíváme na trendy v oblasti 3D tisku.

4 Trendy v 3D tisku

Do pěti let by 3D tiskárny mohly prorazit i v průmyslové výrobě a stát se konkurentem obráběcích strojů. Ve Strážnici spustila firma Aroja světově unikátní provoz na výrobky z termoplastu. (18)

Na 55. mezinárodním strojírenském veletrhu, který se ve dnech 7. až 11. října 2013 uskutečnil v Brně, byla v doprovodném programu velkým lákadlem prezentace 3D tisku, perspektivní technologie 21. století. S odbornými konferencemi o digitálním prototypování a 3D tisku se v poslední době doslova roztrhl pytel. A tak je zcela logické, že v průběhu této významné veletržní akce nemohla po úspěšné loňské premiéře chybět ani dvoudenní odborná konference 3D Print Days, konaná v kongresovém pavilonu E a doplněná malou výstavou v předsálí pavilonu P. Hovořilo se zde například o zařízeních a technologiích pro 3D tisk, o 3D tisku kovů, technologii 3D tisku při vývoji a výrobě letadel, aplikaci 3D tisku při vývoji a výrobě automobilových světlometů, efektivitě nasazení aditivních technologií při vývoji optoelektronických systémů, 3D optických skenerech a aplikacích, aditivních technologiích při návrhu a výrobě implantátů, 3D tisku funkčních prototypových modelů ve vývoji špičkové audiovizuální techniky, ale třeba i o 3D tiskárnách v procesu designových návrhů a prototypových modelů kuchyňského vybavení či o přínosu 3D tisku ve výtvarném umění. (18)

4.1 Takto lze tavit plast či kovový drát

3D tisk je metoda, jejímž prostřednictvím se na základě předlohy vytvořené ve zvláštním počítačovém programu vyrábějí bez obrábění, lití nebo tváření trojrozměrné produkty z nejrůznějších materiálů. V podstatě jde o zjednodušené označení pro takzvanou aditivní výrobu, kdy výsledný produkt vzniká ve speciálních zařízeních (3D tiskárnách) postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách vzájemně spojených zpravidla tavením či lepením. Takto lze tavit plast či kovový drát, ale je též možné laserem spékat práškový materiál, tento úkon provádět přesnou světelnou polymerizaci a podobně. Dnes už existuje řada různých způsobů trojrozměrného tisku a také škála používaných materiálů se neustále rozšiřuje. (18)

Stroj nejprve nanese několik vrstev podpurného materiálu proto, aby se dala hotová součást snadno a bez poškození oddělit od pracovní desky. Po vytvoření tohoto základu pak už pokračuje v její stavbě vrstvu po vrstvě. Po skončení stavby a vyjmutí součásti je třeba oddělit podpory a očistit ji od zbytků nespojeného polotovaru. Dokončovací úpravy zahrnují hlavně operace, které upravují konečnou podobu povrchu. (18)

4.2 Necháme vám vytisknout nové zuby

Původním motivem rozvoje 3D tisku byla rychlá výroba prototypů, takže zejména velké přístroje slouží ve strojírenství k tomuto účelu. Tato jeho významná role (jak mimo jiné názorně ukázal i letošní mezinárodní strojírenský veletrh v Brně) má sice stále zásadní postavení, ale v současnosti tvoří již jen přibližně třetinu využití 3D tisku. 3D tisk oceňují při práci mnozí architekti a sochaři. Módní průmysl tyto technologie využívá ve šperkařství, ale také třeba při vývoji obuvi. Osobní 3D tiskárny využívají samostatně pracující konstruktéři, designéři či zubní laboranti, smysl mají i ve školství. V medicíně lze takto zhotovit kostní náhrady. Lékaři experimentují s tiskem orgánů určených k transplantaci, vědci i s tiskem jednotlivých molekul a buněk, což by mohlo vést k převratné možnosti vytvářet živé tkáně a tak dále. (18)

Do budoucna se jako perspektivní jeví rovněž rozvoj takzvaného komunitního 3D tisku, prostorové obdoby současných copy center, kde si zákazník bude moci zadat kusovou výrobu například rozbité součástky nebo originálního dárku. Během několika minut lze podle vlastního návrhu vytisknout kladivo s elegantním topůrkem dřevěného vzhledu a kovovou hlavou. (Není totiž nic snazšího, než naskenovat klasické kladivo, v počítači ho upravit a zmáčknout tlačítko tisk). Dokonce už i z běžného kancelářského papíru je možno vytisknout prostorový model krajiny. (18)

4.3 S přesností na miliardy metru

Odborníci z Technické univerzity ve Vídni například představili postup, při němž technikou dvoufotonové litografie vytiskli ve velmi krátkém čase mikroobjekty o velikosti několika set nanometrů (miliardtin metru). Vídeňská tiskárna místo plastu používá pryskyřici, kterou vytvrzuje laserový paprsek. Když narazí na pryskyřici, vyvolá řetězovou reakci, která tekutou látku promění v tuhou jen v místě s nejvyšší intenzitou paprsku. Dosavadní obdobné tiskárny tiskly objekty nejen v hrubším rozlišení, ale také o dost pomaleji. V hamburském studiu Twinkind místo fotoalb tisknou na přání zákazníků metodou 3D tisku miniaturní fotofigurky s věrnou trojrozměrnou podobiznou konkrétních lidí a zvířat. A četné další nápady a inspirace i ze světa komerce, jak se zdá, zdaleka ještě nejsou vyčerpány. (18)

4.4 Největší 3D tiskárna svého druhu stojí na Moravě

Technologie trojrozměrného tisku se dynamicky vyvíjí a toto perspektivní odvětví nachází uplatnění ve stále více oborech včetně průmyslové výroby. Podle statistik jen v roce 2012 celosvětový trh s 3D tiskem meziročně vzrostl o 28,6 % na více než 2,2 miliardy dolarů. Není bez zajímavosti, že v tomto směru nejsou firmy v ČR někde na chvostu a že dokonce v řadě případů drží krok se světovým vývojem. Dnes již existují i tuzemské podniky, které prodávají stroje vlastní výroby. Dokonce největší 3D tiskárnu na světě modelující výrobky z termoplastu vytvořené roztavenou plastovou strunou představila právě na letošním mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně společnost 3D Factories patřící pod firmu Aroja z jihomoravské Strážnice na Hodonínsku. Její 3D tiskárna nese název Maxi a tento stroj dokáže vytisknout model až o rozměru jednoho kubického metru. Společnost patří v současnosti k neaktivnějším na poli technologie 3D tisku v České republice. (18)

4.5 Standardně se ale tiskne v řádu hodin

Společnou výhodou 3D tisku je možnost kusově vyrábět věci a tvary, které by konvenčními technologiemi, například obráběním, ani vyrobit nešlo – a to zpravidla při výrazně nižších nákladech. Samozřejmě, podle technologické a tím i finanční náročnosti se liší kvalita výsledných produktů, ale stále se pro ně nacházejí další a další možnosti uplatnění. Významným faktorem bývá rychlost. Společnost Laser Prototypes dokonce na počátku devadesátých let tyto technologie propagovala heslem overnight prototypes (prototypy přes noc). To je sice jen symbolické vyjádření, neboť realita bývá často jiná, ale i tak o něčem vypovídá. Doba tisku prototypu závisí na řadě okolností, třeba nastavení vrstvení materiálu. Standardně se ale tiskne v řádu hodin, což je stále o celé dny či dokonce týdny rychlejší než za použití klasických postupů výroby. Podstatné je, že nezdědka i malá inovace ve výrobní technologii může ve výsledku znamenat výhodu na trhu. A tímto výrobním postupem lze snadněji překlenout i tvarovou složitost navrhovaných výrobků. (Dnes není problém vytisknout během jedné operace celý mechanismus, který je kompletně pohyblivý). (18)

3D tisk dále napomáhá redukovat výdaje za zásoby, neboť není třeba skladovat různé polotovary. Umožňuje větší flexibilitu při inovování výrobku (změny lze zavést do výroby bez zbytečných průtahů) a podobně. (18)

Hlavním přínosem 3D tisku je tedy cena a rychlost vývoje prototypů. Ale není možné zapomínat ani na skutečnost, že lze takto tisknout výrobky, které jsou třeba obráběním nevyrobitelné. (18)

4.6 Ekonomické aspekty: zlevňuje se brutálně

Malou či menší tiskárnu využívající tuto technologii lze pořídit už zhruba od dvaceti tisíc a její obsluha je velmi jednoduchá. To je významný pokrok, neboť ceny osobních tiskáren za posledních deset let výrazně klesly. Ještě v roce 2003 stál nejlevnější model asi milion korun, pak se tato zařízení radikálně zlevnila. Ceny profesionálních 3D tiskáren se pohybují v rozptýlu od stovek tisíc až po miliony korun. (18)

K jejich cenové regresi nahrává pokles cen nákladových položek, jež jsou s nimi spojeny. Mohou tak nabízet své služby stále levněji a činit je dostupnými pro rostoucí okruh uživatelů, což je lákavé i pro investory, kteří se rádi nechají unášet na vlnách technologických trendů. Během posledních deseti let se 3D tiskárny nejen zlevňují, ale i zvětšují. Vznikly tak dvě hlavní kategorie: 3D hobby tiskárny a větší výrobní systémy. Jedná se o tiskárny, které se snaží dohonit obráběcí stroje a nahradit výrobu. (18)

4.7 Jak ale s dodržováním práv k intelektuálnímu vlastnictví

Podle nových údajů (2013), zveřejněných prestižní analytickou společností Gartner, se prodej 3D tiskáren s cenou nižší než 100 tisíc dolarů letos oproti předchozímu roku celosvětově zvýší o 49 procent. To je významný posun. (18)

Celkově se podle jejích odhadů prodá 56 507 jednotek. Tento vzestup zájmu firem i spotřebitelů Gartner přisuzuje zejména výraznému růstu kvality a výkonu tiskáren. Trhu se prý bude dařit i v dalších letech. V roce 2014 se podle odhadů prodá 98 065 jednotek a v roce 2015 se prodej opět téměř zdvojnásobí. S rostoucími prodeji a zvyšující se konkurencí bude podle Gartneru v následujících letech klesat průměrná cena 3D tiskáren. Analytici očekávají, že v roce 2015 bude 50 největších retailerů nabízet 3D tiskárny ve svých kamenných i on-line prodejnách. Na konci roku 2017 bude nejméně sedm z deseti nejvýznamnějších světových multikanálových resellerů požívat technologie 3D tisku pro uspokojení objednávek zákazníků. 3D tisk ovšem – což je odvrácená strana mince – v roce 2018 ponese i stomiliardové roční ztráty související s problémy s dodržováním práv k intelektuálnímu vlastnictví. (18)

3D tiskárny zařadil Gartner mezi TOP 10 technologických trendů pro příští rok. V souvislosti s 3D tiskem se někdy také mluví o další průmyslové revoluci. Do pěti let by mohl prorazit i v průmyslové výrobě a stát se konkurentem obráběcích strojů. Další léta ukáží, zda je tomu skutečně tak. (18)

V této kapitole jsme se zaměřili na směr vývoje 3D tisku. V následující kapitole si povíme o platformách 3D tisku.

5 Platformy 3D tisku

Mezi hlavní platformy vývoje 3D tisku můžeme dnes zařadit:

1. Komerční vývoj;
2. Open source platforma RepRap.

5.1 Komerční vývoj

Komerční vývoj 3D tiskáren je charakterizován vyšší kvalitou a je vývojově dále než tisk na domácích nekomerčních tiskárnách. Je limitován vývojovými týmy a finančními prostředky, které si mohou firmy dovolit vynaložit na vývoj. Mezi firmy, které vyvíjejí a vyrábějí 3D tiskárny můžeme zařadit tyto firmy:

- Stratasys;
- 3DFactories;
- 3D Systems;
- EOS GmgH.

5.1.1 Stratasys

Firma Stratasys nabízí 3D tiskárny spojující to nejlepší z technologií PolyJet a FDM. Široká materiálová škála zahrnuje materiály průhledné, materiály imitující gumu, biokompatibilní fotopolymery nebo vysoce-odolné termoplasty. Všechny tyto možnosti přispívají k maximalizaci výhod 3D tisku během vývoje nových produktů a součástí. (19)

Technologie FDM patentovaná firmou Stratasys je založena na nanášení produkčních termoplastů. Výsledné součásti z materiálů jako ABS, PC nebo ULTEM, jsou pevné, odolné a přesné i po opakovaném zatěžování. Ideální využití nacházejí při výrobě koncepčních modelů, prototypů, nástrojů ale i koncových součástí. (19)

Technologie PolyJet nabízí úžasnou úroveň detailů a realismu konečného výrobku, jenž předčí každou jinou tiskovou 3D technologii. Díky své schopnosti simulovat průhledné, pružné, pevné materiály, průmyslové plasty a dokonce i kombinovat více vlastností materiálů do jedné stavby, mohou být vaše prototypy od finálních součástí takřka k nerozeznání. (19)

5.1.2 3DFactories

Firma Aroja je česká společnost, která se mimo jiné zabývá vývojem 3D tiskáren pod značkou 3DFactories. Na MSV v Brně představila největší 3D tiskárnu na světě pod označením 3DFactories MAXI. Tato tiskárna využívá technologii FDM a umožňuje tisk 3D předmětů o rozměrech (1000 x 1000 x 1000) mm s volitelným rozšířením až na 6000 mm. Dále má přepracovanou tiskovou hlavu, robustní konstrukci, vysokou rychlost posuvu a využívá vytápěný tiskový prostor. (20)

5.1.3 3D Systems

Firma 3D Systems Corporation (3D Systems) je holdingová společnost, která působí prostřednictvím dceřiných společností ve Spojených státech amerických, Evropě a asijsko-pacifické oblasti. Patří mezi přední poskytovatele 3D řešení. Poskytuje 3D tiskárny, tiskový materiál pro tyto tiskárny, ale i softwarové a hardwarové nástroje pro 3D modelování, včetně skenování do CAD. Nabízejí tiskárny s technologií stereolitografie (SLA), tiskárny využívající selektivní laserové tavení (SLM), tiskárny vybavené vstřikováním plastu (PJP). V roce 2013 získala společnost Figulo Corporation, která vyrábí 3D tiskárny pro tisk keramiky. (21)

5.1.4 EOS GmgH

Tato firma poskytuje kompletní technologii 3D tisku. V oblasti výrobků z plastů a z kovů nabízí technologii laserového spékání (SLS), vysoce kvalitních prototypů, až po technologii pro konečnou výrobu předmětů z plastů a kovů. Nabízí široký sortiment materiálů vhodných pro 3D tisk, software usnadňující přípravu CAD dat pro laserové spékání a proces zajišťování potřebné kvality výrobků. Dále také nabízí technologii pro nákladově efektivní výrobu pískových jader a forem. (22)

V další kapitole se budeme věnovat nekomerčnímu vývoji 3D tisku.

5.2 Open source platforma RepRap

5.2.1 RepRap jako Open Source projekt

RepRap je první projekt Open Source 3D tiskárny. Vznikl jako iniciativa k vytvoření 3D tiskárny, která je schopná tisku plastických 3D objektů. A jelikož je RepRap složen z mnoha takových plastových součástek, může být pokládán za sebe-replikující stroj. RepRap je zkratka pro Replicating Rapid Prototyper. (23)

RepRap je open-source komunitní projekt, to znamená, že každý si může vlastní RepRap postavit, vylepšit ho a svá vylepšení vrátit zpět komunitě. Veškerá dokumentace potřebná pro sestavení hardwaru a vlastní provoz RepRap tiskárny, včetně firmwaru a řídicího softwaru, je uvolněna pod licencí GNU General Public License, pod kterou je vydávána také řada svobodného softwaru. Díky celkové otevřenosti a cenové dostupnosti se RepRap stal velmi oblíbeným projektem po celém světě. (23)

Historie RepRapu sahá do roku 2005.

5.2.2 Historie RepRapu

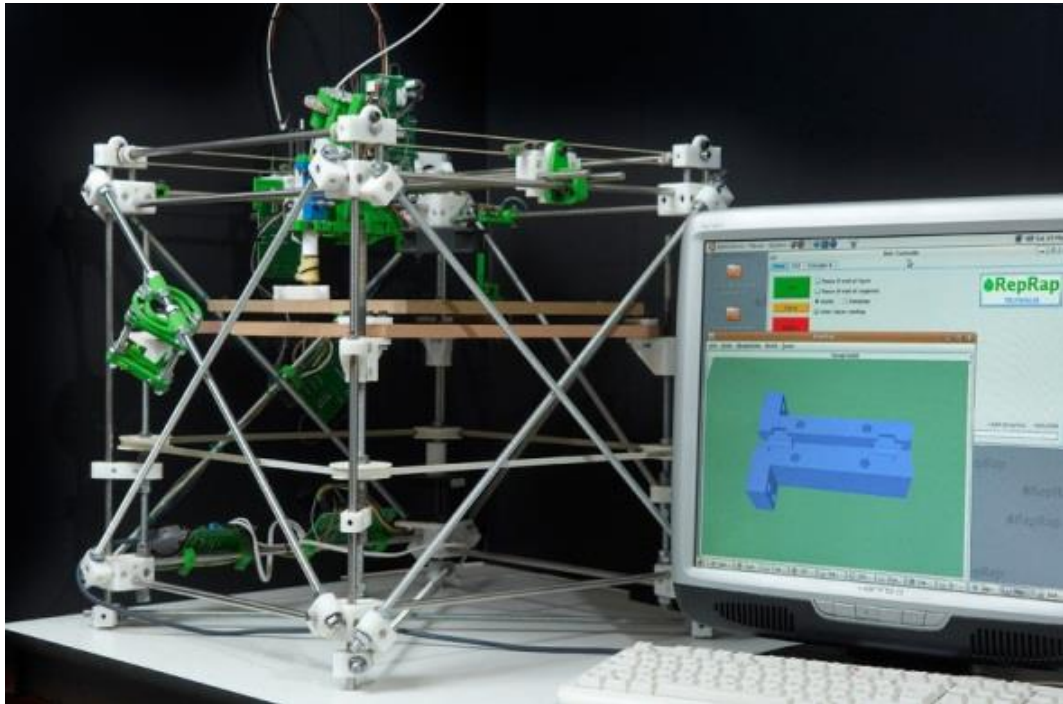
Tento projekt založil v roce 2005 Dr. Adrian Bowyer na University of Bath ve Velké Británii. Ze začátku byl finančně podporován organizací EPSRC (The Engineering and Physical Sciences Research Council). (23)

13. září 2006 prototyp RepRap 0,2 úspěšně tiskne plastové součástky sebe sama, jako náhradu za díly, které byly původně vytištěny na komerční 3D tiskárně. (23)

Na jaře 2007 byla dokončena první verze RepRapu pod názvem Darwin. První plastové díly byly vyrobeny v Stratasys Dimension. Během léta vyrobily 4 nebo 5 sad dílů pro RepRap v Stratasys a poslali je členům RepRap týmu po celém světě. 30. září dokončil Vik Olliver na Novém Zélandu druhý kus tiskárny Darwin. Koncem vánoc 2007 vzrůstá počet lidí, kteří vytváří dřevěné a laserem řezané kopie Darwina. Vana RepRap dodává firmou Stratasys tištěné díly. Vyrábí silikonové formy dílů a vyrábí součástky odlévané z PU plastu. Na obrázku č. 7 je vyobrazena tiskárna „Darwin“. (24)

21. února 2008 začala tiskárna Darwin Zacha Smithe (nyní také MakerBot) tisknout. 22. února Ponoko dokončil svoji verzi Darwina, která byla zhotovena pomocí technologie laserového řezání. Na jaře 2008 se objevuje mnoho funkčních dřevěných a jinak tvarových kopií Darwina. Lidé je začínají používat k tisku RepRapů. V dubnu 2008 Nophead začíná

tisknout díly Darwina na své vlastní verzi RepRap tiskárny pod názvem Hydraraptor. V květnu 2008 Vik Olliver vytvořil kompletní sady dílů Darwina, ty jsou sestaveny na Novém Zélandu a tyto tiskárny jsou testovány, při jeho návštěvě v Bath University ve Velké Británii. Toto byla první opravdová RepRap replikace. (24)



Obrázek č. 7: 3D tiskárna typu RepRap pod názvem Darwin. (25)

V létě 2009 byla představena nová verze RepRap tiskárny pod názvem Mendel. Tato verze je složena z méně dílů, takže je jednodušší a levnější na stavbu. V této době Nophead a mnoho dalších začínají prodávat sady dílů RepRap tiskáren na EBAY.COM apod. (24)

Na jaře 2011 sám Nophead vyrobil díly pro více než 100 RepRap tiskáren pro ostatní lidi. (24)

Začínají se objevovat různé pozměněné i originální konstrukce RepRap tiskáren, které konstruují a vyrábí mnoho lidí po celém světě. Za nejzajímavější typy považují Mendel Prusu, Mix G1, PrintrBot, Tantillus, EventorBot, Mendel90, MendelMax 2.0 a Delta tiskárnu.

5.2.3 Technologie RepRap

Modely RepRap tiskáren jsou složeny ze 4 základních složek:

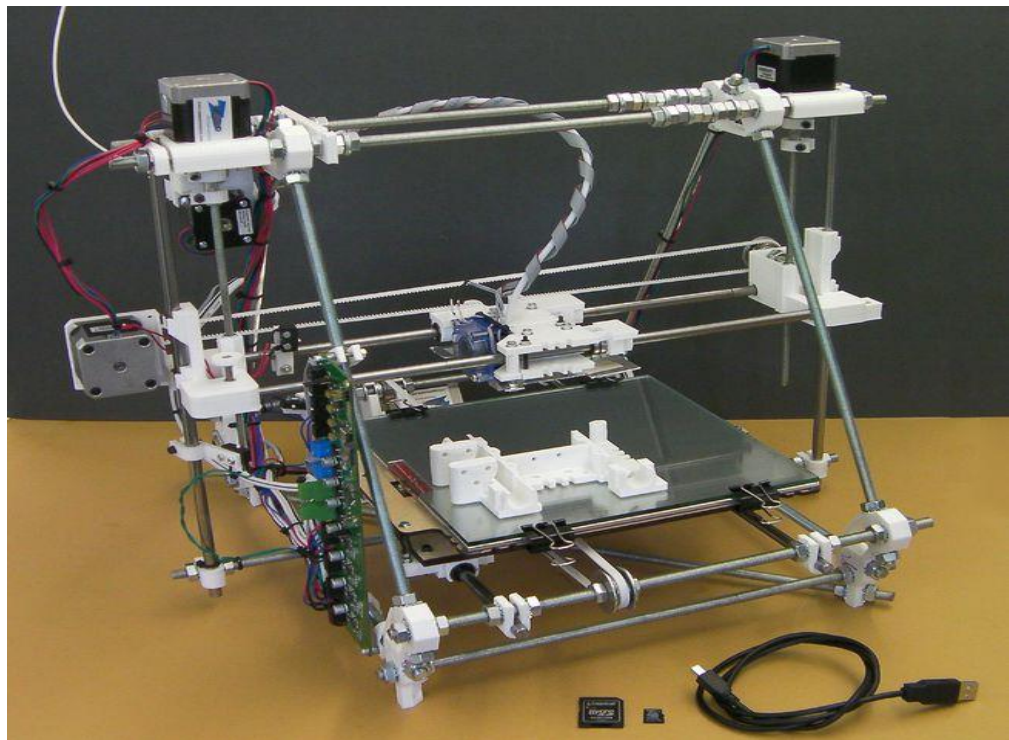
1. Mechanická konstrukce;
2. Elektronika;
3. Extrudér – tisková hlava;
4. Software. (25)

Mechanická konstrukce

Mechanickou konstrukci můžeme rozdělit na dvě hlavní části:

1. Konstrukce zajišťující pohyb v osách x/y/z;
2. Tisková podložka (PrintBed). (25)

Konstrukce zajišťující pohyb v osách x/y/z tvoří základní tělo tiskárny. Osa X je pohyb tiskové hlavy doleva a doprava. Osa Y je pohyb dopředu a dozadu. Osa Z je pohyb nahoru a dolů. Samotné řešení os je většinou zajištěno pomocí hlazených tyčí, které slouží pro posuvy, závitových tyčí, které slouží pro samotnou konstrukci tiskárny a pro zajištění posuvu osy Z, plastová kluzná uložení hlazených tyčí, případně lineárních ložisek, dále plastových dílů pro spojení jednotlivých železných dílů a řemenic a řemenů zajišťujících pohyb v osách X a Y. Na obrázku č.8 můžeme vidět model RepRapu pod názvem Mendel. Je zde dobře vidět použití výše zmiňovaných částí tiskárny RepRap. (25)



Obrázek č. 8: tiskárna RepRap Mendel. (25)

Lineární pohyb tedy zajišťují závitové tyče v ose Z, kde je vyžadován velice pomalý posuv a řemeny s řemenicemi, které zajišťují pohyb v osách X a Y, kde je vyžadován velice rychlý posuv srovnatelný s pohybem profesionálních CNC strojů. Řemenice je možné použít z důvodu nízké hmotnosti jak Print Bed části, tak tiskové hlavy a z důvodu, že při tisku nevznikají vibrace na rozdíl od obrábění. V návrhu se nejčastěji používají řemeny a řemenice označené jako GT2, které jsou velmi přesné a jsou stavěné na pohyby v obou směrech. (25)

Konstrukce tiskové podložky je složena ze dvou částí. Ze spodní desky, která většinou zajišťuje pohyb osy Y a horní desky, na kterou se tiskne a je se spodní deskou spojena pružinami a stavěcími šrouby, které dorovnají horní desku do roviny, aby do desky nenarážela tisková hlava při tisku. Další funkcí PrintBedu je vyhřívání horní desky důležité při tisku ABS plastem nazývané HeatBed. Z tohoto důvodu je horní deska většinou vyrobena z hliníku či skla a HeatBed je konstruován jako odporová deska nejčastěji vyrobená jako meandr plošného spoje. Vyskytují se řešení, která používají výkonové odpory, vyhřívající horní desku. Na adrese <http://reprap-ondrej.blogspot.cz/> jsem objevil velmi zajímavou a levnou konstrukci HeatBedu, kde autor popisuje stavbu HeatBedu s využitím smaltovaného měděného drátu. (25)

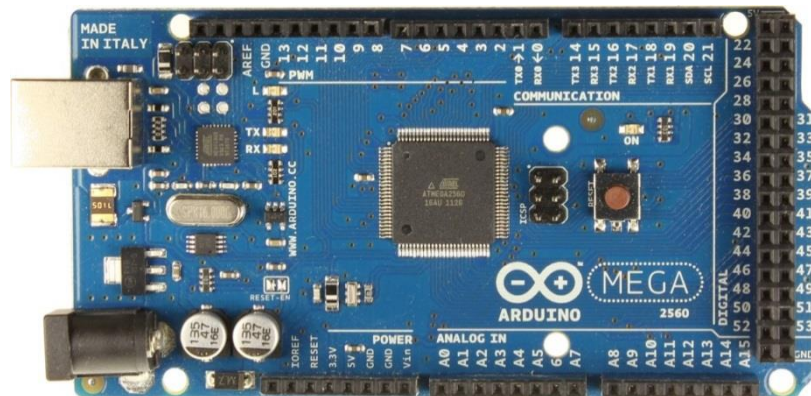
Elektronika

Elektronika se u RepRap tiskáren většinou dělí na 6 částí:

1. Regulátor;
2. Řadiče krokových motorů;
3. Krokové motory;
4. Koncové spínače;
5. Elektronika vyhřívání tiskové podložky (HeatBed);
6. Elektronika vyhřívání trysky (HotEnd).

Regulátor bývá založen na otevřené platformě Arduino. Tak jak se vyvíjí RepRap, vyvíjí se elektronika pro tuto tiskárnu. Je několik generací a různých řešení. Např. elektronika označovaná jako GEN7 je vytvořena pro stavbu svépomocí. Používá jednoduchou jednostrannou desku plošných spojů, kterou si může člověk vyrobit doma. Elektronika GEN6 je tvořena Arduinem MEGA a shield deskou RAMPS. Shield RAMPS 1.4 je rozšiřující deska, která je piny kompatibilní s Arduinem Mega a obsahuje přípojný body pro veškeré součásti elektroniky 3D tiskárny. Dnes je k dispozici RAMPS ve verzi 1.5. K dispozici je i elektronika

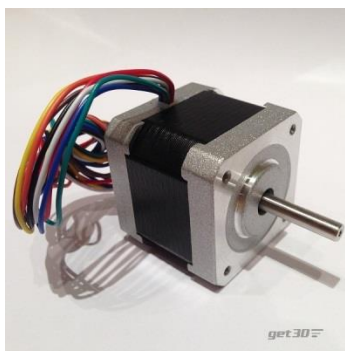
pod názvem Sanguinololu vybavená klonem mikroprocesoru ATMEGA644P nebo ATMEGA1284 . Na obrázku č. 9 je zobrazeno Arduino Mega 2560. (25)



Obrázek č. 9: elektronika Arduino Mega 2560. (26)

Řadiče krokových motorů slouží pro řízení krokových motorů. U RepRap jsou nejpoužívanější řadiče pod názvem Pololu. Existuje několik verzí Pololu řadiče, lišící se použitým čipem. Prvním čipem v Pololu driveru je čip Allegro A4988. Je schopen dodávat krokovému motoru proud až 1 A bez chladiče a je schopen mikrokrokování až 1/16. Pololu s čipem DRV8825, DRV8834 poskytují vyšší proudový výkon 1,5 A bez chladiče a mikrokrokování až 1/32. Přenášený proud řadičem ovlivňuje samotný výkon krokového motoru. Mikrokrokování ovlivňuje množství vibrací a plynulost chodu tiskárny a tím i hluk při tisku. Čím více mikrokroků použijeme, tím bude chod tiskárny tišší. (25)

Krokový motor je druh elektrického motoru používaného v robotice. Je to impulsně napájený motor, jehož funkční pohyb je nespojitý a děje se po jednotlivých krocích. Jeho pohyb řídí elektronika – řadič krokového motoru. U RepRap tiskáren se používají krokové motory ve velikosti NEMA 17, s 200 kroky na jednu otáčku. Krokové motory mají také různý statický moment. Například model Mendel vyžaduje minimální statický moment 13,7 N.cm. Pro extrudér se doporučuje statický moment minimálně 40 N.cm. Levné a kvalitní krokové motory poskytuje firma Microcon. Pro RepRap je ideální bipolární krokový motor SX17-1005, který je vyobrazen na obrázku č. 10. (25)



Obrázek č. 10: krokový motor Microcon SX17-1005. (27)

Koncové spínače slouží pro vymezení pohybu os v daném prostoru a tím předcházejí poškození tiskárny při ztrátě informace o poloze os. Slouží k tomu, aby tiskárna věděla, kde se nachází začátek (případně konec) souřadného systému, do kterého vždy tiskárna před začátkem tisku najede. Používají se mechanické koncové spínače, které jsou jednoduché a levné a jsou založeny na mikrosplínači. Z toho vyplývá omezený počet sepnutí a rozepnutí, mechanicky stárnou a mývají zákmity. Druhým typem jsou opto-elektrické koncové spínače, které jsou složitější, dražší, ale i spolehlivější. Jsou založeny na optozávoře. Pokud se do prostoru optozávory dostane předmět (přeruší se vysílaný paprsek), koncový spínač vyšle signál regulátoru. Tiskárna potřebuje 3 nebo 6 koncových spínačů, záleží na typu elektroniky regulátoru. (25)

Elektronika vyhřívání tiskové podložky je považována za volitelnou součást RepRap tiskárny. Bez použití HeatBedu dochází k příliš rychlému chlazení tisknouceho předmětu. To má za následek deformaci rohů, jelikož se plast při chlazení smršťuje a může se stát, že se tisknouce předmět oddělí od tiskové podložky a tisk bude znehodnocen. Vyhřívání tiskové podložky je zvláště důležitá při tisku ABS plastu, jak vyplývá z reakcí uživatelů RepRap fóra. Elektronika vyhřívání tiskové podložky se skládá ze dvou částí. První část je zařízení odporového ohřevu např. meandr cest vytvořený na desce plošného spoje. Druhou částí je termistor, který snímá velikost teploty a umožňuje tak regulátoru udržovat HeatBed na požadované teplotě. Tato teplota se může pohybovat od cca 60 °C do cca 120 °C. (25)

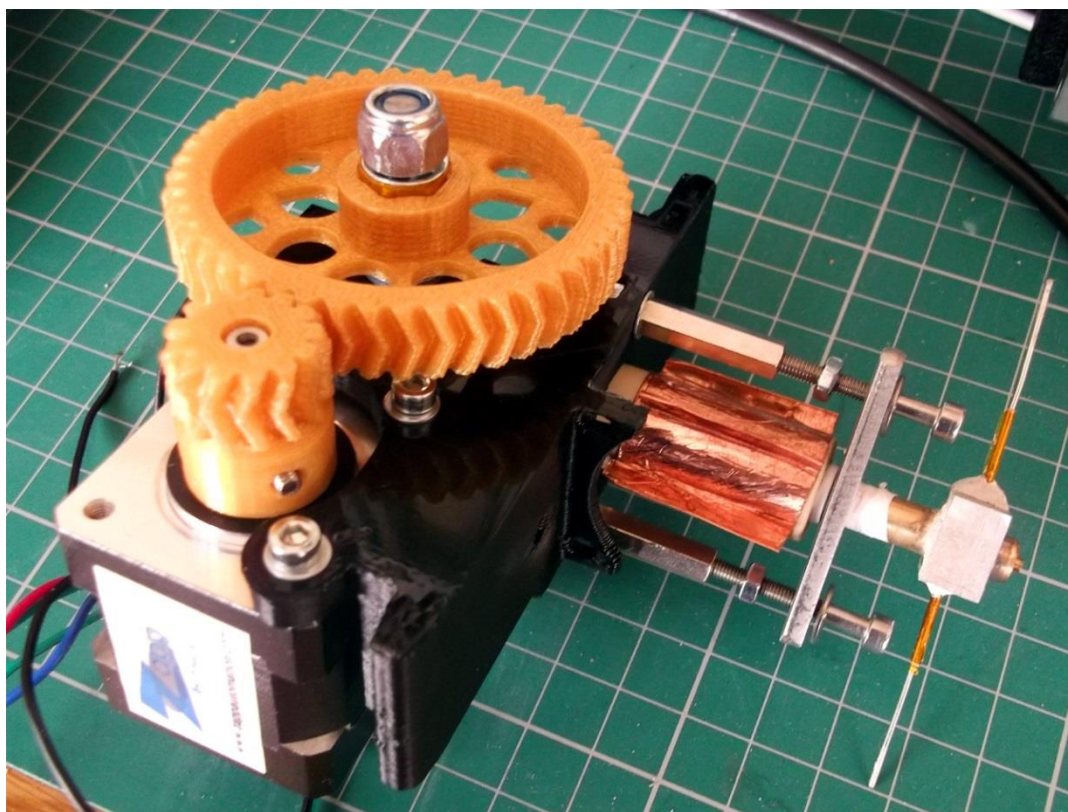
Elektronika vyhřívání tiskové trysky je nutná a velice důležitá součást tiskáren RepRap. Zajišťuje roztavení plastu pro tisk. Skládá se opět ze dvou částí. První součást zajišťuje roztavení plastu a je tvořena buď výkonným odporem okolo 40Ω nebo jsou kolem tiskové trysky navinuty závity odporového drátu. Druhou součástí je opět termistor, který snímá teplotu trysky a umožňuje tak regulátoru udržovat konstantní teplotu HotEndu. Pro každý materiál je třeba nastavit správnou teplotu, aby kladl co nejmenší odpor při vytlačování

extrudérem a zároveň, aby nedocházelo k jeho zbytečnému přehřívání a tím i zapékání materiálu v HotEndu. HotEnd výrazně ovlivňuje spolehlivost tiskárny a kvalitu tisku. (25)

V následující kapitole si popíšeme jednu z nejdůležitějších částí, která výrazně ovlivňuje samotný tisk a tou je extrudér nebo-li tisková hlava.

Extrudér – tisková hlava

Toto zařízení taví tiskový materiál a vytlačuje jej tryskou ven na tiskovou podložku. Skládá se ze dvou částí. První se nazývá ColdEnd neboli studený konec, někdy je označována jako extrudér. ColdEnd má za úkol podávat tiskový materiál v podobě drátu o průměru 1,75 mm nebo 3 mm do HotEndu. ColdEnd je většinou tvořen z vytištěných plastových dílů, ložiska 608, které slouží pro přitlačování drátu k ozubenému šroubu, kterým otáčí krokový motor. Některé ColdEndy mají dvě ozubená plastová kola, která pohon krokovým motorem převodují do pomala. Druhou částí je HotEnd, ve kterém je materiál taven a vytlačován tenkou tryskou ven. Skládá se z trysky, odporového vyhřívání, termistoru, dále pokračuje částí, která je často intenzivně chlazena větráčkem, aby oblast tavení plastu byla co nejkratší. I HotEnd uživatelé navrhují dle různých konstrukcí a materiálů. Používají se nerezové šrouby, mosazné šrouby, hliníkové a měděné bloky, teflonové a PEEK tyče. Typická tisková hlava RepRap tiskárny je zobrazena na obrázku č. 11. (25)



Obrázek č. 11: extrudér RepRap tiskárny. (28)

Další důležitou součástí RepRap tiskárny je software. Ten si popíšeme v následující kapitole.

Software

Software používaný u RepRap tiskáren můžeme zhruba rozdělit do 3 částí:

1. CAD nástroje;
2. CAM nástroje;
3. Firmware pro elektroniku. (25)

CAD nástroje představují softwarové vybavení, které umožňuje efektivní projektování. V případě 3D tiskáren nás budou zajímat systémy umožňující 3D projektování a modelování předmětů. Dle RepRap filozofie můžeme CAD nástroje rozdělit do dvou skupin, placený software a software, který je poskytován zdarma, jedno z jakého důvodu. Mezi Open Source Software můžeme zařadit OpenSCAD, FreeCAD, HeeksCAD a další. Mezi plně parametrické, placené nástroje patří Dassault Solidworks, Autodesk Inventor a další. Existuje skupina CAD nástrojů, u kterých je jistá verze softwaru poskytována zdarma. Jedná se o velice populární SketchUp a solidně vybavený DesignSpark Mechanical. V RepRap komunitě, případně na různých CNC fórech můžeme získat reference o dalších užitečných CAD nástrojích. Tyto nástroje používají různé formáty dat. Pro RepRap tisk je velice důležitý formát dat, který označuje své soubory koncovkou STL a to z důvodu používání tohoto formátu CAM nástroji. (25)

CAM nástroje slouží k úpravě CAD souborů, aby byly použitelné a srozumitelné pro firmware elektroniky RepRapu. CAM nástroj nám převede STL soubor do formátu, kterému tiskárna rozumí a nazývá se G-kód. Ukázka G-kódu je v příloze č. 2. Na kvalitě CAM nástroje závisí výsledná kvalita vytištěného 3D předmětu. CAM software v podstatě rozřeže 3D model na jednotlivé tiskové vrstvy, jako když řežeme salám na plátky. Pokud chceme převést STL soubor do G-kódu, můžeme použít některý z následujících programů:

1. Skeinforge patří mezi nejlepší a je doporučován pro přesné tisky;
2. Cura je velice rychlý a přesný;
3. Slic3r je velice populární u RepRap komunity;
4. Kisslicer patří mezi rychlé a přesné nástroje, má však uzavřený kód;
5. RepSnapper je kompletně napsán v jazyce C++, a proto je velmi rychlý;
6. X2sw software, což je balík Open Source nástrojů, které například umožňují používat dvě tiskové hlavy;

7. SlicerCloud je on-line CAM software, který je provozován na výkonných online serverech. (25)

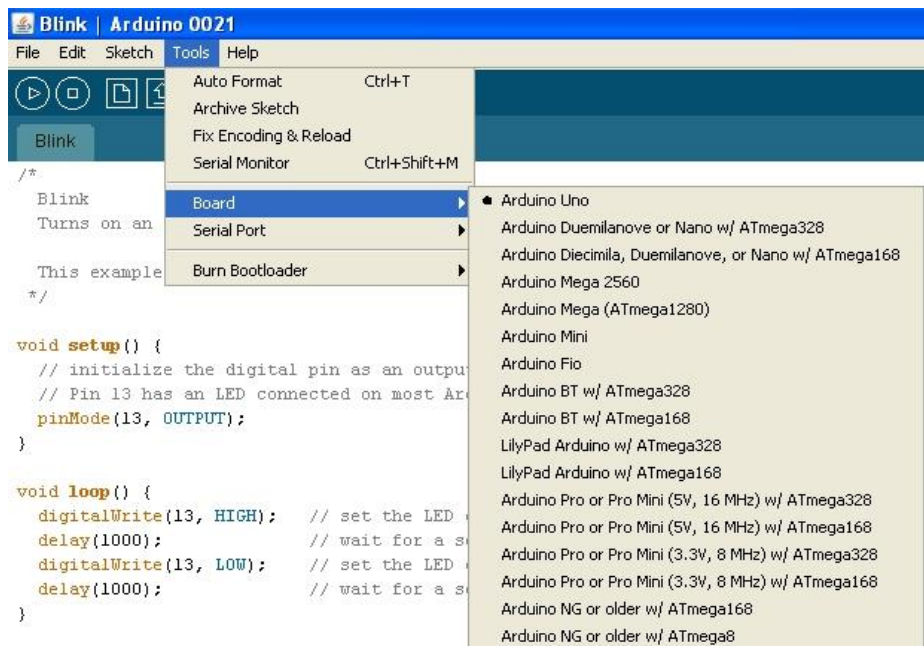
Samozřejmě pro převod dat z STL souboru na G-kód můžeme použít řadu jiných zde neuvedených softwarů. G-kód, který byl CAM softwarem vygenerován je následně poslán obvykle přes USB do tiskárny. K posílání dat do firmwaru tiskárny může sloužit přímo CAM software, jako třeba v případě RepSnappera, X2sw nebo software, který je pro tuto funkci určen. Mezi tyto nástroje patří ReplicatorG, Send.py, Printron, RebRep, Repetier-Host apod. (25)

G-kód je v RepRap tiskárně zpracován firmwarem uloženým v mikroprocesoru regulátoru. G-kód je zde převeden do elektrických signálů pro krokové motory, HotEnd a HeatBed. Firmware je jednoduchý software, který je spjat s velmi základními nízkourovňovými operacemi, bez kterých by zařízení bylo kompletně nefunkční. (25)

Pro tiskárny RepRap existuje několik dostupných verzí firmwaru. Mezi nejpoblárnější můžeme zařadit Sprinter, Marlin, TeaCup. Abychom příslušný firmware použít, musíme projít procesem, který se skládá z následujících kroků:

1. Je třeba nainstalovat Arduino IDE vývojové prostředí na PC;
2. Stáhnout si nějaký zdrojový kód firmwaru z webových stránek;
3. Uzpůsobit daný firmware na podmínky naší RepRap tiskárny;
4. Zkompilovat firmware pomocí Arduino IDE;
5. Připojit regulátor tiskárny k PC pomocí USB kabelu;
6. Uploadovat firmware do procesoru regulátoru. (25)

Uzpůsobit daný firmware na podmínky konkrétní tiskárny je velice důležitý a dle zkušeností uživatelů zdlouhavý krok, na kterém závisí, zda tiskárna bude tisknout to, co chceme. Na obrázku č. 12 je zobrazeno vývojové prostředí Arduino IDE.



Obrázek č. 12: vývojové prostředí Arduino IDE. (29)

V této části je teoreticky popsána většina dostupných možností 3D tisku. Pro svépomocnou stavbu 3D tiskárny se nám jeví jako dostupné řešení, zvolit tiskárnu na platformě RepRap. Existuje možnost koupit si stavebnici a tiskárnu postavit dle návodu. Výhodou je ušetřený čas s návrhem tiskárny, sháněním potřebných dílů a v neposlední řadě v elektronice tiskárny nahraný a odladěný firmware. Tiskárnu pak lze celkem rychle dle návodu sestavit. Nevýhodou této možnosti je vyšší pořizovací cena.

V praktické části této diplomové práce si popíšeme stavbu 3D tiskárny, u které jsem použil vlastní konstrukci.

Praktická část

1 Stavba 3D tiskárny

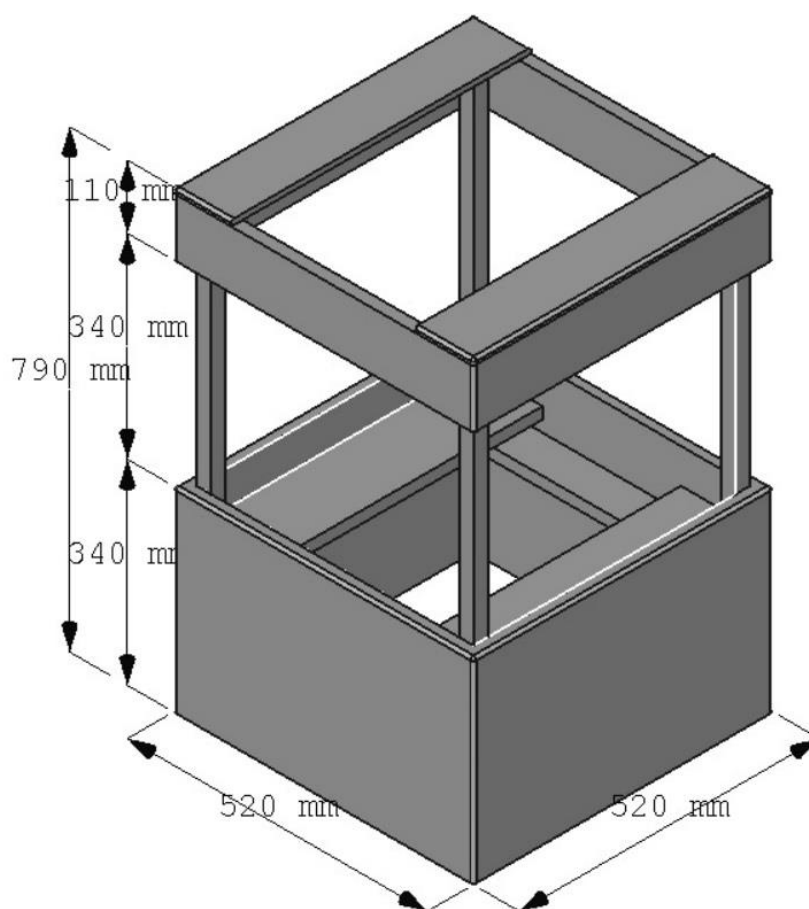
Před samotnou stavbou 3D tiskárny jsem mnoho dní studoval informace, které jsem našel na internetu. Mezi ně patří zdroje: (30), (31), (32), (33), (34), (35), (36), (37), (38), (39).

Při rozhodování jakou 3D tiskárnu postavit hrála hlavní roli kvalita výsledného tisku. Od této podmínky se odvíjí veškerý výběr použitých komponent. První důležitou vlastností 3D tiskárny je tuhá konstrukce, která bude dobře pohlcovat vibrace, které vznikají při relativně rychlých pohybech tiskové hlavy. Další důležitou vlastností je přesnost pohybu os. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro broušené kalené tyče o průměru 10 mm, které slouží jako vedení pro jednotlivé osy. Přesný, tichý a s nízkým valivým odporem lineární pohyb po osách je zajištěn díky lineárním ložiskům LM10UU. Katalogový list ložiska je uveden v příloze č. 1. V neposlední řadě je důležité udržet všechny pohybující se hmoty na co nejnížší hmotnosti z důvodu snížení setrvačnosti pohybu a tím i zpřesnění tisku. Prostudoval jsem mnoho typů RepRap tiskáren prezentovaných na www.reprap.org. Bohužel jsem zde nenašel tiskárnu, která by vyhovovala mým nárokům. Proto jsem se rozhodl pro stavbu tiskárny vlastní konstrukce. Původně jsem uvažoval o možnosti použít tiskárnu, při výměně tiskové hlavy za vřeteno, na gravírování. Tuto možnost jsem po pečlivém prostudování konstrukcí gravírovacích frézek a 3D tiskáren zavrhl. Postavit stroj, který by zvládal oboje by stál více peněz než postavit každý stroj zvlášť. Důvodem jsou protichůdné požadavky, které tyto stroje musí splňovat. Mezi ně patří například nutnost možnosti relativně vysokých pojezdových rychlostí u 3D tiskárny, které jsou dosaženy díky použití ozubených řemenů na jejich pohon. Toto řešení však vylučuje dosažení přesnosti při gravírování, kdy dochází ke vzniku řezného odporu při práci vřetene a tím by docházelo i k prodlužování (pružení) ozubeného řemene a vzniku nepřesností při řezání. Musely by se použít drahé řemeny o větších rozměrech a s vyšší kvalitou použitého materiálu. Z důvodu vzniku řezných odporů by bylo třeba vyrobit jednotlivé osy mnohem robustnější. Tím by byla potřeba použít krokové motory s vyšším výkonem, tedy větší a dražší. Silnější krokové motory by si vyžádaly změny v použité elektronice, protože řadiče Pololu běžně používané u RepRap tiskáren by jim nezvládly dodávat potřebný el. proud. Nicméně jsem navrhl konstrukci tak, aby byla schopna větší tiskové plochy než je u RepRap tiskáren běžné a to z důvodu použití gravírování pomocí laseru.

V následující kapitole si popíšeme konstrukci 3D tiskárny, kterou jsem postavil.

1.1 Mechanická konstrukce tiskárny

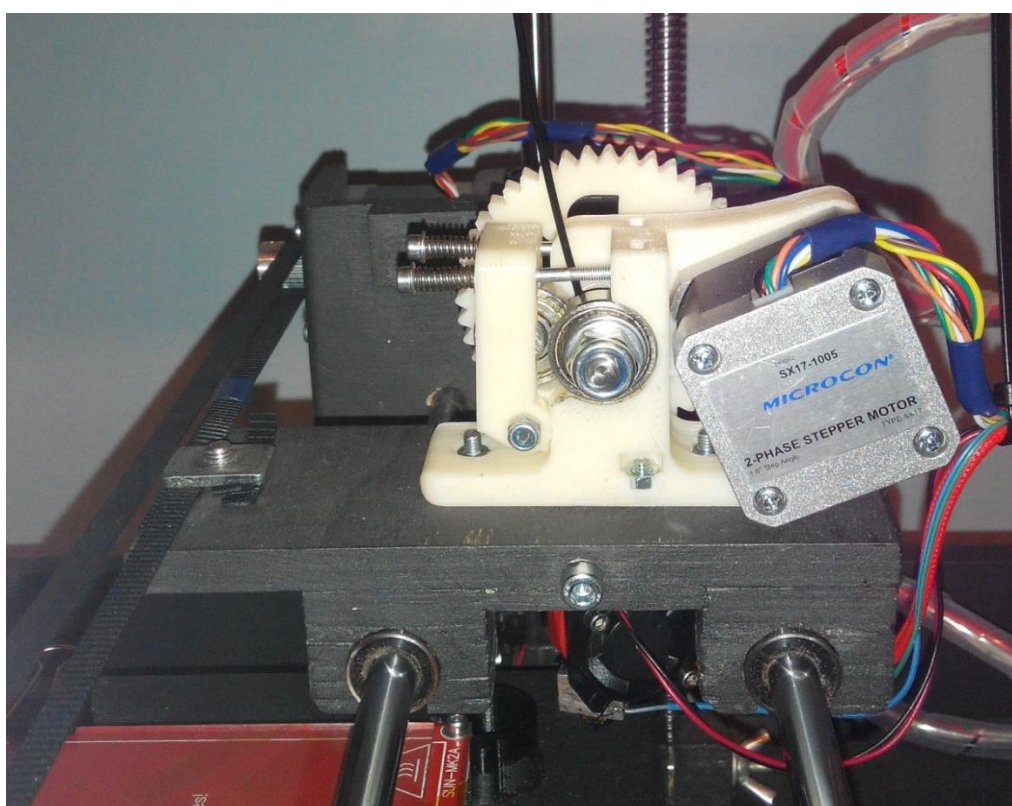
Při konstrukci jsme vycházeli z možností, které mám k dispozici. Máme přístup k odřezkům překližky, slušně vybavené dílně formátovací pilou, frézkou, stojanovou vrtáčkou, pokosovou pilou a soustruhem. Bohužel jsem nenašel ve svém okolí nikoho, kdo by vlastnil 3D tiskárnu, na které by šlo vytisknout některé konstrukční díly os. Překližku jsem použil z důvodu dobrých mechanických vlastností (relativně lehká a pevná zároveň) a dobré opracovatelnosti. Při konstrukci jsem využil technologii lepení, která mi umožňuje jednotlivé díly z překližky přesně umístit a zafixovat bez nechtěných posunů při vrtání a šroubování. Také je možné díly různě upravovat řezáním, vrtáním, frézováním a případně doplnit přilepením dalšího funkčního celku, což je docela důležitá možnost v případě stavby originálu (prototypu). Konstrukce tiskárny je složena ze dvou částí základny a rampy, které jsou zhotoveny z překližky o tloušťce 20 mm. Základna a rampa jsou propojeny nerez jackl profily o průřezu (25 x 25) mm pomocí nýtování. Konstrukce tiskárny a její základní rozměry jsou vyobrazeny na obrázku č. 13.



Obrázek č. 13: konstrukce tiskárny

Díky této konstrukci jsem dosáhl dobré tuhosti, větší tiskový prostor (300 x 300 x 280) mm a dostatečným prostorem pro umístění elektroniky, zdroje a v neposlední řadě místa pro motory, osy, koncové spínače. Vyhřívaná tisková plocha je omezena plochou (180 x 180) mm, což je rozměr běžně dostupné vyhřívané podložky.

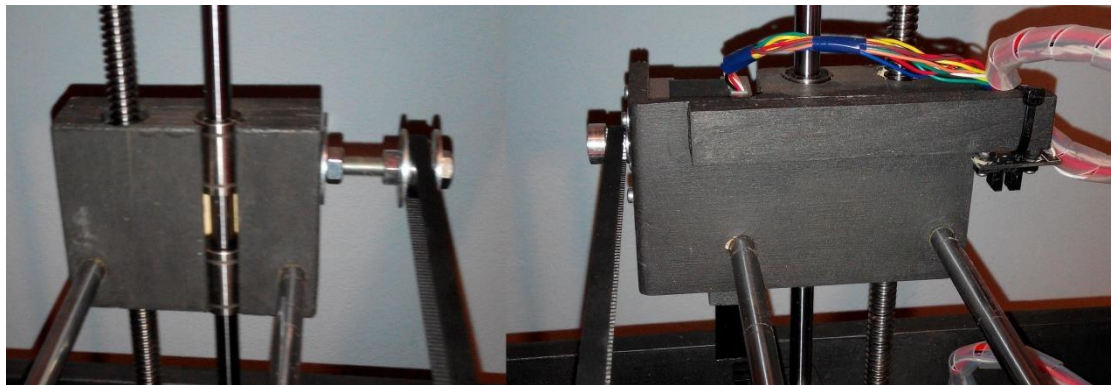
Dalším krokem stavby mé 3D tiskárny bylo sestrojení jednotlivých os a jejich umístění a zafixování do konstrukce. Jako první jsem sestavil osu X. Skládá se z vozíku pro tiskovou hlavu, ve kterém jsou třením zafixovány lineární ložiska a v nich umístěny vodící tyče. Při vysunutí lineárních ložisek do boku je možná vozík osy X vyjmout vertikálním směrem. Vozík osy X je vyobrazen na obrázku č. 14.



Obrázek č. 14: Osazený vozík osy X extrudérem a hotendem

Konce vodících tyčí osy X byly následně vsunuty do otvorů vyvrtaných do vozíků osy Z, kde jsou fixovány třením. Vozíky osy Z jsou vyobrazeny na obrázku č. 15. Do vozíků osy Z byly zavedeny trapézové matice a lineární ložiska, které jsou opět fixovány třením. Pro pohyb této osy slouží trapézový šroub o průměru 12 mm, který spolupracuje s trapézovými maticemi ze silonu. Měl by zajistit trvanlivější a přesnější polohování v ose Z. Vyvrtal jsem díry do základny pro broušené kalené vodící tyče o průměru 15 mm a díry pro trapézový

šroub o průměru 30 mm. Díry jsou voleny schválně s velkou vůlí, aby bylo možné osy při případné demontáži bez potíží vyjmout a taky z důvodu možného nepřesného vrtání.



Obrázek č. 15: Osazené vozíky osy Z

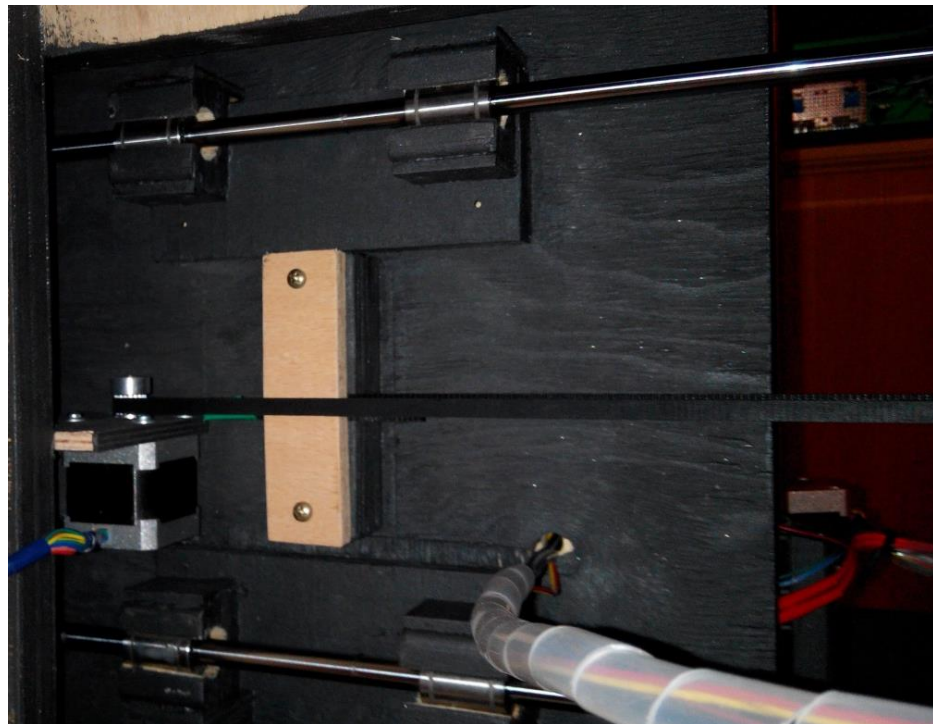
Na konce vodících tyčí osy Z jsou umístěny „o-kroužky“ z překližky, kterými jsou osy po umístění na své místo přilepeny k základně a rampě. Trapézové tyče jsou na spodním konci zúženy na průměr 8 mm v délce 60 mm. Na zúžený konec trapézových tyčí jsou navlečena ložiska 608, přes které je pomocí dřevěných svorek zafixována poloha trapézových tyčí. Horní konce trapézových tyčí jsou volné z důvodu vyrovnávání případných nepřesností vozíku osy Z. Uchycení osy Z je znázorněno na obrázku č. 16.



Obrázek č. 16: Uchycení Z os, vlevo spodní část, vpravo horní část

Po zabudování os X a Z jsem sestavil osu Y. Tato osa je tvořena vodícími tyčemi, na každé tyči jsou umístěny 2 lineární ložiska a následně byly osy upevněny do děr v bočnicích z 10 mm silné překližky o rozměrem (230 x 60) mm. Na lineární ložiska byly nasazeny držáky z překližky. Následně byla na držáky přilepena deska, která slouží jako lože pro

tiskovou hlavu. Takto složená osy Y byla vložena do základny a zafixována tak, aby byla kolmá k ose Z a X, pomocí truhlářských svěrek. Do bočnic byly vyvrtány díry a byly zajištěny vruty ve správné poloze. Konstrukce osy Y je vyobrazena na obrázku č. 17.



Obrázek č. 17: Pohled na konstrukci vozíku osy Y

Na závěr byly vyrobeny držáky pro motory osy Z, které jsou umístěny ve spodní části základny. Držák motoru je tvořen ze dvou kusů a to samotného držáku, ve kterém je zajištěn krokový motor a základny držáku, na kterou je samotný držák přišroubován. Motor byl spojen pomocí gumové hadice, která slouží jako pružná spojka s trapézovým šroubem. Dvě hadicové spony fixují toto spojení. Na obrázku č. 18 je znázorněna celá konstrukce motoru osy Z.



Obrázek č. 18: Sestava motoru osy Z

Tímto byla dokončena mechanická konstrukce tiskárny. V další kapitole si popíšeme elektroniku tiskárny.

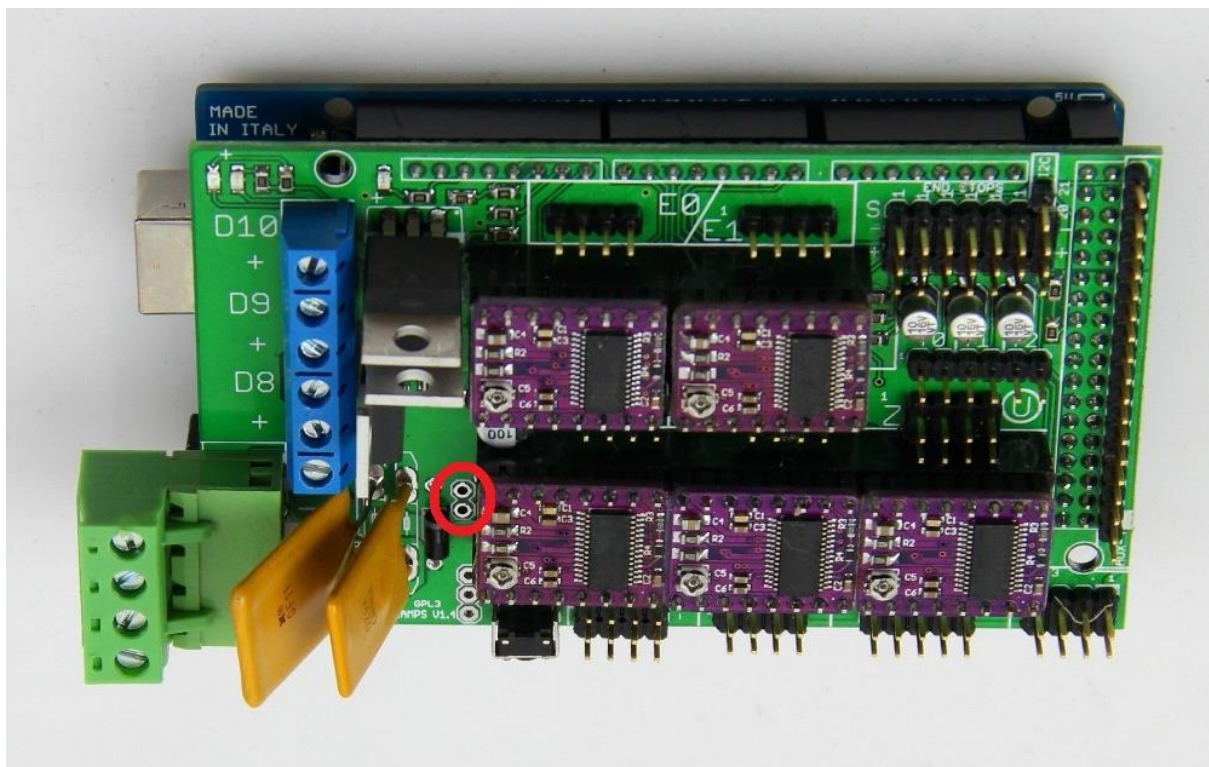
1.2 Elektronika tiskárny

Jako regulátor jsem zvolil Arduino Mega 2560, k němu jako shield RAMPS 1.4 a řadiče krokových motorů 4x Pololu DVR8825. Jsem zvyklý mikroprocesory a další součástky elektroniky objednávat na www.ebay.com, což jsem provedl i v tomto případě. Výhodou jsou dobré ceny, kvalita je stejná jako u součástek, které koupím v ČR a v neposlední řadě také poštovné zdarma. Nevýhodou je delší dodací lhůta a problém s reklamací, kterou nemá cenu v případě deseti a stokorunových položek řešit. Důvodem, proč jsem zvolil tuto sestavu elektroniky je fakt, že pokud se pokazí jedna součást, lze ji jednoduše vyměnit. V případě jednodeskového řešení je to problém. (26)

Shield RAMPS 1.4 je osvědčené řešení nastavby elektroniky pro RepRap. Má však i své slabiny v podobě poddimenzovaných vratných pojistek a spínacích tranzistorů pro HeatBed. Preventivně jsem pojistky vypájel a nahradil je silnými drátovými propojkami. Věřím, že si zdroj v případě problémů poradí sám. S výměnou spínacích tranzistorů vyčkám na jeho zničení. (40)

Zvolené řadiče krokových motorů Pololu DRV8825 jsou nástupcem driveru A4988. Na rozdíl od A4988 jsou schopny rozlišení mikrokroku 1/32, což přináší tišší a plynulejší pohyb. Maximální el. proud, který jsou tyto řadiče přenést je 2,2A při aktivním chlazení. V mém případě je el. proud přenášený řadiči omezen na zhruba 1/3. Nastavení el. proudu je závislé na mechanických odporech na osách, které jsou v případě mé konstrukce nízké. Řadiče se nehřejí ani při několikahodinovém tisku. Správné osazení řadičů DRV8825 do Shieldu RAMPS 1.4 je zobrazeno na obrázku č. 19. Pokud řadiče osadíme špatně (obráceně), dojde k jejich zničení. (41)

Při výběru krokových motorů jsem vsadil na firmu Microcon a její hybridní dvoufázové krokové motory SX17-1005. Tyto motory poskytují statický moment 0,5 N.m, který je pro tiskárnu RepRap plně dostačující. Motory jsou použity v bipolárním sériovém zapojení. Červený vývod je spojen s hnědým, žlutý vývod se zeleným, oranžový je označen jako 1B, černý jako 1A, modrý jako 2B a bílý jako 2A. Kabely jsem musel vzhledem k velikosti tiskárny prodloužit. Využil jsem zbytků UTP kabelu, kterých mám v zásobě dost, ty jsem rozpletl a použil jednotlivá lanka na prodloužení kabeláže krokových motorů. (42)



Obrázek č. 19: Zapojení Pololu řadičů do RAMPS 1.4

Další částí elektroniky tiskárny jsou koncové spínače tzv. Endstopy. K dispozici jsou dva druhy: mechanické a opto-elektrické. Mechanické jsou levnější, mají však omezený počet sepnutí. Spolehlivost koncových spínačů považuji za velice důležitou vlastnost, chrání jednotlivé části před zničením nárazem pohyblivých částí. Navíc po prostudování diskuzí na různých fórech (např. na <http://forums.reprap.org/index.php?321>) se zdá, že mechanické spínače jsou i méně přesné tzn., že je často nutné nastavovat nulovou pozici hlavně osy Z. Z těchto důvodů jsem se rozhodl pro opto-elektrické koncové spínače. Použil jsem jeden Endstop na jednu osu. Tyto koncové spínače říkají tiskárně, kde má pozici [0,0,0].

Důležitou komponentou 3D tiskárny je vyhřívaná tisková podložka, která je nezbytná pro tisk z ABS materiálu. Bez této podložky dochází k odlepování a kroucení chladnoucího tištěného předmětu. Příčinou jsou pnutí, která vznikají v předmětu při tisku. Původně jsem chtěl tuto podložku vyrobit dle návodu na stránce <http://reprap-ondrej.blogspot.cz/2013/10/vyhriavana-podlozka-heated-print-bed.html>, ale z časových důvodů a z důvodu dosahování nízkých teplot kolem 60° C jsem se rozhodl pro nákup vyhřívané podložky PCB MK2a. Je to v podstatě vhodně navržený meandr tištěného spoje. HeatBed je doplněn termistorem Epcos 100 K NTC, který slouží k regulaci teploty vyhřívané podložky. Termistor je kaptonovou páskou přilepen zespod doprostřed HeatBedu. Pod

vyhřívanou podložku jsem přidal 2 vrstvy 2 mm silné tepelné izolace Isolcart K, z důvodu nižších tepelných ztrát HeatBedu. Samotný tisk je prováděn na skleněnou desku, která se pokládá na vyhřívanou podložku.

Asi nejdůležitější součástí 3D tiskárny je její tisková hlava, která je složena z mechaniky podávající filament (tzv. ColdEnd) do vyhřívané trysky zvané HotEnd. HotEnd je kritické místo. Samotná tryska musí být schopna vyhřívání až na teplotu kolem 250 °C a je třeba zajistit, aby vyhřívaná část HotEndu byla co nejkratší z důvodu ochrany ColdEndu před roztečením či deformací. Je totiž vyroben z termoplastu. Pro svoji tiskárnu jsem zvolil celokovový HotEnd v 2.0 o průměru trysky 0.4 mm od firmy 3Draty.cz. Ten je dodáván jako kompletní stavebnice. V rámci elektroniky je třeba instalovat vyhřívací tělísko trysky, termistor a větráček chladiče. Vyhřívací tělísko i termistor mají své konektory na RAMPS desce. Větráček jsem zapojil na 2 piny, které jsou vyznačeny na obrázku č. 19 červeným kroužkem. Po zapnutí tiskárny se automaticky spustí i chlazení HotEndu. Zkoušel jsem různé možnosti, ale tato se mi zdá nejjednodušší a spolehlivá. Zkoušel jsem zapojit větráček na D9, což je port pro připojení druhého extrudéru, ve firmwaru jsem i nastavil, že je připojen na D9 a zvolil možnost zapnutí větráčku při překročení teploty 50 °C na HotEndu, ale nikdy k jeho spuštění v tuto chvíli nedošlo. Když jsem zkoumal vygenerovaný G-kód, větráček se spínal po dlouhé době od začátku tisku a to hrozilo zničením ColdEndu, proto jsem větráček zapojil přímo do pinů, které jsou pod napětím hned při spuštění tiskárny.

Zapojení všech elektrických komponentů tiskárny je na schématu obrázku č. 20. Rozdíl je pouze v použitých opto-elektrických koncových spínačích, které mají 3-linkový kabel a v jednom extrudéru. Celou tiskárnu napájím zdrojem ATX používaný v PC, který je schopen na větvi +12 V poskytnout až 16 A. Jeho úprava spočívala pouze v uzemnění signálu PS_ON, což bývá zelený vodič v napájecím konektoru základové desky. Celý zdroj včetně regulátoru je umístěn na vnitřní boční stěně základny. Tímto byla dokončena instalace veškeré elektroniky potřebné pro chod tiskárny. V další kapitole se rozepíši o použitém softwaru.

1.3 Software tiskárny

Do tiskárny je třeba nainstalovat vhodně upravený firmware, který nám zajistí její správný chod. Po prostudování informací z internetu jsem se pro začátek rozhodl pro software, který vyvinula komunita kolem serveru www.repetier.com. Je to v podstatě ALL-IN-ONE software, což znamená, že obsahuje, jak firmware pro Arduino, tak aplikaci Repetier-Host, která slouží pro obsluhu tiskárny od tvorby G-kódu po samotný tisk. Zároveň umožňuje i ruční ovládání tiskárny, což je velice prospěšné ve fázi kalibrace tiskárny. Na stránkách je navíc celkem podrobný návod k použití a funkční diskuzní fórum.

Na začátku je třeba z www.arduino.cc stáhnout a nainstalovat software Arduino IDE, který slouží pro programování Arduina. Pomocí tohoto softwaru nahrajeme upravený firmware do tiskárny. Zároveň s instalací softwaru se instalují i ovladače pro komunikaci s Arduinem.

Po instalaci Arduino IDE přichází na řadu instalace firmwaru tiskárny. Zpětně musím říct, že jsem udělal dobře, že jsem se rozhodl pro volbu instalace firmwaru ze stránek www.repetier.com. Stránky totiž obsahují Configuration Tool, který Vás provede potřebným nastavením parametrů tiskárny. Momentálně je k dispozici verze 0.92, kterou s úspěchem používám. V Configuration Toolu jsem nastavoval následující parametry:

Záložka General:

Dimensions:

X length – délka osy X

Y length – délka osy Y

Z length – délka osy Z

Záložka Mechanics:

X axis stepper motor – nastavení pro osu X

Resolution – rozlišení, neboli počet kroků na 1 mm

Y axis stepper motor – nastavení pro osu Y

Resolution – rozlišení, neboli počet kroků na 1 mm

Z axis stepper motor – nastavení pro osu Z

Resolution – rozlišení, neboli počet kroků na 1 mm

Endstops:

Homing order – pořadí v jakém se budou osy přesouvat na začátek v případě příkazu pro Home. Zvolil jsem pořadí: Y, X then Z.

X min – zapojení Endstopu osy X

Y min – zapojení Endstopu osy Y

Z min – zapojení Endstopu osy Z

Záložka Temperature:

Enable heated bed support – tuto volbu je třeba zatrhnout v případě použití vyhřívané tiskové podložky.

Extruder:

Resolution – počet kroků na 1 mm délky vytlačovaného filamentu

Extruder cooler pin – kde je zapojen větráček extrudéru (zvolil jsem ATX power pin)

Toto jsou základní parametry, které jsem musel nastavit, aby tiskárna byla schopná tisku. Při změně těchto parametrů jsem si na konci konfigurace v sekci Download nechal vygenerovat pouze soubory Configuration.h a config.json. Configuration.h obsahuje nastavené parametry firmwaru a je třeba jej umístit do složky, kde máme samotný firmware, ještě před okamžikem, než spustíme Arduino IDE. Soubor config.json je konfigurační soubor pro Configuration Tool, který je dobré zazálohovat a v případě potřeby změny firmwaru si tuto konfiguraci na začátku natáhneme do Toolu.

Resolution je velice důležitý údaj, který nám říká, kolik musí vykonat motor kroků, aby se překonala vzdálenost 1 mm na příslušné ose. Pokud tento parametr špatně nastavíme, rozměry vytištěného objektu se budou lišit od skutečnosti. Pro tento parametr samozřejmě existuje vzorec, kterým se vypočítat. Já jsem toto nastavení provedl přímým testem. Nechal jsem jednotlivé osy popojet o 100 mm a změřil jsem, o kolik ve skutečnosti popojely. Vydělil jsem 100 skutečnou délkou a tímto koeficientem jsem vynásobil parametr Resolution. Mě tento koeficient vyšel roven 2. Toto nastavování parametru Resolution má jednu obrovskou výhodu. Nemusíte dumat nad tím, jaký typ řemenu máte, kolik zubů má příslušné kolo na krokovém motoru.

U Resolution pro extruder jsem postupoval stejně. Udělal jsem si zářez na filamentu a nechal jsem motor extrudéru vytlačit 100 mm filamentu. Předtím je třeba sundat HotEnd a ve firmwaru nastavit parametr Minimum extruder temperature na 0 °C, případně niž než je teplota v místnosti. Tento parametr totiž blokuje pohyb motoru extrudéru za nízkých teplot. Při tomto nastavování Resolution extrudéru jsem ani jinak postupovat nemohl, neboť ozubenou část šroubu, který podává filament do HotEndu jsem si vyráběl sám pomocí závitníku M4 a dvou ložisek 608. Na www.youtube.com je několik videí s výrobou tohoto ozubení, stačí zadat do vyhledávače Hobbed Bolt.

Pokud se motory os nebo extrudéru otáčejí opačně je možné zatrhnout parametr `Invert direction`, který změni směr otáčení motorů softwarově. Já jsem raději otočil zapojení cívek na konektoru motoru.

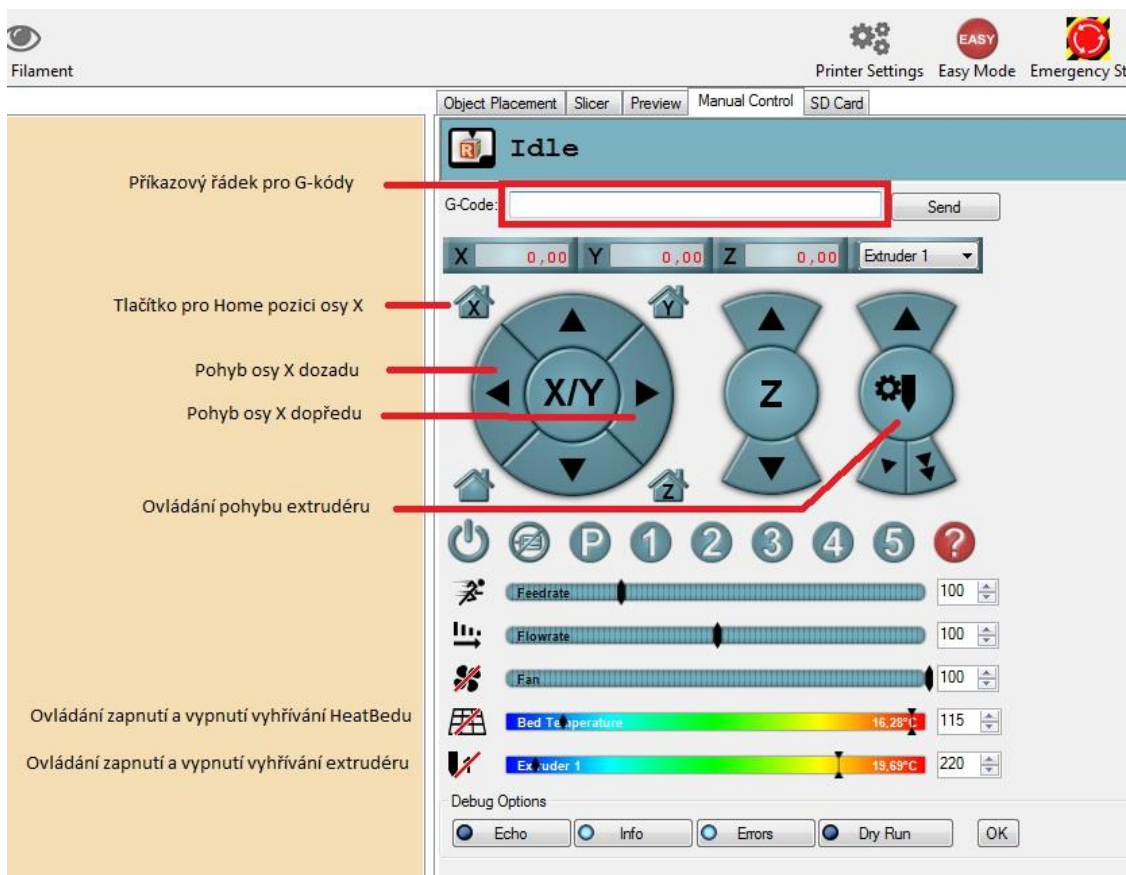
Po úspěšném nahrání firmwaru do tiskárny jsem nainstaloval Repetier-Host, kterým ovládáme tiskárnu. Tento software není vůbec třeba používat, ale pro začátek je to velmi dobrá volba. Software umožňuje import tištěné předlohy ve formátu *.STL. Program nám z této předlohy pomocí plug-in modulů Slic3R nebo Cura Engine vygeneruje G-kód, který se následně odešle do tiskárny a tiskárna nám na jeho základě vytiskne požadovaný 3D objekt.

Tímto jsem provedl základní nastavení tiskárny a softwaru pro 3D tiskárnu. Po tomto kroku bude následovat kalibrace.

1.3 Kalibrace 3D tiskárny

První, co je třeba ověřit, je funkčnost koncových spínačů. To provedeme v Repetier-Hostu v záložce Manual Control pomocí řádku G-Code. Sem zapíšeme příkaz `M119`, který vrací stav Endstopu a odešleme do tiskárny tlačítkem Send. Předtím je dobré si pustit logovací okno volbou Toggle Log. V tomto okně by se mělo objevit toto: `x_min: L y_min:L z_min: L`. `L` znamená, že Endstop je volný (nezmáčknutý), pokud je `H` znamená aktivní (zmáčknutý). Pokud se nám někde zobrazuje `H` a polohy os nejsou na začátku, je buď vadný Endstop nebo máme špatně nastavené parametry Endstopu ve firmwaru. V tomto případě se vrátíme na stránky <http://www.repetier.com/firmware/v092/>, zde si natáhneme svou konfiguraci ze souboru `config.json`, který jsme si při první konfiguraci firmwaru uložili. Zde přejdeme do záložky Mechanics a vyhledáme položky Endstops a změníme hodnoty v položkách X min, Y min, Z min. V případě použitých opto-elektrických Endstopů je to Electronic, normály closed. Stáhneme si `Configuration.h` a `config.json`. `Configuration.h` nahrajeme do adresáře, kde máme uložen firmware Reperier hosta a následně firmware nahrajeme do tiskárny. Po zadání příkazu `M119` by mělo být vše v pořádku. Pokud máme u všech Endstopů status `L` a osy jsou podojeté z Home pozice, je vše OK. Teď je na řadě vyzkoušet funkčnost koncových spínačů. V našem případě protneme optozávoru Endstopu vložením neprůhledného předmětu, případně najetím osy na Home pozici příslušné osy. Po zadání příkazu `M119` by se měl status příslušné osy změnit na `H`. Takto vyzkoušíme funkčnost Endstopů všech os.

Na obrázku č. 20 je výřez z programu Repetier-Host a popis záložky Manual Control, kterým můžeme manuálně ovládat jednotlivé funkční celky tiskárny. Popis ovládání osy X je ekvivalentem pro popis ovládání osy Y a Z, s tím rozdílem, že osa Z má ovládací prvky samostatně.

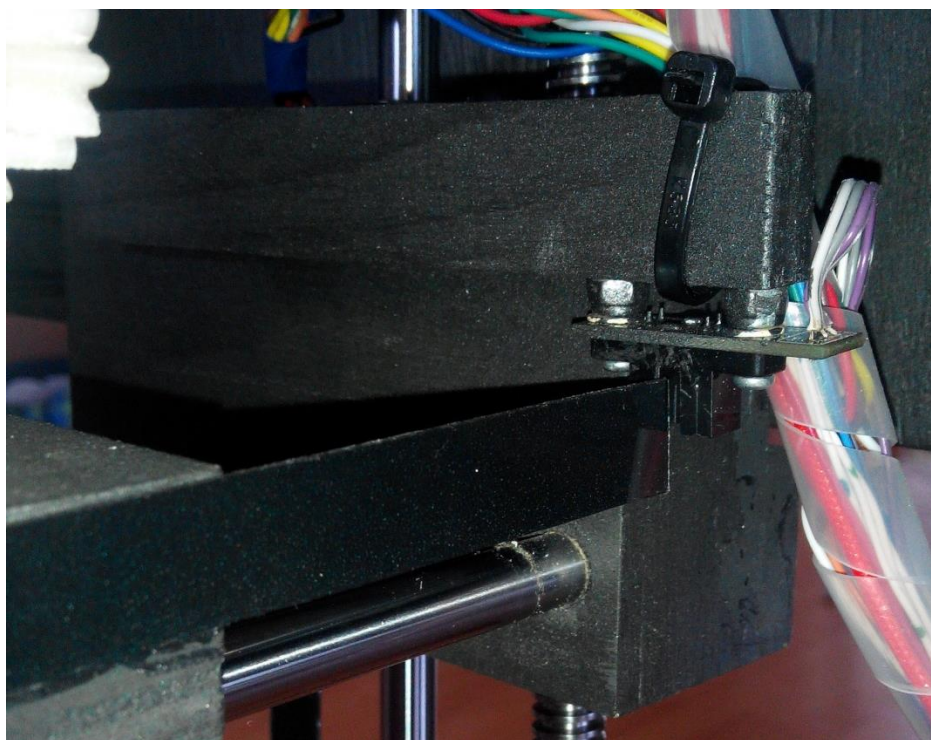


Obrázek č. 20: Popis manuálního ovládání tiskárny v Reperier-Hostu

Je třeba ještě zmínit jednu záležitost ovládání, která není na obrázku vidět. Pokud najedeme na pole s ukazatelem šipky ať už vpřed či vzad, objeví se nám uprostřed kruhu místo nápisu X/Y čísla v rozmezích -50 až 50 (pro osu Z -10 až 10), které nám říkají o kolik a jakým směrem se pohne příslušná osa. Pokud v tuto chvíli klepneme na levé tlačítko myši, příslušná osa je pohne vybraným směrem o daný počet mm. Podobně je to i v případě pohybu motoru extrudéru, kdy pohyb znamená vytlačení (posun) filamentu o příslušný počet mm. U extrudéru je tento pohyb kontrolován firmwarem a pokud není HotEnd natopen na určitou teplotu, pohyb motoru je zablokovan. Tuto ochranu obejdeme buď tak, že vytopíme HotEnd na příslušnou teplotu, což považuji za zbytečné plýtvání materiálem nebo si dočasně upravíme firmware. V případě úpravy firmwaru je třeba jít v Configuration Toolu do záložky Temperature a do položky Minimum extruder temperature zadat „0“. Pak je třeba zase firmware podle výše uvedeného postupu nahrát zpět do tiskárny.

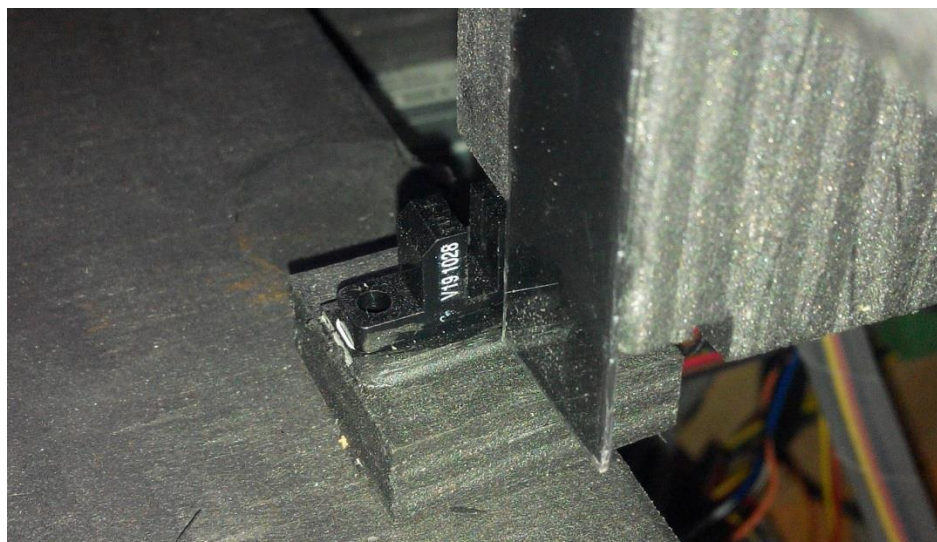
V tuto chvíli je dobré zkalibrovat pohyb os. Návod je uveden na straně č. 42 v sekci Software tiskárny pod odstavcem se základním nastavováním položek firmwaru.

Pokud máme zkalibrované pohyby na osách, je nutné nastavit správnou polohu Endstopů tzn. stanovit, kde má příslušná osa začátek 0. V našem případě je Endstop osy X pevně přišroubován na ramínku vozíku os X a Z. Bod začátku osy X nastavujeme neprůhledným páskem plastu, který jsme přilepili lepidlem Mamut Glue na vozík osy X ve správně zvolené poloze. Endstop osy X je zobrazen na obrázku č. 21. V budoucnu bude Endstop umístěn na vytištěném držáku, který budeme fixovat na vodících tyčích osy X pomocí šroubů.



Obrázek č. 21: Endstop osy X

Osa Y má Endstop přilepen na kousku překližky a následně je zafixován lepidlem Mamut Glue ve správné poloze proti cloně, která je přilepena na držáku jednoho ložiska desky osy Y, tak jak je znázorněno na obrázku č. 22.



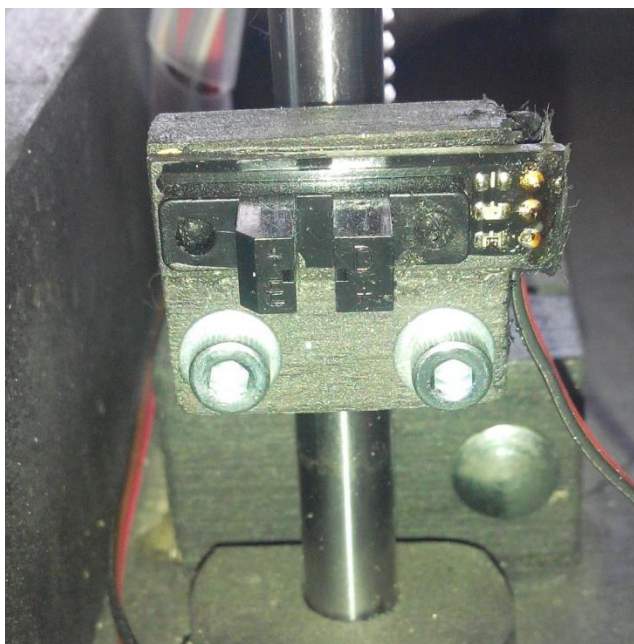
Obrázek č. 22: Endstop osy Y

Nastavitelný držák Endstopu osy Y je již vytištěn a bude vyměněn ve vhodnou chvíli při dalším tuningu tiskárny. Držák je vyfocen na obrázku č. 23. Tento držák byla má první práce na výrobku od návrhu v 3D v softwaru FreeCad až po samotné vytištění součástky.



Obrázek č. 23: Vytištěný budoucí držák Endstopu osy Y

Pro Endstop osy Z jsme vyrobili držák, který je posuvný po ose Z. Je fixován dvěma šrouby. Clona je zalepena mezi dva kousky překližky a následně je celá sestava přilepena zespod vozíku os Z a X. Tento Endstop je vyobrazen na obrázku č. 24.



Obrázek č. 24: Endstop osy Z

Kalibrace osy Z je složitější než u dvou zbývajících. U osy X a Y si stačí vybrat místo, kde chceme, aby byl začátek os a podle toho umístíme Endstop. U osy Z je třeba nejdříve vyrovnat tiskovou podložku, aby měla vzdálenost od HotEndu na všech místech stejnou. Na tiskovou podložku umístíme sklo, na kterou budeme tisknout. Povrch skla se dále upravuje. Je několik postupů, jak upravit povrch. Záleží hlavně na použitém tiskovém materiálu a na velikosti tištěného objektu, respektive velikosti jeho základny. Zde se omezíme na tisk z ABS plastu. Máme několik možností, jak povrch upravit. Sklo je nejdříve třeba odmastit. Pro tisk malých objektů stačí sklo nastříkat lakem na vlasy. U větších předmětů můžeme použít natření skla tzv. ABS juicem. ABS juice připravíme tak, že kousky cca 10 mm ABS natural rozředíme v 10 ml acetonu. Povrch skla následně potřeme tyčinkovým lepidlem Kores, necháme pár minut zaschnout a na takto připravenou vrstvu natřeme ABS juice. Necháme zaschnout a můžeme začít tisknout. Další možností je nalepit na sklo Kaptonovou pásku, kterou následně zdrsňujeme jemným smirkem. Kaptonovou pásku levně zakoupíme na www.ebay.com pod názvem Kapton Tape. Na takto upravené sklo lze bez problémů tisknout i větší objekty. HeatBed je z důvodu možnosti nastavování ve svislém směru přichycen k desce osy Y pomocí imbusových šroubů M3 a mezi HeatBed a deskou je vložena pružinka, která umožňuje HeatBedu v případě, že by do něj omylem narazila tisková hlava pohyb dolů. Pomocí těchto imbusových šroubů nastavíme správnou polohu vůči HotEndu tiskové hlavy. Na obrázku č. 25 je vyfoceno uchycení HeatBedu. Kolem každého rohu jsem nalepil lepidlem Mamut Glue vytištěné opory, které umožňují HeatBedu pohyb ve vertikálním směru, ale

zamezují pohybu tiskové podložky ve směru osy X a Y, což se bez této opory při zrychleních, která nastávají při změnách směru os děje.



Obrázek č. 25: Sestava uchycení HeatBedu k desce osy Y

Po ustavení tiskové podložky ve správné poloze vůči HotEndu je třeba nastavit výšku HotEndu při nulové poloze. V této poloze by se měl HotEnd dotýkat tiskové podložky. Nahrubo toto nastavení provedeme pomocí posunu Endstopu po ose Z, nejemno tzn. v řádech milimetrů nám bude v případě použitého HotEndu stačit povolit imbusový šroub na chladiči HotEndu a tím nám sjede tryska na povrch skla tiskové podložky. Imbusový šroub opět utáhneme a tím je kalibrace osy Z u konce.

Před prvním samotným tiskem je třeba ověřit zda funguje vyhřívání tiskové plochy. To provedeme v Repetier-Hostu v záložce Manual Control poklepem na ikonu HeatBedu. Zároveň si v tom samém místě zkontrolujeme, zda nám termistory HeatBedu a HotEndu ukazují zhruba stejnou teplotu, která odpovídá realitě. Pokud by se objevily čísla v záporných hodnotách, bude buď vadný termistor nebo není připojen, případně se může stát, že používáme nestandardní termistor. V tomto případě existují návody na internetu, které nám pomohou nestandardní termistor zapojit a hlavně zkalibrovat pro použití v naší tiskárně. V našem případě nahřátí tiskové podložky na teplotu 120 °C trvá zhruba 15 minut. Pokud vytopení trvá delší dobu, případně podložka nejde natopit na vyšší teploty, je třeba hledat závadu buď ve velkém odporu vyhřívané tiskové podložky (odpor podložky změříme

Ohmmetrem, měl by být kolem 1 Ω) nebo v poddimenzovaných vodičích zásobujících HeatBed el. proudem, případně je třeba doplnit tepelnou izolaci pod samotný HeatBed. Problém může být dále ve vratných pojistkách na desce RAMPS, které jsou standardně poddimenzované už z výroby nebo může být poškozen výkonový tranzistor, který řídí el. proud vstupující do HeatBedu.

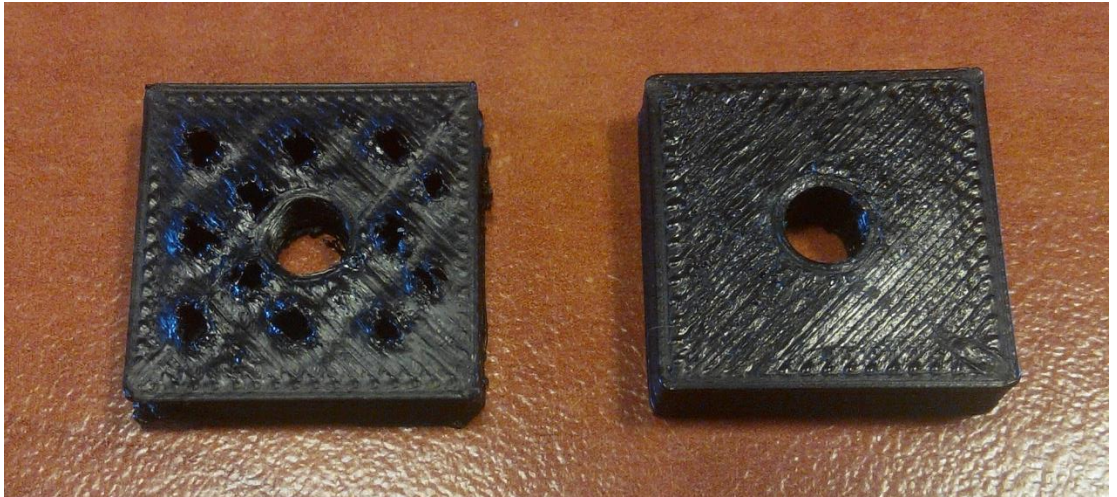
Nakonec je třeba zkontrolovat, zda nám natápí HotEnd. Postup je obdobný jako v případě HeatBed, s tím rozdílem, že HotEnd je natopen mnohem dříve, jelikož jeho vyhřívací tělísko má 40 W a tepelné ztráty HotEndu jsou mnohem menší oproti HeatBedu.

Před prvním tiskem je třeba nakalibrovat teplotu na HotEndu. To provedem tak, že povolíme přítlačné pružiny ma ColdEndu, které nám přitlačují skrz ložisko 608 filament na podávací šroub, necháme HotEnd natopit na teplotu, kterou uvádí výrobce filamentu jako vhodnou pro tisk a zkusíme protlačit rukou filament přes HotEnd. Teplotu HotEndu nastavujeme tak dlouho, až bude možné filament bez velkého odporu portlačit HotEndem. Musíme dávat pozor, aby teplota nebyla příliš vysoká a nezačala nám filament přepalovat. To poznáme podle praskání a bublinkování filamentu.

Tím jsme dokončili kalibraci tiskárny na fyzické úrovni a na úrovni firmwaru. Pokud jsme vše nastavili správně, další případné ladění bude probíhat v rámci softwaru, který vytváří G-kód. Ten obsahuje všechny příkazy pro tiskárnu vytvářející požadovaný 3D objekt. Všeobecně se tomuto softwaru říká Slicer.

V rámci softwarového řešení Repetier-Host máme k dispozici 3 slicery: Slic3r, Skeinforge, CuraEngine. Na začátku je třeba říct, že pokud používáme ve Windows uživatelské jméno s diakritikou, nebude nám fungovat konfigurace programu Slic3r. Tento software si vytváří v uživatelském adresáři svůj pracovní adresář a jelikož neumí korektně pracovat s diakritikou, není schopen adresář vytvořit a konfigurace Slic3r končí chybou. Potíže jsme zaznamenali i při použití Curaengine, kdy nám software špatně generoval G-kód s nastavenými teplotami. Slicer Skeinforge jsme zatím vynechali z důvodu jeho odlišného nastavování a nedostatku informací o významech jednotlivých parametrů. Pokud je tisk objektu v pořádku i při použití standardního nastavení slicerů, není třeba přistupovat k dalším opatřením. V našem případě se nám nelíbil výsledný povrch vrchní vrstvy. Proto jsme se rozhodli nainstalovat Slic3r jako samostatný software a pracovat s ním při vytváření G-kódu. Instalace není vůbec složitá, stačí si z <http://slic3r.org/download> stáhnout správnou verzi pro náš operační systém a spustit instalaci. Dále vše pokračuje automaticky. Zkoušeli jsme i experimentální verzi 1.2.6, ale výsledky tisku byly neuspokojivé. Proto doporučujeme používat verze označené jako Stable. Po zkoumání g-kódu jsme zjistili, že nám software

generuje pouze 3 vrchní vrstvy. Doporučováno je minimálně 6 vrchních vrstev, aby byl povrch v pořádku. Použili jsme 4 vrstvy a vrchní povrch vypadal dobře. Na obrázku č. 26 jsou vyfoceny testovací hranolky (20 x 20 x 5) mm s dírou o průměru 5 mm. Vlevo je objekt před vyladěním a vpravo po vyladění. Vlevo jsme tiskli teplotou 240 °C na podložku teplou 100 °C s lakem na vlasy, byly nastaveny 3 vrchní vrstvy. Objekt vpravo byl tištěn při teplotě HotEndu 220 °C a teplota na HeatBedu byla 120 °C, na vrchní vrstvu byly použity 4 vrstvy.



Obrázek č. 26: vytištěné hranolky před odladěním a po odladění

Nyní si popíšeme možnosti nastavování parametrů ve Slic3r. ve verzi 1.1.7. Hlavní součástí softwaru jsou 4 záložky označené jako Plater, Print Setting, Filament Setting, Printer Setting. Na obrázku č. 27 je screenshot obrazovky spuštěného programu Slic3r. V levé části je navíc plocha, která znázorňuje tiskovou plochu a je určena pro umístění objektu na místo, kde chceme, aby byl objekt vytištěn.

Záložka Plater obsahuje mimo jiné položky:

Add – přidání objektu, spočívá v importu souboru ve formátu STL, OBJ a AMF

Delete – smaže objekt z plochy

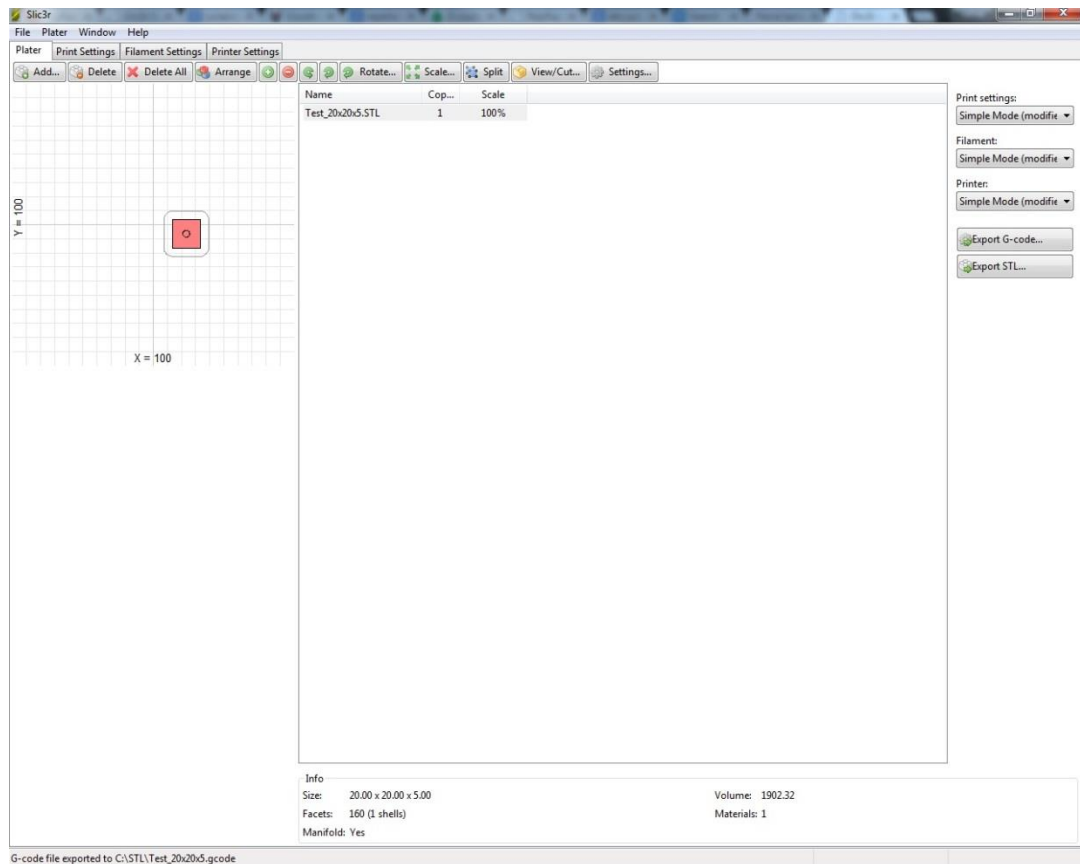
Rotate – objektem můžeme otáčet

Scale – objekt můžeme tisknout v různém měřítku

Split – spojuje části dohromady

Settings – v této volbě můžeme podrobně nastavit, jak se má G-kód pro daný objekt vygenerovat. Lze zde třeba nastavit, že se infill (vnitřní vrstvy) budou tisknout tlustší vrstvou např. 0.4 mm a perimeters (obvody) tenčí vrstvou např. 0.1. Tímto nastavením dojde ke

zrychlení tisku a přitom zůstane povrch objektu v dobré kvalitě. Dá se zde nastavit, že se jednotlivé části (vrstvy) budou tisknout v různých vrstvách, kdy můžeme vrstvy



Obrázek č. 27: Screenshot programu Slic3r

s podrobnostmi či oblouky tisknout s větším rozlišením (menší tloušťka vrstvy) a zbytek nižším rozlišením. Tím dojde také ke zrychlení a neutrpí kvalita tisku. Je zde možné si vyladit tisky k dokonalosti. Tohle už ale považuji za vyšší level nastavování tisků a nechal bych ho až na dobu, kdy plně zvládneme běžný tisk objektů.

V pravé horní části si můžeme vybrat předem uložené konfigurace záložek Print Setting, Filament, Printer. Pod nimi je důležitá volba a to Export G-code. Touto volbou bude provedeno rozřezání objektu na vrstvy a vytvoření G-kódu pro tisk.

Záložka Print Setting obsahuje možnosti úpravy parametrů, které nám ovlivní tisk objektu. Je zde i ikona diskety, která slouží pro uložení aktuálního nastavení tiskových parametrů.

Je rozdělena do několika sekcí, ve kterých si popíšeme nejdůležitější parametry:

1. **Layers and perimeters** – zde se nastavují základní parametry vrstev a obvodů.

- a. *Layer height* – zde nastavíme výšku vrstvy (vyšší číslo znamená rychlejší tisk, ale nižší rozlišení tisku), výška vrstvy by neměla být vyšší než je průměr trysky, taky bychom měli brát v potaz přesnost rozměrů (pokud je třeba předmět vysoký

20 mm, těžko tohoto rozměru dosáhneme výškou vrstvy 0.3 mm). V našem případě používáme 0.25 mm.

- b. *First layer height* – toto číslo nám říká, jak bude vysoká první vrstva. Musíme si uvědomit, že první vrstva nám zajišťuje, jak dobře bude objekt držet na tiskové podložce. Proto se většinou první vrstva tiskne vyšší a k tomu se nastavuje i větší šířka vlákna většinou 200 % (viz. položka *Advanced*). Pokud použijeme nižší výšku první vrstvy je dobré adekvátně zvětšit šířku vrstvy např. na 300 %.
 - c. *Perimeters (minimum)* – tento parametr udává, kolik vláken se vytiskne kolem obvodu objektu (síla stěny). Čím více vláken nastavíme, tím bude objekt pevnější.
 - d. *Solid layers – Top* – počet plných vrstev, které se vytisknou na vrchu objektu, *Bottom* – počet plných vrstev na dně objektu.
2. **Infill** – těmito parametry nastavíme výplně objektů.
- a. *Fill density* – procenta výplně objektu, čím vyšší procenta nastavíme, tím bude objekt pevnější a tisk bude pomalejší.
 - b. *Fill pattern* – zde vybereme, jakým vzorem bude výplněn vnitřek objektu, *rectilinear* bude rychlý, ale méně pevný než *honeycomb*.
 - c. *Top/bottom pattern* – touto volbou nastavujeme vzor vrchních a spodních plných vrstev.
 - d. *Combine infill every* – toto číslo udává hustotu výplně ve vertikálním směru, 1 znamená, že výplň bude v každé vrstvě, 2 znamená, že výplň bude v každé druhé vrstvě.
 - e. *Solid infill every* – udává, že každá n-tá vrstva výplně bude plná.
 - f. *Infill before perimeters* – pokud tuto volbu zatrhneme, bude se nejdříve tisknout výplň objektu a až pak obvodová vlákna.
3. **Speed** – zde se nastavují rychlosti tisku, pokud změníme rychlost, je třeba i upravit příslušným směrem i teplotu *HotEndu*. S vyšší rychlostí nám může klesnout i kvalita povrchu objektu. Je dobré tyto parametry nechat, tak jak jsou nastaveny, vyladit tisk a pak v případě potřeby měnit rychlosti a k nim doladit teplotu *HotEndu*.
4. **Skirt and brim** – tato volba obsahuje parametry, které slouží pro podporu začátku tisku.
- a. *Skirt* - vytiskne vlákno tiskového materiálu ve vzdálenosti danou parametrem *Distance from object* od objektu. Je dobré této funkce využít, protože si tím zajistíme dostatek roztopeného materiálu ihned pro začátek ostrého tisku. Pokud zvýšíme parametr *Skirt height*, získáme bariéru kolem objektu, která bude bránit

- průvanu přístupu k první vrstvě a tím se zlepší přilnavost objektu na tiskovou podložku.
- b. *Brim* – tento parametr přidá další obvodové vrstvy k první vrstvě a zajistí nám větší plochu, kterou je objekt přichycen k tiskové podložce.
5. **Support material** – slouží k vytvoření podpěr pro objekty, které mají velké převislé díly, které bychom jinak nevytiskli.
 6. **Notes** – zde si můžeme zapsat poznámky k nastavení slic3ru, třeba pro určitý materiál a ty budou připojeny ke G-kódu.
 7. **Output options** – tato volba umožňuje nastavení výstupních parametrů.
 - a. *Complete individual objects* – pokud tiskneme více objektů, můžeme zde zadat požadavek, že chceme nejdříve vytisknout jeden objekt a pak teprve přejít na druhý. Je potřeba zadat i parametry v Extruder clearance, které zabezpečí, že tisková hlava nenarazí od již vytištěného předmětu.
 - b. *Output filename format* – zde si můžeme nastavit formát jména výstupního souboru G-kódu.
 8. **Multiple Extruder** – tato sekce slouží pro nastavení tisku v případě použití více extrudérů. Můžeme si nastavit, které části objektu budou daným extrudérem.
 9. **Advanced** – v této sekci si můžeme nastavit šířku vlákna. Pokud necháme 0, bude šířka vlákna nastavena automaticky. Důležitá je hodnota parametru First layer, kterým nastavujeme šířku první vrstvy.

V záložce Filament Settings se nastavují parametry filamentu a chlazení.

1. Filament

- a. *Diameter* – zde se uvede skutečný průměr vlákna filamentu
 - b. *Temperature Extruder* – říká nám na jakou teplotu se bude ohřívat HotEnd a tím i tavit filament, je zde teplota zvlášť pro první vrstvu a pro zbytek vrstev.
 - c. *Temperature Bed* – tady se nastavuje teplota tiskové podložky, zase rozděleno nastavení pro první vrstvu a pro zbytek objektu.
2. **Cooling** – zde si můžeme nastavit parametry přidavného větráku, který bude chladit tištěný předmět. Toto nastavení je poněkud problematické v případě použití ABS. V tomto případě potřebujeme mít zajištěnu, co nejvyšší teplotu HeatBedu a případné použití větráku by nám mohlo snížit jeho teplotu a mohl by se nám objekt odtrhnout od podložky během tisku. Větrák by měl chladit pouze čerstvě tisknutou vrstvu.

I tato záložka obsahuje ikonu diskety, která nám poslouží pro uložení aktuálních parametrů Filament Settings.

V záložce Printer Settings nastavujeme parametry tiskárny. Je rozdělena do 3 sekcí:

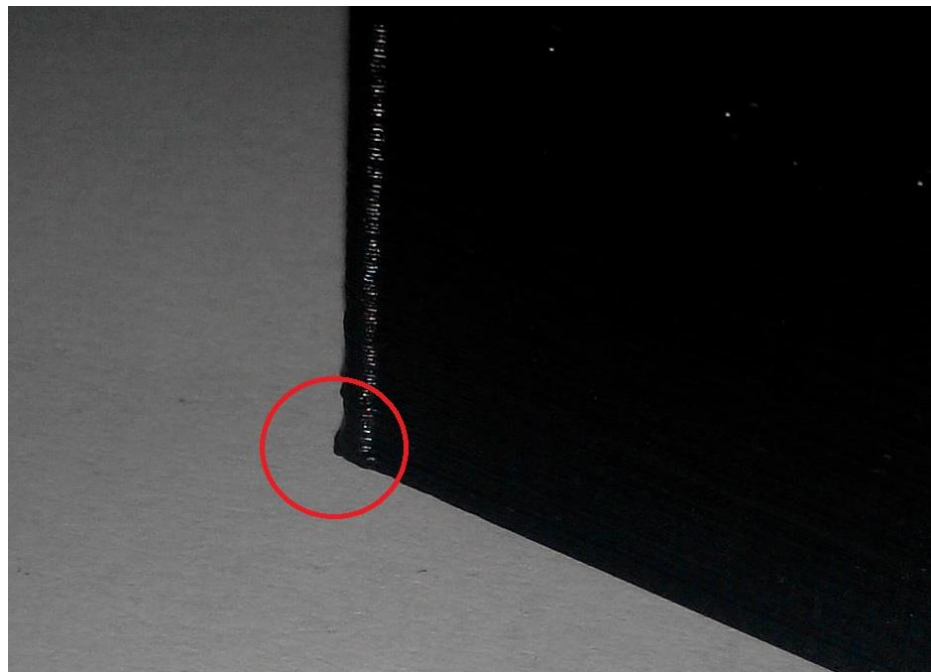
1. **General** – zde nastavujeme velikost tiskové plochy (Bed Size), jaký firmware používáme v tiskárně, počet extrudérů (Capabilities Extruders)
2. **Costum G-code** – na začátek generovaného G-kódu (Start G-code) může slicer přidat námi zvolené příkazy. To samé platí o pro konec generovaného G-kódu (End G-code)
3. **Extruder 1** –tato volba slouží pro nastavení parametrů extrudéru
 - a. *Nozzle diameter* – zde zadáme průměr trysky
 - b. *Retraction Length* – parametr, který určuje kolik mm filamentu se „nasaje“ zpět při přejezdech tiskové hlavy. Zamezuje „slintání“ materiálu během přejezdů.
 - c. *Retraction Lift Z* – uvádá nám, o kolik popojede tisková hlava ve směru osy Z, než dojde k přejezdu. Zamezuje „rýpání“ se hlavy ve vytištěné vrstvě při přejezdech. Umožňuje použít vyšší rychlosti na přejezdy tiskové hlavy.
 - d. *Retraction Speed* – zde zadáváme rychlost pohybu při přejezdech.

Tímto jsme si popsali použití a možnosti nastavení programu Slic3r. Teď stačí vygenerovaný G-kód načíst jako soubor v Repetier-Hostu a nechat vytisknout na tiskárně. Při ladění tisku je dobré si ověřit skutečný průměr trysky HotEndu obzvláště, pokud jsme HotEnd koupili v Číně. Je běžné, že neodpovídá průměr trysky a že otvor trysky je mimo osu trysky. Samotné ladění tiskárny si ulehčíme tím, že použijeme kvalitní komponenty a kvalitní tiskový materiál. Použili jsme ABS filament od firmy 3Dfactory o průměru 1.75 mm. Zjistili jsme, že tento materiál je vhodný na menší předměty, lépe řečeno na předměty s menší základnou. Zkoušeli jsme tento materiál odladit na tisk předmětu se základnou (120 x 120) mm. První vrstva se vytiskla bez problémů. Druhá vrstva však buď rychle tuhla a nestačila se dobře spojit s předchozí vrstvou nebo nestíhá nahřívát extrudér materiál. Podle informací, které jsme získali na internetových diskuzích, se zdá, že mezi levné a dobré materiály ABS patří výrobky firmy Fillamentum. Dobrý materiál nám ušetří mnoho hodin a nervů nad zbytečným laborováním a nastavováním tiskových parametrů.

S dalším problémem, se kterým se můžeme setkat, jsou menší rozměry vnitřních otvorů při zachování správných vnějších rozměrů. Tento jev může mít několik příčin. Prvním z nich je smrštitelnost materiálu při chlazení tištěného výrobku. Druhou příčinou může být nízké rozlišení polygonů při exportu modelu do STL. Povrch v souboru STL se totiž skládá ze samých trojúhelníků a pokud exportujeme zaoblený otvor, jeho obrys je ve tvaru

mnohoúhelníku. Čím vyšší je rozlišení (větší počet trojúhelníků), tím bude kruhový otvor přesnější. Příčinou zmenšení vnitřních otvorů může být i fakt, že při tisku dochází k akceleracím a tím i ke vzniku setrvačných sil. Tyto síly mohou způsobit pohyb tiskové podložky obzvláště, pokud je uchycena pomocí šroubů a pružinek. Pak jednotlivé vrstvy neleží jedna na druhé, ale mohou být oproti sobě posunuty a tím dochází ke zmenšení díry. Tento jev by měl mohl mít vliv i na vnější rozměry tištěného předmětu. V případě, že požadujeme přesné rozměry i vnitřních otvorů (kruhové se dají lehce převrtat), měli bychom vytvořit model, ten vytisknout a pokud má menší vnitřní otvory, je třeba model upravit (na modelu zvětšit vnitřní otvory o zmenšení, ke kterému došlo během tisku) a znovu ho vytisknout.

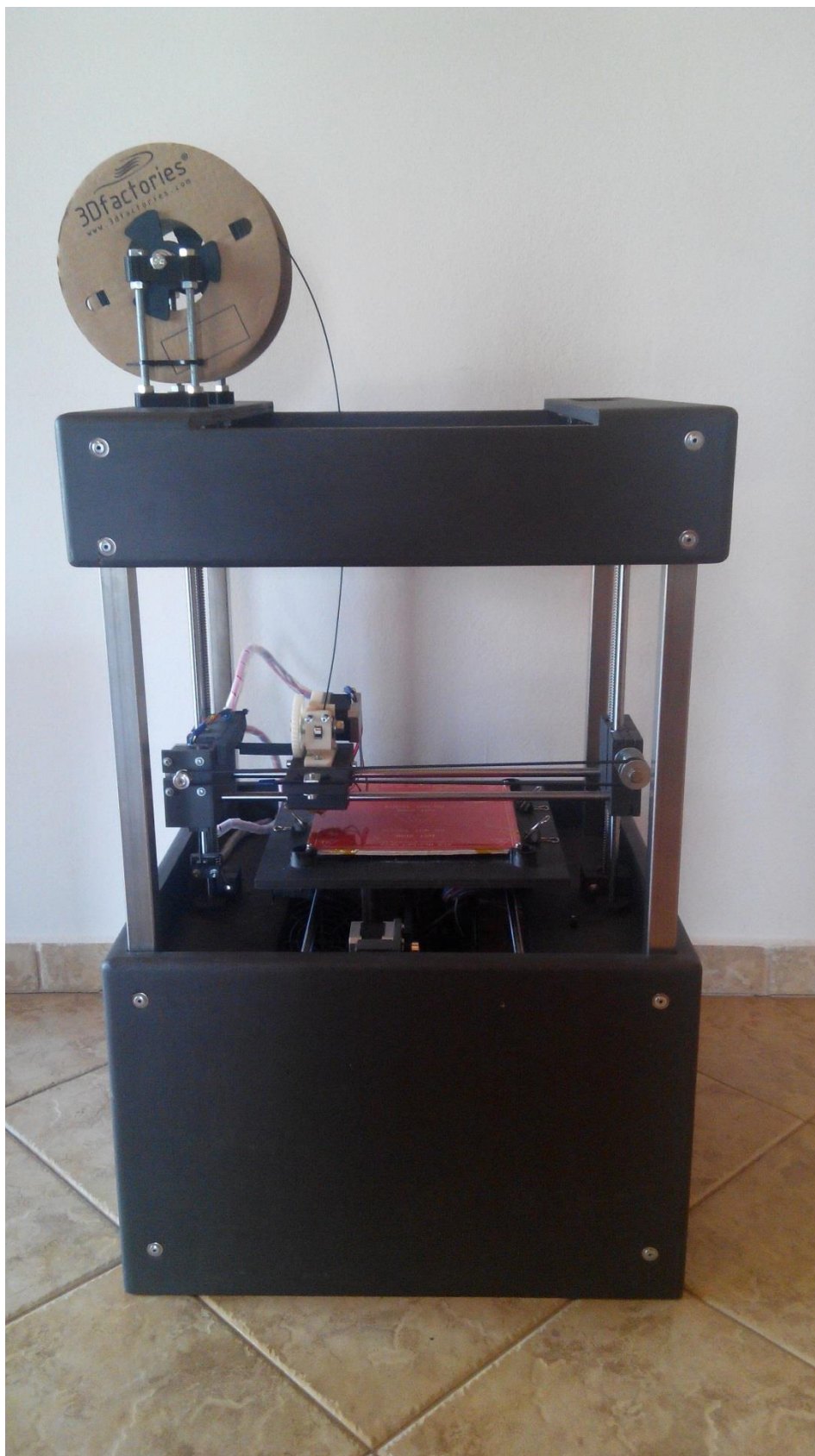
Dost často se při 3D tisku vyskytuje je tzv. sloní noha. Na obrázku č. 28 je označena červeným kroužkem. Je způsobena tím, že je první vrstva standardně tisknuta s 200 % šířkou než ostatní vrstvy a to z důvodu vyšší přilnavosti objektu na tiskovou podložku. U většiny výtisků není tento jev na překážku. Sloní nohu můžeme odstranit buď následným opracováním výtisku, nebo můžeme ve fázi modelu vytvořit na spodní straně předmětu úkos o velikosti 0.5 mm a úhlu 45°.



Obrázek č. 28: „sloní noha“ jako častý jev u 3D výtisku

Tímto by měla být problematika stavba 3D tiskárny vyřešena a můžeme se podívat, jak tuto tiskárnu využít při výuce na základní a střední škole. Na obrázku č. 29 je vyfocena

komplet postavená 3D tiskárna. V další kapitole si tedy popíšeme využití 3D tiskárny ve výuce.



Obrázek č. 29: fotografie postavené 3D tiskárny

2 Praktické využití 3D tiskárny při výuce

3D tiskárna nám velice dobře může posloužit při výuce na základní i střední škole. Jednak může sloužit jako didaktická pomůcka samo o sobě, může didaktické pomůcky pomáhat vytvořit a může být nápomocna při tvorbě žákovských pomůcek. Využití 3D tiskárny na základní škole popisuje následující kapitola.

2.1 Využití 3D tiskárny při výuce na základní škole

V případě základní školy bychom viděli její využití v oblasti motivace nebo hodnocení a v oblasti tisku didaktických a kompenzačních pomůcek.

V oblasti motivace a hodnocení můžeme zorganizovat soutěž o nejlepšího žáka třídy, ročníku či školy, soutěž o nejslušnějšího žáka třídy, ročníku a školy apod. Tyto soutěže se mohou cyklicky opakovat. Výrobky z 3D tiskárny by měly sloužit jako motivace pro dobré chování, zlepšení se v učení apod. Každý vítěz dostane možnost si z kolekce vhodně vybraných předmětů nechat jeden vytisknout. Zásadní je výběr vhodných (atraktivních) předmětů, jejichž předloha by se před tiskem v CAD programu označila jménem vítěze, aby byla zajištěna autenticita předmětu a tím jeho atraktivnost.

Využití při tvorbě didaktických pomůcek lze výhodně využít stránek www.thingiverse.com, což je databáze předmětů obsahující soubory, díky kterým můžeme předměty vytisknout, případně i upravit v cad programu. Můžeme zde najít modely DNA šroubovic, proteinů, krystalových mřížek, funkční modely různých motorů, převodovek a různých jiných mechanismů apod., které s úspěchem můžeme použít jako názorných pomůcek. Na obrázku č. 30 je zobrazen model planetové převodovky, který si můžeme stáhnout a vytisknout. Případně není problém si potřebnou pomůcku zkonstruovat v CADu a následně vytisknout.

3D tiskárna nám může sloužit i jako výrobní prostředek pro tvorbu kompenzačních pomůcek pro jedince s handicapem. Do této kategorie patří různé násadky na psací potřeby, které těmto osobám usnadňují výuku psaní, individuální úpravy myší, trackballů, konstrukce individuálně upravených klávesnic. Můžeme se zařadit i speciální pomůcky, které slouží ke kompenzaci vývojových poruch školních dovedností, jako jsou čtecí okénka, barevné kostky, barevná písmena pro dyslektiky či barevné hranoly sloužící k nápravě dyskalkulie apod.



Obrázek č. 30: model planetové převodovky vytištěný na 3D tiskárně (43)

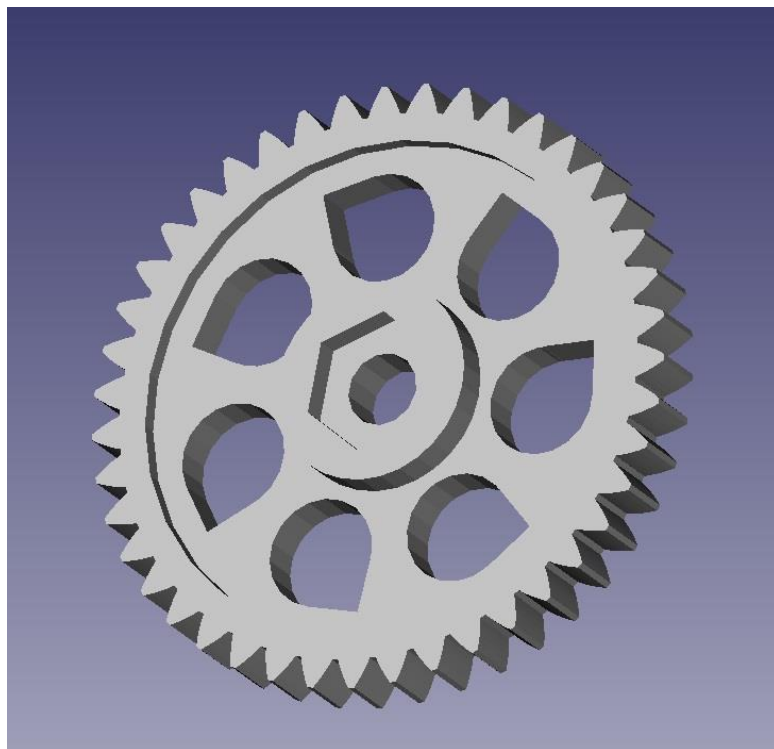
3D tisk se pomalu, ale jistě stává, nedílnou součástí naší společnosti. Dobrá znalost používání této technologie bude v brzké budoucnosti stejně potřebná, jako je dnes nutná počítačová gramotnost. Proto by měla být této technologii věnována již dnes větší pozornost při výuce aspoň na středních školách. V následující kapitole si popíšeme možnosti využití 3D tiskárny při výuce na středních školách.

2.1 Využití 3D tiskárny při výuce na střední škole

Stejně jako v případě základní školy i na střední škole se využívá mnoho modelů jako jsou didaktické pomůcky ve fyzice, chemii apod. , které mohou být vytištěny na 3D tiskárně. Například na gymnáziích je ve vzdělávací oblasti Matematika a její aplikace ve vzdělávacím obsahu geometrie úsek rozvíjení geometrického vidění a prostorové představivosti. V rámci výuky této oblasti by bylo praktické využít pro zlepšení představivosti modely řezů geometrických těles různými rovinami, které můžeme na 3D tiskárně vytisknout.

Na středních školách probíhá vzdělávání problematiky práce s grafickými editory. Ať už je to práce s vektorovou grafikou, tak i práce s rastrovou grafikou, vždy je u studentů hlavním problémem představit si konstruovaný předmět v reálu. V případě použití 3D tiskárny je možné, ihned po vytvoření modelu v 3D konstrukčním softwaru, jeho tisk a následně si může student ověřit správnost své práce. Navíc díky této možnosti studenti získávají kladný vztah k této technice a vyučovací hodiny se stávají pro studenty atraktivnější. Obrázek č. 31 zobrazuje vymodelované ozubené kolo ve FreeCADu, určené pro extrudér naší tiskárny. Na obrázku č. 32 je vyfoceno to samé kolo vytištěné na 3D tiskárně. Navíc při návrhu a realizace samotného tisku, procházejí studenti celou technologií od

návrhu, přes CAM systémy až po samotný tisk a tím se seznamují se základy CNC výroby, která v dnešní době prožívá boom a je předmětem výuky na středních průmyslových školách příslušného zaměření.



Obrázek č. 31: model ozubeného kola



Obrázek č. 32: vytištěné ozubené kolo z předchozího obrázku

V RVP pro obor vzdělávání 23-41-M/01 Strojírenství jsou v rámci odborných kompetencí požadavky: navrhovat a konstruovat strojní součásti, mechanismy a části strojů,

nástroje, nářadí, přípravky aj. výrobní pomůcky apod. Díky 3D tiskárně může být tato výuka zefektivněna možností, že to co zkonstruuji, to mohu hned vytisknout a zjistím, zda a jak daný mechanismus či jiný výtvar funguje. V rámci požadavků: navrhovat způsoby, technická zařízení, nářadí, nástroje apod. nám 3D tiskárna ukazuje, jak se mění technologie návrhu předmětů a tvorby prototypu. Student získá nejen představu, jak se prototypuje, ale sám si tuto technologii může v rámci vyučování vyzkoušet. Na technologii 3D tisku vidí, jak se technologie návrhu zjednodušuje, získává k ní kladný vztah a motivaci do další práce.

Použití 3D tiskárny otevírá nové možnosti i v oblasti umění. Nabízí nám novou technologii výroby například soch. Proces výroby sochy je velice zjednodušen. Stačí sochu navrhnout v 3D a pak ji stačí už pouze vytisknout. Samozřejmě pro samotný tisk velkých soch naše tiskárna sloužit nemůže, ale mladí umělci na středních průmyslových uměleckých školách si mohou tuto technologii osvojit a zmenšený model své práce vytisknout.

V neposlední řadě existuje vzdělávací obor 26-41-N/01 Elektrotechnika zaměřený na mechatronické systémy, v jehož rámci mohou studenti 3D tiskárnu postavit a tím získat jak schopnosti a dovednosti potřebné pro stavbu mechatronického systému, tak hmatatelně uvidí výsledky své práce. V oboru zaměření Informační a řídicí technika se studenti seznamují s programováním PLC automatů, návrhem a realizací řídicích algoritmů. Při práci na stavbě 3D tiskárny studenti získávají zkušenosti s programováním mikropočítačů, mohou rozvíjet své dovednosti v této oblasti a tiskárnu různým způsobem upravit např. je vhodné tiskárnu vybavit LCD displejem, ovládáním pomocí rotačního enkodéru a čtečkou SD karet. Studenti se tímto naučí orientovat v kódu firmwaru 3D tiskárny a prakticky vytvoří z tiskárny nezávislé zařízení na PC.

Tímto můžeme uzavřít výčet základních možností využití 3D tiskárny v rámci výuky na základních a středních školách.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření praktického návodu, jak postavit 3D tiskárnu, jak ji odladit a jak tuto novou technologii využít při výuce na základních a středních školách.

V teoretické části je definován pojem 3D tisk, dále jsou popsány jednotlivé technologie 3D tisku, které jsou v současnosti k dispozici. Zmínili jsme i historii 3D tisku a možné cesty, kterými se 3D tisk bude v blízké budoucnosti ubírat. Jsou zde popsány platformy 3D tisku, které jsme si rozdělily na komerční platformy a Open source platformy. Z informací, které jsme získaly, vyplynulo, že nejlepší cesta stavby 3D tiskárny v amatérských podmínkách je využít Open source platformu RepRap a na jejím základě postavit 3D tiskárnu.

Aplikační část je rozdělena do dvou hlavních kapitol. První se zabývá samotnou stavbou 3D tiskárny a její kalibrací, které je velice důležitá pro kvalitní 3D tisk. Samotná stavba je členěna na stavbu mechanické konstrukce, zapojení elektroniky tiskárny a kalibraci tiskárny. V části věnované stavbě konstrukce tiskárny popisujeme vlastní konstrukci, která vychází z požadavků dobré kvality výsledných 3D tisků, jsou zde uvedeny všechny důležité detaily konstrukce. V části věnované zapojení elektroniky je popsáno, jak správně propojit všechny důležité komponenty a jak provést některé vylepšení, která odstraňují nedostatky použitých dílů. Úsek věnovaný kalibraci tiskárny popisuje samotné odladění tiskárny a je zde pospán CAM software Slic3r a jeho důležité parametry ovlivňující výsledný 3D tisk.

Druhá část aplikační části se zaměřuje na využití 3D tiskárny při výuce. Je rozdělena na dvě části a to využití 3D tiskárny při výuce na základních školách a využití 3D tiskárny při výuce na středních školách. Jsou zde uvedeny základní možnosti použití 3D tiskárny při výuce.

Závěrem můžeme říci, že 3D tisk je velmi perspektivní a rychle se rozvíjející technologie, která v blízké době bude běžnou součástí našich životů, a proto je v zájmu všech nás, aby se této problematice věnoval čas při výuce na našich školách.

Příloha č. 1: Katalogový list ložiska LM10UU



MODEL NO.	NUMBER OF BALL	MAIN DIMENSIONS										BASIC LOAD RATING		
		ID		OD		LENGTH		CIRCLIP GROOVE		ECCENTRICITY		C(kgf)	Co(kgf)	
		dr	TOLERANCE	D	TOLERANCE	L	TOLERANCE	B	TOLERANCE	D1	W			
LM04UU(AJ)	4	4	0	8	0	12	0						9	13
LM05UU(AJ)	4	5	-0.008	10	-0.009	15	-0.12	10.2		9.6	1.1	0.008	17	21
LM6UU(AJ)	4	6		12	0	17		13.5		11.5	1.1		21	27
LM8SUU(AJ)	4	8		15	0	19		11.5		14.3	1.1		18	23
LM8UU(AJ)	4	8	0	15	-0.011	24	0	17.5	0	14.3	1.1		27	41
LM10UU(AJ)	4	10		19	0	29	0	22	-0.20	18	1.3	0.012	38	56
LM12UU(AJ)	4	12	-0.009	21	0	30	-0.20	23		20	1.3		42	61
LM13UU(AJ)	4	13		23	-0.013	32		23		22	1.3		52	79
LM16UU(AJ)	5	16		28	0	37		26.5		27	1.6		79	120
LM20UU(AJ)	5	20	0	32	0	42		30.5		30.5	1.6		88	140
LM25UU(AJ)	6	25		40		59		41		38	1.85	0.015	100	160
LM30UU(AJ)	6	30	-0.010	45	-0.016	64	0	44.5	0	43	1.85		160	280
LM35UU(AJ)	6	35	0	52	0	70		49.5		49	2.1		170	320
LM40UU(AJ)	6	40		60		80	-0.30	60.5	-0.30	57	2.1	0.02	220	410
LM50UU(AJ)	6	50	-0.012	80	-0.019	100		74		76.5	2.6		390	810
LM60UU(AJ)	6	60	0	90	0	110		85		86.5	3.15		480	1020
LM80UU(AJ)	6	80	-0.015	120	-0.022	140	0	105.5	0	116	4.15	0.025	750	1700
LM100UU(AJ)	6	100	0-0.020	150	0-0.025	175	-0.40		-0.40	145	4.15		1450	3600

Příloha č. 2: Ukázka G-kódu

```
G21      ;metric values
G90      ;absolute positioning
M82      ;set extruder to absolute mode
M107     ;start with the fan off
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0    ;move Z to min endstops
G1 Z15.0 F9000 ;move the platform down 15mm
G92 E0    ;zero the extruded length
G1 F200 E3 ;extrude 3mm of feed stock
G92 E0    ;zero the extruded length again
G1 F9000
;Put printing message on LCD screen
M117 Printing...

;Layer count: 17
;LAYER:0
M107
G0 F9000 X76.400 Y76.400 Z0.300
;TYPE:SKIRT
G1 F1200 X103.600 Y76.400 E1.35701
G1 X103.600 Y103.600 E2.71403
G1 X76.400 Y103.600 E4.07104
G1 X76.400 Y76.400 E5.42805
G0 F9000 X76.800 Y76.800
G1 F1200 X103.200 Y76.800 E6.74516
G1 X103.200 Y103.200 E8.06226
G1 X76.800 Y103.200 E9.37936
G1 X76.800 Y76.800 E10.69646
G1 F2400 E6.19646
G0 F9000 X80.600 Y80.600
;TYPE:WALL-INNER
G1 F2400 E10.69646
G1 F1200 X99.400 Y80.600 E11.63440
G1 X99.400 Y99.400 E12.57233
G1 X80.600 Y99.400 E13.51027
G1 X80.600 Y80.600 E14.44820
G0 F9000 X88.007 Y87.624
G1 F1200 X87.624 Y88.007 E14.47523
G1 X87.314 Y88.449 E14.50216
G1 X87.085 Y88.939 E14.52914
G1 X86.945 Y89.461 E14.55611
G1 X86.898 Y90.000 E14.58310
G1 X86.945 Y90.539 E14.61009
G1 X87.085 Y91.061 E14.63706
G1 X87.314 Y91.550 E14.66399
G1 X87.624 Y91.993 E14.69097
G1 X88.007 Y92.376 E14.71799
G1 X88.449 Y92.686 E14.74493
G1 X88.939 Y92.915 E14.77191
G1 X89.462 Y93.055 E14.79892
G1 X90.000 Y93.101 E14.82586
G1 X90.538 Y93.055 E14.85280
G1 X91.061 Y92.915 E14.87981
G1 X91.550 Y92.686 E14.90675
```

Citace:

1. 3D tisk odstartuje třetí průmyslovou revoluci. *ČESKÁPOZICE.CZ* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.ceskapozice.cz/zahranici/svetove-udalosti/3d-tisk-odstartuje-treti-prumyslovou-revoluci>
2. Kam pokročil 3D tisk a jak se dělá ovladač?. *ROOT.CZ* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/kam-pokrocil-3d-tisk-a-jak-se-dela-ovladac-linuxalt-2013/>
3. 3D tisk nové generace: plnobarevný, pružný a odolný, od 3D Systems - video. *DEEP IN IT* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://diit.cz/clanek/3d-tiskarna-barevna-3d-systems-projet-4500>
4. 3D tisk. *3D-tisk.cz* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/3d-tisk/>
5. O 3D tisku. *Josef Průša* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>
6. 3D tisk – revoluce na bojišti se blíží. *ARMÁDNÍ NOVINY CZ* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/3d-tisk-revoluce-na-bojisti-se-blizi.html>
7. Technologie 3D tisku. *PKMODEL.CZ* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>
8. I vy můžete tisknout 3D. *EASY CNC* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
9. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. *MM Průmyslové centrum* [online]. [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/55/5585.jpg>
10. Stereolitografie. *3D-tisk.cz* [online]. [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>
11. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/55/5580.jpg>
12. Z Corp. *Materialise in the world* [online]. [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.materialise.cz/z-corp-prototypu>
13. Solido SD 300 Pro. *Solid model* [online]. [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.solido3d.com/images/images/flash.jpg>

14. PolyJet Matrix Technology. *Medical Modeling* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://www.medicalmodeling.com/solutions-for-engineers/additive-manufacturing-production/polyjet>
15. Multi Jet Modeling. *Robo* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/main11.html>
16. Spraying. *TurkADCAM.net* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://www.turkadcaml.net/rapor/autofab/images/thermojet-mjm-technology.jpg>
17. Historie 3D tisku. *O3d.cz* [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>
18. 3D tisk: Česko má velkou šanci zachytit nástup nové průmyslové revoluce. *CFO world* [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://cfoworld.cz/trendy/3d-tisk-cesko-ma-velkou-sanci-zachytit-nastup-nove-prumyslove-revoluce-2675>
19. 3D tiskárny Stratasys. *Stratasys* [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: http://www.objet.cz/?utm_source=adwords&utm_medium=ppctext&utm_campaign=objet
20. Největší 3D tiskárnu na světě sestrojili Češi. Slavnostní představení tiskárny proběhne v Brně. *ParlamentníListy.cz* [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/Nejvetsi-3D-tiskarnu-na-svete-sestrojili-Cesi-Slavnostni-prestaveni-tiskarny-probehne-v-Brne-287818>
21. 3D Systems Corporation. *Google Finance* [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=http://www.google.com/finance%3Fcid%3D557960&prev=/search%3Fq%3D3D%2Bsystem%26start%3D10%26sa%3DN%26biw%3D1280%26bih%3D963>
22. Systems & Solutions. *EOS e-Manufacturing Solutions* [online]. [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: http://www.eos.info/systems_solutions
23. RepRap projekt. *Wikipédia* [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap_Project
24. RepRap History. *RepRap* [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/RepRap_history
25. RepRap Options. *RepRap* [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/RepRap_Options#Models
26. Arduino Mega 2560. *ARDUINO* [online]. [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: <http://arduino.cc/de/Main/ArduinoBoardMega2560>

27. Silník krokový SX17-1005. *Get3D* [online]. [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: <http://get3d.pl/pl/silniki-krokowe-nema-17/57-silnik-krokowy-sx17-1005.html>
28. Reprap development and further adventures in DIY 3D printing. *Http://richrap.blogspot.cz* [online]. [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: <http://richrap.blogspot.cz/2012/06/mini-quick-fit-huxley-sized-extruder.html>
29. Arduino IDE and Drivers Installation. *Hobbytronics* [online]. [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: <http://www.hobbytronics.co.uk/arduino-installation>
30. *RepRap* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: www.reprap.org
31. Czech RUG. *RepRap* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://forums.reprap.org/index.php?321>
32. Diskuze o 3D tiskárnách Rebel, RepRap atp. *REBEL 3D* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.rebelove.org/index.php?sid=579deac5a0cc90d6752b0d1c82ba7a1e>
33. Rapid prototyping - stereolitografie - 3D tisk - 3D skenery - RepRap a související projekty. *Www.C-N-C.cz* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.c-n-c.cz/viewforum.php?f=81>
34. Seriál: Jak jsem stavěla 3D tiskárnu. *ROOT.CZ* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.root.cz/serialy/jak-jsem-stavela-3d-tiskarnu/#ic=serial-box&icc=title>
35. *3D-tisk* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/>
36. Vlád'uv blok. [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://vlada.ajgl.cz/>
37. Návod na stavbu 3D tiskárny RebeliX. *3D tiskárna - Rebelix* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://reprap4u.cz/navod-na-stavbu-3d-tiskarny-rebelix/>
38. Blog Lukáše Kaufmana. [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://lukassoblog.blogspot.cz/>
39. RepRap tiskárna. [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://jakub.serych.cz/book/export/html/57>
40. RAMPS 1.4. *REPRAP* [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4
41. DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier. *POLOLU* [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2132>
42. Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX. *MICROCON* [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/pdf2014/13-20.pdf>
43. Thingiverse. [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com/>

ANOTACE

Jméno a příjmení:	Tomáš Nevřela
Katedra:	Katedra technické a informační výchovy
Vedoucí práce:	Mgr. Martin Havelka, Ph.D
Rok obhajoby:	2015

Název práce:	Konstrukce a stavba 3D tiskárny a její využití při výuce na základní a střední škole
Název v angličtině:	Construction and bulding 3D printer and utilization in education at primary and secondary school
Anotace práce:	Diplomová práce je zaměřena na problematiku implementace 3D tisku v podmínkách ZŠ a SŠ. Teoretická část práce obsahuje poznatkovou bázi technologie 3D tisku. V aplikační části práce je popsána vlastní konstrukce autorem navržené 3D tiskárny, postup oživení a kalibrace. Závěrem jsou naznačeny možnosti zařazení technologie 3D tisku do výuky na ZŠ a SŠ.
Klíčová slova:	3D tisk, 3D tiskárna, RepRap, Arduino, ICT
Anotace v angličtině:	This thesis focuses on the implementation of 3D printing in primary and secondary schools conditions. The theoretical part contains knowledge-based information on 3D printing technology. The practical part of the thesis describes the author's own design of a 3D printer, recovery procedure and calibration. Finally, possibilities of a technology including 3D printing into teaching at primary and secondary schools are outlined.
Klíčová slova v angličtině:	3D print, 3D printer, RepRap, Arduino, ICT
Přílohy vázané v práci:	Příloha č. 1: Katalogový list ložiska LM10UU Příloha č. 2: Ukázka G-kódu
Rozsah práce:	56 stran, 52 normostran textu
Jazyk práce:	Český jazyk