

3D tiskárna na bázi projektu RepRap

3D printer based on RepRap project

Bc. Stanislav Sehnálek

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav SEHNÁLEK**
Osobní číslo: **A10475**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**

Téma práce: **3D tiskárna na bázi projektu RepRap**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na téma 3D tisku se zaměřením na projekt RepRap.
2. Zvolte vhodný model tiskárny z projektu RepRap a vytvořte funkční prototyp tiskárny.
3. Ověřte funkci vytvořené tiskárny.
4. Popište softwarové nástroje potřebné pro výrobu 3D součástí na této tiskárně.
5. Zhodnoťte vytvořené řešení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-730-0110-1.
2. MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
3. CATSOULIS, John. Designing embedded hardware. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005, 377 s. ISBN 05-960-0755-8.
4. MATOUŠEK, David. Číslicová technika: základy konstruktérské praxe. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2001, 207 s. ISBN 80-730-0025-3.
5. PLÍVA, Zdeněk. EAGLE prakticky: řešení problémů při běžné práci. 2. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2010, 184 s. ISBN 978-807-3002-527.
6. RepRap: RepRapWiki [online]. 2012 [cit. 2012-01-19]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/RepRap>

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky


Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012


Termín odevzdání diplomové práce:

6. června 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá analýzou, výběrem a realizací 3D tiskárny na bázi projektu RepRap. V teoretické části je zmíněna stručná historie a typy 3D tisku. Dále jsou zde popsány nejpoužívanější druhy polymerů sloužící k tisku. Text práce obsahuje i zhodnocení dostupných konstrukcí, ovládací elektroniky a dostupný firmware. Popsáno je softwarové vybavení a popis celého procesu sestavování, kde jsou zmíněny komplikace, které se vyskytly. Je zde také kapitola zmiňující provedené vylepšení a také navrhovaná vylepšení. Na konci je podrobný návod, jak s tiskárnou pracovat a cenové zhodnocení praktické části.

Klíčová slova: RepRap, OpenSCAD, PLA, ABS, Sanguino, Pololu

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on analysis, selection and implementation of 3D printer based on RepRap project. In theoretical part is mentioned a brief history and types of 3D print. Additionally, there is a description of most commonly used types of polymers, which are used for printing. Text also contains evaluation of available constructions, control electronics and accessible firmware. Follows specification of software equipment and the whole assemblage process where are also mentioned complications, which occurred. Thesis includes a chapter that mentions both realised and proposed improvements. At the end is a detailed guideline on how to work with the printer and also price evaluation of practical part.

Keywords: RepRap, OpenSCAD, PLA, ABS, Sanguino, Pololu

Děkuji Ing. Janu Dolinay Ph.D. za odborné vedení a podmětné připomínky a panu Petru Dvořákovi děkuji za rady udílené při vypracování praktické části diplomové práce. Velký dík také patří mé rodině za jejich podporu a také všem, kdo mě podporovali při této práci a studiu.

„When you're a carpenter making a beautiful chest of drawers, you're not going to use a piece of plywood on the back, even though it faces the wall and nobody will ever see it.

You'll know it's there, so you're going to use a beautiful piece of wood on the back. For you to sleep well at night, the aesthetic, the quality, has to be carried all the way through.“

Steve Jobs

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

1	HISTORIE	11
2	MATERIÁLY PRO 3D TISK	12
2.1	PCL	12
2.2	PLA	12
2.3	ABS	13
2.4	HDPE	13
2.5	PVA	13
3	KOMERČNÍ 3D TISKÁRNY	14
4	PROJEKT REPRAP	15
4.1	HISTORIE	15
4.2	DRUHY TISKÁREN	16
4.2.1	DARWIN	16
4.2.2	MENDEL	18
4.2.3	HUXLEY	19
4.2.4	PRUSA MENDEL	20
4.2.5	MENDELMAX	21
4.2.6	WALLACE	22
4.3	DRUHY ELEKTRONIKY	22
4.3.1	GENERATION 7 ELECTRONICS	23
4.3.2	R2C2 ELECTRONICS	24
4.3.3	RAMPS	25
4.3.4	SANGUINOLOLU	25
4.4	DRUHY FIRMWARU	26
4.4.1	SPRINTER	26
4.4.2	TEACUP	27
4.4.3	MARLIN	27
5	OVLÁDACÍ SOFTWARE	28
5.1	KRESLENÍ	28
5.1.1	OPENS CAD	28
5.1.2	STL 29	
5.2	KRÁJENÍ	30
5.2.1	SLIC3R 30	
5.2.2	PRINT SETTINGS	31
5.2.3	COOLING	34
5.2.4	PRINTER AND FILAMENT	34
5.2.5	OSTATNÍ	35
5.3	SOFTWARE PRO TISK	35
6	VÝBĚR TISKÁRNY	38
6.1	KONSTRUKCE	38
6.2	OVLÁDACÍ ELEKTRONIKA	38

6.3	FIRMWARE	40
7	POSTUP SESTAVOVÁNÍ	41
8	POSTUP OŽIVOVÁNÍ.....	45
9	VYLEPŠENÍ.....	52
10	TISK	54
11	CENOVÁ BILANCE	58

ÚVOD

Již od nepaměti mělo lidstvo snahu zanechat po sobě stopu, ať už to bylo malováním na stěnách jeskyní nebo opracováváním kamene. Tato snaha časem přešla k sepisování ústní tradice a vynálezem knihtisku se vše jen urychlilo. Podobným katalyzátorem byla řada objevů a vynálezů, které vedly k digitální éře. V současné době není pro nikoho problém pomocí počítače napsat knihu, namalovat obraz nebo vytvořit výkres pro stavbu domu. Toto vše pak pomocí tiskárny převést na papír a dále šířit. Ale pokud chtěl například designer mít v ruce model, který vytvořil na počítači, musel absolvovat spoustu kroků a vymodelovat jej z hlíny. Další možností, neméně náročnou na čas i finance, bylo použití technologie vstřikování do forem, zde byl ale omezen technickými možnostmi tohoto výrobního postupu. Naštěstí lidský důvtip toto překonal a přišel s technologií nazývanou rapid prototyping. Tato technologie se označuje jako 3D tisk a jedná se o převedení virtuálního modelu na vrstvy, které se následně aplikují na sebe, čímž vzniká reálný model. Jeden z těchto výrobních postupů sdružuje open source projekt RepRap, díky němuž si může téměř každý vytvořit 3D tiskárnu. A právě tato diplomová práce si klade za cíl popsat a realizovat 3D tiskárnu vyvíjenou v režii tohoto projektu.

V teoretické části bude zmíněna historie a základní principy 3D tisku. Dále pak budou uvedeny druhy plastů používaných při tisku na tiskárnách projektu RepRap. Budou zmíněny některé komerční tiskárny a firmy, jež je vyvíjí. O projektu RepRap bude zmíněna historie a důvod vzniku. Také budou uvedeny tiskárny patřící pod tento projekt a to ty, které jsou v hlavní vývojové linii. Včetně ovládací elektroniky určené k ovládání. Vysvětleny budou také jednotlivé firmwary, které se používají u elektroniky aplikované při řešení této diplomové práce. Budou zde představeny softwarové nástroje potřebné při návrhu a výrobě modelu. Nebude chybět ani popis a odůvodnění výběru jednotlivých komponent při konstrukci tiskárny. Předloží se i postup sestavování společně s oživováním. Ke konci bude uveden podrobný návod od návrhu modelu přes absolvování všech nutných kroků při tisku. Na závěr bude provedeno zhodnocení zkonstruované tiskárny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE

3D tiskem se nazývá proces přeměny počítačového modelu do podoby reálného třídimenzionálního objektu. Tohoto je dosaženo pomocí pokládání materiálu na sebe po vrstvách. Tím se 3D tisk odlišuje od jiných technik získávání reálného modelu, jakými jsou řezání a vrtání. Dá se použít v celém životním cyklu produktu, jak pro tisk testovacích modelů, tak pro sériovou výrobu. Díky tomuto si technologie získala své postavení v široké škále odvětví počínaje šperkařstvím, architektuře, strojírenství, automobilismu, letectví, medicíně, civilní obraně, geografických informačních systémech a spoustě dalších.

Princip vytváření objektu spočívá v nakreslení objektu pomocí počítačem podporovaného navrhování (CAD) a následné transformaci do tenkých virtuálních vrstev. Tyto se seskládáním na sebe promění ve výsledný objekt. Jedná se o metodu na principu co vidíte - to dostanete (WYSIWYG), kde je výsledný model co nejvíce podobný digitální předloze.

Standardní datové rozhraní tvoří STL formát. Jedná se o informaci o objektu složenou z trojúhelníkové plochy, kde platí - čím menší fragmentace, tím přesnější výsledek. Pro barevný tisk se používá formát VRML, který na rozdíl od STL nese i informaci o barvě povrchu.

Metoda vstřikování polymeru do forem může být výhodná při výrobě velkého množství dílů, avšak je nákladná na výrobu a udržování forem. Výhoda 3D tisku spočívá ve volnosti pro vývojáře při vytváření modelů, jelikož umožňuje vytištění prakticky jakéhokoliv tvaru.

Pro tisk je v současné době dostupných několik technologií. Jako nejstarší je uváděno modelování tavené deposice (Fused deposition modeling - FDM), kdy se používají termoplasty nebo eutektické kovy odmotávané z cívky. Toto se natavuje a polohuje v různých směrech řízených počítačem. Mezi další metody patří selektivní laserové spékání (Selective laser sintering - SLS), kde se používá keramický prášek, železný prášek, nebo termoplastická kapalina. Přímé železné laserové spékání (Direct metal laser sintering - DMLS) využívá téměř jakoukoliv slitinu železa. Výrobní vrstvení objektů (Laminated object manufacturing - LOM) používá skládání vrstev papíru, folií, či plastových folií. Tavení elektronovým paprskem (Electron beam melting - EBM) využívá slitinu titanu. A nejnovější metoda používá natavování tiskovou hlavou do práškového podkladu (Plaster-based 3D printing - PP).

2 MATERIÁLY PRO 3D TISK

Materiály pro tisk na 3D tiskárně se dají objednat ze spousty zdrojů na internetu. Je zde k dispozici celá škála barevných variant od světlé průhledné, až k tmavě neprůhledné. Tento materiál je distribuován převážně v 1 kg nebo 2,3 kg cívkách. V závislosti na výtlačné hlavě, kterou disponuje tiskárna, je možné si vybrat sílu vlákna mezi 1,75 a 3 mm. Dále budou popsány běžně používané plasty určené k použití na 3D tiskárnách, používající techniku SLS. [6]

OBR materiálů

2.1 PCL

Polycaprolactone (PCL) je v přírodě odbouratelný polyester s nízkým bodem tavení. Tato teplota se pohybuje okolo 60 °C. Někdy se tento polymer nazývá také Polymorfie, InstaMorph, CAPA, Přátelský plast, Shapelock.

2.2 PLA

Polylactic acid (PLA) je biologický odbouratelný polymer, který může být vyráběn z kyseliny mléčné. Tato kyselina se dá získat kvašením z plodů jako je kukuřice. Díky tomuto je ideální materiál k tisku v energeticky bohatých avšak peněženě chudých oblastech světa.

Je pevnější než PTFE a její bod tavení je také nižší, ten se pohybuje okolo 180°C až 220°C. Skelný přechod tohoto polymer se pohybuje kolem 65 °C, čímž se jedná o velice užitečný materiál. Z důvodu většího tření při vytlačování než má PTFE je náchylnější na ucpání extruderu a také je potřeba větší síly pro vytlačení.

PLA je ideální materiál k použití na RepRap tiskárnách. Díky jeho poměrně velké stabilitě není potřeba vyhřívané podložky. Je to relativně levný materiál, který není těžké sehnat. Pro svůj vyšší koeficient tření (vyšší než má ABS) se doporučuje použít jako extruder některou z variant s NEMA 17 krokovým motorem. Toto označení krokových motorů je celosvětový standard. Číslo 17 značí, že se motor montuje k držáku, který má rozpětí děr na šrouby 1,7" na 1,7". Díky tomu je celý motor větší a má vyšší moment.

2.3 ABS

Akrylonitril-butadien-styrenu (ABS) je běžně používaný termoplast, protože je lehký a může tak být injekčně formován a extrudován. Jeho nejznámější použití je ve stavebnicích LEGO®. Má lepší mechanické vlastnosti než HDPE a je méně křehký než CHKO, ale zvládá vyšší teploty, což je lepší pro aplikace jako jsou části extruderu. Jednou z největších nevýhod je, že musí být extrudován při vyšších teplotách a potřebuje vyhřívanou podložku, aby se uchytil a nedošlo k posunutí modelu při tisku.

2.4 HDPE

Silný, levný, odolný plast s pevným bodem tání 110 °C. HDPE je jeden z výběrových plastů pro použití k tisku. Nedrží moc dobře pohromadě a při ochlazení má tendenci narušovat strukturu vytištěného modelu. Experimenty s pečícím sáčkem ukazují, že tomuto efektu se dá předejít uložením do částečně předeřátého prostředí. Nováčkům se striktně doporučuje použít stabilnějších variant, jako jsou PLA či ABS, namísto HDPE.

2.5 PVA

Polyvinil alkohol (PVA, PVOH, PVAL) je možné použít jako podpurný materiál, který se dá aplikovat klasickým extruderem. Podpurný materiál je třeba při tisku částí modelu, kde se tiskne ve vzduchu a je třeba zajistit, aby nedocházelo k propadání. K tomuto účelu je tento syntetický polymer výhodný díky své rozpustnosti ve vodě. PVA je plně odbouratelný a rychle rozpustný materiál s bodem tání mezi 230 °C a 180 °C.

3 KOMERČNÍ 3D TISKÁRNY

Firma Stratasys jako první přišla s technologií 3D tisku založené na modelování tavené deposice, kterou si nechala patentovat v 80. letech. V současné době vyrábí pestrou škálu tiskáren počínaje cenově dostupnou řadou uPrint SE 3D. Dále pak Dimension 3D vyznačující se jednoduchou obsluhou a určenou do kanceláří. A největší ze zmiňovaných Fortus 3D Production pro tisky velkých objektů. Dalším výrobcem profesionálních 3D tiskáren je 3D Systems s tiskárnami řady ZPrinter, pracující na SLS principu. Následující tiskárny jsou poloprofesionálního typu. To znamená, že nedosahují stejné kvality jako předcházející tiskárny, avšak tento nedostatek kompenzují v některých případech i čtvrtinovou cenou. Holandská firma MendelParts nabízí tiskárnu Orca, která tiskne z PLA i ABS. Bukobot je tiskárnou z produkce KickStarter, svou konstrukcí připomíná Wallace. Prodejce BotMill nabízí tiskárnu Glider 3D, která je v podstatě modifikace tiskárny z RepRap projektu a to Mendel. S podobnou tiskárnou jako je Glider 3D je na trhu i uskupení říkající si MakerBot Industries. Ti nabízejí několik druhů tiskáren, jako je Fosterbot nebo nejoblíbenější poloprofesionální tiskárna, se kterou pracuje i slavný Průša junior a tou je Thing-O-Matic.



Obr. 1 Poloprofesionální tiskárna Thing-O-Matic

4 PROJEKT REPRAP

Projekt RepRap je zaměřen na vývoj 3D tiskárny, která dokáže vytisknout většinu součástí sama sebe, jedná se tedy o samoreplikovací stroj. RepRap je zkratka “replication rapid prototype” a používá variantu modelování tavené depozice (FDM). Projekt toto nazývá “Fused Filament Fabrication (FFF)”, aby nedošlo k porušení ochranné známky firmy Stratasys. Projekt je zveřejněn pod licencí GNU General Public License.

K dnešnímu dni bylo pod tímto projektem uveřejněno 6 tiskáren a to “Darwin” v roce 2007, “Mendel” v roce 2009, “Prusa Mendel” společně s “Huxley” v roce 2010 a poslední “MendelMax” v roce 2012. Vývojáři pojmenovávají jednotlivé prototypy podle známých biologů jako vyjádření že RepRap je replikovací a evoluční projekt.

Vzhledem k možnosti samo replikace si autoři představují levnou distribuci lidem a komunitám po celém světě. Díky čemuž mohou vytvořit případně stáhnout a následně vytisknout nespočet produktů bez nákladné průmyslové infrastruktury. Úmyslem vývojářů je demonstrovat evoluci tohoto procesu a dosáhnout exponenciálního nárůstu členů.

4.1 Historie

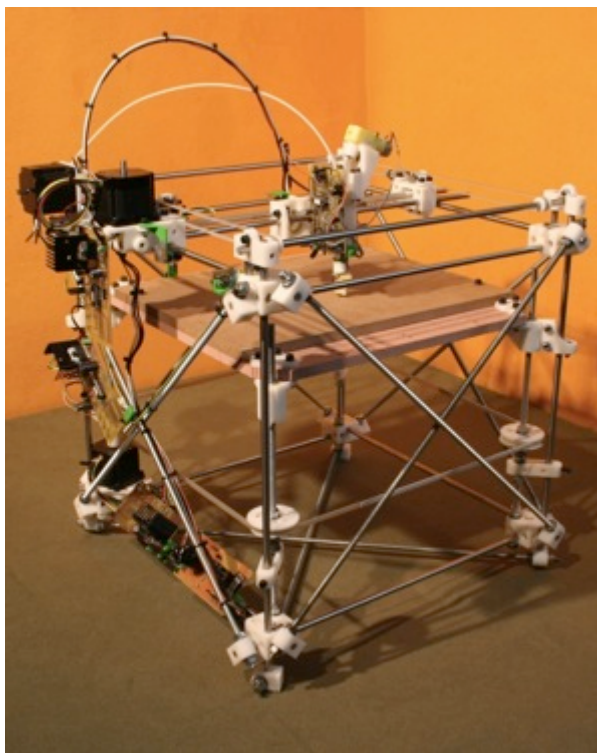
- 23.března 2005
 - Je spuštěn RepRap blog.
- Léto 2005
 - Financování počátečního rozvoje na University of Bath se získává od Rady pro Výzkum Techniky a Fyzikálních Věd Velké Británie.
- 13.září 2006
 - Úspěšně vytištěna první část sebe sama na prototypu RepRap 0,2, která byla následně použita jako náhrada stejné část původně vytvořené v komerční 3D tiskárně.
- 9.února 2008
 - RepRap 1,0 "Darwin" úspěšně vytiskl polovinu celkových dílů.
- 14.dubna 2008
 - Možná první koncový uživatel vytiskl součástku na RepRap, kdy se nejednalo o díl pro samotnou tiskárnu: svorku pro uložení přehrávače iPod bezpečně na palubní desce Ford Fiesta.
- 23.září 2008

- Bylo zjištěno, že nejméně 100 kusů bylo vyrobeno v různých zemích. Přesný počet RepRap v oběhu v té době nebyl známý.
- 30.listopadu 2008
 - První doložená replikace kompletní sady stroje mimo vývojářský tým.
- 20.dubna 2009
 - Uveřejnění prvních elektronických obvodů tištěných automaticky s RepRap. Pomocí automatizovaného systému řízení a swap hlavy je systém schopný tisknout plastické i vodivé spoje.
- 2.září 2009
 - Byla vytištěna první část druhé generace designu, tzv. "Mendel". Mendeluv tvar se podobá spíše na trojboký hranol než krychli jako jeho předchůdce.
- 13.říjen 2009
 - Je dokončen návrh RepRap 2,0 "Mendel".
- 31.srpna 2010
 - Je oficiálně jmenována třetí generace designu "Huxley". Rozvoj je založen na miniaturní verzi hardwaru Mendel s 30% původního objemu tisku.
- Prosinec 2011
 - Začátek vývoje čtvrté generace "MendelMax"

4.2 Druhy tiskáren

V této části budou stručně popsány jednotlivé modely tiskáren projektu RepRap. [5]

4.2.1 Darwin



Obr. 2 První 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Darwin

RepRap I alias "Darwin" je rapid prototyping stroj, který je schopen tisknout většinu svých částí. Návodů a všechny potřebné údaje jsou k dispozici zcela zdarma pod licencí GNU General Public Licence pro každého na stránkách RepRap.org.

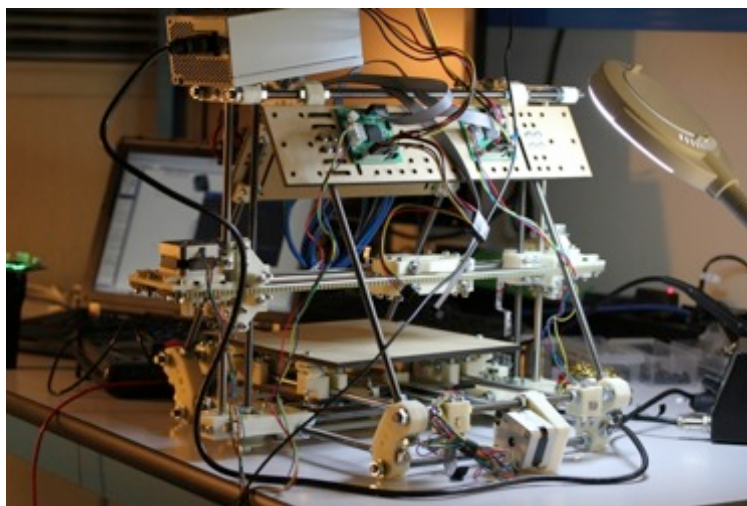
Darwin se skládá z rámu tvořeného závitovými tyčemi a tištěnými díly. Plochou na kterou se tiskne je pohybováno svisle v ose Z. V horní části rámu jsou dvě zapisovací hlavy, které se pohybují vodorovně. Ty vytlačují tenký proud roztaveného plastu, aby vytvořily nové vrstvy a vše se spojilo v celistvý objekt. Základní deska, na kterou se tiskne, se pak pohybuje vždy o jeden krok dolů, druhá vrstva je extrudována na předchozí. Byly zde použity dvě tiskové hlavy, které umožňují tisknout výplňový materiál. Tato výplň se používá pro podporu přvislé části objektů a je odstraněna po dokončení procesu.

4.2.1.1 specifikace

- Pracovní objem: nastavitelný, ale nominálně 230 mm (X) x 230 mm (Y) x 100 mm (Z)
- Pracovní materiály: PCL a výplňový materiál
- Konfigurace: tříosý kartézský posun řízený krokovými motory
- Přesnost polohování: 0,1 mm

- Manipulace s materiálem: dva pevné extrudery, uživatelsky vyměnitelné
- Potřebné napájení: max. 6A, 3A na 12V DC
- Vnější rozměry: 600 mm x 520 mm x 650 mm
- Hmotnost: 14 Kg

4.2.2 Mendel



Obr. 3 Druhá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Mendel

RepRap tiskárna, která je nazývána "Mendel" po otci genetiky, je druhou, vylepšenou verzí projektu. Přestože je malá, má dostatečný objem tisku, aby mohla vytisknout velké objekty. Software a plány na sestavení jsou distribuovány zdarma pod open-source licencí GPL v. 2. Je také možné koupit vytištěné součástky od fanoušků, kde se cena vytištěných dílů pohybuje v širokém rozmezí od 150 do 400 EUR.

4.2.2.1 Specifikace

- Technologie FFF (Fused Filament Fabrication) / vytlačování termoplastů
- Cena všech materiálů € 400
- Roční servis a náklady na občasné olejování = € 5. Může tisknout své vlastní náhradní díly vytištěné v ceně materiálu.
- Velikost tiskárny 500 mm x 400 mm x 360 mm
- Hmotnost 7.0 kg
- Tisknutelná velikost objektů 200 mm x 200 mm x 140 mm
- Objem vytištěných částí pro replikaci 1110 cm³

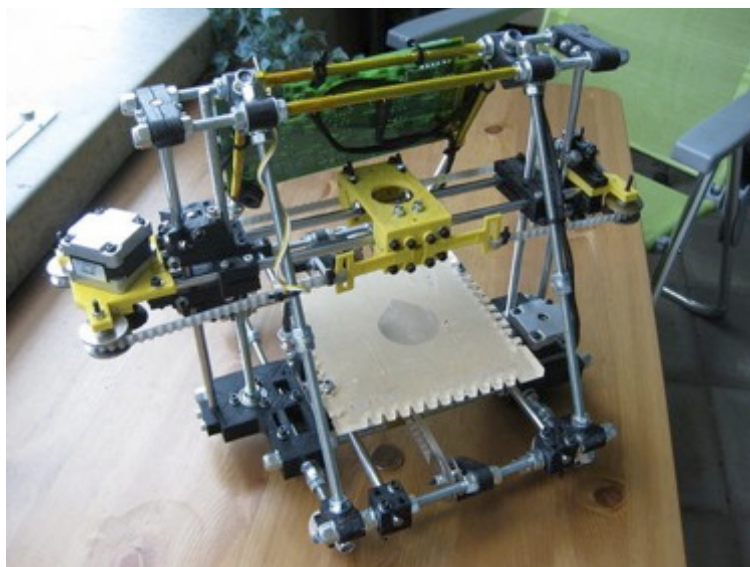
4.2.2.2 Mendel vs Darwin

Mendel je novější generace RepRap tiskárny. Mendel nahrazuje první verzi, která se nazývá Darwin.

Mendel má následující klíčové vylepšení oproti Darwin:

- Větší oblast tisku při menším pohybu os
- Sníženo omezení na ose Z, což zabraňuje zaseknutí
- Jednodušší montáž
- Lehčí a přenosná

4.2.3 Huxley



Obr. 4 Třetí 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Huxley

RepRap verze III "Huxley" je založen na zmenšeném Mendelově designu. Huxley se jmenuje, stejně jako všechny RepRaps, po biologovi Thomasi Henry Huxleym. Stroj využívá závitových tyčí M6 a M3 na rozdíl od M8 a M4, které jsou používány u Mendela. Objem dílů je o 30% menší než u těch pro Mendela. Dá se tedy říci, že ho lze reprodukovat třikrát rychleji.

4.2.4 Prusa Mendel

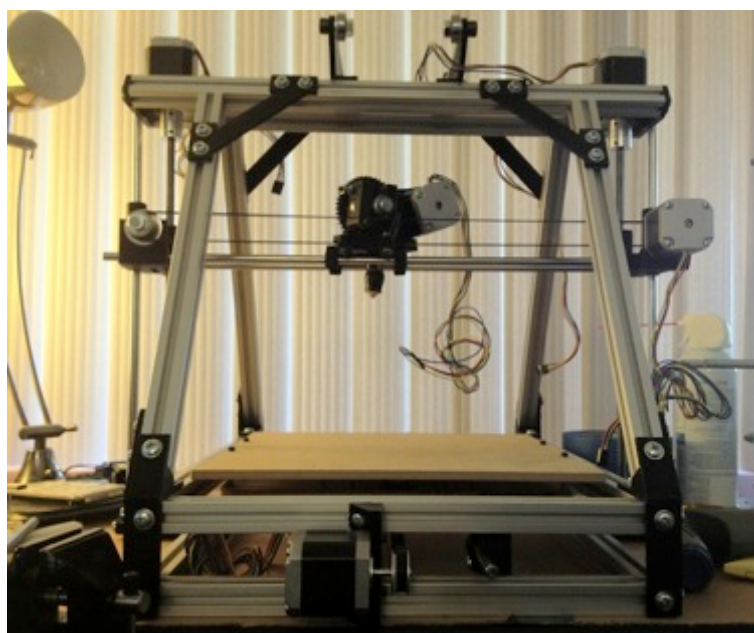


Obr. 5 Čtvrtá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Průša Mendel

Průša Mendel je model Ford T pro 3D tiskárny. Stejně jako model T, Průša Mendel vylepšuje předchozí návrh tím, že jej zjednodušuje. Ve výchozím nastavení používá tištěné pouzdra namísto ložisek lineárních, a tím výrazně snižuje pořizovací náklady. Aktuální verze používá tři axiální ložiska 608, jedno pro osu X a dvě pro osu Y.

Hlavním cílem Průši je být nejčistší a nejjednodušší 3D tiskárna jakou lze postavit. Je mnohem jednodušší ji postavit, na rozdíl od svého předchůdce, díky čemuž ji lze snadněji změnit. Jednoduchost dílů předurčuje snadnější tisk pro přátele.

4.2.5 MendelMax

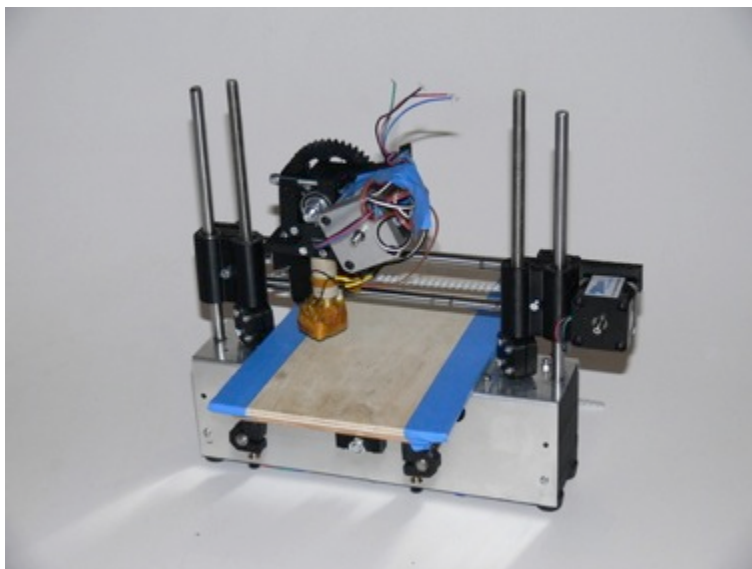


Obr. 6 Pátá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem MendelMax

MendelMax je nová Open Source 3D tiskárna RepRap. Je navržen pomocí tištěných konzol, ale namísto použití závitových tyčí na konstrukčních prvcích používá levné hliníkové lišty. To dává obrovský nárůst tuhosti za minimální příplatek. Požadované lišty jsou k dispozici na celém světě od různých dodavatelů. MendelMax vychází z velké části z Průša Mendel při zachování XYZ os, ale zcela přepracovává rám.

Kromě zvýšené tuhosti, je tiskárna mnohem jednodušší na montáž než standardní Průša. I nezkušený stavitel by neměl mít žádný problém při konstrukci celé tiskárny za jeden večer. A spolu se snadnou montáží je snadná upravitelnost. Téměř každý díl na tiskárnu lze odstranit jen s několika šrouby, takže záměna doslova každé části na tiskárně je nyní triviální operace.

4.2.6 Wallace



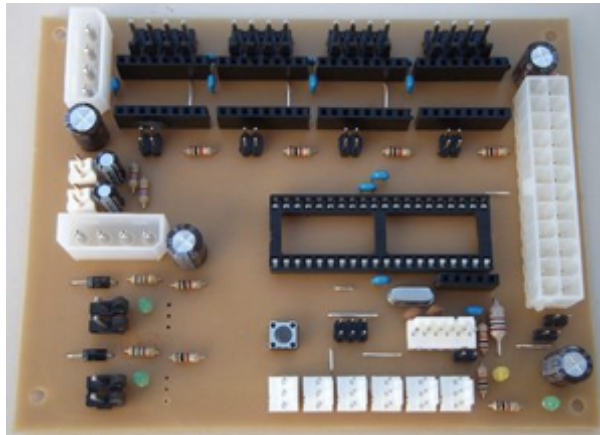
Obr. 7 Šestá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Wallace

RepRap Wallace je pojmenovaná po Alfred Russel Wallacovi, který nezávisle objevil teorii evoluce přirozeným výběrem po Darwinovi. Je založen na komerční tiskárně Printbot, která vychází z Huxley. Je udělán kompletní redesign v OpenSCAD, aby byl více robustní, ale stále velmi jednoduchý. Je určen pro použití s hladkými 6mm závitovými tyčemi, NEMA 14 motory a LM6UU ložisky pro lineární pohyb jaké jsou použity i v návrhu Huxley. Díky tomu, že už při návrhu byla dimenzována i pro součástky odlišného parametru, je možné použít také krokové motory NEMA 17, tyče M8 a radiální ložiska LM8UU. V závislosti na délce tyčí může být nakonfigurována velikost 200x200x140 mm objemu plochy, nebo větší či menší podle potřeby. Design je v nedokončeném stavu v době tvorby této práce.

4.3 Druhy elektroniky

V následující části se popisují jednotlivé varianty ovládací elektroniky. Vždy je uveden základní popis, specifické funkce a kompatibilní firmware, který je popsán v další části této diplomové práce.

4.3.1 Generation 7 Electronics



Obr. 8 Ovládací elektronika Generation 7

Elektronika Gen 7 je navržena jako all-in-one deska. Na jedné DPS se nachází MCU, ovladač krokových motorů a přidružené obvody. Deska je navržena tak, aby mohla být vyřezaná, leptána či vytisknuta RepRap tiskárnou.

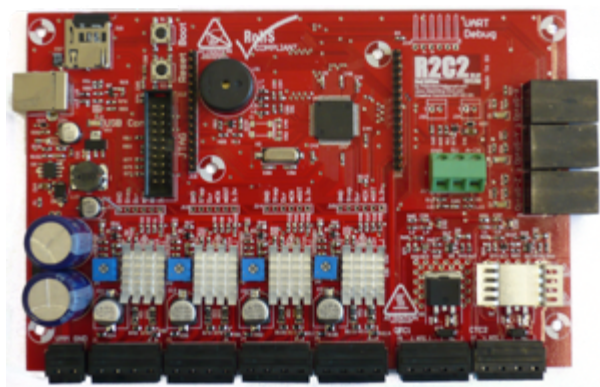
4.3.1.1 *funkce*

- distribuována pod licencí CC-BY-NC (lze svobodně sdílet a upravovat za podmínek uvedení autora a neužití díla komerčně)
- na bázi ATmega
- mikrokrokování až 1/16 kroku
- může běžet na 20 MHz

4.3.1.2 *kompatibilní firmware*

- Teacup (doporučeno)
- FiveD
- Sprinter
- Repetier
- Marlin

4.3.2 R2C2 Electronics



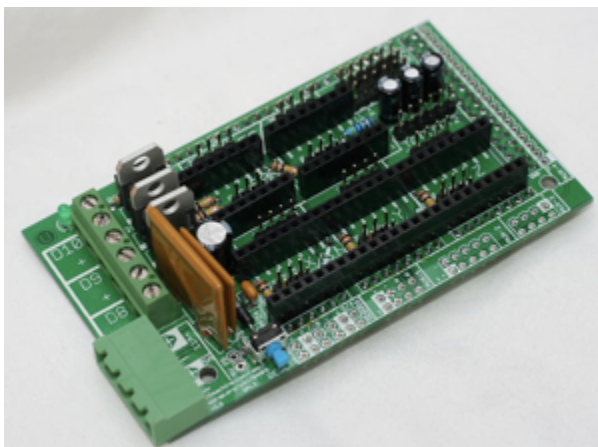
Obr. 9 Ovládací elektronika R2C2

R2C2 je tvořen s ohledem na rychlost tisku. Jako MCU slouží ARM běžící na 100MHz s 32bit architekturou. Jedná se o novou špičkovou technologii, která pohání RepRap 3D tiskárnu při rychlosti pohybu dosahující 700 m/s. Více se dá najít na oficiálních stránkách www.3DPrinting-R2C2.com. [4]

4.3.2.1 funkce

- licence CC-BY-NC
- Jen jedna deska, kompletní řešení k ovládání 3D tiskárny RepRap
- Vysoká rychlost tisku a kvalita díky technologii 32 bitů a ARM mikroprocesoru běžícím na 100MHz s rychlým integrovaným USB řadičem;
- Podpora vyhřívané desky
- MicroSD karta pro samostatný tisk (bez nutnosti být připojen k počítači při tisku).
- Bzučák upozorňuje uživatele o různých stavech 3D tisku.
- Rozšiřitelnost pro podporu dalších funkcí, jako druhého extruderu pro tisk podpůrných materiálů, podpora laserového rytí na papír, dřevo, ABS, CHKO

4.3.3 RAMPS



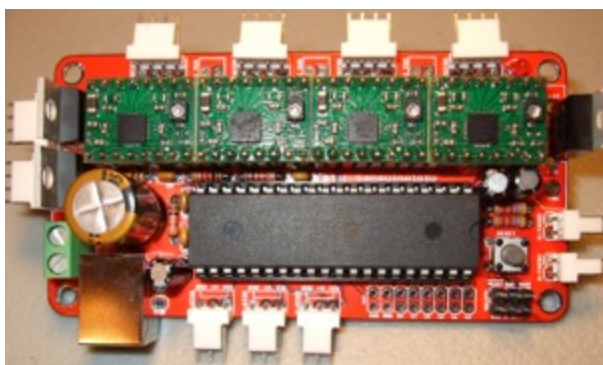
Obr. 10 Ovládací elektronika RAMPS 1.4

Název vychází ze zkratky RepRap Arduino Mega Pololu Shield (RAMPS). Modulární design zahrnuje zásuvné ovladače krokových motorů POLOLU. Také je možné připojit další rozšiřitelné desky pro podporu LCD nebo klávesnice.

4.3.3.1 funkce

- Licence GNU GPL
- Vytvořeno na stabilním základě Arduino Mega
- Mikrokrokování až 1/16 kroku

4.3.4 Sanguinololu



Obr. 11 Ovládací elektronika Sanguinololu 1.3a

Sanguinololu je levné all-in-one řešení s Pololu elektronikou pro RepRap a další CNC zařízení. Je vybaven MCU na bázi Sanguino, což je klon Arduino. Jeho čtyři osy jsou poháněny Pololu řadiči, které se starají o pohyb krokových motorů. [11]



Obr. 12 Ovladač krokových motorů Pololu

4.3.4.1 funkce

- Licence GNU GPL
- Odvozeno ze stabilní základny Arduino Mega
- Mikrokrokování až 1/16 kroku

4.3.4.2 kompatibilní firmware

- TeaCup
- Marlin
- Sprinter

4.4 Druhy firmwaru

Pro popis firmwaru byly vybrány jen ty, které používá elektronika použitá při řešení této diplomové práce. Existují další varianty a úpravy firmwaru, které lze nalézt na stránkách projektu RepRap.

4.4.1 Sprinter

Vychází z Klimentkip a jedná se o populární firmware.

4.4.1.1 funkce

- čtečka SD karet
- krokový extruder
- regulace otáček extruderu

- ovládání rychlosti pohybu
- konstantní nebo exponenciální zrychlení
- vyhřívaná deska

4.4.2 TeaCup

Tento firmware klade důraz na efektivitu, flexibilitu a čistý kód.

4.4.2.1 funkce

- disponuje lepším výkonem díky těmto vlastnostem:
 - zcela napsán v jazyce C místo C++
 - používá pouze celočíselnou matematiku
 - minimalizuje dlouhé přerušení
- krokový extruder
- regulace otáček extruderu
- ovládání rychlosti pohybu
- vyhřívaná deska
- podpora vřeten, CNC frézování
- neomezený počet extruderů

4.4.3 Marlin

Vývoj tohoto firmwaru je velmi aktivní, vychází ze Sprinter a Grbl.

4.4.3.1 funkce

- přerušení na základě teplotní ochrany
- přerušení založené na reálném lineárním zrychlení
- plná podpora dorazu
- paměťová karta SD
- podpora LCD (ideálně 20x4)
- posílá hlášení o dorazu do hostitelského počítače.
- zprávy o topném výkonu, potřebné pro PID regulaci.

5 OVLÁDACÍ SOFTWARE

Software používaný v projektu RepRap se dělí podle své funkce, fáze příprav před tiskem a zajištění samotného tisku. Tento sled je popsán v následujících kapitolách a jeho řazení zachovává posloupnosti při používání tiskárny.

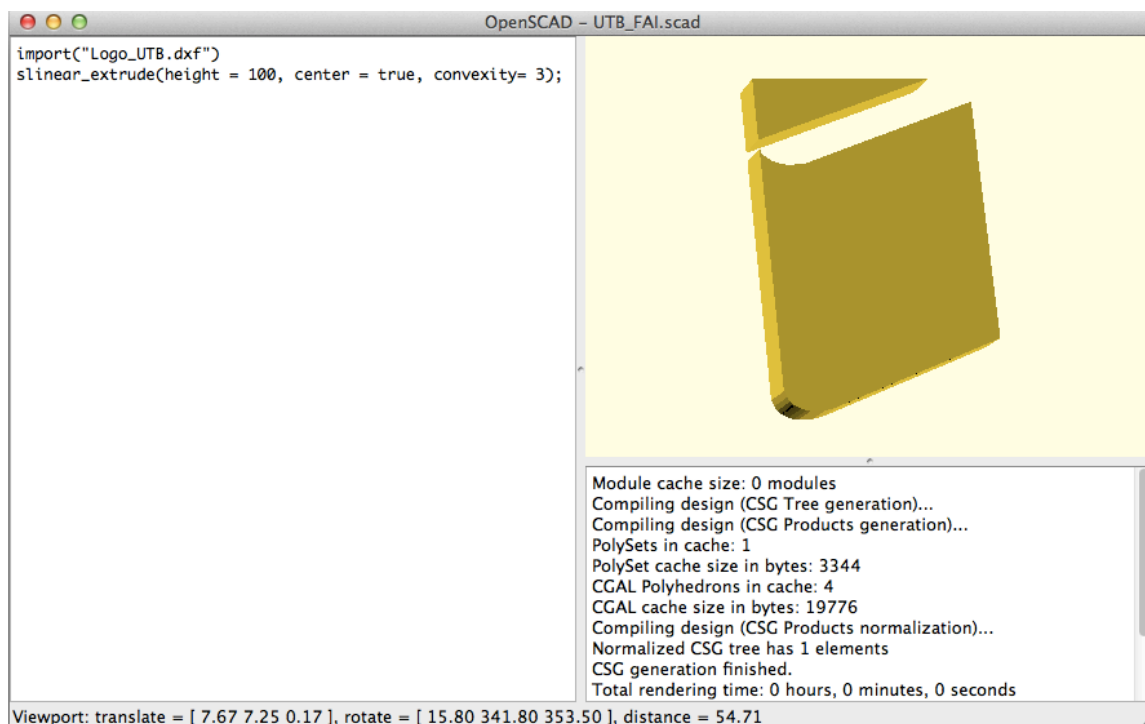
5.1 Kreslení

Abychom mohli tisknout na 3D tiskárně RepRap, je třeba mít vymodelován předmět, který se bude tisknout. K tomuto účelu lze použít celou řadu softwarových nástrojů, mezi něž patří OpenSCAD, AutoCAD, FreeCAD, Blender a celá řada dalších.

5.1.1 OpenSCAD

K vytváření vlastních modelů je zdarma dostupný OpenSCAD pro vytváření 3D CAD objektů. Nejedná se o interaktivní modelovací nástroj, ale spíše o 3D kompilátor. OpenSCAD čte příkazy ze souboru a na jejich základě renderuje 3D objekty. OpenSCAD je dostupný pro MAC OS X, Linux a Windows. Vytváří konstruktivní geometrii typu CSG. Umí také extrudovat tvary z DXF souborů vytvořených v AutoCADu, čímž se myslí, že převede původní 2D obrazce v křivkách do třidimenzionálního modelu.

Pro vytvoření konstruktivní geometrie používá knihovnu Computational Geometry Algorithms Library (CGAL), která se stará o detaily, jakými je průnik a rozdíl těles, či minkowskiho sumace. Výsledný model lze vyexportovat do 3D formátu STL. [8]



Obr. 13 Okno aplikace OpenSCAD s extrudovaným modelem z DXF

Další možností jak získat model pro tisk, je stáhnout si již vymodelovaný předmět. K tomuto účelu slouží stránky www.thingiverse.com. Na tomto webu je celá řada rozličných modelů. Lze zde také najít všechny díly potřebné k sestavení celého portfolia projektu 3D tiskáren RepRap. [7]

Chceme-li přejít k dalšímu kroku, je třeba mít předmět, který se má tisknout v souboru typu STL.

5.1.2 STL

Zkratka tohoto formátu vychází z anglického STereoLithography. Jak již název napovídá, jedná se o stereolitografický formát, který je základem pro ukládání 3D objektů v rapid prototyping nebo CNC odvětví. Proto do něj zvládají ukládat všechny hlavní modelovací nástroje používané v tomto odvětví. Ukládá se jen informace o povrchu objektu ve formě triangulační mřížky za pomoci trojrozměrného Kartézského souřadného systému. Tedy neobsahuje žádné informace o barvě, textuře či jiné informaci typické pro jiné formáty používané v CAD modelování. Formát ukládání STL je buď za pomoci ASCII, nebo více častější binární díky své kompaktnosti.

5.2 Krájení

Tato kapitola má svůj název vycházející z anglického slicing. To proto, že popisuje transformaci informace o objektu do G-code, což je formát, kterému rozumí ovládací elektronika tiskárny.

G-code je název pro soubor instrukce, které se používají pro počítačem řízený (obráběcí) stroj (CNC). Převážně se používá v automatizaci a je součástí počítačového inženýrství. Někdy se používá označení G programovací jazyk. V jednoduchosti se jedná o jazyk, kde lidé říkají strojům jak a kam se pohybovat. V projektu RepRap se G-code používá k řízení celé tiskárny. Tento kód může vypadat následovně.

Na začátku každého řádku je N a číslo, což značí číslo řádku. Také říká tiskárně, aby provedla kontrolní součet a pokud nesedí, požádá o opakované zaslání řádku. Kontrolní součet je vždy na konci každého řádku a odděluje se hvězdičkou. Příklad, jak může vypadat soubor instrukcí je uveden níže.

*N3 T0*57 // výběr výtlačné hlavy, převážná většina tiskáren disponuje jednou*

*N4 G92 E0*67 // nastaví absolutní hodnotu vytlačení na nula*

*N5 G28*22 // provede přesun ve všech osách do svého počátku*

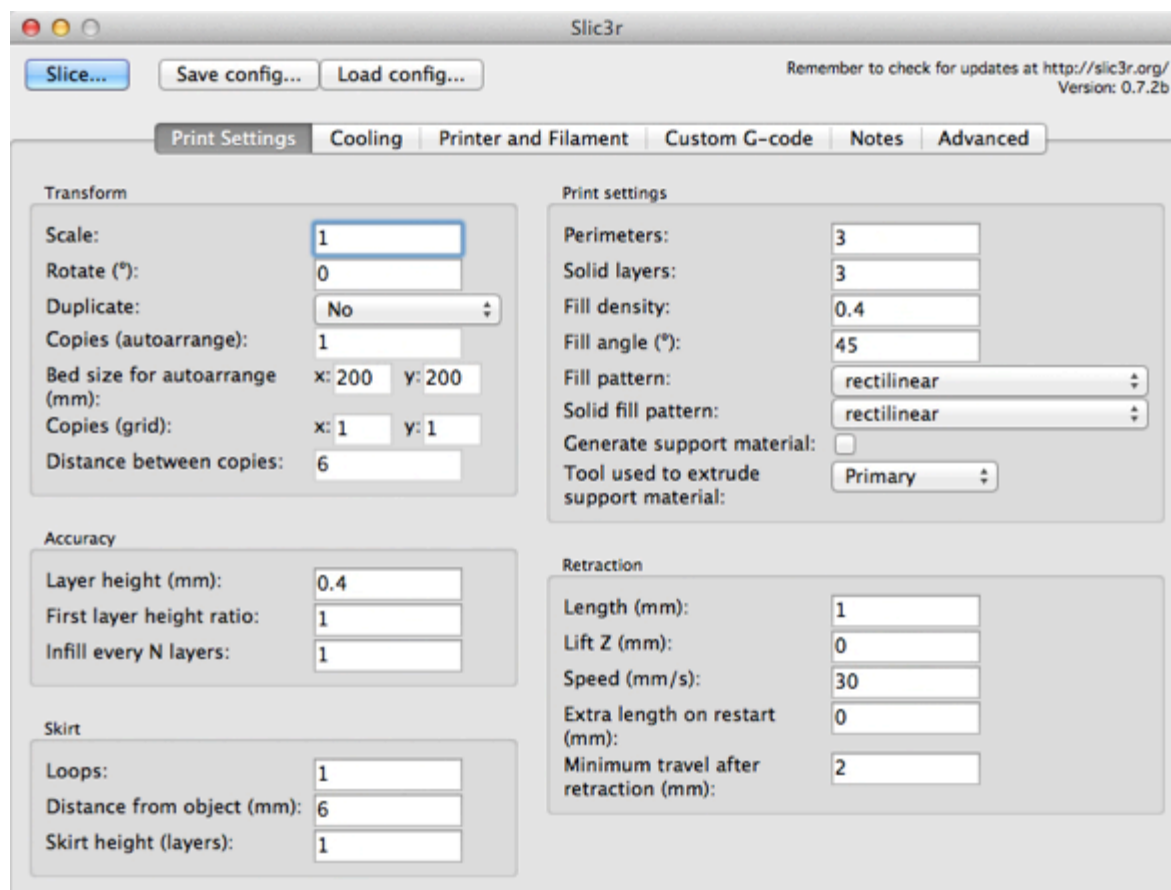
*N6 G1 F1500.0*82 // nastaví standardní rychlost posuvu v mm za minutu*

*N7 G1 X2.0 Y2.0 F3000.0*85 // provede posun hlavy s určenou rychlostí*

*N8 G1 X3.0 Y3.0*33 // stejně jako předchozí, ale použije standardní rychlost posuvu*

5.2.1 Slic3r

Slic3r je velice důležitý nástroj, který převádí STL modely do G-kódu. Jedná se o jednoduchou alternativu k mocnému Skeinforge. Na rozdíl od něho se vyznačuje jednoduchým nastavením a rychlím převodem do G-kódu.



Obr. 14 Úvodní obrazovka programu Slic3r

V následujícím textu budou popsány nejvýhodnější hodnoty nastavení pro tiskárnu RepRap, která byla vytvořena v rámci této práce. Použití tohoto nastavení na jiných tiskárnách se v některých případech nemusí shodovat. Název kapitol zachovává anglické názvy pro lepší orientaci, úvodní okno je znázorněno na obrázku Obr. 9. Hlavičky třetí úrovně značí jednotlivé záložky a čtvrté úrovně pak bloky. [9]

5.2.2 Print settings

Základní záložka, která se zobrazí při zapnutí programu.

5.2.2.1 Transform

Tento blok necháme bez povšimnutí. Možná jen kdybychom chtěli upravit velikost modelu, můžeme použít násobič Scale.

5.2.2.2 Accuracy

V tomto bloku se zaměříme na Layer height. Tento parametr se bude odvíjet od kvality tisku jakou požadujeme. Není dobré nastavit menší než 0,3 a větší než 0,4. Jako

nejvýhodnější hodnota se jeví 0,35. Pro hrubší tisk, kde nezáleží na kvalitě povrchu a pevnosti stačí použít 0,4. U modelů, kde chceme větší pevnost můžeme použít 0,3. Na obrázku Obr. 15 je příklad, jak vypadají jednotlivé nastavení vrstvy. Jako demonstrační model byla vybrána kostka kompatibilní se stavebnicí LEGO. Čísla na stěně říkají, jaké číslo bylo použito při volbě výšky vrstvy. Ostatní parametry zůstaly stejné, což se později ukázalo jako nešťastná volba. To proto, že při změně výšky vrstvy je třeba upravit parametry jako je rychlost nebo zdvih Z osy při posunu.



Obr. 15 Ukázka nastavení vrstev

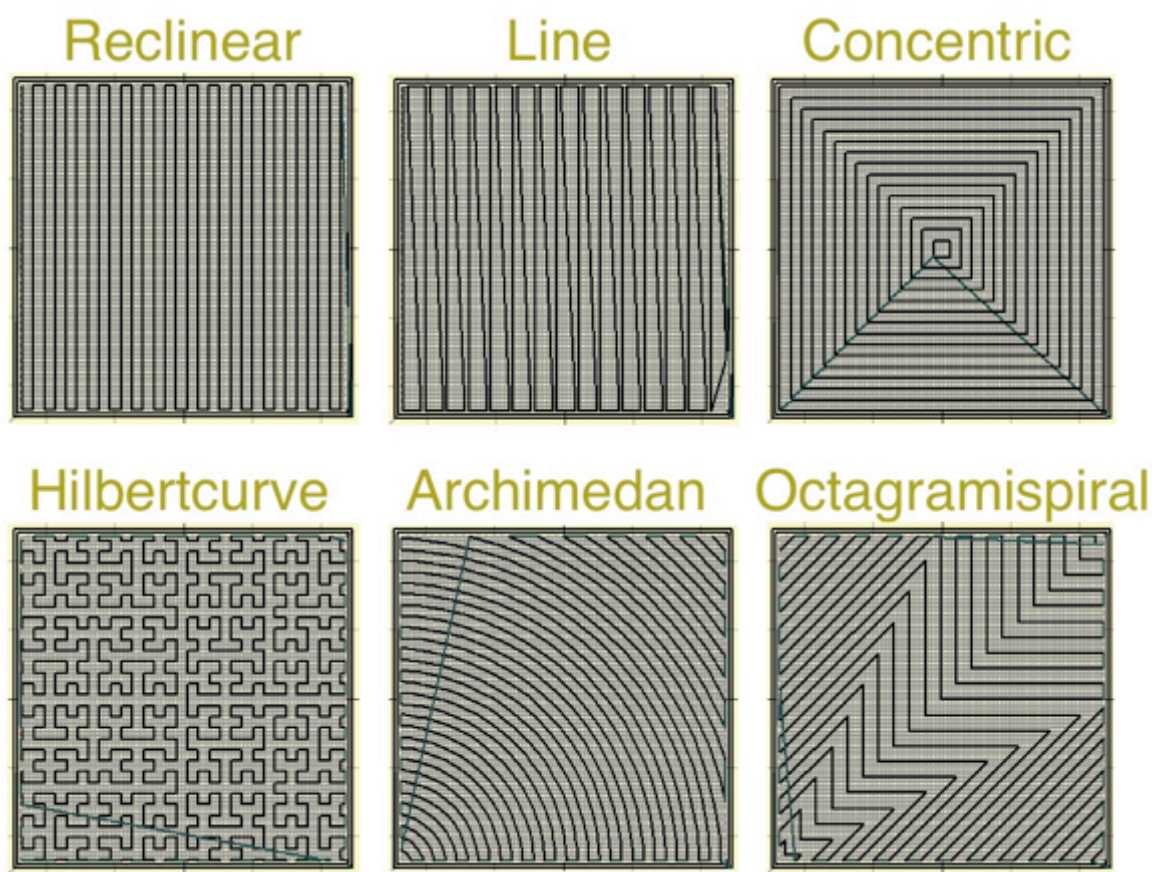
5.2.2.3 Skirt

Tento blok nám slouží jako takový zkušební předtisk, zda hlava správně vytlačuje, a proto je dobré nechat na výchozích hodnotách. Jakmile začne tisk, tak se nejprve obkrouží celá hranice objektu ve vzdálenosti 6 mm. Pokud by byla někde chyba, dá se tisk zastavit a upravit. Někdy se stane, že se materiál před začátkem tisku příliš nataví a když se začne hlava pohybovat a vytlačovat, tak se plast lepí na trysku. Díky tomu, že tiskárna objedná toto kolo před začátkem samotného tisku předmětu, můžeme pomocí šroubováku nastaveninu zachytit a pokračovat v tisku bez ovlivnění první vrstvy.

5.2.2.4 *Print settings*

Položky patřícího pod tento blok nám ovlivňují kvalitu a pevnost. Perimeters nám udává sílu stěny ve vrstvách. Výchozí hodnota 3 je ve většině případů naprosto dostačující. Pokud chceme vytisknout jen testovací předmět, stačí jen jedna vrstva díky čemuž bude předmět sice měkčí, ale rychleji vytištěn s použitím méně materiálu. Solid layers je parametr, kterým zadáváme počet vrstev tištěných u vodorovných ploch, kterými se končí. Stejně jako u okrajů, počet těchto vrstev ovlivňuje pevnost a tuhost. Fill density je hodnota intenzity výplně. Tento parametr nejvýznamněji ovlivňuje pevnost výsledného tisku a spotřebu materiálu. Pro tisk dílů na tiskárnu se doporučuje 50%. Při běžném tisku se nepředpokládá překročení této hodnoty z důvodu, že to nemá význam vzhledem k pevnosti.

Fill pattern a Solid fill pattern jsou nabídky, kde se vybírá tvar tisku plné výplně. Na obrázku Obr. 16 je vidět, jak vypadají jednotlivé možnosti.



Obr. 16 Ukázka možností výplní

5.2.2.5 Retraction

Při tisku a následném pohybu hlavice dochází k jevu, kde se od místa posunu k cíli táhne nitka nevytlačeného materiálu díky jeho viskózním vlastnostem. K předejití tohoto nechtěného jevu slouží následující nastavení. Položka Lenght udává, kolik mm se vsákne dovnitř, jako nejlepší hodnota se jeví 2 mm. Lift Z je kontroverzní parametr. U menších a krátkých tisků je dobré použít hodnotu 1. Ale pokud tiskneme větší nebo komplikovanější objekty, obzvláště velikou rychlostí, nedoporučuje se měnit výchozí hodnotu. Je to z důvodu, že by se krokový motor nebo ovladače zahřáli na vysokou teplotu a došlo by k vynechání kroků. Parametr Speed se odvíjí od kvality materiálu a použitého firmwaru, ale doporučená hodnota je kolem 20 až 25 mm/s.

5.2.3 Cooling

Tato nabídka je v hodná, pokud elektronika umožňuje kontrolu větráku. V současné verzi školní tiskárny tato možnost není. Větrák je sice namontován, ale je zapojen tak, aby fungoval po celou dobu, kdy je tiskárna zapnutá.

5.2.4 Printer and filament

5.2.4.1 Printer

Tyto parametry mohou zůstat ve výchozím nastavení. Snad jen místo hodnot u X a Y středu tiskové plochy se může uvést 190 a to, že tiskárna je ve firmwaru omezena na pohyb 190 mm ve vodorovných osách.

5.2.4.2 Filament

Zda se upravují teploty pro tisk. Hodnoty se odvíjí od kvality a použitého materiálu. Pokud se tiskne s PLA, tak nejnižší doporučená hodnota je okolo 165, při nižší teplotě dochází k ucpávání při tisku a firmware tiskárny je také nastaven tak, aby netiskl, pokud se dostane teplota trysky pod hodnotu 150. Při teplotách nad 200 může zase docházet k samovolnému výtoku tiskového materiálu.

Teplota vyhřívání podložky je doporučená pro PLA kolem 60 stupňů a u ABS okolo 100. PLA vyhřívání nepotřebuje vůbec, ale pokud je vyhřívání zapnuto, tak se materiál lépe přichytí. Pro ABS je podmínka mít vyhřívání zapnuto.

U extruderu je dobré nastavit teplotu první vrstvy asi o 5 stupňů vyšší než je provozní teplota.

5.2.4.3 *Print speed*

V tomto bloku se nastavují rychlosti pro tisk. V převážné většině případů se tyto hodnoty mohou nechat ve výchozím stavu. Pokud chceme, aby měl výsledný model co nejlepší povrch, mohou se teploty snížit na poloviční hodnotu.

5.2.4.4 *Other speed settings*

Může se nechat na výchozích hodnotách. Snad jen násobitel rychlosti u první vrstvy je lepší nastavit na 0,5 nebo 1, protože nižší hodnota u větších objektů by tisk značně zpomalila.

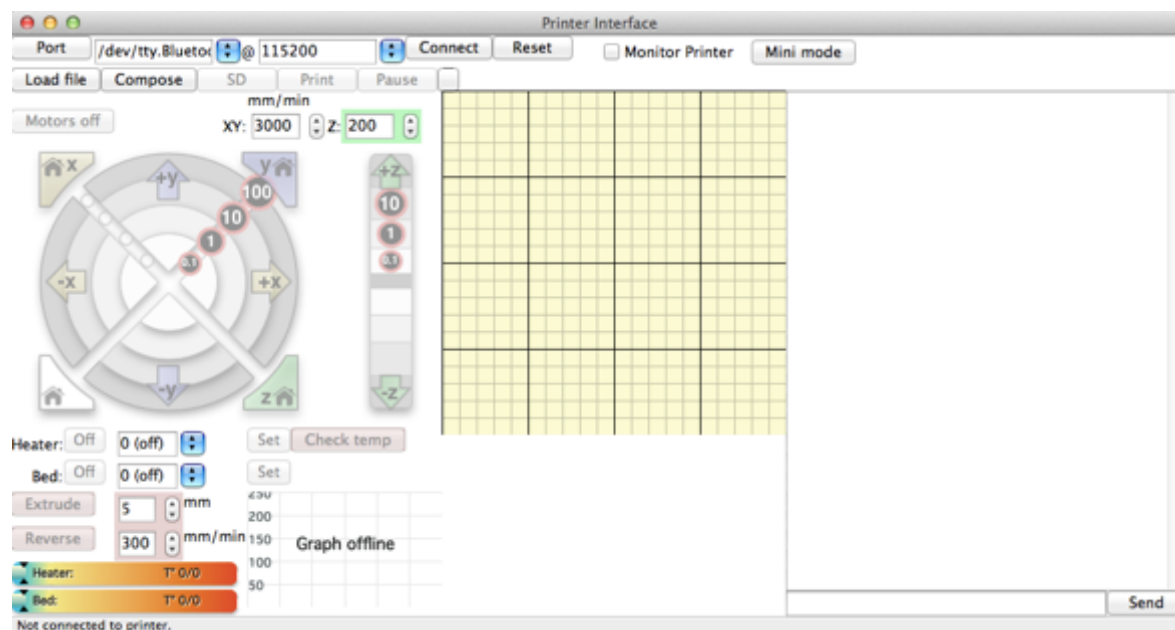
5.2.5 *Ostatní*

V ostatních záložkách a nabídkách se nemusí nic měnit.

Po úspěšném nastavení parametrů můžeme zmáčknout tlačítko Slice, které nám otevře dialogový box, kde se vybere STL soubor, který chceme převést. Výstupní soubor obsahující objekt v příkazech G-code bude umístěn do stejné složky a se stejným jménem jako STL soubor, změní se jen jeho přípona na .gcode.

5.3 *Software pro tisk*

K ovládání tiskárny a samotného tisku se velice osvědčil nástroj Pronterface. Jedná se o multiplatformní aplikaci. Tato aplikace slouží, jak pro kalibraci díky možnosti hýbat osami, tak k samotnému tisku. Ve své podstatě jen posílá instrukce G-code v závislosti na akci vyvolané kliknutím na jednotlivé uživatelské prvky.



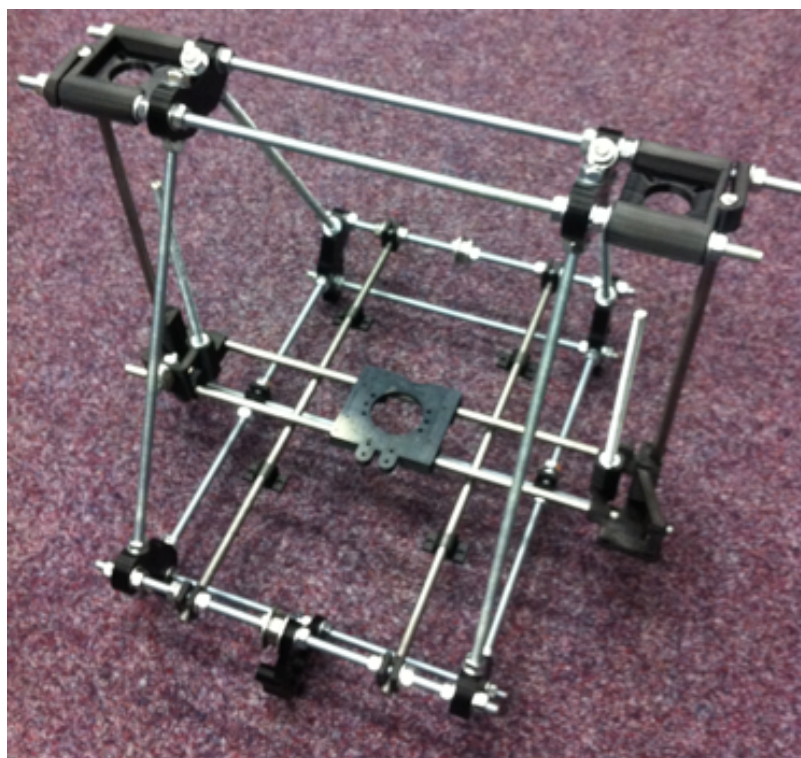
Obr. 17 Obrazovka ovládacího softwaru Pronterface

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VÝBĚR TISKÁRNY

Při výběru se postupovalo od výběru konkrétní konstrukce v té době realizovaných řešení. Konstrukcí je myšleno fyzické tělo tiskárny, patří sem i krokové motory, výtlačná hlava a vyhřívaná podložka. Dále se přešlo k výběru ovládací elektroniky a na jejím základě se volil ovládací firmware. Ovládací software a odůvodnění výběru bylo popsáno v předchozích kapitolách.

6.1 Konstrukce



Obr. 18 Poskládaný rám školní tiskárny

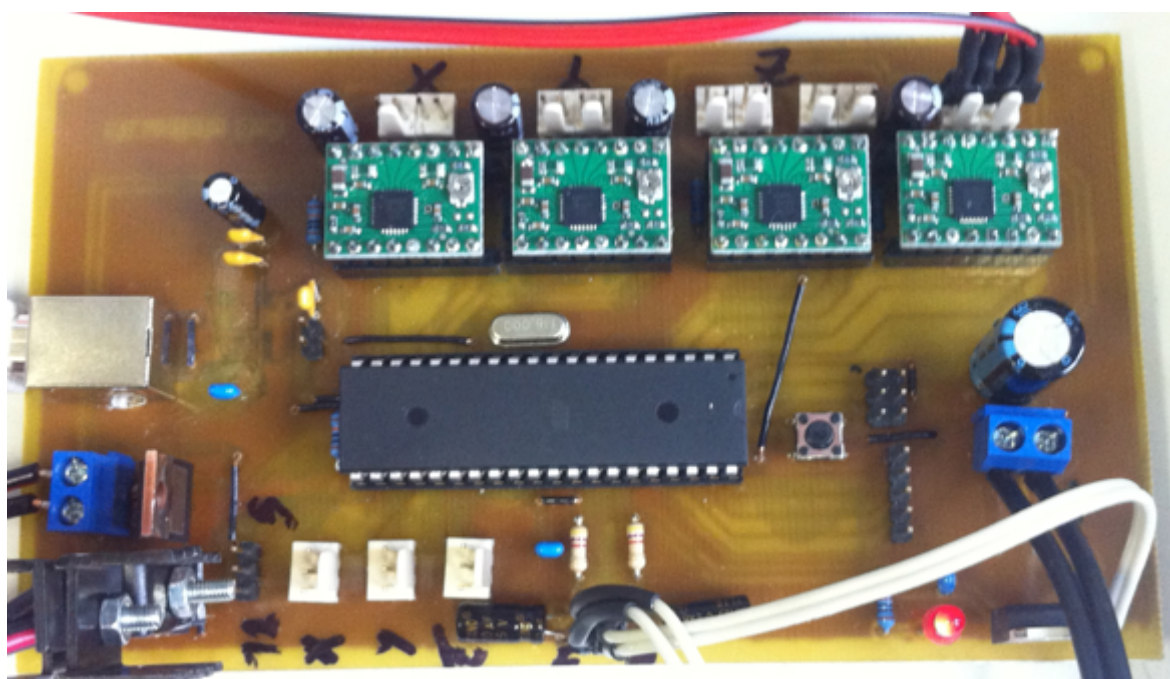
V době, kdy se konstruovala tiskárna byl výběr konstrukce omezen jen na modely Darwin, Mendel a Prusa Mendel. Proto se přistoupilo ke konstrukci verze Prusa Mendel. Avšak byly zakoupeny díly modifikované verze Prusa Mendel v.2 od německého prodejce. Mezi modifikace patří upevnění vodících tyčí Z osy, které jsou přímo tisknuté jako součást držáků motorů Z osy. Dále pak tištěné součásti jsou dimenzované na obyčejné kruhové objímky namísto horizontálních ložisek LM8UU, což šetří náklady na tato ložiska.

6.2 Ovládací elektronika

Výběr ovládací elektroniky byl o něco komplikovanější než výběr konstrukce. A to z důvodu, že existuje větší množství řešení, kde má každé své výhody a nevýhody.

Konkrétní typy ovládací elektroniky byli popsány v teoretické části. Při výběru vhodného kandidáta na realizaci bylo zapotřebí zvážit několik faktorů. Mezi ty hlavní patřila cena za vyhotovení desky plošných spojů (DPS), dále pak dostupnost pro naši krajinu. Do konečného výběru se dostali jen dva typy elektroniky a těmi byly RAMPS a Sanguinololu. První ze zmíněných vyhovoval díky tomu, že se jedná o modul, který se nasadí na Arduino. Na tomto modulu se nachází jen ovladače krokových motorů POLOLU, ovládání topných těles a vstupy z dorazových členu. Druhá varianta a to Sanguinololu je klon Arduino, kde je vše na jednom DPS společně s ovladači krokových motorů POLOLU, tranzistorové spínání vyhřívaných částí a napájení. Vše je navrženo na dvoustranou DPS o velikosti vizitky. Jako vítěz byla vybrána ovládací elektronika Sanguinololu díky své kompaktnosti. [1]

Jako první se přistoupilo k tomu, že se navrhne a vyleptá jednovrstvá DPS. A to z toho důvodu, aby bylo časem možné dále vylepšovat návrh a přidávat funkce což by s původním originálním návrhem mohl být problém vzhledem k velikosti a profesionálně vyrobené plošné desce. Jako podklad při návrh se vzalo Sanguinololu 1.2a. Vyleptaná a osázená deska je na obrázku Obr. 19. Výsledný návrh pro program Eagle je na příloženém CD a jako příloha na konci této diplomové práce. [5]



Obr. 19 Osázená a částečně zapojená Stenololu 0.8

6.3 Firmware

Protože jako elektronika byla použita modifikovaná verze Sanguinololu, která byla nazvána Stenololu, byl výběr firmwaru omezen na Sprinter, TeaCup, Marlin a Tonokip. Postupně se vyzkoušeli první tři zmiňované a na trvalé použití byl ponechán Marlin díky jeho PID regulaci topných těles a akceleraci pohybu os. Nejaktuálnější verzi je možné získat na stránkách <https://github.com/ErikZalm/Marlin>. GitHub je webově orientovaný portál pro hostování softwarových projektů na bázi revizního systému Git. GitHub nabízí hosting jak pro komerční projekty, tak pro open source komunitu vyvíjející zadarmo. Tento portál nabízí různé funkce v podobě příspěvků, sledování činnosti vývojářů a grafické zobrazení toho, jak vývojáři pracují na svých projektech. Obzvláště se hodí pro uživatele, kteří díky tomuto mají vždy přístup k updatovaným a aktuálním verzím jednotlivých projektů. Software na kterém běží GitHub byl napsán pomocí Ruby on Rails a Erlang vývojářem Chrisem Wanstrathem. Mezi nejvýznamnější klienty patří RedHat, wmWare, twitter, mozilla, facebook a Microsoft. [10]

Abychom mohli nahrát firmware do MCU, je nejprve potřeba ho stáhnout z GitHub případně jiného umístění dle konkrétního typu. Následně se otevře projekt v softwaru Arduino a provedou se úpravy. Pokud toto máme, dá se projekt zkompilovat a nahrát pomocí bootloaderu na MCU.

7 POSTUP SESTAVOVÁNÍ

Sestavování rámu tiskárny zabralo zhruba den. Nejdříve bylo potřeba nařezat závitové tyče na požadované délky.

Jakmile byly tyče nařezány, začalo sestavování. Jako první se namontovaly spodní díly, které budou sloužit jako podstavce, tento díl je na obrázku Obr. 20. Dalším krokem bylo sestavit boční rámy, které jsou trojúhelníkového tvaru, což demonstruje obrázek

Obr. 21.



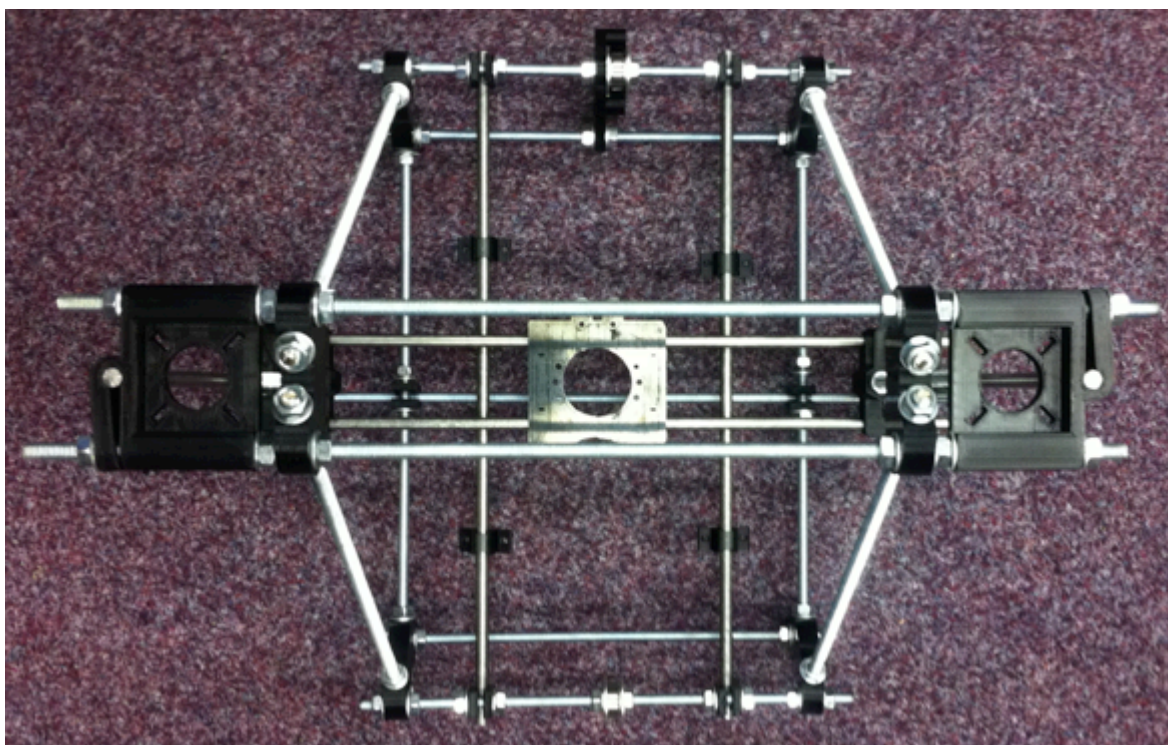
Obr. 20 Spodní tyč boční hrany



Obr. 21 Boční díl tiskárny

Když se smontovaly dva trojúhelníkové díly bočních rámu, mohlo se přejít k jejich spojení. Ke spojovacím závitovým tyčím ještě přibýly hladké tyče, na kterých jezdí pohyblivé části. Výsledná konstrukce zobrazená z horního pohledu je na obrázku Obr. 22. V této fázi bylo nutno vzít si na pomoc metr, případně velké posuvné měřítko a začít vyměřovat rozměry a

dotahovat s co nejmenší odchylkou. Jak bude popsáno v další kapitole, tento krok ušetří spoustu času a potíží.



Obr. 22 Horní pohled na tiskárnu před kalibrací

Když bylo vše dotaženo a vyměřeno, přešlo se k montování krokových motorů. U těch byla potřeba připájet prodlužovací dráty, jelikož délka drátů od výrobce by nedosáhla k místu, kde bude umístěna deska elektroniky.

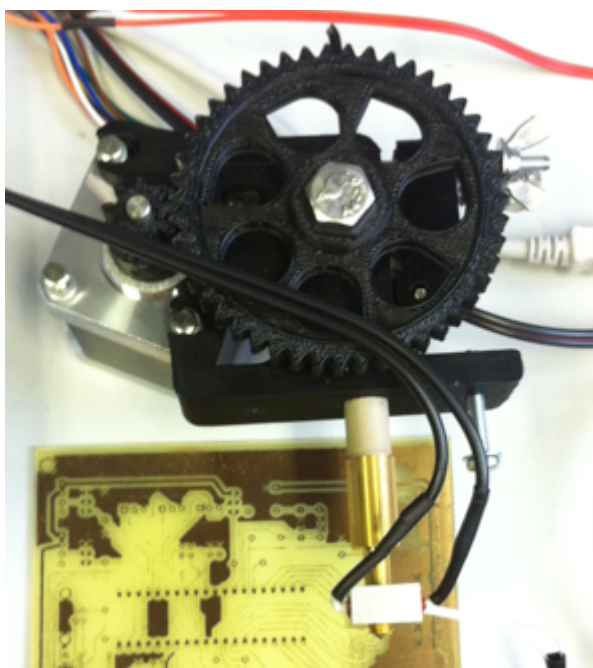
Jako další se namontoval extruder, který byl koupen již smontovaný. Na obrázku Obr. 23 je vidět při prvním testu funkčnosti. Jako oddělení tavicí hlavy od plastových dílů, které tvoří konstrukci extruderu, se používá PTFE. Ten je známý pod obchodní značkou Teflon a má nejnižší koeficient tření ze všech známých pevných materiálů. Jeho bod tání se pohybuje mezi 260°C až 327°C. Díky jeho tuhosti a váze je ideální materiál pro RepRap tiskárny. Termoplasty často zvětší svůj obsah, když se blíží k bodu tání. Proto se ve spoustě extruderů používají PTFE vložky, takže nabobtnalý plast pěkně klouže v kanálku a tím se zabraňuje jeho zaklínění.

Nakonec se montovala vyhřívaná podložka. Před tímto krokem však bylo nutné nařezat duralový plech dle rozměrů. K vyhřívání byly použity topné odpory, které se nalepily pomocí vodivého lepidla s adhesivní složkou. Aby se zajistilo co nejlepší vedení tepla, byly po bocích přilepeny také L pásy z hliníku, k tomuto stačil 1 m nařezaný na 5 cm

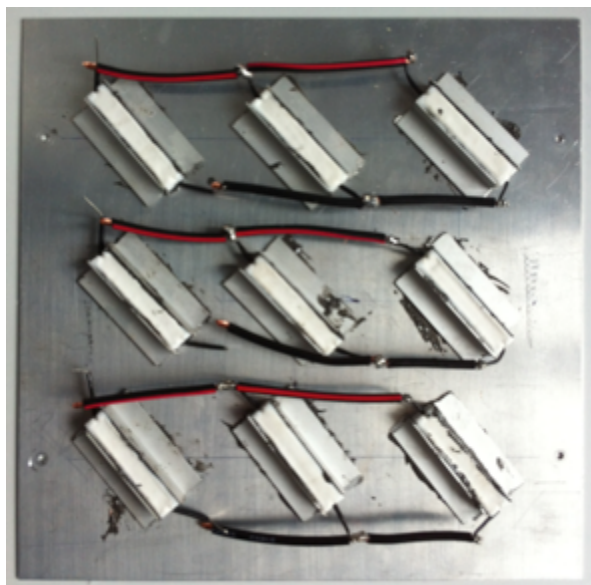
díly. Výsledek společně i s paralelním zapojením odporů je na obrázku Obr. 24. Dále se na plech upevnil 100kOhm termistor pro měření teploty.

Po sestavení konstrukce tiskárny přišla na řadu elektronika. Postup výroby DPS se zde popisovat nebude, neboť na toto téma byla napsána řada publikací a ani to není v popisu této diplomové práce. Ve chvíli, kdy byla osvícena a vyleptána deska, přešlo se k vyvrtání děr pro součástky. Většina byla rozměru 0,8 mm a několik 1mm pro tranzistory, USB koncovku typu B a silové vedení. Osazovat se začalo propojkami a následovaly rezistory, kondenzátory, tranzistory a jako poslední byly patice. U elektroniky už jen zbývalo upevnit chladiče na tranzistory.

Před ukončením kompletace a přechodem k ožiování zbývalo ještě upevnit koncové spínače pro určení výchozí pozice a připájet k nim dráty. Tento krok se neobešel bez komplikace. Tou bylo určení, zda se spínač zapojí do stavu NORMAL CLOSE, což by znamenalo, že dokud nebude požadovaná pozice dosažena, bude spínač v zavřeném stavu. A naopak zapojení NORMAL OPEN, kde by byl výchozí stav otevřen. V návaznosti na toto se musel patřičně upravit firmware, aby vše fungovalo. O tomto však až v další kapitole. [3]



Obr. 23 Extruder před prvním testem funkčnosti



Obr. 24 Spodní strana vyhřívané desky

8 POSTUP OŽIVOVÁNÍ

Sestavení rámu tiskárny a namontování krokových motorů zabralo den, vyleptání, vyvrtání a osazení elektroniky další den a následná kompletace zhruba týden, je proces oživování tou nejdelší a nejkomplikovanější procedurou, která je potřeba absolvovat, aby byl projekt dotažen do zdárného konce.

Jako první se začalo s elektronikou, tedy nahráním zavaděče do mikroprocesoru, aby se dále mohlo nahrávat firmware. Toto se provedlo pomocí profesionálního programátoru a bootloaderu pro Sanguinololu dostupného na stránkách projektu. Před samotným nahráním Marlin firmwaru do MCU bylo třeba upravit pár hodnot v konfiguračním souboru Configuration.h z důvodů kompatibility. Aktuální verze i s úpravami je na přiloženém CD.

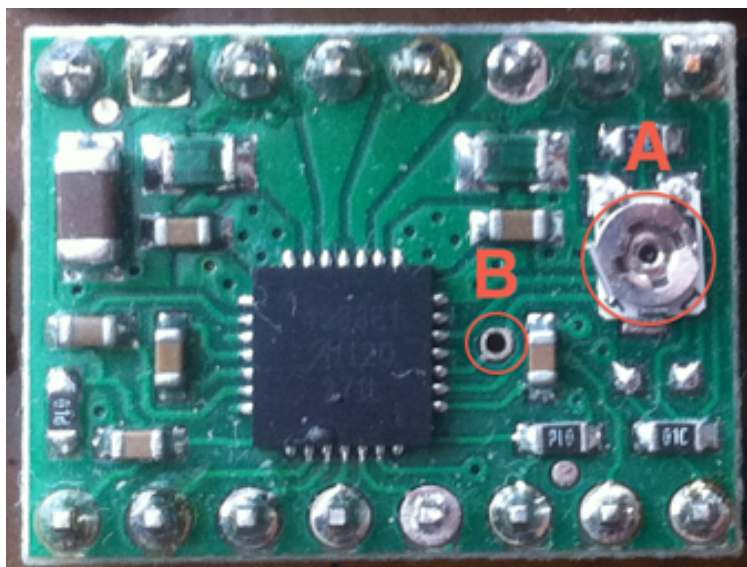
- Řádek 15 převedeme na komentář pomocí lomítek //
- Řádek 16 zbavíme komentáře, stačilo by tento a předchozí řádek nechat defaultně, musela by se však upravit rychlost připojení v Pronterface na 250000
- řádek 35 obsahující *#define MOTHERBOARD* nastavíme na hodnotu **62**, což je číslo pro desku Sanguinololu 1.2 a vyšší.
- Řádek 54 změníme hodnotu -1 na 1 a to, aby se použil při řízení teploty 100kOhm termistor
- Řádek 57 nastavíme stejně jako 54, tento řádek je však pro vyhřívanou podložku
- Řádky 94, 95 a 96 zakomentujeme aby nebyli aktivní
- Řádky 104, 105 a 106 zbavíme na začátku lomítek sloužících ke komentáři tak, aby byli aktivní, jedná se o konstanty pro PID regulaci
- Řádek 112 změníme na hodnotu 150, což bude sloužit jako nejnižší teplota, při které nám firmware dovolí používat extruder
- řádky 155, 156 a 157 upravíme, aby se tisková hlava nemohla pohybovat mimo prostor, jež jí dovoluje fyzická konstrukce. Je dobré nastavit softwarově omezení na hodnoty pro X = 190, Y = 190 a Z = 90
- řádek 170 obsahuje konstanty pro krokové motory. Bez této úpravy by výsledné objekty neměly požadované rozměry. Tyto hodnoty ovšem nejsou směrodatné a mohou se lišit o setiny milimetru v závislosti na dotažení pásů. Ve stavu, v jakém se tiskárna nachází, by měl tento řádek vypadat následovně: *#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT = {64, 64.2, 2560,735};*

Dále byla potřeba upravit jeden řádek v souboru Pins.h, to z důvodu, že na Stenololu byl použit malinko odlišný MCU, než je v původním Sanguinololu. Jedná se o řádek 567 a úprava spočívá ve smazání písmenka P ve jméně MCU, výsledek by měl vypadat následovně `#ifndef __AVR_ATmega644__`

Pro nahrání použijeme software učený pro vývojové desky Arduino. V době, kdy se psala tato práce, byla aktuální verze Arduino 1.0.1, která ovšem není kompatibilní se Sanguinololu. Abychom mohli nahrát fw do MCU, je třeba Arduino 0023 společně s rozšířením pro Sanguinololu, které obsahuje stažená složka s firmware Marlin. Jedná se o složku Sanguinololu, kterou zkopírujeme do adresáře s Arduino/Hardware, podle typu operačního systému. Pokud se povedlo úspěšně zkopírovat, spustíme Arduino a otevřeme soubor Marlin.pde, toto nám rozevře celý projekt. Abychom mohli nahrát firmware do MCU, je třeba vybrat v horním menu položku *Tools*, z rozbaleného seznamu najedeme na *Board* a zde vybereme *Sanguinololu*. Nahrání provedeme výběrem z horního menu položku *File* a v rozbalovacím menu *Upload to I/O*, toto spustí kompilaci a následné nahrání firmwaru do MCU. Hned po této akci je potřeba přivést MCU do nahrávacího módu, čehož dosáhneme zmáčknutím mikrospínače umístěného na desce. Takto se přivede mikroprocesor do bootloader režimu na dobu 3s a umožní nahrát firmware. Pokud by kompilace trvala déle a Arduino vyhodilo chybovou hlášku, je možné tlačítko držet do doby, než se v dolní části programu objeví hlášení o velikosti zkompilevaného FW, v tuto chvíli pustíme mikrospínač a nahrání by mělo proběhnout v pořádku.

První připojení počítače s elektronikou bylo úspěšné za pomoci programu Pronterface. To se ovšem nedalo říci o funkčnosti. Pro první pokusy s krokovým motorem se použil motor extruderu, který nebyl ještě namontován. První se upravila hodnota přiváděného napětí a to otáčením trimru na ovladači Pololu označeného **A**, jak ukazuje obrázek Obr. 25. Pro nastavení správné hodnoty se měřilo napětí mezi uzemněnou kostrou a bodem **B** na ovladači krokových motorů, což je taky znázorněno na obrázku Obr. 25. Další komplikace, jak se později ukázalo, spočívala v chybně navrženém zapojení na desce. Přestože se vycházelo z originálního návrhu Sanguinololu, byl problém způsoben děliči mikrokroků u zapojení Pololu. Byla tedy potřeba manuálně propájet jednotlivé konektory určené na jumpery. Tím se problém odstranil a mohlo se pokračovat dále. Pokud jsme chtěli pohybovat některou z os, tak motor vrčel, ale nepohnul se. Jak se později po hledání řešení ukázalo, problém byl způsoben nekompatibilitou českého výrobce se zahraničními ekvivalenty. Toto se projevilo v tom, že dráty měly odlišné barvy, než popisoval návod a

také rozdílné zapojení vnitřního vynutí motoru. Po prostudování několika manuálů a důkladném proměření jednotlivých vinutí multimetrem byl problém rozuzlen a podařilo se krokové motory zapojit správně. Díky tomu se zjistilo, že všechny ovladače krokových motorů fungují a je bezpečné připojit k nim jednotlivé motory upevněné na rám tiskárny.



Obr. 25 Detailní pohled na ovladač krokových motorů Pololu

Postupně se však začalo ukazovat, že se s tiskem jen tak nezačne. Tiskárna stále ukrývala mnoho úskalí a problémů k vyřešení. Jedním z nich bylo zapojení koncových spínačů, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách. Osa X se pohybovala správně, jen opačně než měla, toto se vyřešilo prostým přetočením konektoru zapojeném na desce. Ale u osy Y byl problém, že se deska pohybovala jen v jednom směru. To bylo způsobeno nastavením zmíněného koncového spínače ve firmwaru. Po chvíli procházení kódu se našel příslušný řádek a změnila se hodnota tak, aby se invertovalo zapojení. Osa Z a směr točení korkového motoru na výtlačné hlavě byli v pořádku.

Následující krok byl důležitý proto, aby se roztavený plast správně přichytí k podkladu a byl rovnoměrně silný. To se ověřilo jednoduchou pomůckou. Překvapivě obyčejný kancelářský papír a kleště stačí k úspěšnému provedení této kalibrace. Existují i sofistikovanější řešení, avšak toto je bez problému dostupné pro každého. Postupuje se vždy po protilehlých rozích, kde se utahují nahoru či dolů šrouby držící vyhřívanou desku tak, aby se dosáhlo 100% kolmosti vůči výtlačné hlavě. Pak se vezme papír a dá se mezi výtlačnou hlavu a desku. Postupně se točí dilatačním šroubem dle potřeby velikosti mezery, jenž je umístěn na levé straně Z osy. Šroub je znázorněn na obrázku Obr. 26 a jedná se o jedno z vylepšení, které se na tiskárně aplikovalo. Potřebná mezera se popsat

nedá, ale v podstatě je potřeba, aby papírem šlo pohybovat s malým odporem, čímž by měla být mezera o něco menší, než je tloušťka kancelářského papíru.



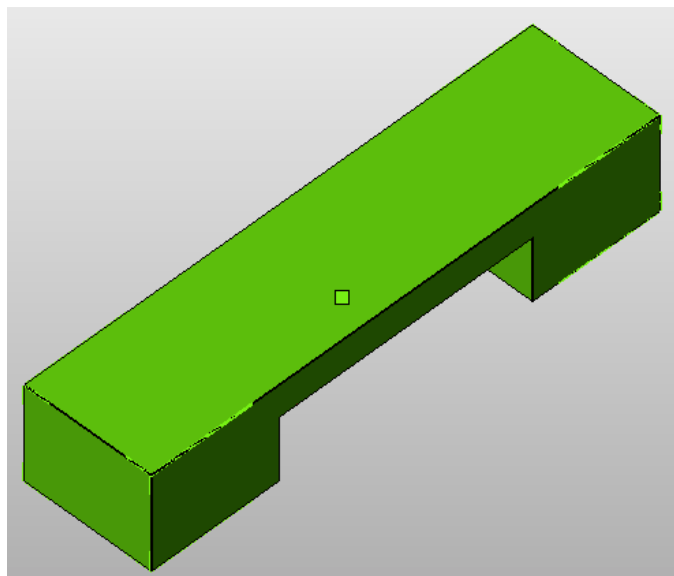
Obr. 26 Dilatační šroub pro polohování Z osy

Motory tedy fungovaly a točily se v požadovaných směrech a tiskárna dokázala provést základní úkon uvedení se do výchozího postavení. Jemuž se říká „homing“ a je to úkon, kdy osy najedou na koncové spínače. Bylo tedy na čase začít tavit plast a zkusit, zda tryska splní úkol, pro který byla vysoustružena. Zapojil se topný odpor o hodnotě 6.7 Ohmu a termistor pro měření teploty. V aplikaci Pronterface se nastavila hodnota topné hlavy na 185 °C, což je doporučená teplota pro polymer typu PLA. Teplota se vyšplhala na požadovanou hodnotu v celku krátkém čase a bez komplikací. Tak se tedy vsunul vzorek plastu do vstupního otvoru extruderu a v aplikaci Pronterface se mačkalo tlačítko pro vytlačování, dokud se roztavený plast nezačal objevovat v podobě 0.5 mm vlákna. Tím tedy byla ověřena funkčnost výtlačné hlavy. Když už se testovalo vyhřívání topnými odpory ovládané pomocí tranzistorů, přešlo se k testu vyhřívání desky. U ní se však postupovalo s rozvahou, jelikož dle výpočtu bylo potřeba zhruba 10 A. Podobně jako u extruderu se nastavila požadovaná teplota na 60 °C a čekalo se, zda bude této teploty dosaženo. Opravdu bylo, zkusila se tedy teplota 110°C, která je potřeba při tisku s plastem typu ABS. U tohoto testu se však projevilo veliké zahřívání tranzistoru a musel se přerušit. Pokračovat se dalo až po namontování adekvátního pasivního chladiče. V průběhu

několika dnů se testovalo maximum, jaké je deska schopna dosáhnout. Touto hodnotou, jak se ukázalo, je 119°C.

Vše tedy bylo zapojeno a zdálo se, že funguje v pořádku. Byl tedy namontován extruder ke konstrukci a vše bylo řádně zapojeno. Nastal okamžik pro výběr prvního modelu, na kterém se vyzkouší kvalita tisku na tiskárně. Bylo také potřeba absolvovat několik preprint kroků, jako je získání modelu, oprava triangulační mřížky povrchu modelu, převedení modelu do kódu, ve kterém komunikuje počítač s elektronikou respektive tiskárnou. K těmto účelům existují aplikace, které byly popsány v teoretické části.

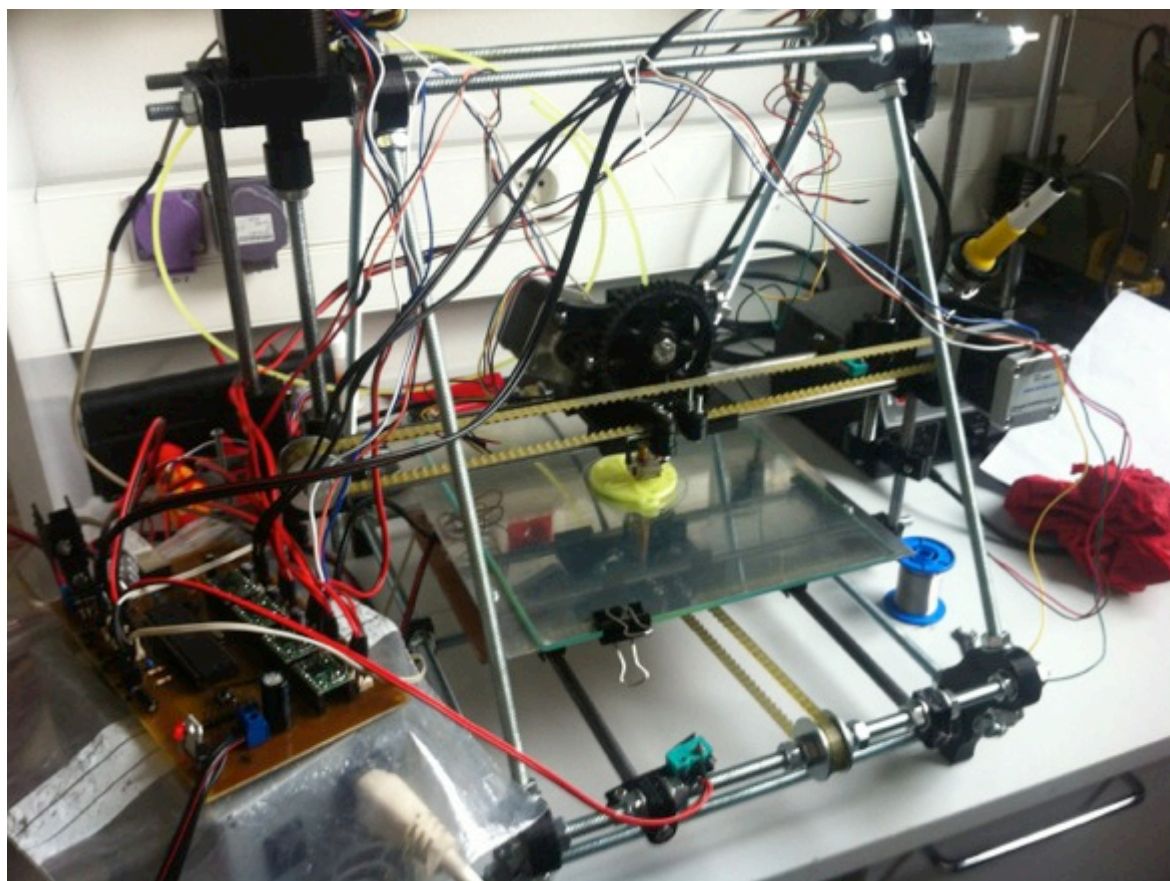
Prvním modelem, který byl vytisknut, byla hlava stormtrupera ze Star Wars. První pokusy však nedopadly nijak dobře a muselo se přejít ke kalibraci. Kalibrace spočívala v ověření, zda tiskárna tiskne správně rozměry, k tomu posloužilo vytisknutí kostky o pevně daných rozměrech. Tato kostka se následně přeměřila posuvným měřidlem a jednoduchým výpočtem se došlo ke správné hodnotě pro nastavení v `Configure.h` u každé osy. Správnost se ověřila opakovaným tiskem a měřením kostky. Kalibrace extruderu se provádí podobně, ale měří se délka vstupujícího plastu namísto vytlačovaného. Vyznačí se tedy na vrcholu extruderu dostatečná délka zhruba 60 mm. Následně se provede manuální vytlačení 40 mm pomocí programu `Pronterface`. Jako poslední se odměří zda se opravdu odvinulo 40 mm, toto poznáme že od vyznačeného místa po vstup do extruderu bude 20 mm plastu. Následně provedeme přepočty jako u os a doplníme do konfiguračního souboru. Po této kalibraci již tiskárna tiskla relativně dobře a vytištěný model se podobá své elektronické podobě. Ale přišlo se na další problém, který se projevil na vrchu pomyslné helmy propadem tisknutých vláken. Toto je způsobeno jevem který se nazývá „bridging“. V podstatě se jedná o tisknutí částí vrstvy kde nebylo tisknuto v předchozí vrstvě. Tedy tisknutí ve vzduchu. Výhodou tiskárny je, že tento tisk dokáže provádět, pokud jsou dobře nastaveny hodnoty ve `Slic3r`. Jedná se o hodnoty teploty a rychlosti. Bohužel neexistuje univerzální doporučení, protože každá tiskárna je jiná a obzvláště komplikující faktor je plast. Z důvodů velké fragmentace výrobců a dodavatelů plastů pro tiskárny projektu RepRap je kvalita různá. Po několika experimentech tisku modelu zobrazeného na obrázku Obr. 27, bylo dosaženo akceptovatelné kvality. Ještě existuje druhé řešení a tím je vytištění podpěr. Například u modelu který je uzavřen můžeme volbou vhodného procenta výplně docílit, že k efektu propadání nedojde. U objektů, jako je například postava stojícího psa, je potřeba k tisku samotného modelu přidat tisk jakéhosi lešení. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost model upravit po vytištění a to uřezáním této podpůrné konstrukce.



Obr. 27 Model pro test tisknutí bez opory

Při tisku přívěšku na klíče, který je použit k demonstračnímu účelu v nadcházející kapitole, došlo ke zjištění, že místo, aby tiskárna tiskla dokonalý kruh, výsledný tvar je malinko nahnut na jednu stranu. Bohužel se tento jev ukázal být projevem různých nedostatků a neexistuje univerzální řešení. Po zhruba týdnu se našlo řešení tohoto nedostatku a podařilo se tento jev odstranit. Řešením bylo správné dotažení ozubených pásů a nastavení motorů tak, aby byly osově souměrné s pohybem.

Při tisku vyšších objektů docházelo k posunu objektu a místo, aby byla stěna rovná, objevily se náhodně posuny. Nejdříve se zdálo, že je to způsobováno chybou elektroniky, která pracuje na principu absolutního polohování. Tudíž by bylo řešení před každým posunem provést „homing“, toto by však znamenalo exponenciální nárůst času pro tisk. Naštěstí se tento problém již řešil v komunitě a je způsoben vysokým napětím přiváděným do motorů z Pololu ovladačů. Řešení tedy spočívalo nastavit trimer u každé osy na nulovou hodnotu, zapnout Pronterface a opakovat následující postup u každé osy i extruderu. Postup je tedy snažení se o jednomilimetrový posun v libovolném směru a současně zvyšování hodnoty trimru po malých krocích, dokud se neprojeví posun na tiskárně. Tímto by měla být hodnota nastavena přesně podle potřeby každé osy na vykonání pohybu vůči silovému odporu konstrukce. V praxi se však ukázalo že u osy Z je lepší tuto hodnotu nastavit poněkud větší. Tiskárna je tedy z kalibrována a při tisku se neprojeví další problémy a nedostatky.



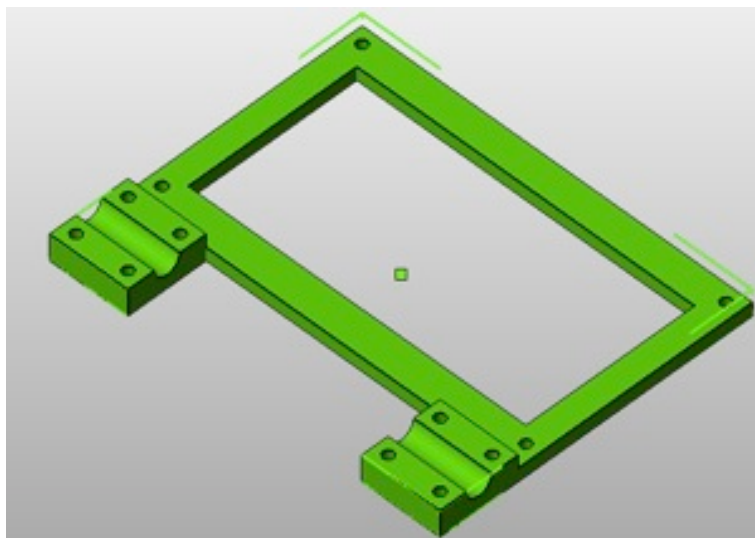
Obr. 28 Tiskárna při tisku

9 VYLEPŠENÍ

Na tiskárně bylo aplikováno několik vylepšení. Již zmiňovaný dilatační šroub zobrazen na obrázku Obr. 26. Dále pak spoj mezi motory Z osy a závitovými šrouby. Tyto spoje se ukázaly být zásadním nedostatkem konstrukce Průša Mendel. Proto se přešlo k vysoustružení dílu z plastového válce, jak ukazuje obrázek Obr. 29. Další změnou, která byla na tiskárně provedena je upevnění elektroniky na rám tiskárny jak ukazuje obrázek Obr. 30. Dále byl přidán ventilátor pro lepší regulaci. Byl zde pokus o konstrukci pro snadné odvíjení cívky s materiálem. Bohužel se nepodařilo tento záměr zdárně realizovat. Nakonec se tedy přešlo k obyčejnému řešení, které je vidět na obrázku Obr. 31. Mezi poslední vylepšení patří návrh nové desky s opravou chyb, na které se přišlo při používání předchozí verze. Jedná se například o redukci zahřívání tranzistorů tím, že se provedlo paralelní zapojení tří tranzistorů. Schéma této elektroniky je v příloze P III a návrh plošného spoje pak v příloze P IV. Vše je také uloženo na přiloženém CD ve formátu pro program Eagle. [5]



Obr. 29 Spojení mezi motorem Z osy a závitovou tyčí



Obr. 30 Držák ovládací elektroniky Stenololu 0.8



Obr. 31 Triviální odvíjení cívky s materiálem

10 TISK

Proto, aby se dalo tisknout a výsledek vypadal stejně jako model, který mu je předlohou, byla potřeba spousta času. V tomto případě přes dva měsíce od nařezání první závitové tyče a objednání potřebných dílů. Všechna tato námaha byla oplacena při tisku. Zvuk krokových motorů a pohyb tiskové hlavy je jako nádherná symfonie. Aby tento pocit na tiskárně mohli prožít i další, bude v této kapitole popsán postup tisku od prvního řádku při vytváření modelu až po výsledné vytištění. Pro demonstrační účely byl vybrán přívěšek na klíče, který má tvar jako znak hnutí hippie.

Jelikož tato práce nesupluje návod pro OpenSCAD, nebude zde popis funkcí či možností tohoto nástroje. Pro základní ovládání a příkazy slouží online manuál na webové stránce http://en.wikibooks.org/wiki/OpenSCAD_User_Manual. Začneme tedy otevřením aplikace OpenSCAD. Jak již bylo popsáno, jedná se o kompilátor určitého kódu. Kód pro přívěšek je na následujících řádcích, výsledek pak na obrázku Obr. 34.

```
translate([17.5,5,0]) // tento příkaz posune vše co obsahuje
{
    cube([5,38,2]); // vytvoří hlavní vertikální obdélník
}
translate([17.5,22,0])
{
    rotate([0,0,45]) cube ([5,18,2]); // natočí o 45° a pak vytvoří levý obdélník
}
translate([18,24.5,0])
{
    rotate([0,0,-45]) cube ([5,18,2]); // natočí o 315° a pak vytvoří pravý obdélník
}
translate([20,4,0])
{
    difference() // provede rozdíl
    {
        cylinder(h=2,r=6); // vytvoří kruh pro připevnění
        cylinder(h=3,r=4); // udělá díru v předchozím kruhu
    }
    translate([0,20,0])
    {
        difference()
        {
            cylinder(h=2,r=20); // vytvoří velký kruh
            cylinder(h=3,r=15); // vytvoří díru v předchozím kruhu, tato díra
                                // obsahuje předchozí obdélníky
            translate([-4,-20,0])
            {
                cube([8,1,4]);
```

```

    }
    }
}
[12]

```

Tento kód vložíme do levého editačního okna a zmáčkeme klávesu F5, která provede kompilaci. Zároveň se zobrazí předběžný náhled a máme možnost měněním hodnot různě manipulovat s výsledkem. Změna se projeví až po kompilaci. Pokud jsme s výsledkem spokojeni zmáčkeme klávesu F6, což bude mít za následek kompilaci a vyrenderování objektu, které je důležité pro uložení do STL. Následujícím úkonem je exportování do souboru STL a to se udělá najetím na horní dialogovou lištu. V liště se vybere *Design* a následně *Export as STL*. Tato akce je následována dialogovým oknem, kde vybereme kam exportovaný soubor uložit. Tímto bychom měli mít první část uzavřenou.



Obr. 32 Zobrazení přívěšku v OpenSCAD

Zde popsany krok není pro tento demonstrační účel důležitý, vzhledem k triviálnosti a jednoduchosti přívěšku. Ovšem u složitějších objektů, navíc u těch stažených s jiných zdrojů, je dobré následující proceduru absolvovat. Jedná se o otevření a opravu triangulační mřížky povrchu v STL souboru. K tomuto slouží program Netfabb. Otevřeme si jej, nahrajeme STL model, najedeme v horním dialogovém okně na červený kříž a klikneme na něj. Toto nám dříve zelený objekt zobrazí světle modře a zvýrazní povrch trojúhelníky. Opravu provedeme najetím na *Apply repair* v levé dolní části okna. Vyskočí okno s dotazem, zda lze přepsat původní soubor, s tímto souhlasíme pomocí tlačítka *YES*. Přes tento dotaz se oprava provedla jen v programu a musíme soubor ještě uložit. Proto tedy najedeme na horní liště na nabídku *Part* a v rozevíracím seznamu pak pokračujeme

na *Export part* a vybereme *as STL*. Vyskočí nové okno s údaji o modelu, v pravé dolní části by měla být zobrazena zelená fajfka. Také si můžeme všimnout, že se k názvu souboru přidalo (*repaired*). Uložíme tlačítkem OK.



Obr. 33 Náhled klíčenky v aplikaci netfabb

Když již máme model a jsme si jistí, že je triangulační mřížka v pořádku, přejdeme k převodu STL do G-code. Pro tento převod si otevřeme Slic3r. Nejvhodnější nastavení bylo popsáno v předešlých kapitolách a INI soubor je uložen na přiloženém CD. Nahrajeme tedy toto nastavení pomocí tlačítka *Load config...*, to nám otevře okno pro výběr patřičného souboru. Pak můžeme provést převod kliknutím na tlačítko *Slice...*, načež vyskočí další okno s výběrem STL souboru. Program nějakou chvíli pracuje, v porovnání s Skeinforge je to však doba minimální, i nastavení je intuitivnější. Převedený kód se uloží do stejné složky jako STL, změní se ovšem přípona na *.gcode*.

Teď nastává nejpříjemnější část celého procesu. Otevřeme aplikaci sloužící pro tisk a tou je Pronterface. Jako první je potřeba spojit Pronterface s tiskárnou a to výběrem portu a rychlosti připojení. Port vybíráme v závislosti na Mac či PC, na kterém tuto akci provádíme, rychlost lze ponechat na defaultní hodnotě 115200. Tlačítkem Connect se spojíme s tiskárnou, což se projeví výpisem hlášky o připojení v pravém dialogovém okně. Teď lze hýbat s jednotlivými osami pomocí levého panelu. Ovládání je intuitivní. Pod ovládáním pohybu jsou nabídky nastavení teplot na výtačné trysce a vyhřívané podložce. Hodnoty těchto teplot se mohou nastavit hned po připojení tiskárny a to z důvodů, že vyhřívání je pomalý proces a tímto ušetříme čas. Soubor s G-kódem nahrajeme pomocí tlačítka *Load file*. Pokud se úspěšně povede nahrát, tak se v pravém dialogovém okně zobrazí informace o spotřebě materiálu a doby trvání tisku. Také se zobrazí obrys

tisknutého tělesa v prostředním žlutém čtverci, který představuje plochu tisknutelné podložky. Kliknutím na tento čtverec otevřeme zvětšené okno, kde lze pomocí kolečka na myši přibližovat a šipkami nahoru dolů procházet jednotlivé vrstvy. Tato vlastnost je dobrá, pokud chceme zkontrolovat, jak se bude pohybovat tisková hlava a ověříme si tím taky, že je model převeden správně.

Tisk zahájíme zmáčknutím tlačítka *Print*. Po tomto by se měla tiskárna uvést do výchozího postavení a bude čekat na dosažení požadovaných teplot. Jakmile jsou tyto teploty dosaženy, začne samotný tisk. Nyní lze jen s údivem sledovat pohyb výtlačné hlavy a poslouchat vrnění krokových motorů. Výsledek by měl vypadat podobně jako na obrázku Obr. 34 pravděpodobně jinak zbarvený.



Obr. 34 Výsledný model po vytištění

11 CENOVÁ BILANCE

Tím nejdůležitějším parametrem u 3D tiskáren je bezesporu pořizovací cena. A právě v této kategorii má návrh open source projekt RepRap. Pokud se uživatel rozhodne si tiskárnu postavit sám, zaplatí jen za součástky. Ovšem jsou zde i možnosti koupit již sestavenou a plně funkční tiskárnu z RepRap projektu.

V následující tabulce je výčet většiny zakoupených dílů. Chybí zde jen korunové položky, jako jsou odpory a podobné, které se použily ze zásob dostupných na fakultě.

Součástka	Cena za ks	Počet ks	Celkem
Průša tištěné díly	1775	1	1775
Wade extruder	1675	1	1675
Ozubené kolo	163	2	326
Ložisko 608UU	50	6	300
Pololu ovladače	370	4	1480
SX17-0908	396	5	1980
T5-840/6	132	2	264
FT232RL	150	1	150
Atmega644-20PU	179	1	179
IRF744	15	3	45
Spojovací materiál	350	1	350
Závitové tyče 1 m	30	3	90
Adhersivní lepidlo	69	1	69
Hliníkový L pás 1 m	61	1	61
Celkem			8744

Následující popis zmiňuje dodavatele ve stejném pořadí, jak jsou uvedeni v předešlé tabulce. Tištěné součástky byly zakoupeny v Německém webovém obchodě www.RepRap-fab.org stejně tak jako extruder. Ovladače krokových motorů Pololu byly zakoupeny v elektronickém obchodě na adrese www.snailinstruments.com. Krokové motory byly koupeny od českého výrobce MICROCON, s.r.o. Ozubené pásy pak od českého dodavatele Pikron s.r.o. - BELT DRIVES. Většina elektronických součástek byla zakoupena na webovém obchodě www.GME.cz. Zbytek součástek pak u lokálních prodejců.

Jako nejlepší a nejvýhodnější dodavatel plastů se ukázal být Holandský webový portál reprapworld.com. Prodávají PLA i ABS v rozměrech 1,75 mm i 3 mm a to jako 1 kg případně 2,3 kg cívky.

ZÁVĚR

Přestože se jedná o poměrně mladý projekt, je paleta tiskáren i ovládací elektroniky pestrá. A i díky této diplomové práci přibyla další verze ovládací elektroniky. Nadále se dá očekávat bouřlivý vývoj v tomto odvětví. Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (NASA) se nechal slyšet, že pro budoucí let na Mars vybaví kosmickou loď 3D tiskárnou, která bude schopná v případě potřeby vytisknout náhradní díly, což výrazně sníží hmotnost, která by byla při uskutečnění tohoto přelomového letu potřebná na součástkách. Přestože technologie používané v projektu RepRap nejsou na takové úrovni, jako u NASA dá se předpokládat jejich masovější rozšíření. Nebude to dlouho trvat a stejně jako dnes jdeme do obchodu koupit tiskárnu xeroxového typu, budeme takto moci koupit i 3D tiskárnu. Doma si pak už jen nakreslíme cokoliv, co nám bude libo a pro méně zdatné bude možnost si téměř jakýkoliv model koupit nebo stáhnout z Internetu.

V této práci byla probrána historie a současnost open source projektu pro 3D tisk RepRap. Zmíněny byly také materiály používající se v projektu, stejně tak jako jednotlivé druhy konstrukcí v hlavní vývojové linii. Nechyběl výčet dostupných ovládacích elektronik s jejich technickým popisem následovaný firmware určeným pro tyto elektroniky. Posledním okruhem v teoretické části pak byl popis ovládacího software potřebný pro práci s 3D tiskárnou. V praktické části následovalo odůvodnění výběru jednotlivých částí při realizaci funkčního prototypu s popisem jeho sestavování, oživování a kalibrací. Ke konci teoretické část je soupis kroků potřebných pro tisk na 3D tiskárně, které slouží jako demonstrace že je tiskárna plně funkční. Uvedeny jsou uplatněná vylepšení společně s navrhovanými, jež by se mohly realizovat v budoucnu. Diplomovou práci pak uzavírá cenové zhodnocení celého provedení tiskárny.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Although this relatively a young project, the pallet of both printers and control electronics is wide. And also thanks to this thesis another piece of electronics emerged. For the future, we can expect a rapid development in this sector. The National Aeronautics and Space Administration (NASA) had said that spacecraft for the next mission to Mars would be equipped with a 3D printer, which will be able to print necessary spare parts. It will significantly reduce the total weight, which would be spared on components. It is very important for this revolutionary flight. Even though the technology used in RepRap project is not at such level as at NASA, we can expect RepRap project to spread widely. It will not take long and we will be able to go to a market and buy our 3D printer in the same way as we are used to buy a classic printer today. Later at home, we just draw whatever we want and print it out using our 3D printer. For those who would experience some difficulties with modelling itself, there will be an opportunity to buy or download almost any model.

In this diploma thesis was described both history and present situation of the open source RepRap project. There were also mentioned materials used within the project as well as particular types of constructions in the main development line. Thesis includes list of available control electronics with their technical description followed by firmware, which is intended for these electronics. The last section in the theoretical part is the description of the control software needed for work with the 3D printer. In the practical part can be found reasoning for the choice of individual parts during implementation of a functional prototype with description of assembling, activation and calibration. At the end of the theoretical part is a list of steps required for 3D printing which also serves as a demonstration that the printer is fully functional. Applied improvements are listed together with the proposed ones, which could be realised in the future. Theoretical part is concluded with the price evaluation of the whole 3D printer.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-730-0110-1.
- [2] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
- [3] CATSOULIS, John. Designing embedded hardware. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005, 377 s. ISBN 05-960-0755-8.
- [4] MATOUŠEK, David. Číslicová technika: základy konstruktérské praxe. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 207 s. ISBN 80-730-0025-3.
- [5] PLÍVA, Zdeněk. EAGLE prakticky: řešení problémů při běžné práci. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 184 s. ISBN 978-807-3002-527.
- [6] RepRap: RepRapWiki [online]. 2012 [cit. 2012-01-19]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/RepRap>
- [7] Thingiverse.com [online]. 2010 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com>
- [8] OpenSCAD [online]. 2010 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com>
- [9] Slic3r [online]. 2010 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://slic3r.org/>
- [10] Wikipedia [online]. 2012, 2012 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/GitHub>
- [11] HOEKEN, Zach. *Sanguino* [online]. 2010 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://sanguino.cc/>
- [12] VERA, Arturo. *Thingiverse* [online]. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com/thing:17680>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Polymer používaný na stavebnice LEGO
PLA	Nejpoužívanější polymer v projektu RepRap
RepRap	Název open source projektu zaštiťující vývoj 3D tiskárny
OpenSCAD	Nástroj pro kompilaci 3D modelu dle programovacího jazyka
PTFE	Zkratka pro Teflon
CNC	Počítačem řízený (obráběcí) stroj
MCU	Mikroprocesor
CAD	Počítačem podporované navrhování
CAM	Počítačem podporovaná výroba
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
WYSIWYG	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Poloprofesionální tiskárna Thing-O-Matic	14
Obr. 2 První 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Darwin	17
Obr. 3 Druhá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Mendel	18
Obr. 4 Třetí 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Huxley	19
Obr. 5 Čtvrtá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Průša Mendel	20
Obr. 6 Pátá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem MendelMax	21
Obr. 7 Šestá 3D tiskárna projektu RepRap s názvem Wallace	22
Obr. 8 Ovládací elektronika Generation 7	23
Obr. 9 Ovládací elektronika R2C2	24
Obr. 10 Ovládací elektronika RAMPS 1.4	25
Obr. 11 Ovládací elektronika Sanguinololu 1.3a	25
Obr. 12 Ovladač krokových motorů Pololu	26
Obr. 13 Okno aplikace OpenSCAD s extrudovaným modelem z DXF	29
Obr. 14 Úvodní obrazovka programu Slic3r	31
Obr. 15 Ukázka nastavení vrstev	32
Obr. 16 Ukázka možností výplní	33
Obr. 17 Obrazovka ovládacího softwaru Pronterface	36
Obr. 18 Poskládaný rám školní tiskárny	38
Obr. 19 Osázená a částečně zapojená Stenololu 0.8	39
Obr. 20 Spodní tyč boční hrany	41
Obr. 21 Boční díl tiskárny	41
Obr. 22 Horní pohled na tiskárnu před kalibrací	42
Obr. 23 Extruder před prvním testem funkčnosti	43
Obr. 24 Spodní strana vyhřívané desky	44
Obr. 25 Detailní pohled na ovladač krokových motorů Pololu	47
Obr. 26 Dilatační šroub pro polohování Z osy	48
Obr. 27 Model pro test tisknutí bez opory	50
Obr. 28 Tiskárna při tisku	51
Obr. 29 Spojení mezi motorem Z osy a závitovou tyčí	52
Obr. 30 Držák ovládací elektroniky Stenololu 0.8	53
Obr. 31 Triviální odvíjení cívky s materiálem	53
Obr. 32 Zobrazení přívěšku v OpenSCAD	55

Obr. 33 Náhled klíčenky v aplikaci netfabb.....	56
Obr. 34 Výsledný model po vytištění.....	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: SCHÉMA ZAPOJENÍ STENOLOLU 0,8

Příloha P II: SCHÉMA DESKY STENOLOLU 0,8

Příloha P III: ROZMÍSTĚÍ SOUČÁSTEK STENOLOLU 0,8

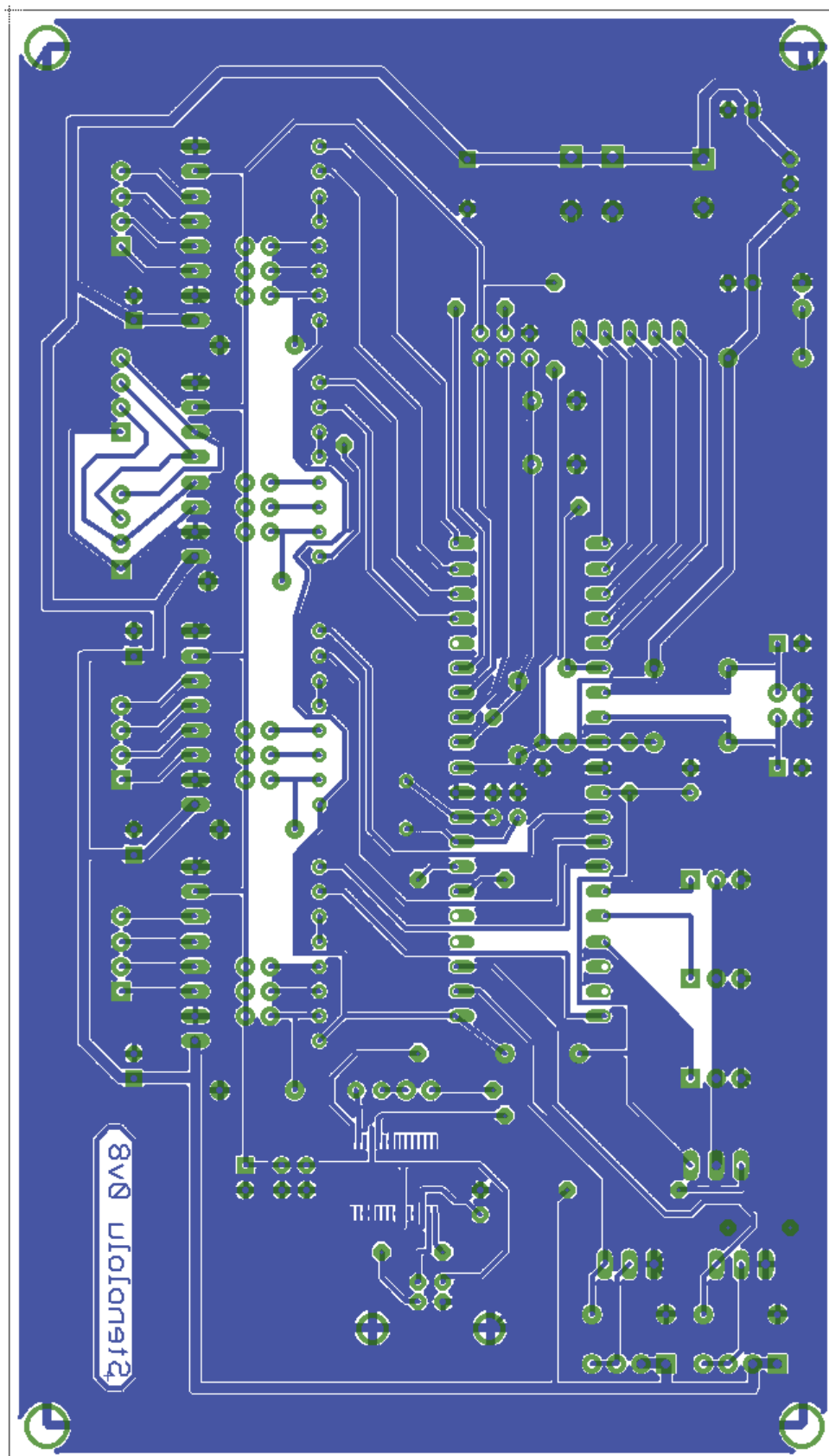
Příloha P IV: SCHÉMA ZAPOJENÍ STENOLOLU 1

Příloha P V: SCHÉMA DESKY STENOLOLU 1

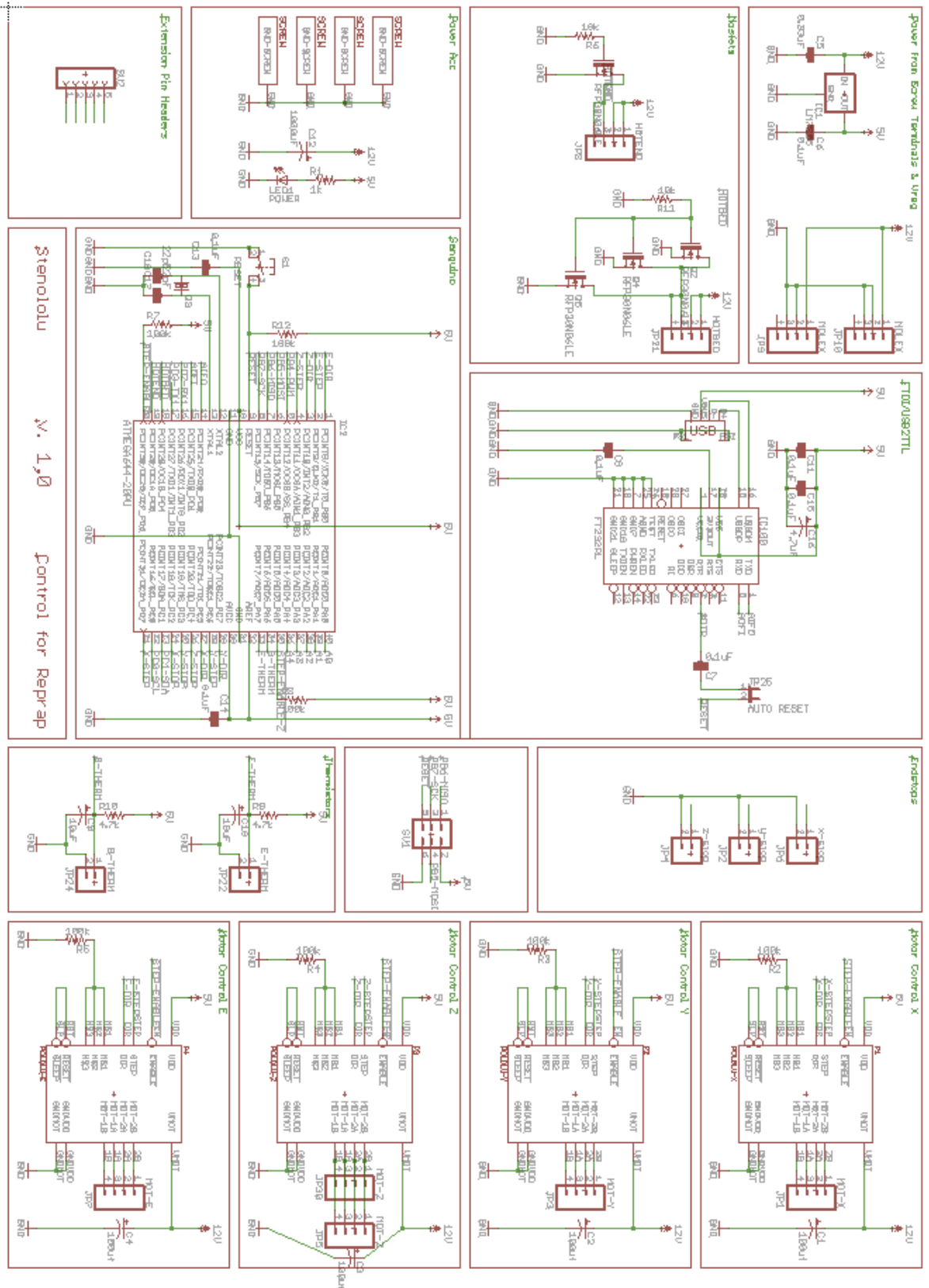
Příloha P VI: ROZMÍSTĚÍ SOUČÁSTEK STENOLOLU 1

[illegible]

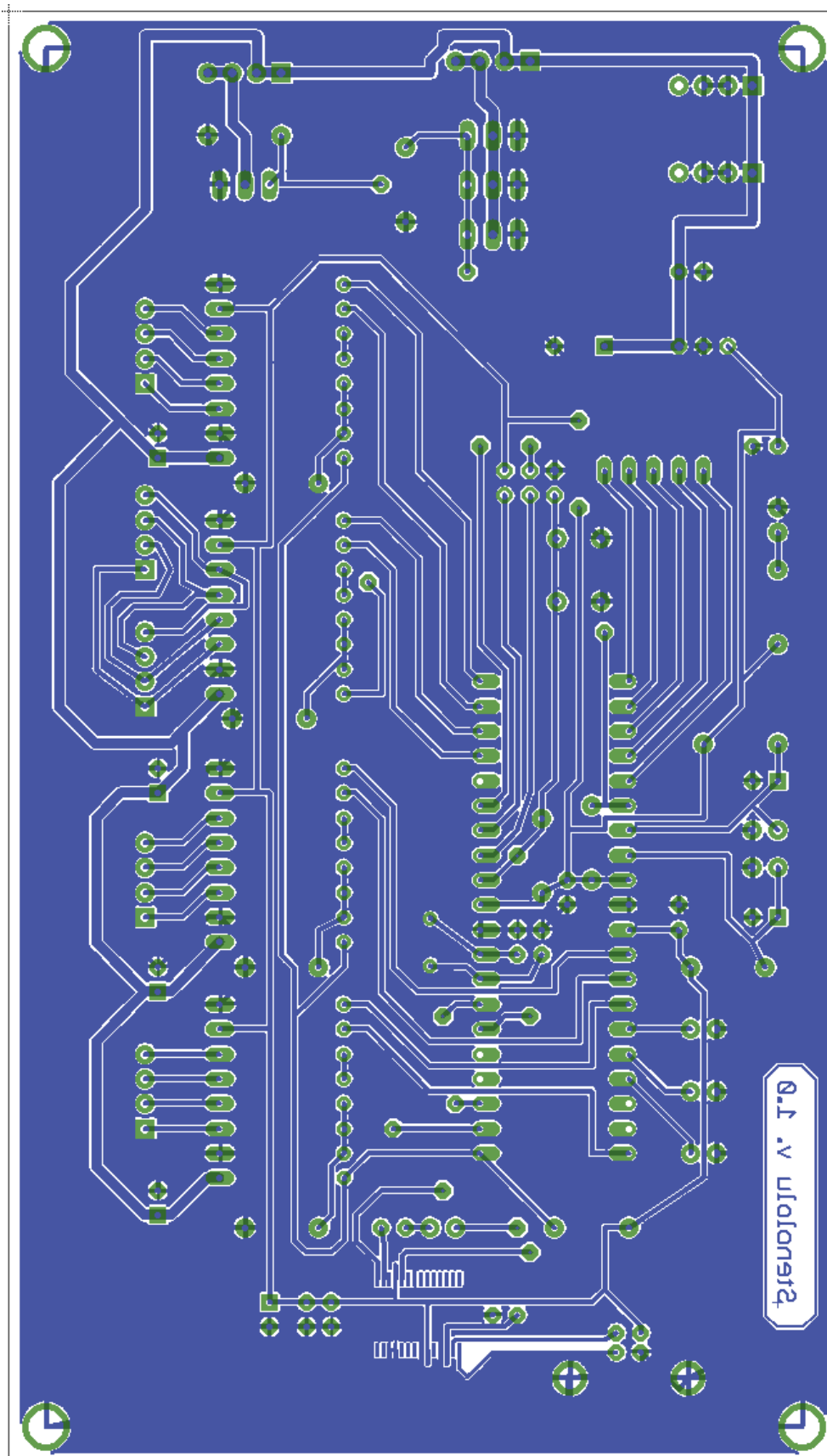
PŘÍLOHA P II: SCHÉMA DESKY STENOLOLU 0,8



PŘÍLOHA P IV: SCHÉMA ZAPOJENÍ STENOLOLU 1



PŘÍLOHA P V: SCHÉMA DESKY STENOLOLU 1



PŘÍLOHA P VI: ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK STENOLOLU 1

