

3D tiskárna na bázi projektu RepRap - 1. časť

Sehnálek Stanislav · Elektrotechnika, Informačné technológie

12.08.2013



Tato práce se zabývá analýzou, výběrem a realizací 3D tiskárny na bázi projektu RepRap. Je zmíněna stručná historie a typy 3D tisku. Dále jsou popsány nejpoužívanější druhy polymerů sloužící k 3D tisku. Text práce obsahuje i zhodnocení dostupných konstrukcí, ovládací elektroniky a dostupný firmware. V následujících dílech pak bude popsáno softwarové vybavení a popis celého procesu sestavování 3D tiskárny, kde jsou zmíněny komplikace, které se vyskytly. Bude také zmíněno provedené vylepšení a v neposlední řadě navrhovaná vylepšení. Na konci druhého dílu bude podrobný návod, jak s tiskárnou pracovat.

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 vstříkovaní 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 jemuž si může téměř každý vytvořit 3D tiskárnu. A právě tato 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 práce. Budou zde představeny softwarové nástroje potřebné při návrhu a výrobě modelu. Nebude chybět ani popis a odůvodnění výběru jednotlivých komponent při konstrukci tiskárny. Bude předložen 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 3D tiskárny.

1. Projekt reppap

Projekt RepRap je zaměřen na vývoj 3D tiskárny, kterou lze tisknout součásti 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.

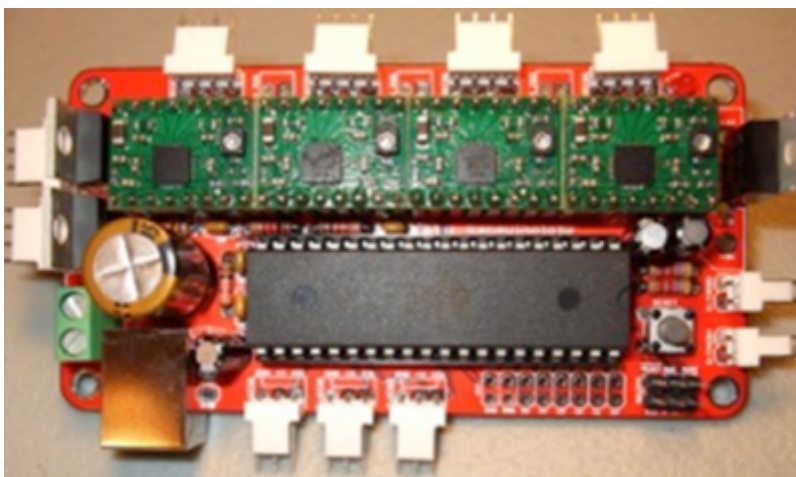
K dnešnímu dni bylo pod tímto projektem uveřejněno 6 tiskáren a to “Darwin” v roce 2007, “Mendel” v roce 2009, “Prusa Mendel” společně s “Huxley” v roce 2010 a poslední “MendelMax” v roce 2012. Vývojáři pojmenovávají jednotlivé prototypy podle známých biologů jako vyjádření že RepRap je replikovací a 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 projektu RepRap je demonstrovat evoluci tohoto procesu a dosáhnout exponenciálního nárůstu členů.

1.1 Druhy elektroniky

Pod projektem RepRap je zahrnuto mnoho druhů ovládacích elektronik. Ovšem pro účely tohoto článku bude popsána jen elektronika Sanguinololu, která vychází ze známého projektu Arduino.

1.1.1 Sanguinololu

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. 1 Ovládací elektronika Sanguinololu 1.3a



Obr. 2 Ovladač krokových motorů Pololu

funkce

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

kompatibilní firmware

- TeaCup
- Marlin
- Sprinter

2. Materiály pro 3d tisk

Materiály pro tisk na 3D tiskárně se dají objednat z mnoha 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 FDM. [6]

2.1 PCL

Polycaprolactone (PCL) je v přírodě odbouratelný polyester s nízkým bodem tavení. Tato teplota se pochybuje 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 peněžně 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 polymeru se pohybuje okolo 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 lze snadno sehnat. Pro svůj vyšší koeficient tření (vyšší než má ABS, jak bude popsáno níže) se doporučuje použít jako extruder některou z variant s NEMA 17 krokovým motorem. Toto označení krokových motorů je celosvětový standard. Číslo 17 zde 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. 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 uchytí 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 přehřátého prostředí.

2.5 PVA

Polyvinil alkohol (PVA, PVOH, PVAL) je možné použít jako podpůrný materiál, který se dá aplikovat klasickým extruderem. Podpůrný materiál je třeba při tisku částí modelu, kde se tiskne bez podpory předešlé vrstvy 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 180 °C až 230 °C.

3. Ovládací software

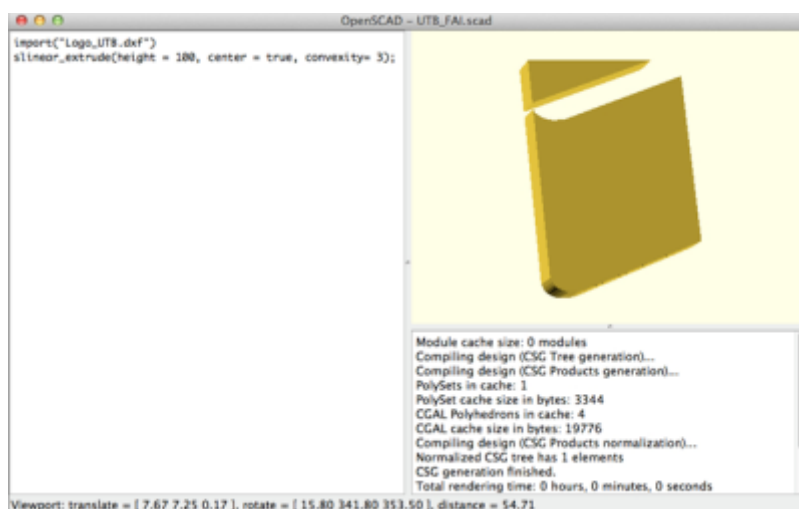
Software používaný v projektu RepRap se dělí podle své funkce, fáze příprav před tiskem a zajištění samotného tisku. Tento sled je popsán v následujících kapitolách a jeho řazení zachovává posloupnosti při používání tiskárny.

3.1 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, SolidWorks, Blender a celá řada dalších.

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



Obr. 3 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 převážně 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.

3.1.2 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. Většina modelovacích nástrojů používaných v tomto odvětví umožňuje ukládat modely do tohoto formátu. 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. Možnosti uložení formátu STL jsou reprezentace informací pomocí ASCII nebo reprezentací binární, která je častější díky své kompaktnosti.

3.2 Krájení

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

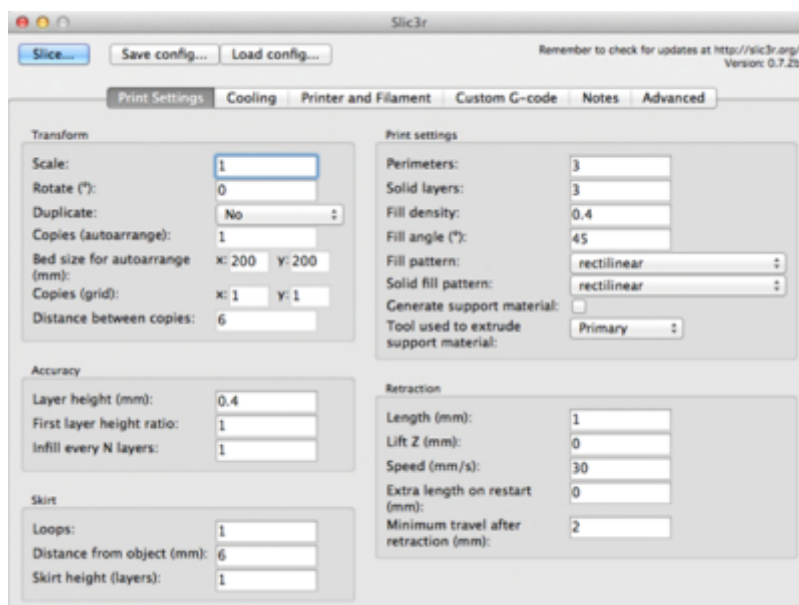
ovládací elektronika 3D tiskárny. G-code je název pro soubor instrukcí, které se používají pro počítačem řízený (obráběcí) stroj (CNC). Převážně se používá v automatizaci a je součástí počítačového inženýrství. Někdy se používá označení G programovací jazyk. G-code předává informace o řízení do řídicí jednotky 3D tiskárny. V projektu RepRap se G-code používá k řízení celé tiskárny. Tento kód může vypadat následovně.

```
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
```

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 výše.

3.2.1 Slic3r

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



Obr. 4 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. 4. Hlavičky třetí úrovně značí jednotlivé záložky a čtvrté úrovně pak bloky. [9]

3.2.1 Print settings

Základní záložka, která se zobrazí při zapnutí programu.

Transform

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

Accuracy

V tomto bloku se zaměříme na Layer height, tedy na tloušťku vrstvy. 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, zjištěno experimentálně. 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. 5 je příklad, jak vypadají jednotlivé nastavení vrstvy. Jako demonstrační model byla vybrána kostka kompatibilní se stavebnicí LEGO, vytištěná na popisované tiskárně. Čísla na stěně znamenají, jaká tloušťka vrstvy byla použita. Ostatní parametry zůstaly stejné, což se později ukázalo jako nešťastná volba. Se změnou výšky vrstvy je třeba upravit také jiné parametry např. rychlost posunu nebo zdvih osy Z.



Obr. 5 Ukázka nastavení tloušťky vrstev

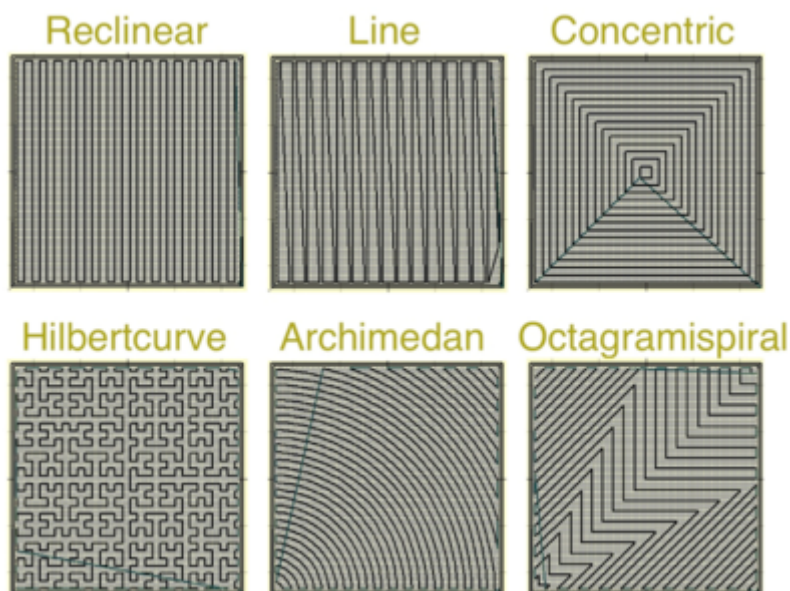
Skirt

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 nataveninu zachytit, odstranit a pokračovat v tisku bez ovlivnění první vrstvy.

Print settings

Položky patřící pod tento blok nám ovlivňují kvalitu a pevnost. Perimeters nám udává sílu stěny ve vrstvách. Výchozí hodnota je 3, která 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 tištěného předmětu. Fill pattern a Solid fill pattern jsou nabídky, kde se vybírá tvar tisku plně výplně. Na obrázku 6 je vidět, jak vypadají jednotlivé možnosti.



Obr. 6 Ukázka možností výplní

Retraction

Při tisku a následném pohybu hlavičky dochází k jevu, kde se od místa posunu k cíli táhne nitka nevytlačeného materiálu díky jeho viskózním vlastnostem. K eliminaci tohoto nechtěného jevu slouží následující nastavení. Položka Length udává, kolik mm materiálu se vtlačí do hlavičky/extruderu, jako nejlepší hodnota se jeví 2 mm, zjištěno experimentálně. Lift Z je kontroverzní parametr. U menších a krátkých tisků je dobré

použít hodnotu 1. Ale pokud tiskneme větší nebo komplikovanější objekty, obzvláště velkou rychlostí, nedoporučuje se měnit výchozí hodnotu. Je to z důvodu, že by se krokový motor nebo ovládací elektronika zahřáli na vysokou teplotu a došlo by k vynechání kroků. Parametr Speed se odvíjí od kvality materiálu a použitého firmwaru, doporučená hodnota je kolem 20 až 25 mm/s.

Cooling

Tato nabídka je vhodná, pokud elektronika umožňuje kontrolu větráku. V současné verzi tiskárny tato možnost není. Větrák je sice namontován a funkční, ale není ovládán řídicí elektronikou.

3.2.3 Printer and filament

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.

Filament

Zde 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°C, při nižší teplotě dochází k ucpávání trysky při tisku a firmware tiskárny je také nastaven tak, aby netiskl, pokud se dostane teplota trysky pod hodnotu 150°C. Při teplotách nad 200°C může zase docházet k samovolnému výtoku tiskového materiálu. Teplota vyhřívání podložky je doporučena pro PLA kolem 60°C a u ABS okolo 100°C. PLA vyhřívání podložky 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°C vyšší než je provozní teplota.

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 rychlosti snížit na poloviční hodnotu.

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 by tisk u větších objektů značně zpomalila.

3.2.4 Ostatní

V ostatních záložkách a nabídkách se nemusí nic měnit. Po úspěšném nastavení parametrů můžeme stisknout 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.

3.3 Software pro tisk

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



Obr. 7 Obrazovka ovládacího softwaru Pronterface

Závěr

Přestože se jedná o poměrně mladý projekt, je paleta tiskáren i ovládací elektroniky velmi pestrá. A i díky této 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 líbit 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 firmwarem určeným pro tyto elektroniky. Posledním okruhem pak byl popis ovládacího softwaru, který je potřebný pro práci s 3D tiskárnou.

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>

Spoluautorom článku je Ing. Tomáš Urbánek, Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Nad Stráněmi 4511, Zlín, 760 01
