

3D tlačiarne RepRap

Ing. Ľuboš Határ

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Centrum informačných a komunikačných technológií
Tr. A. Hlinku 2
Nitra, Slovenská republika
e-mail: Lubos.Hatar@uniag.sk

Abstrakt

3D tlačiarne za posledné desaťročia prešli neuveriteľným vývojom a sú čoraz dostupnejšie bežným používateľom. RepRap tlačiarne sa vďaka voľne dostupným dizajnom dostali na priedku jedných z najlepších a cenovo najdostupnejších 3D tlačiarní pre bežných ľudí. Väčšina z nich je využívaná na tvorbu komponentov pre ďalšie tlačiarne, čím umožňujú nekonečnú tvorbu nových dizajnov. Článok popisuje vo všeobecnosti zloženie tlačiarne a jej fungovanie. Taktiež popisuje základné tlačové materiály a životný cyklus tvorby samotného 3D modelu.

KLúčové slová: RepRap, 3D tlačiareň, model, tlačová hlava, ABS, PLA

JEL klasifikácia: L86

1. Úvod

Tak ako väčšina nových technológií, aj 3D tlač bola dlho iba záležitosťou úzko špecializovaných odborov. Potenciál tejto technológie je však obrovský a tak si postupne nachádzala uplatnenie v stále nových odvetviach. Na začiatku to boli hlavne výskumné centrá, letecký alebo kozmický priemysel, kde inovácia je nevyhnutná a je otázkou prežitia. Ďalšími v rade boli strojársky a automobilový priemysel. Vo Formula 1 to umožnilo rýchle testovanie nových modelov monopostov, čo bol veľký posun vpred a výhoda pre konštruktérov.

1.1 História

Za otca 3D tlače môžeme považovať Charlesa Hulla, ktorý si v roku 1986 nechal patentovať prvú techniku 3D tlače a to stereolitografiu, ktorá využívala UV laser a tekutý fotopolymér (Obrázok 2). Táto sa stala základom pre mnohé dnešné tlačiarne a CNC stroje. S nástupom konkurencie sa vyvíjali ďalšie spôsoby tlače ako modelovanie pomocou taveniny (FDM) využívajúce termoplasty či spekanie laserom. V roku 1993 si MIT dala patentovať technológiu, ktorá pracovala s práškovým materiálom a tekutým spojivom.

S postupom času sa dovtedy drahé, cenovo nedostupné tlačiarne stávali viac a viac prijateľnejšie a dostupnejšie bežným používateľom. Míľnik spomedzi tzv. "domácich" 3D tlačiarní priniesol až Adrian Bowyer, ktorý v roku 2008 vytlačil komponenty pre novú tlačiareň na inej 3D tlačiarňi a svoje dizajny následne uvoľnil ako open source pod názvom RepRap, čím dal vznik tejto komunite.

Obrázok 1: Logo RepRap komunity



Zdroj: <http://reprap.org/wiki>

2. RepRap 3D tlačiarne

2.1 RepRap tlačiareň

RepRap je slobodná (open source hardware), samoreplikujúca sa 3D tlačiareň. Názov RepRap pochádza z anglického „replicating rapid prototyper“. Využíva metódu priameho nanášania roztaveného materiálu FFF (Fused Filament Fabrication). V tlačovej hlave sa materiál najprv roztaví a následne je bod po bode, resp. pohybom hlavy po osiach X a Y nanášaný na predošlú vrstvu.

2.2 Komunita

RepRap je komunitný projekt vyvíjaný v angličtine. Obsahuje desiatky dizajnov rôznych 3D tlačiarní ako aj dokumentácie pre stavbu, informácie a skúsenosti používateľov. Komunita dokonca ponúka základné súčasti, ktoré boli vytlačené na jednej z prototypov, pre stavbu inej tlačiarne.

Jedna z najznámejších postáv v oblasti dizajnu, vývoja a práce v rámci RepRap komunity je Josef Průša, ktorý navrhol a vytvoril veľké množstvo 3D tlačiarní, ktoré sa používajú po celom svete ako napr. Mendel i2 alebo Prusa i3 (Obrázok 3). Veľa firiem prebralo práve daný model pre komerčnú výrobu.

2.3 Dostupnosť

Niekoľko rokov boli 3D tlačiarne doménou hlavne veľkých firiem. Bolo len otázkou času, kedy sa stanú cenovo dostupnými aj pre verejnosť. Projekt RepRap, známy už viac ako štyri roky dozadu, poukazoval na technológiu 3D tlače, ako čoskoro dostupnú pre masu.

Používatelia na stránke komunity majú k dispozícii zdarma všetky informácie k stavbe. Riadiaci firmvér, generátory tlačových súborov a modelovacie softvéry sú dnes už dostupné zdarma. Kvôli neustálemu inovovaniu jednotlivých komponentov sa ich ceny znižujú a sú k dispozícii prakticky kdekoľvek, či už je to dobre známe internetové trhovisko eBay alebo lokálny predajcovia dielov pre 3D tlačiarne. V konečnom dôsledku práve toto umožnilo rozšírenie 3D tlačiarní medzi bežných používateľov a tlačiareň si tak môže buď postaviť alebo kúpiť prakticky každý.

Obrázok 2: Prvá 3D tlačiareň, rok 1986



Zdroj: <http://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>

Obrázok 3: Jedna zo súčasných RepRap tlačiarňí, model Prusa i3



Zdroj: <http://prusaprinters.org/prusa-i3/>

2.4 Základné stavebné časti

2.4.1 Rám, vodiace tyče a ložiská

Rám tvorí úplný základ tlačiarne a spája jednotlivé komponenty dokopy. Môže byť vytvorený prakticky z akéhokoľvek materiálu ako hliník, PVC, drevo alebo oceľ. Vodiace tyče spolu s lineárnymi ložiskami umožňujú plynulý pohyb tlačovej hlavy prípadne podložky po jednotlivých osiach.

2.4.2 Krokové motory, ozubené kolesá a ich príslušenstvo

Pre pohyb tlačovej hlavy, podložky a vytlačanie tlačového drôtu sú nutné krokové motory, ktoré sú kalibrované presne na daný pohyb. Presnosť pohybu pri najpoužívanejších RepRap tlačiarňach je 0.1 mm. Spolu s ozubenými kolesami a remeňmi sú celkovou hybnou silou 3D tlačiarne.

2.4.3 Výchrevná podložka (heatbed)

Pretože model sa tlačí pri relatívne vysokej teplote, teplotný rozdiel oproti okolitému vzduchu je pomerne veľký. To v súčinnosti s teplotnou rozťažnosťou materiálu spôsobuje vznik pnutí, ktoré sa prejavujú ako krútenie. Pre elimináciu tohto krútenia slúži výchrevná podložka, ktorá zabezpečuje počas celej doby tlačenia konštantnú teplotu výsledného objektu.

2.4.4 Tlačová hlava (extruder)

Srdce samotnej tlačiarne tvorí tlačová hlava, ktorá má za funkciu roztápanie tlačovej struny a následné vytlačanie po osiach X a Y, čím vytvára danú vrstvu objektu. Ďalšia vrstva sa nanáša posunutím podložky po osi Z o danú vzdialenosť a následne sa vykreslí. Vyrábajú sa pre dva priemery tlačovej struny (filament), a to 3 mm a 1.75 mm.

2.4.5 Riadiaca integrovaná doska

Spája všetky aktívne komponenty dokopy a spolu s firmvérom spracováva jednotlivé príkazy potrebné pre tlač. RepRap zariadenia využívajú hlavne dosky s označením RAMPS, ktoré sú

nadstavbou základnej dosky z radu Arduino Mega 2560. Integrované dosky RAMPS v sebe zahŕňajú priestor pre ovládače krokových motorov, koncové mikrospínače (end-stop), ovládajú vyhrievanie podložky a tlačovej hlavy, chod ventilátorov, servomotory a iné.

2.4.6 Konektory a pripojenie do siete

Takmer všetky rozšírenejšie tlačiarne sa pripájajú do štandardnej elektrickej siete so striedavým prúdom (AC 110/220V). Rovnako sa k PC pripájajú prostredníctvom USB portu resp. kábla. Niektoré z nich umožňujú pripojenie cez Wi-Fi.

2.5 Rozširujúce časti

2.5.1 LCD Displej s tlačidlami

Čoraz viac Reprap tlačiarne sa zostavuje už s displejom, ktorý okrem zobrazovania priebehu tlače má aj aktívne tlačidlá a jednoduché menu na napr. zmenu parametrov pri tlače alebo predprípravu vyhrievanej podložky a pod.

2.5.2 SD kartový slot s riadením

Pre tlač 3D objektu sa väčšinou vyžaduje podporný softvér, ktorý celý priebeh riadi. S využitím SD kartového slotu a kontrolera nie je treba podporný softvér a tlačiareň tlačí úplne autonómne z danej SD karty.

2.5.3 Prídavný ventilátor pre chladenie modelu

Pri použití tlačového materiálu PLA je roztavený materiál tekutejší, čo pri rýchlom nanášaní vrstiev môže spôsobovať roztekanie modelu. Toto je nežiadúce napr. pri prechodoch vo vzduchu, zatváraní modelu a pod. Riešenie spočíva v pridaní dodatočného ventilátora pre sústavne chladenie práve tlačených častí danej vrstvy.

2.4.4 Automatická kalibrácia počiatočnej výšky osi Z

Štandardne sa pri Reprap tlačiarňach na detekciu začiatku osi Z používa mikrotlačidlový spínací prvok, ktorý určí pri zopnutí počiatočnú, resp. domovskú súradnicu osi Z. Pri tomto sa predpokladá absolútna rovina vyhrievanej podložky, ktorá sa nie vždy dá dosiahnuť. Riešením je použitie mikrospínačového ramena, ktoré pred začatím tlače zistí výšku štyroch bodov na podložke a uloží si akoby sieťovú mapu výšok. Počas pohybu tlačovej hlavy sa táto mapa automaticky dopočítava k výške tlačovej hlavy a vyrovnáva os Z tak, aby bola v rovine.

3. Tlačový materiál

Samotná tlačiareň Reprap využíva drôtový tavený plastový materiál, distribuovaný väčšinou v 1 kg kotúčových baleniach. Rozdelenie býva spravidla podľa farby, priemeru drôtu a typu taveniny.

Súčasnú tlačovú hlavu podporujú obvykle len dva priemery, ktoré sú 1,75mm a 3mm.

3.1 Typy

3.1.1 ABS

Polymér vyrábaný z ropy, ktorý môže byť navrhnutý s rôznymi vlastnosťami. Vo všeobecnosti je to však pevný a mierne ohybný plast s pomerne vysokou teplotou topenia. Vďaka svojim dobrým mechanickým vlastnostiam má široké využitie, hlavne pri mechanicky namáhaných súčiastkach. ABS natural (bez farbiva) má mliečnu špinavo bielu farbu, ale je dostupný tiež v rôznych odtieňoch. Ľahko sa rozpúšťa v acetóne, ktorý môže slúžiť tiež ako lepidlo pri spájaní častí alebo pri povrchovej úprave a leštení modelu. Jeho výhodou je to, že nevyžaduje presne

nastavenie teploty tlačovej hlavy, jeho pevnosť a väčšia tepelná odolnosť. Nevýhodou je zmršťovanie pri rýchlom ochladzovaní, čím dochádza k deformácii modelu a odlepovaniu. Preto sa ním neodporúča tlačiť modely väčšie ako 80 mm. Pre lepšiu priľnavosť sa odporúča potrieť podložku jemnou vrstvou roztoku acetónu spolu s roztopeným ABS drôtom.

3.1.2 PLA

Prírodný polymér vyrábaný z kukurice, zemiakov alebo cukrovej repy. Tým pádom je ekologicky prijateľnejší ako ABS, aj keď sa nerozloží hneď. PLA natural prirodzene prepúšťa svetlo, ale priehľadný určite nie je. Pridaním farby vzniká široká škála odtieňov. Má horšie mechanické vlastnosti ako ABS, ako horšia ohybnosť a nižšia teplota topenia. Už napríklad deň v dobre vyhriatom aute môže spôsobiť zmenu jeho tvaru. Hotové modely majú pekný lesklý povrch. Výhodou môže byť menšia miera deformácie a lepšia priľnavosť k vyhrevnej podložke.

3.1.3 TPE

Termoplastický elastomér, ktorý umožňuje tlačenie pružných (gumených) modelov. Má podobné vlastnosti ako ABS.

3.1.4 WPC

Drevo-plastický kompozitný materiál zložený z drevenej múčky a polyméru. Výsledné výrobky majú vzhľad dreva. Výhoda je zmena sýtosti farby menením teploty pri tlačení.

4. Riadenie

RepRap 3D tlačiareň je v podstate len hardvér, ktorý využíva pre svoju činnosť tlačový súbor, obsahujúci sadu kódov nazývaných aj G kódy (G-Codes), ktoré sú spracovávané riadiacou elektronikou. Jadro G kódov je takmer totožné s akoukoľvek inou sadou použitou v rozličných CNC strojoch. Univerzálnosť a variabilnosť týchto zaručuje kompatibilitu vytlačenia daného 3D modelu na ktorejkoľvek RepRap tlačiarňi.

4.1 Firmvér

Ovládanie celej tlačiarne, chod jednotlivých komponentov zabezpečuje firmvér. Pre dosky RAMPS sú najvhodnejšie dva, a to Repetier a viacej známy Marlin. Po uložení konfiguračného súboru a nahratí do základovej dosky Arduino Mega je tlačiareň pripravená pre proces tlače.

4.2 Softvér

4.2.1 Pronterface

Softvér na riadenie 3D tlačiarne v reálnom čase ako je pohyb jednotlivých osí, interakciu s firmvérom, zadávanie tlačových úloh a iné. Je to desktopová aplikácia naprogramovaná v jazyku Python v spolupráci knižníc GTK+. Poskytuje plne grafické rozhranie a ovládacie prvky pre prácu s tlačiarňou. Výhodou je zobrazenie širokej škály informácií pred alebo počas tlače.

4.2.2 OctoPrint

Ďalší softvér pre riadenie a tlačenie modelov na 3D tlačiarňach. Tento softvér je však možné použiť aj vzdialene, pretože je webový. Na danom stroji vytvorí webový server, na ktorý sa dá cez hociktorý prehliadač napojiť a využívať všetky jeho funkcionality. Jedna z možností využitia je aj sledovanie tlače prostredníctvom webovej kamery. Tak isto je počas tlače modelu dostupné široké spektrum údajov o priebehu a stave tlačiarne. Octoprint je možné použiť aj na RaspberryPi zariadeniach.

4.3 LCD Controller s SD kartovým slotom

Tlačiareň sa dá využiť aj plne autonómne bez pripojenia k ovládaciemu softvéru, čo je jedna z výhod, pokiaľ je do riadiacej dosky zapojený LCD displej s ovládaním a SD kartovým slotom. Integrovaný radič umožňuje nastavenie tlačie G-kódového súboru z SD karty. Ovládanie parametrov je umožnené skrz tlačidlá na radiči a proces tlačenia je možné sledovať na displeji. Nevýhodou je malý displej a menej informácií o priebehu tlačenia.

Obrázok 4: LCD display pre RepRap tlačiarne



Zdroj: <http://reprap.org/wiki>

5. Životný cyklus 3D modelu

5.1 Návrh

Predtým ako začne tlačiareň vyrábať daný model, je samozrejme nutné mať k dispozícii virtuálny model vo forme 3D súboru. Vo svete existuje nespočetné množstvo modelovacích softvérov pre tvorbu 3D modelov, či už platených (AutoDesk Inventor, AutoCAD, ...) alebo voľne dostupných ako Google SketchUp a pod. Možnosť použiť model pre 3D tlačiareň spočíva v jeho prekonvertovaní (alebo priamom vyexportovaní) na typ súboru STL (Stereo Lithography).

Alternatívou k modelovaniu sú čoraz viac presadzované online archívy hotových 3D modelov ako napr. thingiverse.com. Po jednoduchej registrácii môžete nie len modely sťahovať ale aj zdieľať vaše vytvorené objekty s ostatnými používateľmi. Väčšina modelov k stiahnutiu sú už STL súbory.

5.2 Generovanie G-kódu

Keďže tlačiareň vie pracovať len so súborom príkazov G, z 3D modelu je nutné generátorom vytvoriť túto sadu. Asi najpoužívanejším generátorom je program Slic3r, ktorý po načítaní súboru STL vie danú sadu vygenerovať. Pred generovaním je nutné nastaviť parametre tlačiarne ako veľkosť vrstiev, teploty tavenia materiálu pre tlač, priemer tlačovej struny, priemer trysky tlačovej hlavy, a mnoho iných. Výhodou je že v programe sa dajú nadefinovať profily, čím sa uľahčuje generovanie nasledujúcich tlačových úloh, pretože sa vyberie len konkrétny profil pre tlač.

5.3 Príprava pre tlač

Po nainštalovaní tlačového materiálu a pri spustení tlačie daného modelu sa v prvých fázach ešte pred samotným začatím vytvárania prvej vrstvy objektu automaticky vykonajú kroky potrebné k správne tlačeni 3D objektu:

- Ako prvé sa musí zohriať výhrevná podložka na odporúčanú teplotu väčšinou uvádzanú výrobcom tlačovej struny.
- Ak tlačiareň používa automatickú kalibráciu podložky, rameno s mikrosplínačom vytvorí zo štyroch bodov výškovú sieťovú mapu a uloží si ju do pamäte.

- Tlačová hlava sa nastaví na tzv. “domovskú” pozíciu, v osiach X, Y a Z, ktorá zodpovedá pozícii nula pre štart tlačenia.
- Po zohriatí podložky sa cez PID regulátor čo najpresnejšie nastaví teplota tlačovej hlavy. Táto teplota je opäť závislá od typu použitého materiálu.
- Následne je 3D tlačiareň pripravená na začiatok kreslenia prvej vrstvy.

5.4 Samotná tlač modelu

Prvá vrstva 3D modelu sa tlačí menšou rýchlosťou, aby čo najlepšie prilnula k výhrevnej podložke. Tlačová hlava sa pohybuje v osiach X a Y a vykresľuje danú vrstvu. Po ukončení vybranej vrstvy sa posunie v osi Z a opäť začína vykresľovať ďalšiu vrstvu. Počas tlačenia sa dá vybraný program kedykoľvek dočasne pozastaviť alebo kompletne zrušiť. Tak isto je možné zavolať funkciu pre výmenu tlačovej struny v prípade nedostatku tlačového drôtu alebo výmeny kotúča.

5.5 Finálny model

Po vykreslení všetkých vrstiev je 3D model hotový. Tlačiareň ukončí svoju činnosť a v závislosti od nastavení sa vráti na domovskú pozíciu, vypne vyhrievanie podložky a tlačovej hlavy. Model je však stále horúci a tvárny, preto sa odporúča nechať ho vychladnúť na izbovú teplotu a následne odlepiť z podložky.

Obrázok 5: Model vytlačený z WPC materiálu



Zdroj: <http://www.huureen3dprinter.nl/over-3d/>

Obrázok 6: Model vytlačený z PLA materiálu



Zdroj: <http://inhabitat.com/>

6. Záver

RepRap 3D tlačiarne výrazne urýchlili napredovanie v tejto oblasti najmä vďaka ich otvorenosti a komunitného riešenia. Umožňujú veľmi rýchle prototypovanie a nasadzovanie nových funkčných dizajnov do prevádzky. Vďaka G kódovému štandardu sú medzi sebou kompatibilné, čím sa docieľi, že daný 3D model vieme vytlačiť prakticky na hociktovej inej RepRap tlačiarňi. Svojou konštrukčnou jednoduchosťou a cenovou prijateľnosťou sa stali najdostupnejšími tlačiarňami pre bežných používateľov.

Článok je zverejnený s finančnou podporou združenia EUNIS-SK.

Literatúra

- [1] *3D Tlačiareň.sk.* (23. Jún 2013). Dostupné na Internete: Ako si vybrať 3D tlačiareň?: <http://www.3dtlaciaren.sk/ako-si-vybrat-3d-tlaciaren/>
- [2] *About.* (dátum neznámy). Dostupné na Internete: RepRap: <http://reprap.org/wiki/About>
- [3] Bártolo, P. J. (2011). *Stereolithography - Materials, Processes and Applications.* Memphis, Tennessee: Springer.
- [4] *Čo je 3D tlač.* (dátum neznámy). Dostupné na Internete: Tvar Open Creative Hub: <http://tvaroch.sk/co-je-3d-tlac/>
- [5] Kadlec, R. (dátum neznámy). *3D tlač včera, dnes a zajtra.* Dostupné na Internete: IT News: <http://old.itnews.sk/spravy/technologie/2011-11-21/c144816-3d-tlac-vcera-dnes-a-zajtra>
- [6] *Rozdiel medzi ABS a PLA.* (dátum neznámy). Dostupné na Internete: Tvar Open Creative Hub: <http://tvaroch.sk/blog/rozdiel-medzi-abs-pla/>