



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

REPRAP, 3D FDM TISKÁRNA

REPRAP, 3D FDM PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSLAV MINAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Miroslav Minařík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Reprap, 3D FDM tiskárna

v anglickém jazyce:

Reprap, 3D FDM printer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úvod do problematiky GPL licencovaných 3D tiskáren. Popis funkce a rozbor hlavních charakteristik a využitelnosti v praxi. Rozdělení a vývoj, náhled do budoucnosti.

Cíle bakalářské práce:

- popis problematiky 3D FDM tisku
- rozvoj FDM GPL tiskáren v čase
- základní charakteristiky 3D FDM tisku
- GPL licence a 3D tiskárny
- obecné technicko-ekonomické zhodnocení
- předpokládaný rozvoj a doporučení do budoucnosti

Seznam odborné literatury:

1. CHUA, C.K., K.F. LEONG a C.S. LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.
2. CHANG, Tien-Chien, Richard WYSK a Hsu-Pin WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3.vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005, 684 s. ISBN 0-13-142919-1.
3. ZEMČÍK, Oskar a Jan DVOŘÁČEK. A Distribution of Temperature Field in the FDM Printhead. In: NEWTECH 2011: The International Conference NEWTECH 2011 on Advanced Manufacturing Engineering. Brno: Litera, 2011, s. 115-119. ISBN 978-80-214-4267-2.
4. PABLA, B.S. a M. ADITHAN. CNC Machines. 2. vyd. New Delhi: New Age International, 2008, 140 s. ISBN 9788122420197.
5. NEWTECH 2011: The International Conference NEWTECH 2011 on Advanced Manufacturing Engineering. Brno: Litera, 2011. ISBN 978-80-214-4267-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Podstatou této bakalářské práce je popis RepRapu, 3D FDM tiskáren. Nejprve práce popisuje některé metody rapid prototypingu a základní principy FDM tisku. V druhé části práce je pozornost zaměřena na RepRap tiskárny a na jejich použití v praxi.

Klíčová slova

RepRap, FDM, Rapid Prototyping, 3D tisk, GPL

ABSTRACT

The essence of this bachelor's thesis is describe RepRap, 3D FDM printer. First, the work is focused on presentation some possibilities of rapid prototyping and explain basic mechanics of FDM technology. In the second part, several types of RepRap printers are described and use 3D printer in practice.

Key words

RepRap, FDM, Rapid Prototyping, 3D print, GPL

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MINAŘÍK, M. *Reprap, 3D FDM tiskárna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma REPRAP, 3D FDM tiskárna vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24.5.2013

Miroslav Minařík

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za zasvěcení do problematiky tématu a cenné rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji mým rodičům a přítelkyni za podporu během studia.

Obsah

ABSTRAKT.....	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD	8
1 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING.....	9
1.1 Vznik a vývoj.....	9
1.2 Princip a proces výroby modelu pomocí RP.....	10
1.3 Základní principy metod RP.....	12
2 Fused Deposition Modeling – FDM	14
3 REPRAP.....	17
3.1 GNU GPL.....	17
3.2 Historie RepRapu.....	18
3.3 Druhy REPRAP tiskáren.....	20
3.4 Druhy materiálu.....	22
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	23
5 Rozvoj 3D tisku do budoucna.....	25
ZÁVĚR.....	26
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	27

ÚVOD

V současné době lidstvo prochází velice rychlým rozvojem a vývojem technologie. Hlavně ve strojírenství a stavebním průmyslu je kladen důraz na rychlost plnění zadaných úkolů.

Konstruktéři, projektanti, designéři a podobní pracovníci by měli svou práci prezentovat co nejrychleji a co nejlépe. K tomu je nejlepší předvést hmatatelný, pokud možno i funkční model projektu ještě před samotným zahájením výroby. K tomu jsou již často používány metody rychlého prototypování, známé jako technologie 3D tisku.

Metody Rapid Prototypingu jsou relativně mladé, avšak jsou neustále zdokonalovány a vyvíjeny tak, aby dokázaly uspokojit rostoucí požadavky technologické veřejnosti. Pro některé podniky však může být překážkou jejich pořizovací náklady za zařízení, které by bylo schopné modely tvořit. Proto je jako levnější alternativa představena technologie RepRap.

Práce nejprve představí nejčastější metody Rapid Prototypingu, vysvětlí principy 3D FDM tisku a to, jak funguje FDM tisk u RepRapu. Svou jednoduchou konstrukcí a pojetím nikdy na komerční stroje nestačí, ale hlavně menší firmy ocení mnohem nižší pořizovací náklady. Ke konci práce je tudíž zhodnocení finančních rozdílů při pořizování RepRapu nebo komerční 3D tiskárny.

1 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

Technologie Rapid Prototypingu má za cíl vytvořit reálný model z počítačových dat v co nejkratším čase a v co nejvyšší kvalitě. Použitím RP dojde ke zrychlení celého procesu vývoje výrobku a tedy i ke snížení nákladů a zlepšení kvality. Umožňuje již během vývoje ověřit funkci vyvíjeného výrobku, design a ergonomii; ale také slouží k výrobě finálních výrobků tam, kde se jedná o menší počet kusů nebo o výrobu součástí klasickými technologiemi nevyrobitelných (součásti se zavřenými dutinami). [1, 2]

1.1 Vznik a vývoj

Technologie RP je relativně mladá, začátky má v 80. letech minulého století, kdy v roce 1986 byla veřejnosti představena první z metod RP, Stereografie. Původně šlo o pouhé vrstvení křehkých pryskyřičných materiálů, které sloužily spíše pro lepší vizualizaci a zrychlení schvalování modelů. Prvním cílem tedy bylo nahradit tyto materiály pevnějšími, což došlo až k možnosti vytvářet modely z kovové a plastových materiálů takové kvality, že je bylo možno použít přímo jako funkční součásti nebo alespoň k funkčním testům. [2]

Časový přehled vzniku a vývoje technologií RP:

- 1986 SLA Stereolithography
- 1987 BPM Ballistic Particle Manufacturing
- 1988 LOM Laminated Object Manufacturing
- 1989 SLS Selective Laser Sintering
- 1992 FDM Fused Deposition Modeling
- 1993 3DP Three-dimensional printing

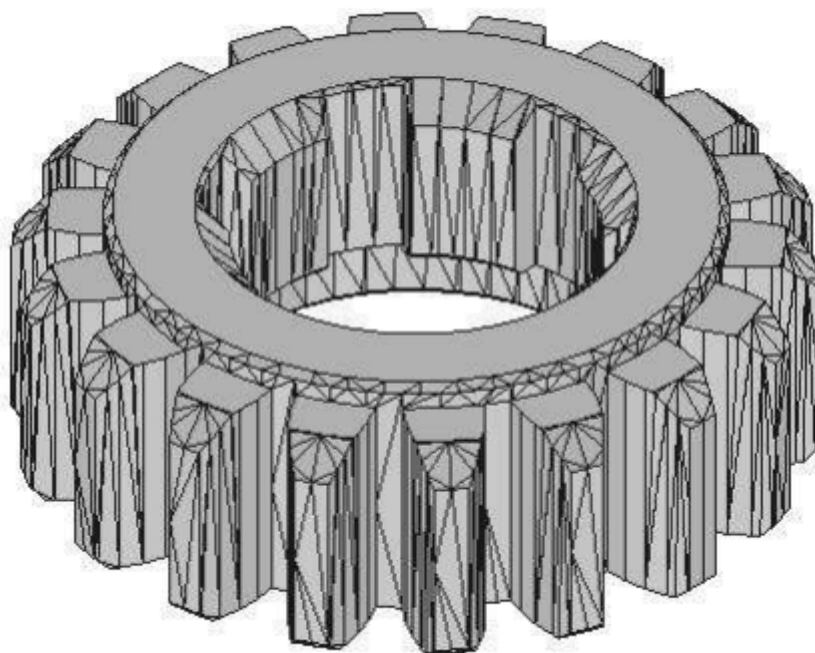


Obr. 1.1 Model vytvořený pomocí technologie RP [2].

1.2 Princip a proces výroby modelu pomocí RP

a) **Preprocessing** – tato etapa souvisí s přípravou dat. Ve většině případů to znamená tvorbu budoucího modelu pomocí některého z CAD systémů a jeho následný převod do formátu STL. Jedná se o převod vytvořeného geometrického modelu na skupinu rovinných ploch, které mají tvar trojúhelníků. V případě některých metod RP je třeba navíc počítat se zajištěním tzv. podpurných konstrukcí u vrstev, které nejsou v určitých etapách výroby modelu samonosné. Tomuto se někdy lze, vyhnout velice jednoduše vhodnou orientací součásti tak, aby nebyly podpory nutné. [2,4]

Vzhledem k tomu, že v případě všech druhů „3D tiskáren“ se jedná o určitý typ CNC zařízení, přípravná fáze zahrnuje také vygenerování tzv. „G-kódu“, na základě kterého potom zařízení pracuje. Tento „sekundární převod“ modelu probíhá pomocí generátoru, jehož výstup je závislý právě na již získaném modelu ve formátu STL a obsluhou nastavených parametrech pro samotnou výrobu součásti. Vhodné nastavení má zásadní vliv na celkový výsledek. V případě zařízení, jako je RepRap tiskárna, se však může zdát nastavení parametrů tisku poněkud složité. To je dáno zejména faktem, že software, pomocí kterého lze G-kód pro RepRap tiskárnu generovat, není komerční záležitostí a je u něj tedy kladen důraz pouze na funkci, nikoli na vzhled a koncepci uživatelského prostředí. Proto klade na uživatele poněkud větší nároky na chápání procesu výroby modelu a možnosti daného zařízení. [2,4]



Obr. 1.2. Ukázka modelu po převodu do formátu STL [7]

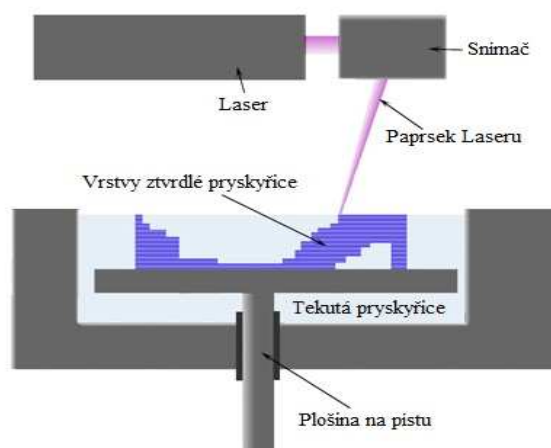
b) **Processing** – jedná se již o samotnou výrobu modelu, a to vrstvením konkrétního materiálu určitým způsobem, závislým na zvolené nebo spíše momentálně dostupné metodě. Pro lepší představu jsou níže uvedeny základní principy používané jednotlivými metodami při výrobě modelu. [2,4]

c) **Postprocessing** – jedná se o poslední (po výrobní) fázi, při které dochází k vyjmutí modelu a jeho dalšímu opracování. U některých metod je nutné nejprve odstranit okolní materiál, jako např.: odsátí přebytečného prášku, zbytků po ořezávání nebo oplach fotopolymery. To samozřejmě závisí na technologii, kterou byl model vytvářen. Některé metody navíc vyžadují další zpracování a opracování. Především se jedná o dodatečné dotvrzování modelů pod UV záření nebo napouštěním tvrdidly. Poté přichází na řadu odstranění podpor (pokud jsou) a to mechanicky nebo v rozpouštědle. Pro odpovídající výsledek je ve většině případů celý proces zakončen mechanickým opracováním modelu. Vzniklá stupňovitá struktura totiž často není žádoucí pro další využití modelu (zejména v případě využití modelu pro konstrukci slévárenských forem a podobně) a je tedy třeba zdokonalit povrch tak, aby odpovídal požadavkům na budoucí vyráběnou součást. To probíhá na základě použitého materiálu např. tmelením, broušením nebo i standardním obráběním. Součástky se v některých případech nadále barví, lakují a někdy i galvanicky pokovují. Obzvláště, pokud je žádoucí dobrý vizuální efekt při prezentaci modelu. [2, 4]

1.3 Základní principy metod RP

Stereolitografie – SL

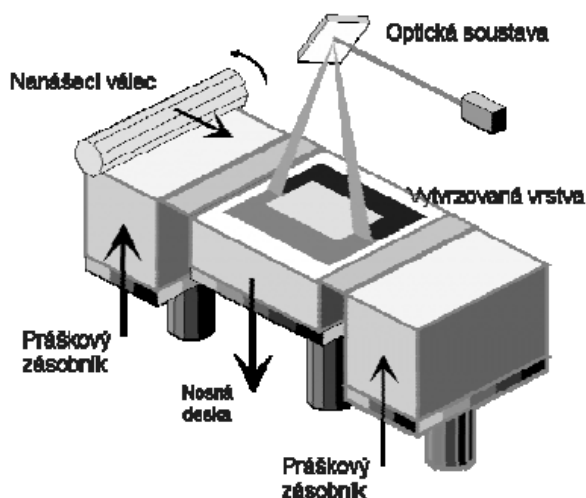
SL je první metodou RP. Funguje na principu postupného nanášení jednotlivých vrstviček pryskyřice a následného vytvrzování UV laserem. Jedná se o jednu z nejpřesnějších metod, je možno vyrábět drobné prvky a malé otvory. Nevýhodou je pomalé vytvrzování polymerů a nižší tepelná odolnost materiálů. Ve fázi postprocessingu se také musí model víc čistit od zbytků polymeru.



Obr. 1.3 Stereolitografie [8]

Selective Laser Sintering – SLS

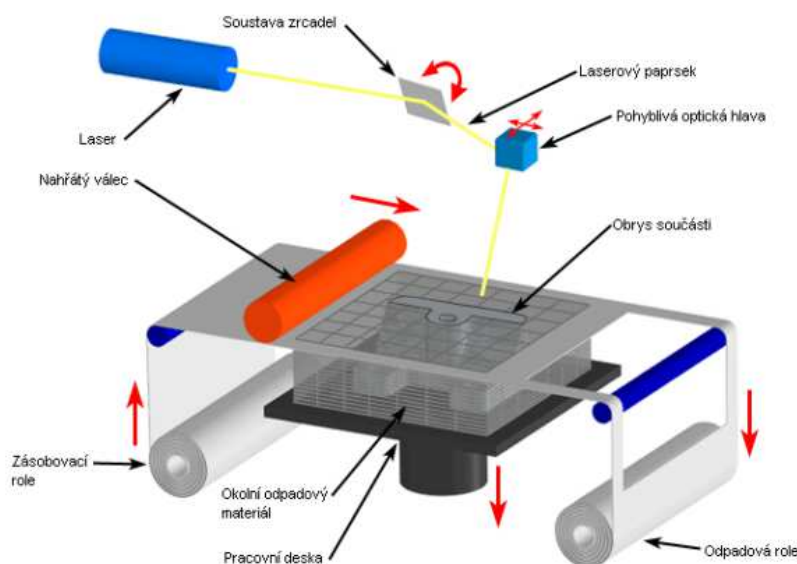
Novější metoda než SL, výhoda hlavně ve vyšší odolnosti a pevnosti výsledného modelu. Je možno použít víc materiálů, dokonce možnost spékání práškových kovů, plastů nebo písku (slévárenské formy). Tato metoda taktéž využívá laserový papřsek, ten spéká jednotlivé vrstvy materiálu, ale tentokrát se jedná o prášek. Ten je nanášen do plochy řezu, uhlazen a spečen k předchozí vrstvě.



Obr. 1.4 Selective Laser Sintering [9]

Laminated Object Manufacturing – LOM

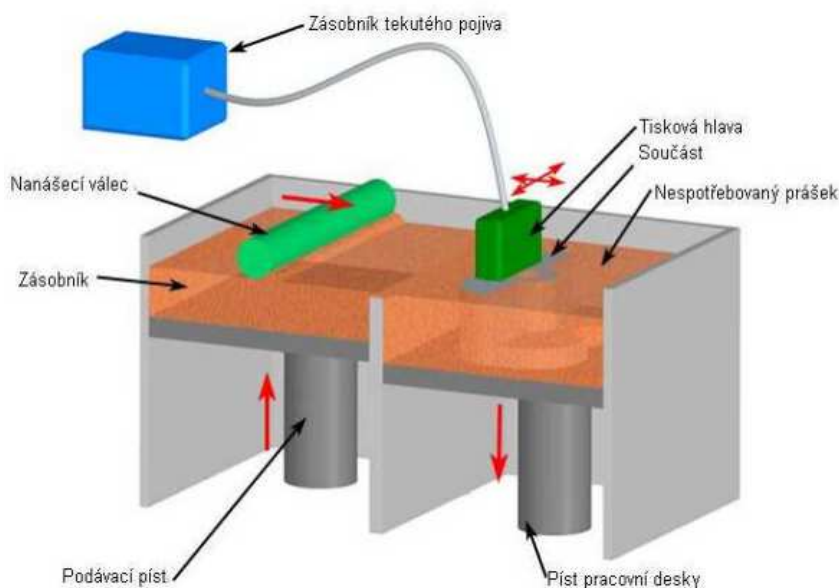
Tato metoda také tvoří model po vrstvách, ale používá odlišný způsob. Na model je nanесena plastová nebo papírová folie materiálu, která je následně laminována a požadovaný obrys je vyřezán laserem. Je zde úspora času, protože laser nemusí zpracovávat celý průřez, ale jen obvod vrstvy modelu. Nevýhodou je větší hrubost povrchu výsledného modelu a velké množství odpadního materiálu.



Obr. 1.5 Laminated Object Manufacturing [10]

Three Dimensional Printing – 3DP

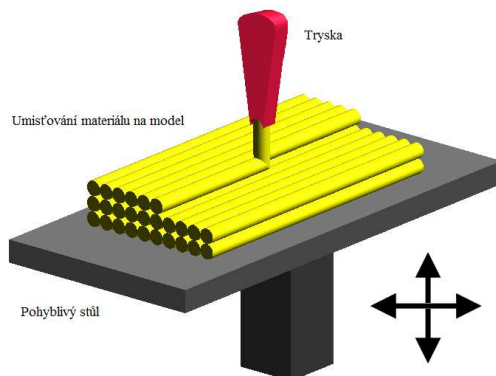
U této metody není potřeba laseru k tvoření modelu. Princip je podobný jako u SLS, přes řez modelu nanáší váleček prášek, ten ale není zpevňován laserem, ale pomocí pojiva. To je dodáváno injektorovou hlavou, která se pohybuje v osách.



Obr. 1.6 Three Dimensional Printing [11]

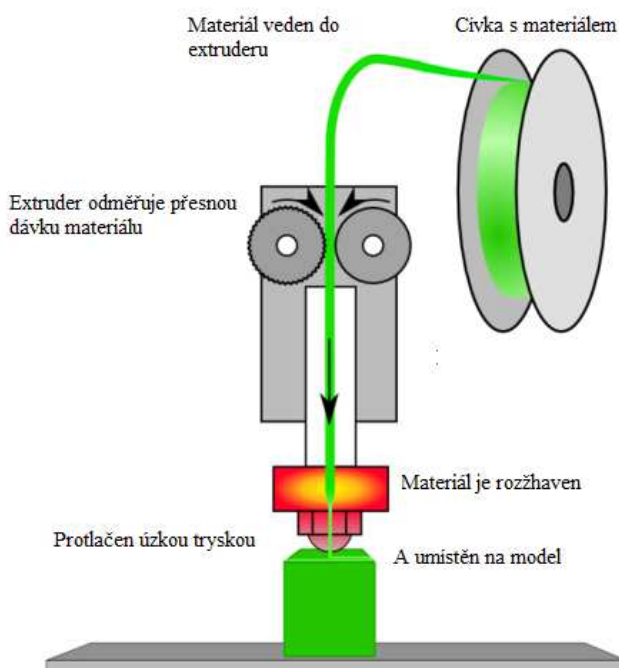
2 Fused Deposition Modeling – FDM

Tato metoda je od předchozích velmi rozdílná. Nepoužívá se zde laser, roztavený materiál je nanášen tryskou přímo na model, kde tuhne.



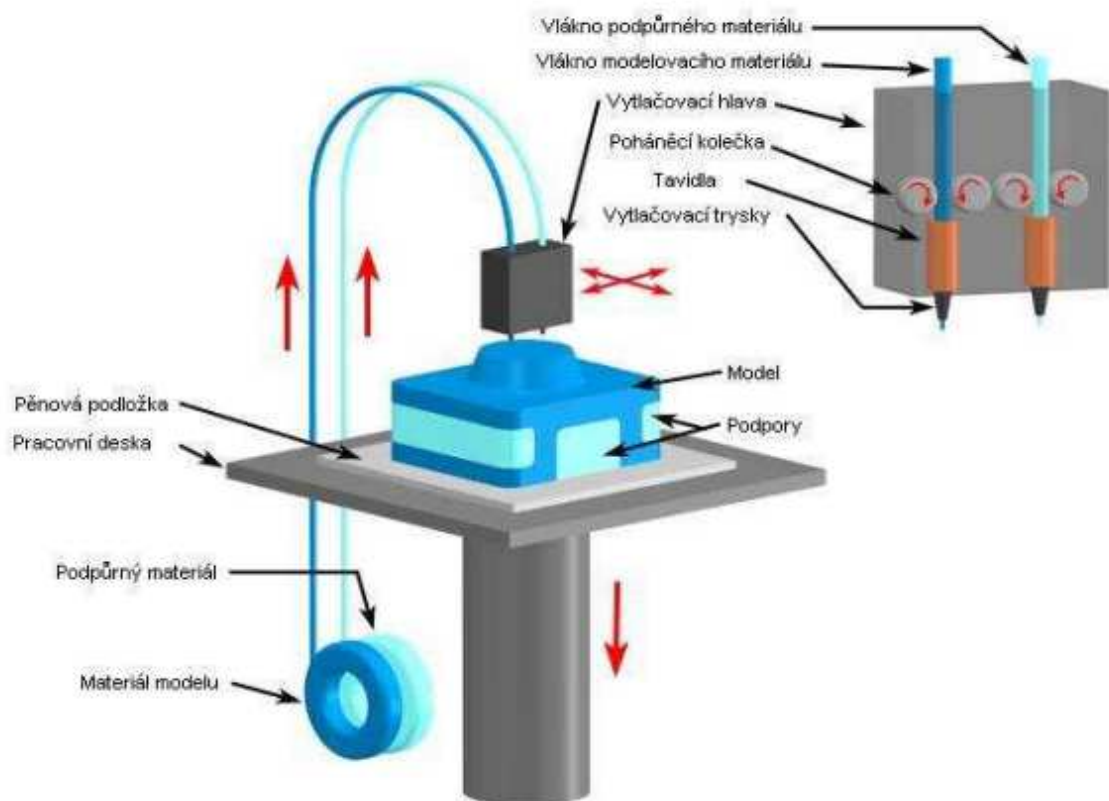
Obr. 2.1 Princip tvorby modelu. [12]

Materiál je uskladněn na cívce, ze které je extruderem odmotáván v potřebném množství. Posléze je protlačován skrz trysku s ohřívačem a poté nanášen na podkladovou desku, případně na rozpracovaný model. Teplota ohřevu je teoreticky jen o 1°C vyšší, než teplota tavení materiálu. Hlavní pohyb se odehrává v osách XY, posuv součásti ve vertikálním směru většinou zajišťuje pracovní deska. [2,3]



Obr. 2.2 Princip nanášení materiálu [13]

Mezi nevýhody, mimo hrubší strukturu povrchu, patří také nutná tvorba podpor. To je zajištěno podpurným materiálem, který je dle potřeby dávkován druhou tryskou. Tento materiál je volen tak, aby se s materiálem samotného modelu nepojil a bylo jej tedy možné po vyjmutí modelu snadno odstranit. V dnešní době existují dokonce technologie, kdy je speciální podpurný materiál rozpouštěn ve speciálním vodném roztoku a není tedy nutno nějak mechanicky zasahovat, což je výhoda obzvláště v případě špatně přístupných míst. [2, 3, 4]



Obr. 2.3 Tisk s podpurným materiálím [14]

Tato metoda není příliš přesná, ale přesto je pro spoustu průmyslových oborů velmi zajímavá, protože přesnost je zde nahrazena rychlostí, což je v mnoha případech určující. Právě díky rychlosti tvorby modelu většina 3D-tiskáren pracuje s touto metodou a tyto přístroje lze v podstatě potkat i v běžném kancelářském prostředí strojírenské firmy. [2, 3, 4]

V případě RepRap tiskárny je však celé zařízení daleko jednodušší a pracuje se pouze s jednou tryskou. To znamená, že podpory jsou obvykle řešeny pomocí základního materiálu a jejich odstranění může být tím pádem obtížnější. Volba použití podpor tedy musí být více promyšlená, aby bylo možno je posléze mechanicky odstranit. Pro zařízení tohoto typu také platí jiné parametry a není dosahováno takových hodnot pro tloušťku vrstvy a možnost zpracování detailů. [2, 3, 4]

Materiály:

ABS (akrylonitril-butadien-styren) – velmi odolný termoplast, často využívaný pro vstřikolisy. Lze z něj vytvořit i funkční prototypy a další výhodou je možnost různých barevných provedení.

PC thermoplastic (polykarbonát) – opět velmi odolný materiál, tentokrát i s dobrou tepelnou odolností.

PC-ABS– využívá výhod obou předchozích materiálů.

Vosky a elastomery– různé elastomery jsou používány pro případ požadavků na pružnou součást. Díky možnosti stavby modelů z vosků je i tato metoda vhodná pro slévárnictví, protože je zde, jak už bylo řečeno, možnost tvorby voskového modelu pro lití na vytavitelný model. Ten však musí být nejprve opracován, kvůli horší dosahované kvalitě povrchu.

PLA (polymléčná kyselina) – tento „plast“ je polyester na bázi kukuřičného škrobu, který je vázán na kyselinu mléčnou a vznikají tak makromolekuly polyesteru

PLA. Materiál je díky svému složení biologicky odbouratelný a za určitých podmínek dochází k jeho rozkladu na původní suroviny. V profesionálních zařízeních se nepoužívá, ale v případě provozu RepRap tiskárny v kancelářském nebo domácím prostředí je vhodnou alternativou. [4]

Výhody:

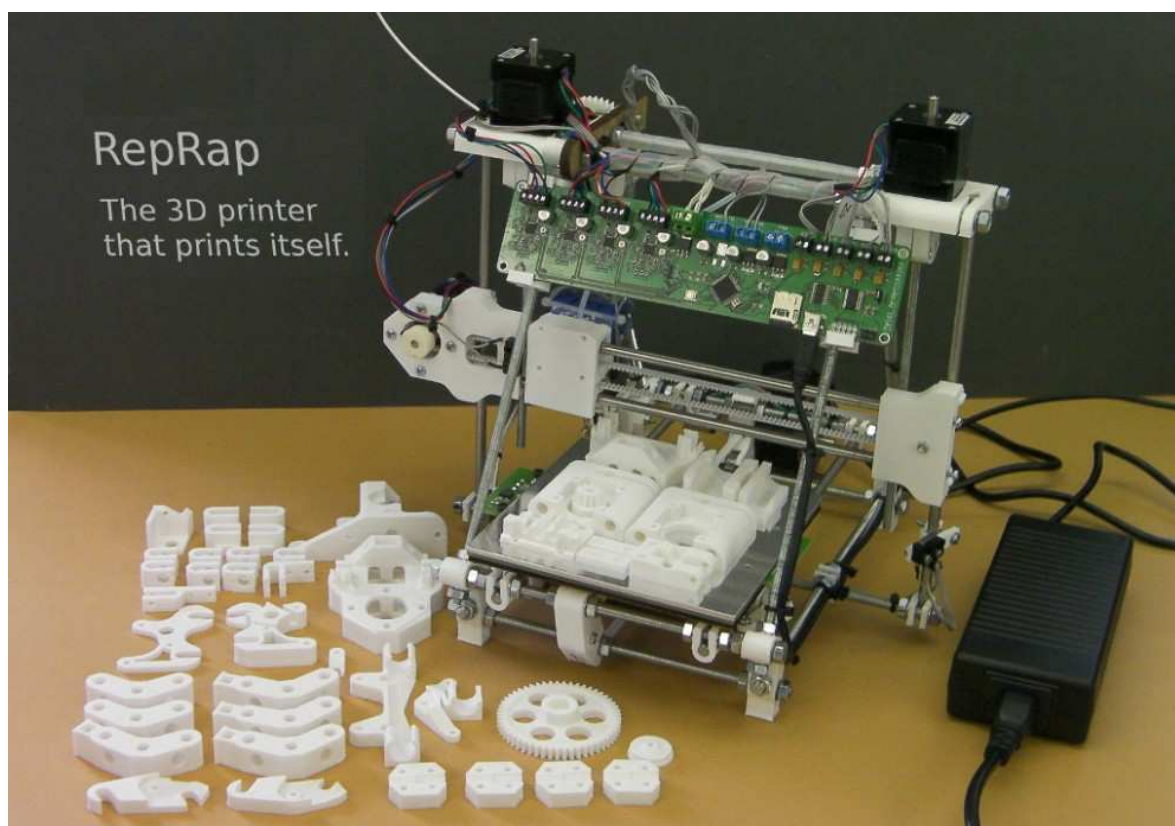
- + rychlejší zhotovení modelu (2 - 4 x rychlejší, než SL)
- + poměrně velký počet materiálů na výběr
- + možnost tvorby funkčního modelu
- + některé materiály mají dobrou tepelnou odolnost
- + termoplasty mají dobré mechanické vlastnosti

Nevýhody:

- některé tvary modelu vyžadují tvorbu podpor
- vytváření detailů (male otvory nebo výstupky) je omezené
- nutnost povrchové úpravy modelu
- výhodné pouze při výrobě menšího počtu kusů

3 REPRAP

Zkratka RepRap znamená **Replicating Rapid**-prototyper. Jedná se o 3D tiskárny, které jsou schopny se částečně replikovat, tzn. na jednom RepRap stroji je možné vytisknout přibližně polovinu dílů na stroj nový. Komerční stroje stojí řádově stovky tisíc, projekt RepRap se však snaží 3D tiskárny zpřístupnit širší veřejnosti. Dosahuje tím hlavně snížením ceny dílů (materiál na nový RepRap je možné pořídit do deseti tisíc Kč) a také dostupností plánů a software zdarma ke stažení pod licencí GNU GPL (open source licence). [5]



Obr 3.1 RepRap s vytištěnou sadou dílů [15]

3.1 GNU GPL

GNU je zkratka pro svobodný operační systém a znamená **GNU's Not Unix** (GNU není Unix). GNU GPL je zkratka pro GNU **General Public License** (česky „všeobecná veřejná licence GNU“), je to licence pro svobodný software, původně napsaná Richardem Stallmanem pro projekt GNU. GPL je silně copyleftová licence, která vyžaduje, aby byla odvozená díla dostupná pod toutéž licencí. V rámci této filosofie je řečeno, že poskytuje uživatelům počítačového programu práva svobodného softwaru a používá copyleft k zajištění, aby byly tyto svobody ochráněny, i když je dílo změněno nebo k něčemu přidáno. [6]

3.2 Historie RepRapu

RepRap byl založen roce 2005 Dr. Adrianem Bowyerem

23. března 2005

RepRap blog je spuštěn.

Léto 2005

Začátek financování počátečního rozvoje na University of Bath.

13.září 2006

RepRap 0.2 Prototyp úspěšně vytiskne první části sebe sama, které jsou následně použity k nahrazení stejných dílů původně vytvořených komerční 3D tiskárnou.

9.února 2008

RepRap 1.0 "Darwin" úspěšně tvoří více než polovinu celkových dílů tvořených RP.

14.dubna 2008

Pravděpodobně první věc vytvořena koncovým uživatelem: svorka na držení iPodu na palubní desce Fordu Fiesta.

29.května 2008

Během několika minut po smontování tiskne první dokončené "dítě" části pro "vnuka" na Univerzitě v Bath ve Velké Británii.

23.září 2008

Uvádí se, že bylo vyrobeno nejméně 100 kusů v různých zemích. Přesný počet RepRapů v oběhu v té době neznámý.

30.listopadu 2008

První zdokumentované replikace mimo komunitu vývojářů. Replikace je dokončena Wade Bortzem, první uživatel mimo tým vývojářů vytvořit kompletní sadu pro jinou osobu.

20.dubna 2009

Oznámení prvních elektronických obvodů vyrobených automaticky s RepRap, pomocí automatizovaného systému řízení a přepínacího systému schopného tisknout plastové i vodivé materiály. Součásti jsou později začleněny do RepRap.

2.října 2009

Druhá generace designu, nazvaná "Mendel", vytiskne první část. Mendelův tvar připomíná spíše trojúhelníkový hranol než krychli.

13.října 2009

RepRap 2.0 "Mendel" je dokončen.

31.srpna 2010

Třetí generace designu, "Huxley", je oficiálně oznámena. Vývoj je založen na miniaturizované verzi hardwaru Mendel s 30% objemu původního tisku.

První polovina 2012

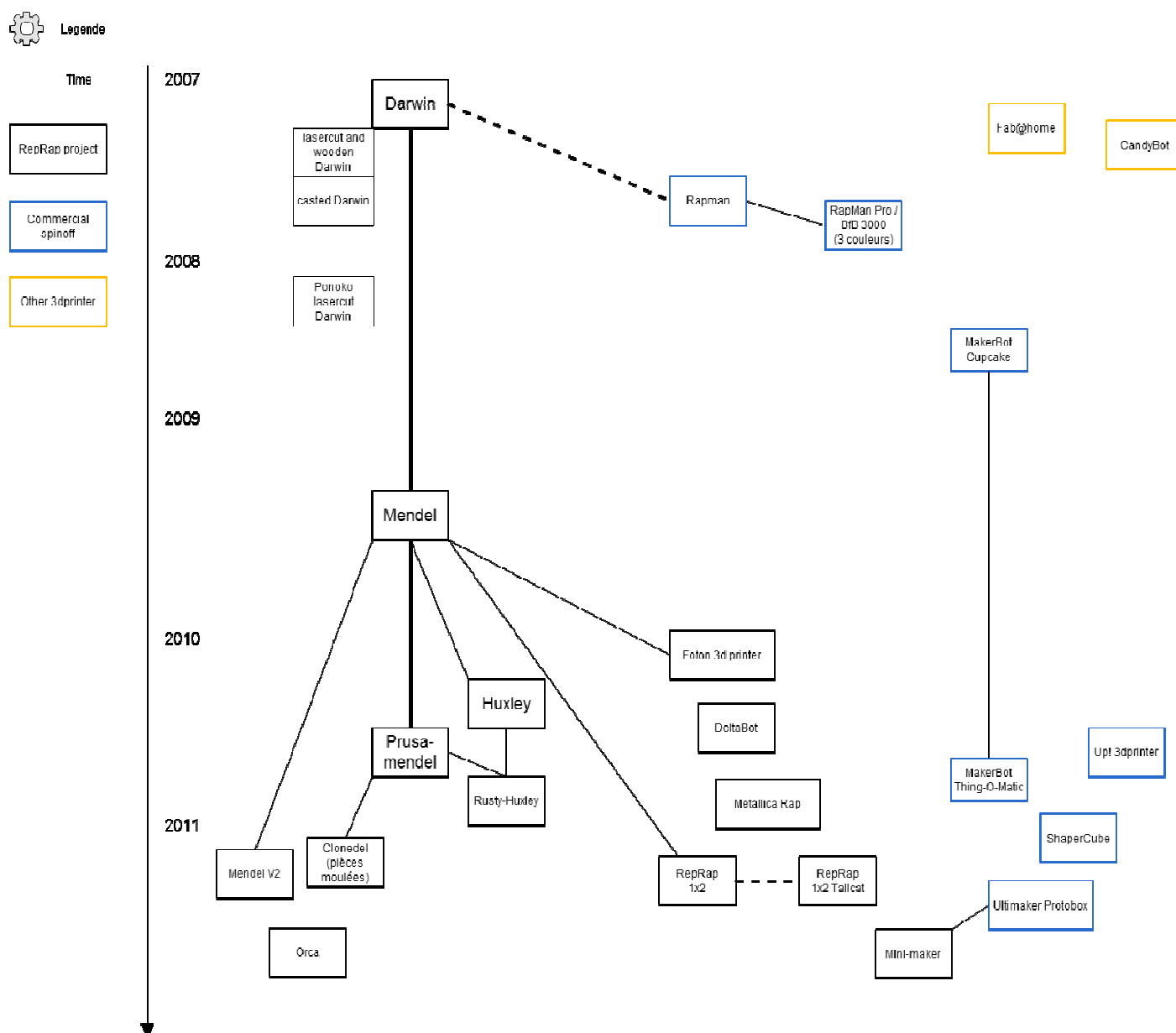
RepRap začíná být velmi oblíbený a propagovaný v mnoha médiích.

Pozdní léto / podzim 2012

Zaměření na malé společnosti prodávající díly pro RepRap.

První úspěšný delta design, "Rostock", s radikálně odlišnou konstrukcí. Je ve fázi prototypu, ale postupně jsou vyvíjeny pokročilejší verze a vylepšovány nejnovějším výzkumem v oblasti RepRapu.

Časový plán vývoje RepRapu:

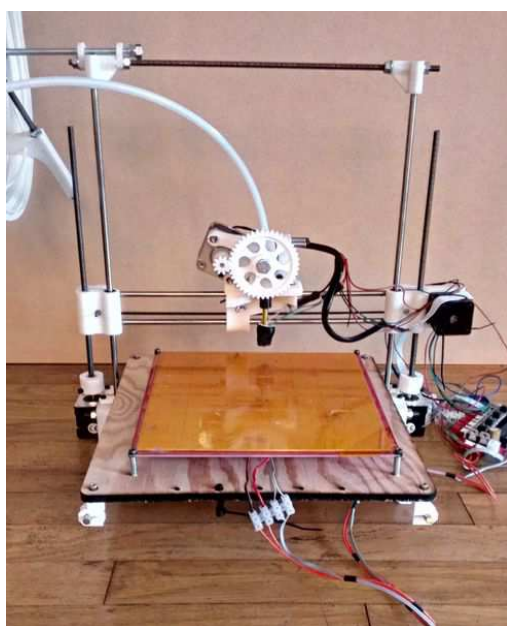


Obr. 3.2 Časový plán vývoje RepRapu [16]

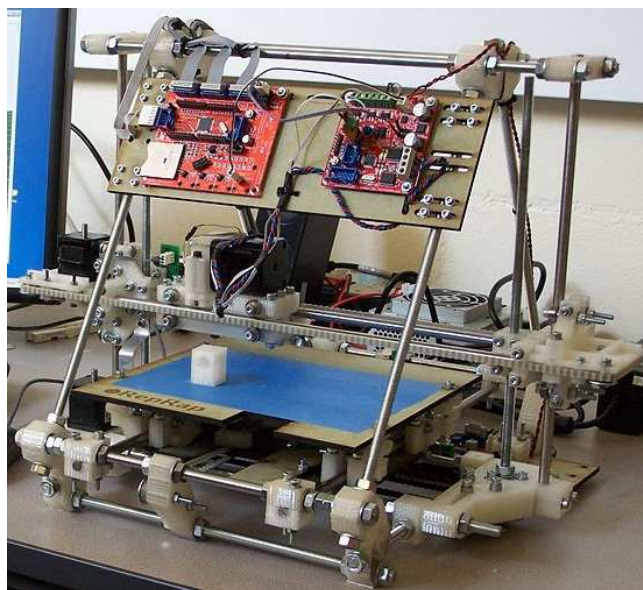
3.3 Druhy REPRAP tiskáren

Wallace

Konstrukce tohoto RepRapu je velice jednoduchá. Je použito relativně malé množství materiálu, jak hutního a spojovacího, tak i tištěného plastového. Jednoduchost konstrukce je ale vykoupena možnostmi zařízení, velikostí dílů, které je možno tisknout, celkovou tuhostí stroje.



Obr. 3.3 Wallace [17]



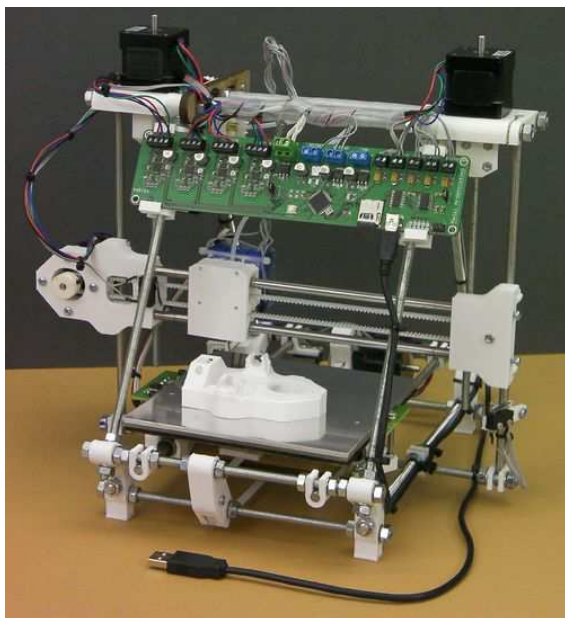
Obr 3.4 Mendel[17]

Mendel

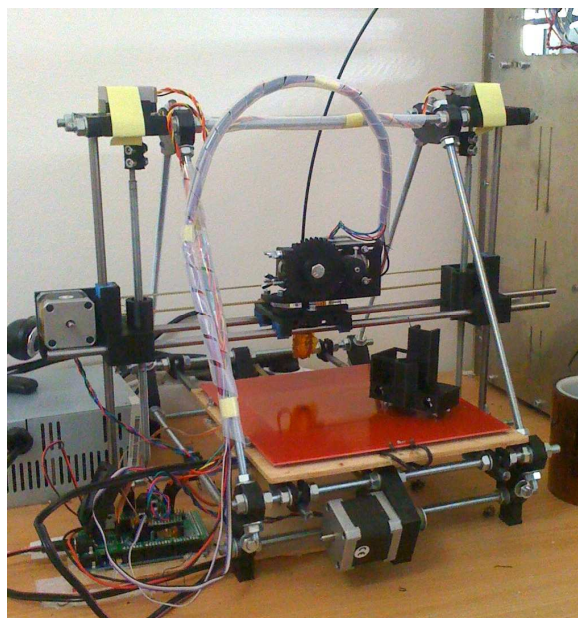
Druhá, vylepšená verze RepRapu. Kompaktní tak, aby se vešla na stůl, přitom dokáže tisknout dostatečně velké díly. Jedná se o nejsložitější typ, na Mendel je použito největší množství dílů, plastových i kovových. Další modely se právě proto snaží redukovat počet stavebních dílů a přitom zachovat pevnostní charakteristiky.

Huxley

Třetí verze RepRapu, jedná se o zmenšenou verzi Mendelu. Na replikaci je potřeba přibližně jen 30% plastových dílů oproti Mendelu, takže se dá říct, že se Huxley může reprodukovat 3x rychleji. Zařízení je hodně kompaktní, konstrukce je dostatečně tuhá, nevýhodou může být malý pracovní prostor a tím pádem stavba pouze menších součástí.



Obr. 3.5 Huxley [17]



Obr. 3.6 Prusa Mendel [17]

Prusa Mendel

Koncepce vychází z typu Mendel, jehož konstrukce byla upravena jedním z nejznámějších propagátorů RepRap tiskáren, panem Josefem Průšou (z tohoto spojení název Prusa Mendel). Jde opět o složitější konstrukci, než Huxley s větším počtem plastových dílů. Co se však týká součástí kovových, je zde použito přibližně stejné množství, jako v případě typu Huxley a poměr plastových součástí vůči kovovým je tedy o něco lepší. Vzhledem ke svým rozměrům nabízí také možnost výroby větších součástí, případně většího množství najednou. Zajímavostí je také fakt, že pro pojezd na vodičích tyčích v osách XYZ nejsou použita lineární ložiska, ale speciální vodítka, vyrobená opět z plastu. To znamená, že nehrozí ochopení vodičích hřídelí, pouze těchto vodítek, která je možno si na této tiskárně vyrobit jako náhradní díl. [4,5]

3.4 Druhy materiálu

FDM RepRap tiskárny jsou v podstatě schopny zpracovat jakýkoli termoplast nebo i jiné materiály, které jsou schopny se roztavit a zase tuhnout. Vzhledem k dostupnosti materiálů v požadované formě je však na výběr v podstatě pouze ze dvou možností, a to ABS (acrylnitril-butadien-styrol) nebo PLA (polylactic acid). Tyto materiály jsou totiž běžně v požadované formě pro dané použití. Oba materiály však vykazují odlišné vlastnosti, jako je teplota tavení, tvrdost a hlavně chemické složení. [4,5]

Porovnání ABS a PLA [4]:

- ABS je dostupnější na trhu
- ABS je levnější řádově až o 1/4
- ABS obecně vykazuje lepší povrchovou strukturu modelu
- ABS má lepší průchodnost tryskou, tedy nižší podávací síla extruderu
- ABS má větší odolnost vůči vlivům prostředí

- PLA není náchylný k tepelným deformacím
- PLA má nižší energetické nároky (nižší teplotu tavení o cca 50°C)
- PLA je ekologický materiál schopný biodegradace
- PLA neuvolňuje toxické výpary při tavení a nepáchne
- .

4 Technicko – ekonomické zhodnocení

Pro technicko-ekonomické zhodnocení jsem si vybral dvě tiskárny. Jednu RepRap a jednu profesionální. Budou porovnány cenové relace pořizovacích nákladů, energií a mzdy obsluhy.

a) RepRap 3D tiskárna Prusa Mendel [4]

- Technické parametry:

- vnější rozměry: 550 x 440 x 400mm (šířka x hloubka x výška)
- hmotnost: 9,1 kg
- max. příkon: 200W
- tloušťka vrstvy: 0,38 mm
- přesnost: +-0,3 mm
- max. velikost modelu: 180 x 180 x 90mm

- Technicko-ekonomické ukazatele:

- pořizovací cena dílů: 12 000Kč až 20 000Kč (dle použitých komponent)
- náklady na sestavení: 3 750Kč (20 až 25 hodin za mzdu 150Kč/h)
- náklady na zprovoznění: 10 800 (24 až 72 hodin (dle zkušeností obsluhy)
- náklady na materiál: 72Kč/h (až 60g při ceně 350Kč až 1 200Kč/kg)
- náklady na energii: 0,95 Kč/h (příkon 0,2kW při ceně energie 4Kč/kWh)
- náklady na obsluhu: 150Kč/h (závisí na mzdovém ohodnocení obsluhy)
- počet modelů za 1h: 1 (závisí na složitosti modelu a době přípravy tisku)

Z výčtu nákladů vyplývá celková pořizovací cena zařízení, která tak může být dle uvažované hodinové mzdy obsluhy až 34 550,-. Náklady na výrobu jednoho průměrného modelu pak tvoří součet ostatních hodinových nákladů. Celkem tedy 223Kč/h.

b) 3D tiskárna DIMENSION BST 768 [4]

- Technické parametry:

- vnější rozměry: 686 x 914 x 1041mm (šířka x hloubka x výška)
- hmotnost: 136 kg
- max. příkon: 3 300W
- tloušťka vrstvy: 0,245 mm
- přesnost: $\pm 0,1$ mm
- max. velikost modelu: 203 x 203 x 305mm

- Technicko-ekonomické ukazatele:

- pořizovací cena: 350 000Kč(dle kurzu a dodavatele)
- náklady na materiál: 480Kč/h (až 60g při ceně 8Kč/g)
- náklady na energii: 13,20 Kč/h (příkon 3,3kW při ceně energie 4Kč/kWh)
- náklady na obsluhu: 150Kč/h (závisí na mzdovém ohodnocení obsluhy)
- počet modelů za 1h: 1 (závisí na složitosti modelu a době přípravy tisku)

Pořizovací cena zařízení se pohybuje okolo 350 000,-. Náklady na výrobu jednoho průměrného modelu pak tvoří součet ostatních hodinových nákladů. Celkem tedy 643,-/h.

Vyhodnocení parametrů profesionálního zařízení [4]:

- Má přibližně 2x jemnější strukturu povrchu (malá tloušťka vrstvy).
- Dosahuje větší rozměrové i tvarové přesnosti oproti RepRap tiskárně.
- Možnost výroby 2x většího modelu oproti RepRap tiskárně.
- Uzavřený pracovní prostor (bez úniku výparů při tavení materiálu, možnost dosažení ideálního prostředí pro tisk)
- Cena zařízení je přibližně 10x vyšší oproti RepRap tiskárně
- Cena tisku minimálně 3x vyšší.
- Vysoká hmotnost (obtížné přemístování).
- Větší rozměry

Z pohledu celkové kvality má samozřejmě profesionální zařízení lepší parametry. Ale z pohledu finančních nákladů a jeho provoz se stává pro mnoho firem nedostupným. Také by velké a drahé zařízení nebylo v malé firmě plně využito. Proto je RepRap tiskárna vhodným řešením. Navíc se jedná o cenu do 40000Kč, tedy možnost jednorázového odpisu

5 Rozvoj 3D tisku do budoucna

3D tisk se v poslední době zaměřuje na několik pokročilých oblastí:

Tisk elektrických obvodů:

Je zkoumaná technologie jak kvalitněji, přesněji a hlavně kompaktněji tisknout plošné spoje a jinou elektroniku pomocí RepRap, ale i komerčních strojů.

Tisk domů:

Speciální konstrukce 3D tiskáren, které jsou větší než plánovaný dům. Nanášejí speciální rychletuhnoucí beton a vytvářejí z něj stěny domu. Tato technologie je plánována pro stavbu ubytování na vesmírných expedicích mimo Zemi.



Obr 5.1 Koncepte tisknutí domů [18]

Tisk jídla:

V současné době existují stroje pro tisk jídla z čokolády, tisk těstovin a podobně. Je v plánu zkoumat pokročilejší způsoby tisku jídla, a to až do fáze skládání jídla z jednotlivých složek (bílkoviny apod.), které budou umístěny ve stavu prášku v zásobníku a pomocí tekutiny umísťovány na talíř.

Tisk orgánů:

Nejsmělejší vize počítají s tištěním funkčních orgánů pro transplantace. Technologie je to jistě zajímavá a prospěšná, ale jen časem uvidíme, zda se podaří orgány přesně replikovat a zda je těla příjemců bez problému přijmou.

ZÁVĚR

Technologie 3D tisku je velice progresivní metoda s mnoha přednostmi. V budoucnu bude jistě zdokonalována, přesnost zvyšována a rozšiřováno množství dostupných materiálů.

Co se týče RepRapu, doufám, že se podaří zvýšit procento dílů, které budou tiskárny schopné vytisknout. Ať už se jedná o elektronické obvody nebo kovové části. Zatím jako největší překážku RepRapu vidím problém s nastavením. Na internetu jsou různé návody jak sehnat díly, jak tiskárny složit, jak je zprovoznit, ale je málo kvalitních informací o tom, jak ji kalibrovat a nastavit.

Možnosti využití RepRapu jsou velice široké a doufám, že s postupným zdokonalováním technologií budou ještě větší a že jednou bude mít 3D tiskárnu doma každý člověk. V současné době je to však spíš zajímavá technologie pro menší firmy, které si nemůžou dovolit velké drahé stroje, a kterým by plně vyhovovala menší RepRap tiskárna (s ohledem na menší přesnost a velikosti dílů). Taktéž je RepRap vhodným předmětem pro studenty. Mohou si zdokonalit znalosti konstruování, elektroniky a programování.

.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PÍŠKA, Miroslav, et al. Speciální technologie obrábění. 1. Brno : CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. *MMspektrum*[online]. 2008, č. 11 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>>.
3. ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění 10. díl. *MMspektrum*[online]. 2008, č. 12 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil.htm>>.
4. SYSEL, K. Návrh a zefektivnění parametrů FDM tisku.Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 85 s.
5. *RepRap* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://reprap.org>>.
6. *GNU* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://reprap.org>>.
7. *SYCODE* [online]. c2008 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <http://www.sycode.com/products/stl_import_sc/index.htm>.
8. *Photo 3000* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://proto3000.com/stereolithography-sla-services-rapid-prototyping.php>>.
9. Bombe Rebuild Project[online]. c2008 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://www.jharper.demon.co.uk/rptc01.htm>>.
10. CustomPartNet [online]. c2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>>.
11. CustomPartNet [online]. c2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>>.
12. Wikipedia [online]. c2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png>.
13. *RepRap* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://reprap.org/wiki/File:FFF.png>>.
14. CustomPartNet [online]. c2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>>.
15. *RepRapPro* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z: <<http://reprappro.com/>>.

16. *RepRap* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z:
<http://reprap.org/wiki/RepRap_Family_Tree>.
17. *RepRap* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z:
<http://reprap.org/wiki/Build_A_RepRap>.
18. *3pol.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupný z:
<<http://3pol.cz/1376-3d-tisk-vam-vytiskne-dum>>.