



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ZPROVOZNĚNÍ 3D TISKÁRNY PRUSA MENDEL
THE 3D PRINTER PRUSA MENDEL LAUNCHING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Stanko

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Kočíš

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Michal Stanko**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kočíš**
Akademický rok: 2015/16

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:

Zprovoznění 3D tiskárny Prusa Mendel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce spadá do oblasti 3D tisku. Práce bude mít podobu odborné rešerše i řešení dílčího technického problému, při kterém bude využita 3D tiskárna Prusa Mendel, která je k dispozici na ÚVSSR.

Cíle bakalářské práce:

Teoretická část:

Úvod – charakteristika 3D tisku

Rešerše – přehled dostupných technologií 3D tisku, konstrukce 3D tiskáren, porovnání jednotlivých variant

Praktická část:

- Popis architektury tiskárny Prusa Mendel – mechanická konstrukce, pohony, elektronika, firmware, ovládací software
- Zprovoznění 3D tiskárny Prusa Mendel – komunikace s počítačem, vyladění firmwaru, popřípadě návrh krytování tiskárny

Seznam literatury:

Airripper's 3D Printer and Arduino Blog,

<http://airripper.com/1145/marlin-firmware-v1-basic-configuration-set-up-guide/>, přístup 25. listopadu 2015

CNC fórum, <http://www.c-n-c.cz/viewtopic.php?f=81&t=11416>, přístup 25. listopadu 2015

NEXTDAYREPRAP, <http://www.nextdayreprep.co.uk/>, přístup 25. listopadu 2015

REBEL 3D, <http://www.rebelove.org/portal.php>, přístup 25. listopadu 2015

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Podstatou tejto bakalárskej práce je zhrnúť súčasné poznatky 3D tlače. V teoretickej časti sa popisuje vývoj a možnosti tlače pomocou rôznych technológií a metód. Praktická časť je zameraná na špecifický problém a to sprevádzkovanie 3D tlačiarne Prusa Mendel.

ABSTRACT

The essence of this thesis is to summarize current knowledge of 3D printing. The theoretical part describes the development and options of printing using different technologies and methods. The practical part is focused on a specific problem, launching 3D printer Prusa Mendel.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

3D tlač, RepRap, Rapid Prototyping, Marlin, Arduino

KEYWORDS

3D printing, RepRap, Rapid Prototyping, Marlin, Arduino

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

STANKO, M. *Zprovoznění 3D tiskárny Prusa Mendel*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 57 s., Vedoucí bakalářskej práce Ing. Petr Kočíš.

POĎAKOVANIE

Týmto sa chcem poďakovať Ing. Petrovi Kočišovi za zasvätenie do problematiky a cenné hodiny konzultácie, ktoré mi pomohli danú tému spracovať.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Petra Kočiša a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 28.5.2016

.....
Stanko Michal

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA	17
3	3D TLAČ	19
3.1	Základná charakteristika	19
3.2	História	19
3.3	Rapid prototyping.....	20
3.4	Procesy výroby	20
3.4.1	Preprocessing (tvorba 3D modelu)	20
3.4.2	Processing (tlač súčiastky).....	22
3.4.3	Postprocessing (čistiace a dokončovacie operácie)	22
4	PROCESY NANÁŠANIA	23
4.1	Vat photopolymerization (Fotopolymerizácia v nádobe).....	23
4.2	Material jetting (Tryskanie materiálu)	23
4.3	Binder jetting (Tryskanie spojiva).....	24
4.4	Material extrusion (Vytlačanie materiálu)	24
4.5	Powder bed fusion (Tlač v práškovej lôži).....	25
4.6	Sheet lamination (Vrstvenie listov).....	25
4.7	Directed energy deposition (Smerované nanášanie materiálu)	26
5	TECHNOLÓGIE 3D TLAČE	27
5.1	FFF (alebo FDM) – tlač funkčných modelov pomocou roztavených plastov ..	27
5.2	SLA (DLP) – vytvrdzovanie fotocitlivej živice	27
5.3	SLS – laserové spekanie plastového prachu.....	27
5.4	DMLS – spekanie kovového prachu	28
5.5	EBM – tavení pomocou elektrónového lúču.....	28
5.6	Material jetting – tlač voskových modelov	28
5.7	DLP – Digital light processing	28
5.8	Tlač plnofarebných modelov z prášku	28
6	MATERIÁLY	29
6.1	Polyméry	29
6.2	Kovy	30
6.3	Keramika	30
7	KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE	31
7.1	Otvorený verzus uzavretý design.....	31
7.2	Veľkosť tlačovej plochy	32
7.3	Kvalita tlače.....	32
7.4	Základná konštrukcia 3D tlačiarní	33
7.4.1	Krokový motor	33
7.4.2	Tlačová hlava (extrudér)	34
7.4.3	Vyhrievaná podložka	35

7.4.4	Koncový spínač	35
7.5	Porovnanie jednotlivých variant RepRap tlačiarní	36
7.5.1	Darwin	36
7.5.2	Mendel	36
7.5.3	Prusa Mendel	36
7.5.4	Huxley	36
8	SPREVÁDZKOVANIE TLAČIARNE PRUSA MENDEL	37
8.1	Marlin firmware	38
8.2	Užívateľské prostredie	39
8.2.1	Tepelné nastavenia	40
8.2.2	Mechanické nastavenia	41
8.2.3	Nastavenie pohybov	42
8.3	Pronterface	44
9	ZHODNOTENIE A DISKUSIA.....	45
10	ZÁVER.....	47
11	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	49
12	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV	53
12.1	Zoznam skratiek	53
12.2	Zoznam obrázkov	54
13	ZOZNAM PRÍLOH.....	57

1 ÚVOD

Rýchly rozvoj technológií a ich vývoj v dnešnej dobe neprestajne napreduje. Závisí na ňom konkurenciaschopnosť voči ostatným, ale aj náročnosť odberateľov.

Hlavne v strojárstve je čoraz viac dôležitejšie vyrábať produkty rýchlejšie a presnejšie. Pri klasickej výrobe kovov alebo plastov je nevyhnutné veľké množstvo strojov, ako aj jednoúčelových a viacúčelových nástrojov. Ako nevýhoda sa to môže zjavne javiť pri malokusovej výrobe, kde nie každý je schopný si dovoliť potrebné vybavenie. Tieto problémy ponúkajú priestor využitiu technológií 3D tlače [1,2].

Práca najskôr oboznamuje, čo vlastne 3D tlač znamená, jej vývoj a dôvod prečo sa dostáva do popredia až v dnešnej dobe. Informuje aké metódy a technológie využíva pri tlači a popisuje ich výhody a nevýhody. Ku koncu prvej časti popisuje základnú konštrukciu a porovnáva niektoré druhy tlačiarní. Neskôr, v praktickej časti bude zameraná na špecifickú tlačiareň a to, aby bol zaistený jej správny chod. Z toho vyplýva, že pôjde hlavne o vyladenie jej firmwaru. To znamená nastavenia presných hodnôt odpovedajúcich príslúchajúcim konštrukčným prvkom tlačiarnie. Záver práce sa bude venovať vytvoreniu užívateľského prostredia pre jednoduché nastavenie každej RepRap tlačiarnie.

2 MOTIVÁCIA

Pre spracovanie tejto témy som sa rozhodol hlavne preto, lebo verím, že využívanie 3D tlačiarňí bude v budúcnosti považované za samozrejmosť. Preto som chcel čo najskôr načerpať poznatky týkajúce sa 3D tlače, či už základov ako sa vyvíjala, alebo aj metódy a technológie, ktoré využíva.

Sám by som chcel raz v budúcnosti vlastniť svoju tlačiareň, či už kúpenú ako hotový kus alebo prijať výzvu a poskladať si ju z normálnych a vytlačených dielov. Preferujem druhú možnosť a preto som rád, že som mohol pri spracovaní bakalárskej práce pracovať s tlačiarňou typu Prusa Mendel, kde som mal možnosť pozorovať z čoho všetkého sa daná tlačiareň skladá a následne aj vyskúšať výmenu vyhrievacej podložky. Verím, že v prognóze využívania tlače som mal pravdu a že spracovanie tejto témy mi bolo do budúca veľkým prínosom

3 3D TLAČ

3.1 Základná charakteristika

3D tlač alebo aj aditívna výroba je proces, pri ktorom vzniká skutočný reálny model z digitálnej predlohy. Aditívna výroba znamená postupne nanášanie vrstiev, až vznikne finálny produkt.

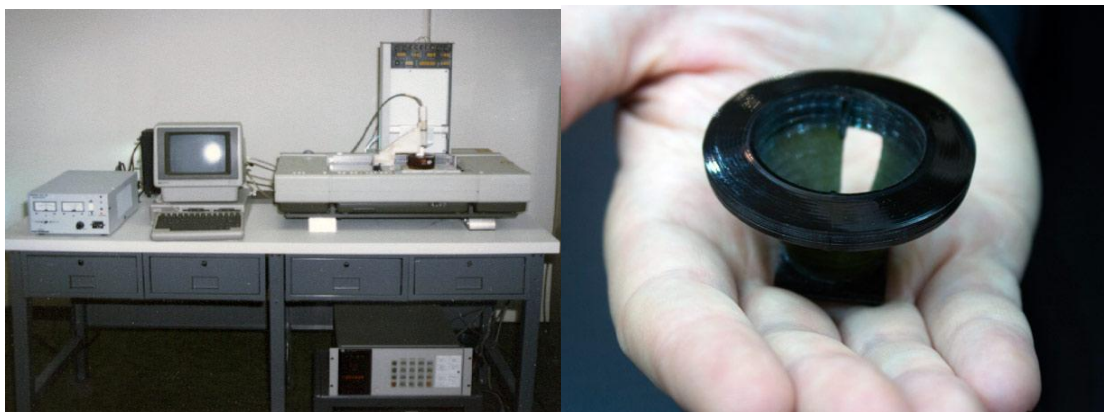
V podstate funguje podobne ako atramentová alebo laserová tlačiareň, ktorú môžeme považovať za bežnú výbavu domácnosti. Pracuje na princípe nanášania atramentu na povrch papiera. Tento proces riadi počítač. Pri 3D tlačiarňach ide o podobný proces, kde sa ale nanášajú viaceré vrstvy na seba. Ako aj pri 2D tlačiarňach, kde ako predloha slúži dokument alebo fotografia, aj 3D tlačiarne potrebujú svoju digitálnu predlohu. Tú si je možné vytvoriť v jednom z 3D modelovacích programov alebo využitím 3D skeneru [1,2].

3.2 História

Technológia je relatívne mladá. Od polovice 80-tych rokov bola využívaná viacerými výrobcami na tvorbu prototypov, ktoré im umožnili testovať a ďalej vyvíjať v kratšom čase a s nižšími nákladmi.

Z počiatku sa využívali iba v leteckom a kozmickom priemysle, ako aj vo Formule 1. Postupom času sa rozširovali aj do ostatných odvetví priemyslu. Avšak rozvoj naďalej brzdili rôzne spoločnosti vlastiace patenty v snahe udržať si monopol. Môžeme spomenúť technológiu s názvom Stereolitografia, pomocou ktorej dokázal v roku 1983 Charles W. Hull vytlačiť na tlačiarňi vôbec prvú súčiastku a o rok neskôr si túto technológiu nechal patentovať a založil firmu [4,7].

Za veľký krok vpred na rozvoji 3D tlačiarňí môžeme považovať rok 2008, keď Adrian Bowyer dokázal z 3D tlačiarne vytlačiť novú. Tento krok sa dá považovať za začiatok novej éry [4].



a)

b)

Obr. 1) Prvá 3D tlačiareň a jej výtlačok [4].

3.3 Rapid prototyping

Rapid Prototyping (rýchla výroba prototypov) bolo prvotné označovanie pre 3D tlač a zmienky o ňom nájdeme aj doteraz, keď slúžil výlučne na výrobu prototypov.

Predstavme si, že chceme vyrobiť nový druh telefónu a potrebujeme zistiť, či sa jeho návrh bude páčiť potenciálnym užívateľom. Klasický proces, ktorý by musel zahŕňovať nové formy, nástroje, procesy..., by stál veľa investície, ktorá by sa nemusela vrátiť. Preto sa dal prototyp radšej vytlačiť.

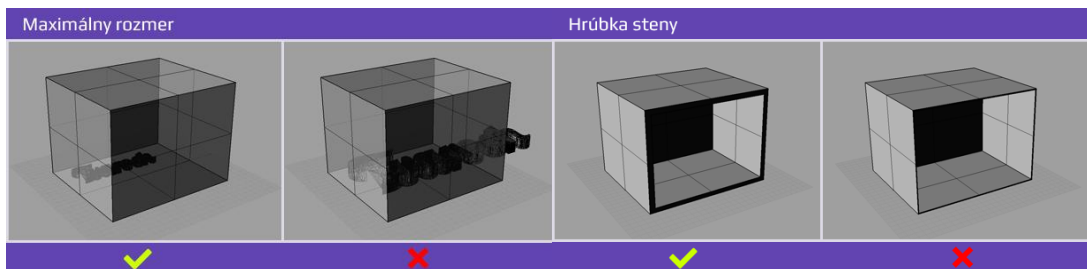
Aj keď nebol tiež najlacnejší, ušetril firme nemalé peniaze. Preto sa 3D tlač výlučne používala vo firmách a nemala šancu sa dostať do domácností [3,5].

3.4 Procesy výroby

3.4.1 Preprocessing (tvorba 3D modelu)

Tento proces zahŕňa nahromadenie a spracovanie dát. Nahromadením sa myslí buď zmeranie rozmerov reálnej súčiastky, z ktorej chceme vytvoriť 3D model, alebo ak žiadny taký nemáme, na internete je mnoho dostupných nápadov a konceptov na stiahnutie. Dôležité je hlavne vedieť, na aký účel bude súčiastka slúžiť a podľa toho vybrať technológiu a materiál [8,9].

Každá má svoje výhody a aj nevýhody. Môžu sa napríklad líšiť časom tlače ako aj vlastnosťami materiálu. Taktiež nesmieme zabúdať na maximálne a minimálne rozmery, ktoré je tlačiareň možná tlačiť [8]. Hrúbka steny závisí od technológie tlače a nemala by presahovať dovolené hodnoty (0,5 – 2 mm) [8]. Ďalej si treba dávať pozor na veľmi tenké a dlhé časti, ktoré zvyknú byť krehké a ľahko sa lámu [8,10].



Obr. 2) Príklad maximálnych rozmerov a hrúbky steny [8].

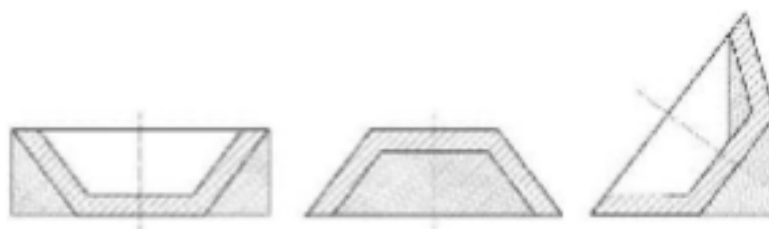


Obr. 3) Príklad príliš tenkej časti [8].

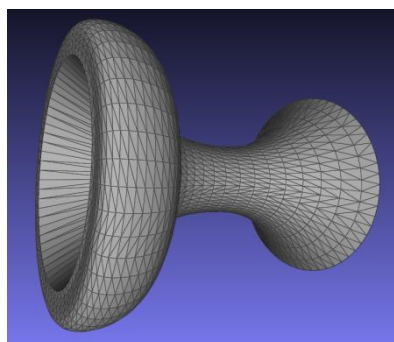
Okrem rozmerov súčiastky je dôležitá aj orientácia jeho modelu. Správne nadefinovanie môže výrazne ovplyvniť čas tlače. Súvisí to s tvorbou dočasných podpôr, ktoré sú pri určitých technológiách nevyhnutné pre prevyslé časti. Zaisťujú stabilitu a tvar budovaného modelu. Prihliada sa hlavne na funkciu a druh zaťaženia vzniklej súčiastky. Podľa nej sa musí orientácia prispôbiť, pretože materiál nemá rovnaké vlastnosti [9].

Ďalším dôležitým krokom je prevod 3D modelu. Po dokončení návrhu v modelovacom programe je nutné ho previesť do formátu, ktorý 3D tlač podporuje. Najčastejšie je to formát .STL (STereoLithography). Tu sa model upraví tak, že sa skladá z tzv. polygónov (trojuholníky alebo kosoštvorce), ktoré sú sposájané tak, že vytvárajú požadovaný tvar (polygonálnu sieť) [8].

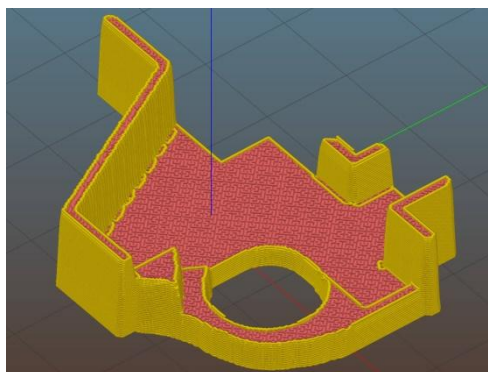
Nakoniec je to prevod do formátu SLI. Formát SLI (Slicer) slúži na tvorbu horizontálnych rezov. Podľa týchto rezov sa daná súčiastka vyrobí. Moderné modelovacie programy ako napríklad SolidWorks už v sebe majú zaintegrované formátovanie do .STL a .SLI [8].



Obr. 4) *Orientácia modelu* [9].



Obr. 5) *Súčasť vo formáte .STL* [8].



Obr. 6) *Súčasť vo formáte .SLI* [8].

3.4.2 Processing (tlač súčiastky)

Samotná výroba súčiastky, ku ktorej sa detailnejšie ešte neskôr dostaneme.

3.4.3 Postprocessing (čistiace a dokončovacie operácie)

Posledná fáza výroby, kde už hotový 3D model podstupuje dokončovacie operácie. V závislosti od použitej metódy tlače sa najskôr zbavujeme okolného materiálu ako napríklad nadbytočného prášku, zbytkov po orezávaní, odstraňovanie nepotrebných podpôr alebo otryskovanie vodou.

Táto súčiastka je ale naďalej veľmi hrubá a vyžaduje si ďalšie opracovanie. Tieto úpravy sú ručné a môžu zabráť až niekoľko hodín. Dokončovacie úpravy môžeme rozdeliť na 3 základné:

- Brúsenie – odstraňovanie nerovností najčastejšie brúsnym papierom alebo ručnou brúskou.
- Natavenie nerovností – zjemnenie povrchu súčiastky, ktorá pri vysokej teplote zmäkne napr. termoplasty.
- Nanesenie povrchovej vrstvy – opak brúsenia, lakovaním sa zakryjú nerovnosti tak, že sa zalejú lakom.

Za dokončovacie operácie môžeme taktiež považovať farbenie, vŕtanie, leštenie...[10].



Obr. 7) Súčasť pred a po dokončovacích úprav [10].

4 PROCESY NANÁŠANIA

Nie všetky 3D tlačiarne využívajú rovnaký spôsob tlačenia. Aj keď všetky fungujú na princípe postupného nanášania, líšia sa spôsobom a druhom nanášania. Niektoré využívajú tavenie alebo mäknutie, aby vytvorili potrebnú vrstvu. Za najbežnejšie by sme mohli označiť technológiu SLS (laserové spekanie plastového prachu) a FDM (tlač funkčných modelov pomocou roztavených plastov). Vo všeobecnosti, proces postupného nanášania materiálu môžeme rozdeliť do niekoľkých kategórií [12].

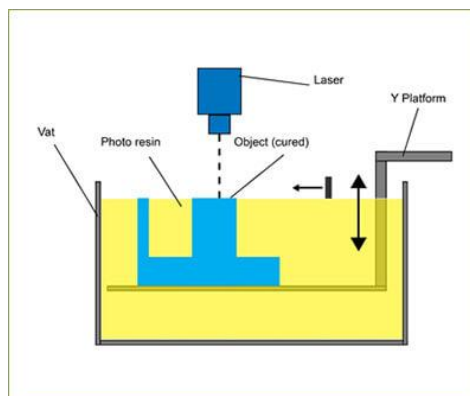
4.1 Vat photopolymerization (Fotopolymerizácia v nádobe)

3D tlačiareň, ktorá funguje na princípe fotopolymerizácie má nádobu naplnenú fotopolymerovej živice, ktorá neskôr pomocou svetelného zdroja stvrdne.

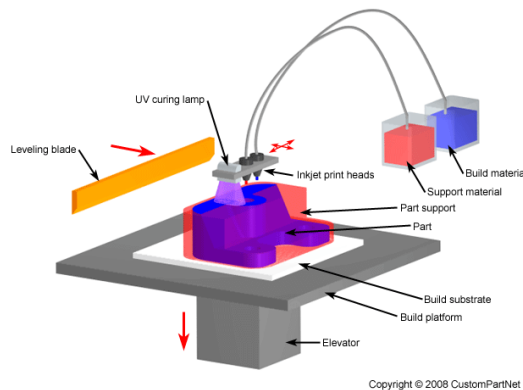
Najbežnejšie sa tu využíva metóda SLA. Táto metóda zahŕňa nádobu s tekutým, ultrafialovým tvrdeným fotopolymérom (živica) a ultrafialový laser, ktorý slúži na nanášanie vrstiev [2,].

4.2 Material jetting (Tryskanie materiálu)

Pri tomto procese je materiál nanášaný vo forme kvapiek pomocou malej trysky podobnej princípu bežnej atramentovej tlačiarne, ale pri tejto je princíp nanášania postupne vrstva na vrstvu. Takto vznikne výsledný 3D objekt, ktorý je následne ztvrdnutý UV svetlom [2].



Obr. 8) Fotopolymerizácia v nádobe [2].



Obr. 9) Tryskanie materiálu [2].

4.3 Binder jetting (Tryskanie spojiva)

Pri tryskaní spojiva sa používajú dva materiály. Základný práškový materiál a tekuté spojivo. V komore je rozprášený prášok v rovnakých vrstvách a cez trysku sa pridáva spojivo, ktoré zlepiť prachové častice do tvaru naprogramovaného 3D objektu. Hotový objekt je zlepený spojivom a práškom, ktoré zostalo v kontajneri. Po dokončení, zostávajúci prášok sa vyčistí (odstráni z kontajneru) a je použitý pri ďalšom tlačení.

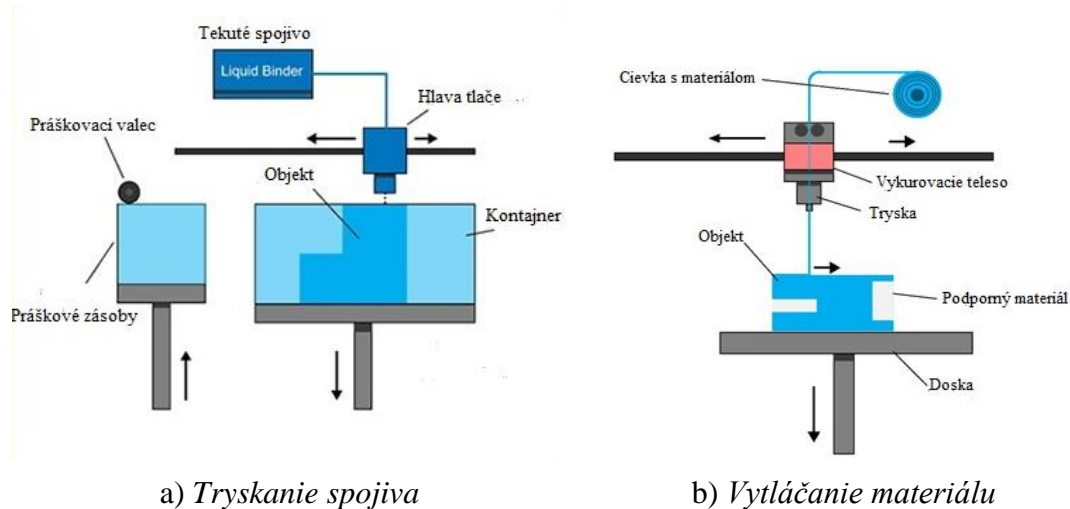
Tento proces bol prvý krát vyvinutý v roku 1993 na MIT (Massachusetts Institute of Technology) a v roku 1995 spoločnosť Z Corporation získala výhradnú licenciu [2,12].

4.4 Material extrusion (Vytlačanie materiálu)

Najčastjšie a najbežnejšie sa využíva metóda FDM. FDM funguje na princípe využitia plastového vlákna alebo kovového drôtu, ktorý je odvinutý z cievky a dodáva materiál do vytlačacej trysky. Tryska je schopná tento prietok zapnúť alebo vypnúť. Tryska je nahrievaná, aby roztavila materiál a dokáže sa pohybovať horizontálne a vertikálne, vďaka riadenému mechanizmu a priamo kontrolovaná softwarom. Objekt vzniká vytláčaním roztaveného materiálu do formovacích vrstiev. Tento materiál po vytlačení z trysky okamžite stvrdne.

Najrozšírenejšie sa využívajú 2 druhy plastových vlákien ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) a PLA (Polylactic Acid), ale na trhu sú dostupné aj iné materiály závislé od ich vlastností ako napríklad vodivosť, flexibilita...

Technológia FDM bola vynájdená v 80tych rokoch Scottom Crumpom a po patentovaní v roku 1988, založil firmu s názvom Stratasys. Software, špeciálne pre túto technológiu automaticky generuje podpornú štruktúru. Prístroj dávkuje 2 materiály, jeden pre model a jeden pre jednorázovú podpornú štruktúru [2,12].



Obr. 10) Typy nanášania [2].

4.5 Powder bed fusion (Tlač v práškovej lóži)

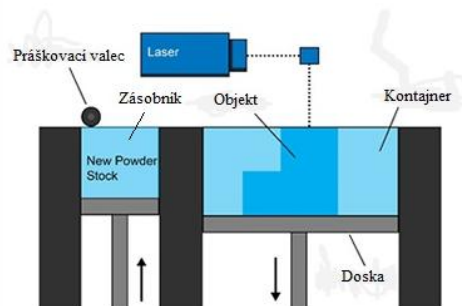
Pri tomto procese sa najčastejšie využíva technológia SLS (Selective laser sintering), čo by sa dalo aj preložiť ako laserové spekanie plastového prachu.

Metóda využíva vysoko výkonný laser, ktorý roztaví drobné častice plastového, kovového, keramického alebo skleneného prášku do hmoty, z ktorého vznikne požadovaný 3D objekt. Pomocou 3D modelovacieho programu, laser selektívne roztaví práškový materiál skenovaním prierezu alebo vrstvy. Po každom oskenovanom priereze, prášok je ukladaný po vrstvách rovnakej hrúbky. Proces sa opakuje, až vznikne finálny objekt.

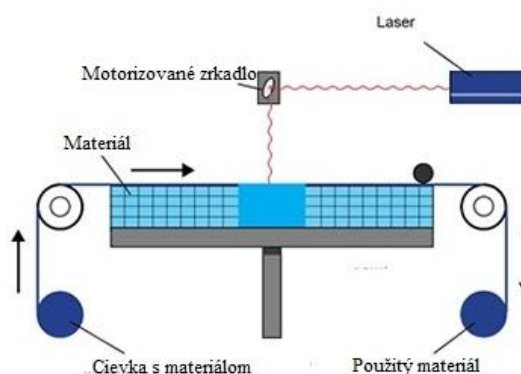
Zvyšný nedotknutý prášok je ponechaný tak a stane sa nosnou štruktúrou pre objekt. To je výhoda oproti technológiám SLS a SLA, pretože už nie je potrebná žiadna nosná štruktúra. Nepoužitý prášok môže slúžiť na potreby ďalšej tlače. Technológia SLS bola vyvinutá a patentovaná Dr. Carlom Deckardom na Texaskej univerzite v polovici 80tych rokoch [2].

4.6 Sheet lamination (Vrstvenie listov)

Proces vrstvenia listov alebo aj laminovanie zahŕňa materiály v listoch (plechoch), ktoré sú k sebe spojené vonkajšou silou. Listy môžu byť vyrobené z kovu, papiera alebo nejakej formy polymeru. Kovové listy sú pozvárané k sebe vo vrstvách pomocou ultrazvukového zvarovania. Následne sa z využitím CNC objekt upraví do požadovaného tvaru. Ďalším spôsobom môže byť použitie papierových listov, ale na rozdiel od kovových, sú spájané adhéznym lepidlom a upravované presným rezaním čepelí [2].



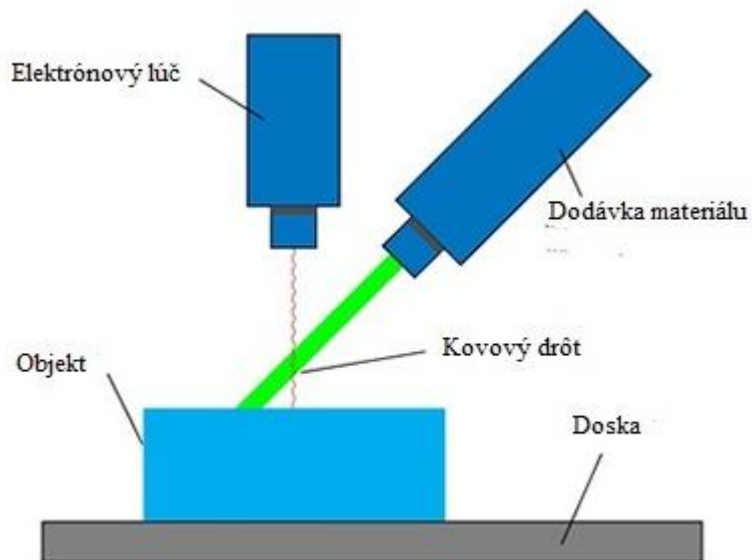
Obr. 11) Tlač v práškovej lóži [2].



Obr. 12) Vrstvenie listov [2].

4.7 Directed energy deposition (Smerované nanášanie materiálu)

Tento proces sa najčastejšie využíva v náročnom kovovou priemysle alebo pri rýchlo výrobných aplikáciach. 3D tlačiacie zariadenie je zvyčajne upevnené k viacosému robotickému ramenu pozostávajúce z trysiek, ktoré dodávajú kovový prášok alebo drôt. Potom ho zdroj energie (laser, elektrónový lúč alebo plasmatický oblúk) roztaví a vyformuje do pevného objektu [2].



Obr. 13) Smerované nanášanie materiálu [2].

5 TECHNOLOGIE 3D TLAČE

5.1 FFF (alebo FDM) – tlač funkčných modelov pomocou roztavených plastov

Technológia, ktorá je schopná v relatívne krátkom čase vytvoriť komplexné geometrické objekty. Finálny tvar vzniká postupným nanášaním tenkých vrstiev z roztaveného materiálu. Materiál je vo forme prášku alebo cievok, ktorý je roztavený v hlave pre tlač.

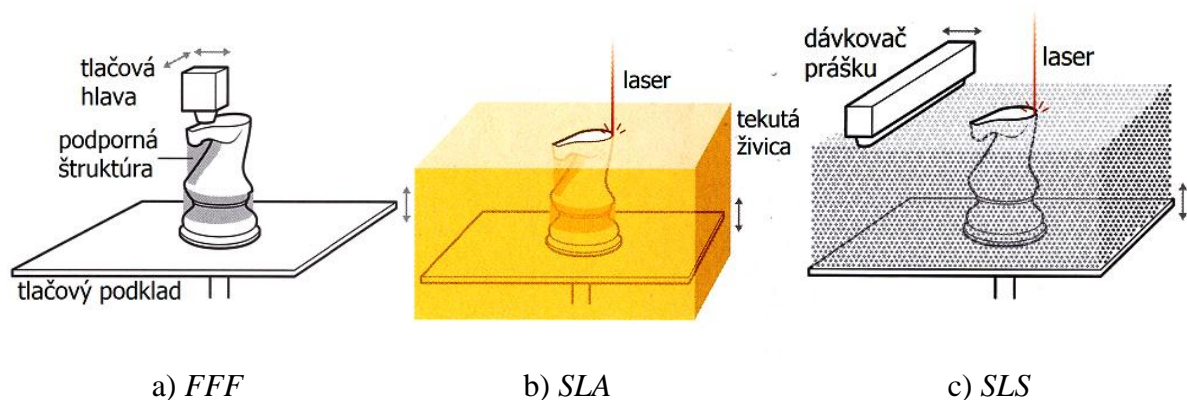
Narozdiel od SLA a SLS technológiám dokáže využívať širšie spektrum materiálov. Okrem najbenejších polymerov ako PLA, ABS, PET, umožňuje využívať aj vosk alebo keramiku. Hotové súčiastky sú vhodné pre výrobu funkčných dielov vďaka silným väzbám medzi jednotlivými vrstvami [13,14].

5.2 SLA (DLP) – vytvrdzovanie fotocitlivej živice

Prvá z technológií. Využíva princíp vytvrdzovania fotocitlivej živice za ožarovania ultrafialovým svetlom. Výhodou je veľká presnosť výrobku a jeho kvalita. Naopak za nevýhodu môžeme považovať zlé mechanické vlastnosti, ktorým chýba dostatočná pevnosť [14].

5.3 SLS – laserové spekanie plastového prachu

Patentované v roku 1989. Technológia spočíva v postupnom vrstvení práškového materiálu, ktorý je spekaný laserom. Teplota sa pohybuje na polovičnej úrovni teploty tavenia. Výhodou oproti SLA je, že súčasť je pevnejšia a presnejšia, ale jej povrch nie je na pohľad pekný. Pre túto technológiu sú vhodné materiály ako nylon alebo polystyren [14].



Obr. 14) *Technologie 3D tlače* [32].

5.4 DMLS – spekanie kovového prachu

Vychádza z metódy SLS.

5.5 EBM – tavenie pomocou elektrónového lúču

Kovový prášok (zliatiny titánu) sa pomocou elektronových lúčov roztaví a vo vrstvách vytvára model. Proces prebieha vo vákuu. Veľkou výhodou je okrem presnosti aj vlastnosti hotovej súčiastky. Nájdeme ju v strojárskom, automobilovom priemysle a medicíne. Avšak ide o veľmi drahú metódu [14].

5.6 Material jetting – tlač voskových modelov

Ide o veľmi presné a detailné vyhotovenie modelov, ktoré vznikajú vytláčaním vosku tlačovými hlavami. Nevýhodou je ich jemnosť. Sú vhodné pre tvorbu menších vzorkov [14].

5.7 DLP – digital light processing

Podobná ako metóda SLA. Líši sa ale v zdroji svetla, kde DLP využíva oblúkové lampy alebo displeje z tekutých kryštálov. Výrobky dosahujú vysokú presnosť ako aj pri SLA. Ale okrem toho, že je táto metóda rýchlejšia, produkuje menej odpadu vďaka plynulejšej vani a je cenovo priaznivejšia [14].

5.8 Tlač plnofarebných modelov z prášku

Ďalšia metóda využívajúca prášok ako stavebnú hmotu. Výrobok vzniká lepením jednotlivých častíc a to vďaka tlačovej hlavy, ktorá nanáša spojivo. Je vhodná pre väčšie množstvo materiálov a ide pomerne o rýchlu technológiu. Je možnosť výroby aj plnofarebných výrobkov pomocou farebných spojív. Hotový model ale vyžaduje ďalšie spracovanie pre získanie požadovaných vlastností [14].

6 MATERIÁLY

Pri 3D tlači sa prevažne používajú tieto 3 materiály: polyméry, kovy a keramika. Sú dodávané v práškovej forme alebo ako vlákno [15,16,17].

6.1 Polyméry

Polyméry (plasty) s podobnou štruktúrou ako aj množstvo voskov a živice na báze epoxidu. Zmiešanie rôznych práškov polymérov môže vytvoriť nespočetný rad konštrukčných a estetických materiálov [16,17].

- ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrylonitrilbutadiénstyren)

Termoplastický kopolymér s výbornými vlastnosťami. Je odolný voči mechanickému poškodeniu. Pracuje sa s ním jednoducho, pretože nevyžaduje presné nastavenie pracovnej teploty. Lahko sa tvaruje, ale nie je vhodný na zložité modely s komplikovanou štruktúrou [18].

- PLA – Polylactic Acid (Kyselina Polymliečna)

Bioplast na prírodnej škrobovej báze. Dosahuje podobné vlastnosti ako bežné plastické látky. Hlavný rozdiel je však v tom, že má skrátenú životnosť resp. nepredstavuje ekologickú záťaž. Momentálne je najuniverzálnejší dostupný materiál a jeho výhoda oproti PLA je, že nemá sklony ku skrúcaniu, čiže je vhodný aj na tlač väčších objektov. Naopak, má ale horšie mechanické vlastnosti ako napríklad horšia teplota topenia a horšia ohybnosť [18].

- PET – Polyethylene Terephthalate (Polyetyléntereftalát)

Najčastejšie sa využíva vo forme vlákien, fólií a plastových fliaš. Hlavnou devízou je možnosť úplného recyklovania. Ponúka dobrú mechanickú pevnosť a tepelnú vodivosť. Pri 3D tlači ale menej využívaný a preto aj drahší ako ABS a PLA.

- PC – Polycarbonate (Polykarbonát)

Veľmi odolný materiál s dobrou tepelnou vodivosťou.

Iné menej známe materiály sa používajú okrajovejšie a to hlavne experimentálne pri FDM tlači, ktorá dokáže využiť akýkoľvek termoplastický polymer vo forme filamentu.

- HIPS – Polystyren: druhý podporný materiál pre komplikované modely (rozpuštný v lemonenu).
- LAYWOOD – PLA s prímiesou dreva: používané, aby výrobok nevyzeral plastovo, ale často zasekával trysky. Farba modelu záležala na teplote a rýchlosti tlače.
- PVA – Polyvinylalkohol: suchá napodobenina lepidla na drevo. Testované ako podporný materiál vďaka jeho rozpustnosti vo vode, ktorý sa ale neosvedčil, lebo bol veľmi hygroskopický
- PA6 – Polyamid (Nylon): Náročný na teplotu trysky, ktorú nie všetky tlačiarne zvládnu. Taktiež vyžaduje iný povrch podložky ako je napríklad sklotextil.

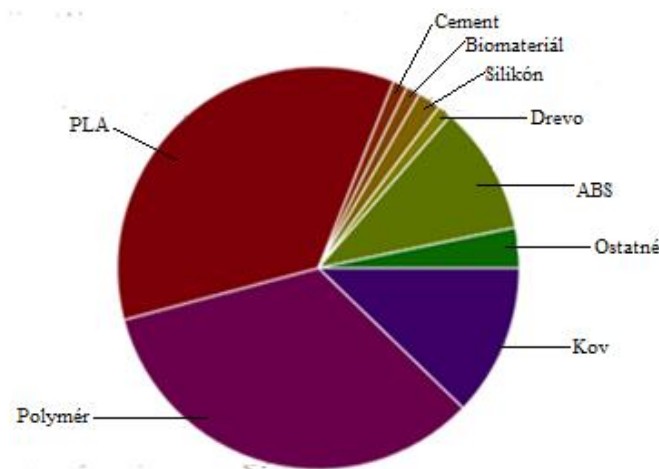
6.2 Kovy

- Vysokopevnostná ocel, bronz
Funguje na princípe postupného nanášania kovového prášku vrstvu po vrstve, ktoré sú spájané spojivom. Po vytlačení je model umiestnený do sušičky, kde spojivo ztvrdne. Následne je umiestnený do pece, kde čiastočky bronzu nahradia spojivo a dodajú modelu požadovanú pevnosť [19,20].
- Titanová zliatina
Pomocou laserového lúču dochádza k spekaniu titanového prášku a tým vzniká model.
- Zliatina kobaltu a chrómu
- Zlato, striebro
Princíp spočíva v tom, že sa najskôr vytvorí model z vosku. Okolo neho sa potom nanáša vrstva špeciálnej keramiky za účelom vytvorenia formy. Vosk následne necháme vypariť a do pripravenej formy nalejeme roztavené zlato alebo striebro.
- Hliník

6.3 Keramika

Relatívne nová skupina materiálov vhodná pre 3D tlač. V čom sa ale odlišuje od ostatných je, že po vytlačení musí podstúpiť rovnaké operácie ako klasické keramiké časti – a to vypalovanie a zasklenie [20].

- Porcelán
- Keramika na bázy karbidu kremíku
- Oxid kremičitý / Sklo



Obr. 15) Graf znázorňujúci najpoužívanejšie materiály [20].

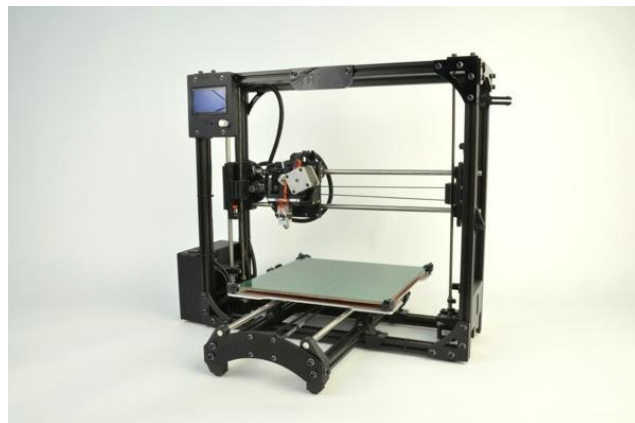
7 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

Za posledných pár rokov vývoj 3D tlače rapídne stúpol a s ním stúpol aj dopyt po 3D tlačiarni. Momentálne je na trhu dostupných hneď niekoľko variant, z ktorých si môžeme vybrať. Pri výbere je dôležité mať jasno, čo chceme tlačiť a veci s tým súvisiace. Medzi rozhodujúce faktory pri výbere tlačiarnie patria:

- otvorený verzus uzavretý design
- veľkosť tlačovej plochy
- kvalita tlače

7.1 Otvorený verzus uzavretý design

Rozdiel týchto dvoch riešení spočíva v tom, že Open source ponúka kompletnú dokumentáciu a to dokonca s návodom ako celú tlačiareň postaviť a plánom všetkých dielov. O náhradné diely nie je vôbec núdza, lebo sú dostupné na internete hneď od niekoľko rozličných výrobcov. Open source tlačiarnie majú veľké uplatnenie v školstve, kde študenti môžu jednoduchšie pochopiť celý proces od návrhu, cez stavbu, až po jeho finálnu podobu [21,22].



Obr. 16) LulzBot TAZ – Open source 3D tlačiareň [33].



Obr. 17) UP BOX 3D tlačiareň (uzavretý design) [34].

7.2 Veľkosť tlačovej plochy

Nie vždy väčšie znamená lepšie. To isté platí aj pri výbere plochy pre tlač, kde väčšia plocha znamená skôr plýtvanie financií. Iba PLA plasty dovoľujú tlačiť objekty s rozmerom väčším ako 20cm. Pri ostatných, ako napríklad ABS plasty tomu bráni teplotná rozťažnosť a s tým súvisiace krútenie materiálu. Objekt sa zdeformuje a znemožní sa ďalší priebeh tlače. Čiastočne sa tomuto problému dá predísť zabudovaním vyhrievacej podložky.

Najlepším a najrozumnejším riešením je teda mať niekoľko 3D tlačiarňí s menšou plochou ako jednu s väčšou. Okrem toho, že je to finančne menej náročné, je to aj efektívne z hľadiska celkového zníženia doby tlače. V praxi sa ukázalo, že ak model rozdelíme na časti, ktoré sa nechajú tlačiť na viacerých tlačiarniach, doba tlače sa niekoľkonásobne zníži. Ďalej pri nepredvídanej poruche prideme iba o jednu časť modelu. Výsledný model môžeme bez problémov zlepiť [21,22].

7.3 Kvalita tlače

Kvalita modelu závisí hlavne od výšky vrstvy a celkovej doby tlače. Čím je výška vrstvy menšia, tým sú menej badateľné ryhy na objekte. To všetko ovplyvňuje hlava tlačiarne, ktorá musí toho omnoho viacej najazdiť. S tým priamo súvisí doba tlače, ktorá sa predlžuje [23].

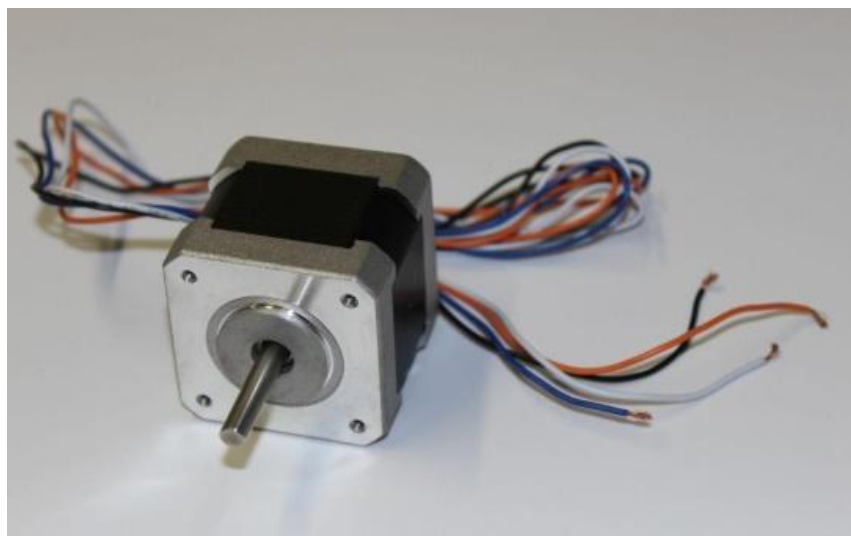


Obr. 18) Príklady kvality výrobku v závislosti na výške vrstvy a doby tlače [23].

7.4 Základná konštrukcia 3D tlačiarňí

7.4.1 Krokový motor

„Krokový motor je asynchrónny krútiaci stroj väčšinou napájaný impulzmi jednosmerného prúdu. Magnetické pole je generované postupným napájaním jednotlivých pólových dvojíc. Pohyb rotora krokového motora je pri nízkych rýchlostiach nesúvislý, rotor sa pohybuje medzi stabilnými polohami vždy v určitom uhle - hovoríme o pohybe v krokoch. Počet krokov (stabilných kludových polôh) je daný počtom pólových dvojíc, tiež môže byť ovplyvnený spôsobom ovládania. K pohybu tohto motora je vždy potrebné riadiaca elektronika - ovládač krokového motora. K mechanickému kontaktu a teda oteru nedochádza u krokových motorov inde ako v ložiskách. Vyznačujú sa preto veľkou mechanickou odolnosťou, dlhou dobou života a prevádzkou takmer bez údržby. Nevýhodou krokových motorov je tzv. strata kroku, ktorá nastáva pri prekročení medzného zaťaženia a sklonu k mechanickému zakmitávaniu, ktoré môže viesť k nestabilite pri pohybe. Obe tieto negatívne vlastnosti je možné vopred vylúčiť voľbou vhodného motora a ovládača s prihliadnutím na momentové charakteristiky pohonu [25].“



Obr. 19) Krokový motor NEMA 17 [25].

7.4.2 Tlačová hlava (extrudér)

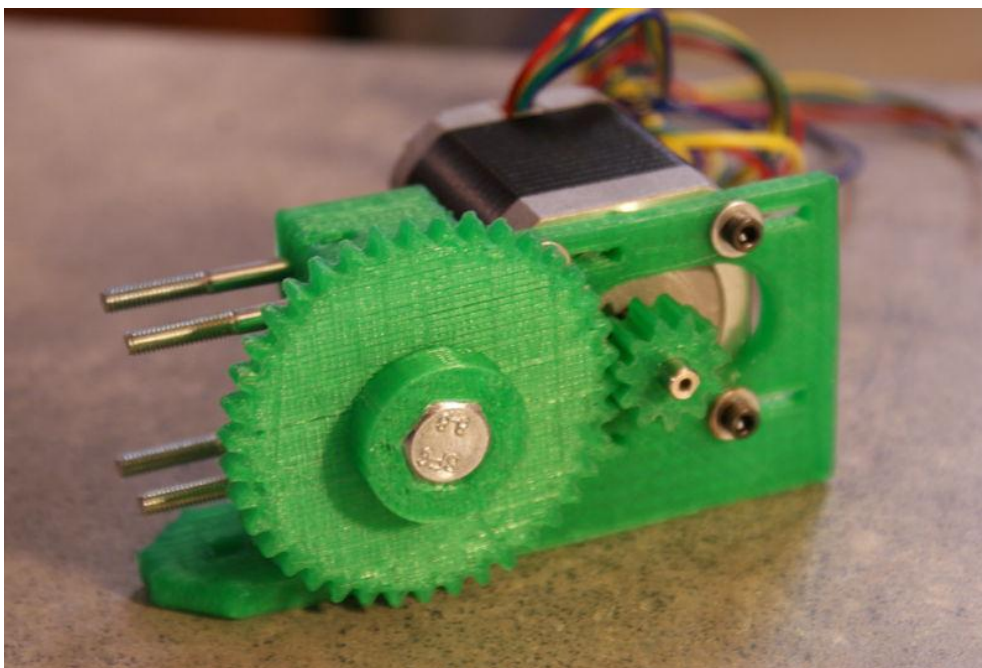
Patrí medzi najdôležitejšie súčasti 3D tlačiarne. Je zložený z horúcej a studenej časti. Studená časť slúži primárne k dávkovaniu vstupného materiálu a jeho posunu do horúcej časti. Krokový motor riadi rýchlosť posuvu vstupného materiálu. Horúca časť sa využíva k zahriatiu vstupného materiálu na požadovanú teplotu tavenia, ktoré prebieha v tepelnej komore a následne vylúčenie malým otvorom vo výstupnej tryske. Priemer výstupným otvorom trysky má prevažne hodnotu 0,3mm – 1mm. Rezistor zaisťuje ohrev horúcej časti. K vytlačeniu materiálu tryskou musí byť potrebná sila, ktorá je dostatočne veľká, aby prekonala odpory vo vylučovacom systéme. Medzi tieto odpory sa radí hlavne viskozita taveného materiálu a geometrický tvar trysky [24].

Existujú dva druhy tlačových hláv:

- s priamym pohonom
- hlava typu Bowden

Priamy pohon: Krokový motor podávajúci tlačovú strunu sa nachádza tesne pri vylučovacej tryske. Nevýhodou je veľká hmotnosť motora. Spôsobuje značné zotrvačné sily, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú parametre tlače. Prispôbením rýchlosti polohovania hlavy tlače, znížime čo najmenej vplyv týchto síl [24].

Hlava typu Bowden: majú oddelenú horúcu od studenej časti. Motor je uložený na časti tlačiarne, ktorá nekoná žiadny pohyb. Tlačová struna sa nachádza medzi krokovým motorom a vylučovacom tryskou prepravovaná v pružnej trubičke. Tá je vyrobená väčšinou z teflónu, ktorý má dobré klzné vlastnosti. Hlavnou výhodou tohoto riešenia sú nižšie zotrvačné sily a tým pádom vyššia rýchlosť tlače. Naopak nevýhodou je zníženie presnosti dávkovania materiálu, ktorá je spôsobená väčšou vzdialenosťou trysky a padávacieho zariadenia [24].



Obr. 20) Nema 17 extrudér [36].

7.4.3 Vyhrievaná podložka

Pri tlačených niektorých druhov plastov (hlavne ABS) je nevýhoda v tom, že vonkajšie časti výtlačku chladnú rýchlejšie ako tie vnútorné. Keďže ABS sa tlačí pri relatívne vysokej teplote, teplotný rozdiel oproti okolitému vzduchu je pomerne veľký (230°C versus 25°C). To v súčinnosti s teplotnou rozťažnosťou materiálu spôsobuje vznik pnutí, ktoré sa na nie celkom vytvrdnutom výtlačku prejavujú ako krútenie (warping). Aby sa tieto teplotné gradienty znížili, výtlačok sa ukladá počas tlače na vyhrievanú podložku. U ABS sa používa teplota asi 110°C.

U vyhrievanej podložky je treba zaistiť približne rovnakú teplotu po celej ploche. Dá sa to dosiahnuť buď distribuovaným ohrevom alebo lokálnym ohrevom a distribúciou tepla po ploche, prípadne kombináciou oboch.

Pomerne bežné je použitie obyčajného plošného spoja, ktorý má na svojom povrchu vytvorený meander z medi. Tento meander má vlastný odpor, ktorý musí zaistiť, aby pri pripojení na menovité napätie (väčšinou 12, alebo 24V) vyhriali podložku na teplotu vyššiu ako je požadovaná (presná hodnota teploty sa dosahuje teplotným regulátorom) [26].

7.4.4 Koncový spínač

Slúži pre určenie nulového bodu na danej osi. Zatiaľ čo na osi X, Y je možné nastaviť polohu koncového spínača s presnosťou na milimetre, tak v osi Z je nutné docieľiť presnosti nulového bodu v rádoch stotín. Tento proces sa nazýva leveling a prebieha tak, že medzi trysku a tlačovú podložku je vložený papier, ktorý musí pri vkladaní klásť veľmi mierny odpor. Následne je zmeraná hrúbka papiera a nameraná hodnota sa zapíše do príslušného softvéru pre tvorbu G-kódu ako rozdiel medzi teoretickou a skutočnou hodnotou nulového bodu [27].



Obr. 21) Vyhrievaná podložka PRE REBEL II [26].

7.5 Porovnanie jednotlivých variant RepRap tlačiarní

RepRap je medzinárodný projekt, ktorým účelom bolo vytvoriť univerzálnu sebareplikujúcu sa tlačiareň. Je vyvíjaný na princípe otvoreného hardwaru. Samotný názov RepRap znamená replicating rapid prototyper, čo by sa dalo preložiť ako sebareplikácia a rýchle prototypovanie. To je v podstate aj hlavná myšlienka tohoto projektu, keď si môžeme približne polovicu plastových dielov vytlačiť na inej RepRap tlačiarne. K tomu je aj dostupná dokumentácia k zostaveniu tlačiarne a software, ktorý sa dá stiahnuť pod licenciou GNU GPL (open source licence) [28,29].

7.5.1 Darwin

Prvá sebareplikujúca sa 3D tlačiareň (aj keď len čiastočne) bola predstavená v roku 2007. Nesie meno po zakladateľovi evolučnej teórie Charlesovi Darwinovi. V súčasnosti je model zastaralý a jeho ďalší vývoj bol zastavený [28].

7.5.2 Mendel

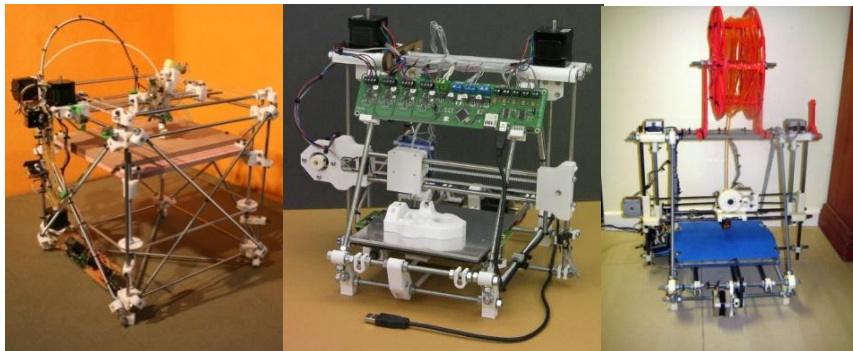
Veľmi populárny model s množstvom modifikácií, ktoré majú pomenovanie Mendel v názve [28].

7.5.3 Prusa Mendel

Evolúcia originálnej tlačiarne Mendel. Jedná sa o najrozšírenejšiu verziu 3D tlačiarne vďaka jednoduchému stavebnému postupu. Jej cieľom je využívať cenovo dostupné a bežné materiály [28].

7.5.4 Huxley

Ide o tretiu verziu populárnej tlačiarne RepRap, ktorá sa od modelu Mendel líši kompaktnjším a jednoduchším prevedením. Skladá sa z menšieho počtu súčiastok a tým pádom je vhodnejšia na presun [29].



a) Darwin

b) Mendel

c) Prusa Mendel



d) Huxley

Obr. 22) RepRap tlačiarnie [28,29].

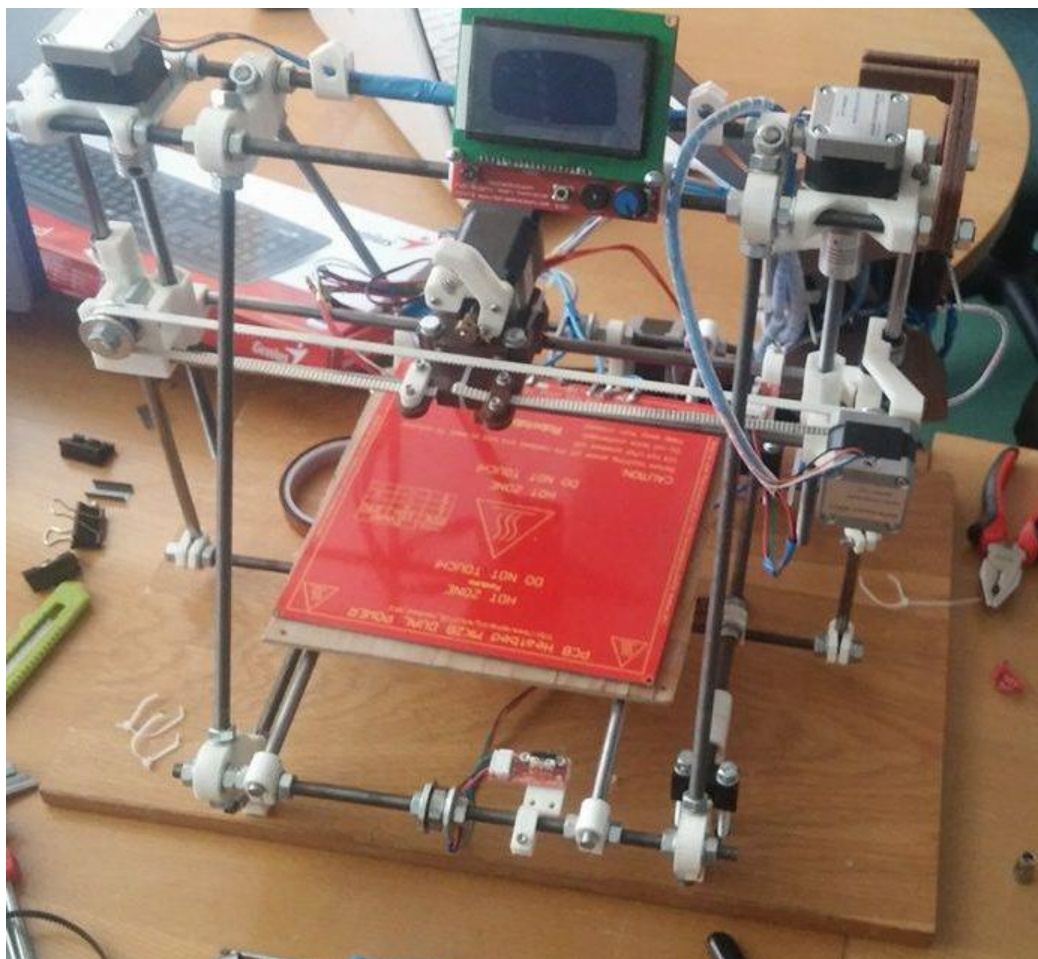
8 SPREVÁDZKOVANIE TLAČIARNE PRUSA MENDEL

Pri jej navrhovaní sa kládol dôraz na to, aby bola čo najjednoduchšie zhotoviteľná. Konštrukcia je rámová a vďaka tejto vlastnosti je aj jednoduchšia na úpravu, prípadne jej opravu. Nevýhoda sa skrýva jej nestabilite.

Celkovo sa tlačiareň môže skladať až zo 45 súčiastok, ktoré sme si schopný vytlačiť ako napríklad kladku alebo držiak dorazov a 388 netlačiteľných súčiastok. Celkové rozmery tlačiarne sa pohybujú v hodnotách približne 44x47x37cm.

Prusa Mendel využíva RAMPS 1.4 elektroniku, ktorá je navrhnutá tak, aby bola čo najmenšia, ale obsahovala všetky potrebné pripojenia na ovládače ako napríklad pre krokové motory a extrudér.

Pri krokových motoroch typu NEMA 17 je možné využiť akýkoľvek dvojfázový motor s 1,8° mikrokrokováním. Dva z nich, presnejšie na osy Z, sú pripojené k rovnakému ovládaču elektroniky, čo znamená, že pri rovnakom odpore každý motor dostane rovnaké zosilňovače [37,38].



Obr. 23) Prusa Mendel

8.1 Marlin firmware

Ako je známe, tlačiarne RepRap patria k tým, ktoré si môže užívateľ postaviť doma sám, vďaka veľkému množstvu dostupných dielov. Potom nastáva nevýhoda v pomerne zložitom nakonfigurovaní 3D tlačiarne. Správne nastavenie si vyžaduje znalosť použitých komponentov a nastavení správnych parametrov v príslušnom firmwari.

Firmware je vlastne program, ktorý je umiestnený na základnej doske tlačiarne. Je to spojovací článok medzi softwarom a hardwarom, interpretuje príkazy z G-kódového súboru a podľa toho riadi pohyb pri tlači. Zohráva dôležitú úlohu pri kvalite tlače.

Konfigurácia firmwaru je jedinečná pre každú tlačiareň. Marlin pozná vlastnosti 3D tlačiarne ako sú rozmery dosky alebo nastavenia vykurovania. Pre správne fungovanie tlače je nevyhnuté vhodne nastaviť všetky tieto parametry [31].

```

// (but gives greater accuracy and more stable PID)
// 51 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
// 52 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// 55 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)

#define TEMP_SENSOR_0 5
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1

// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures difference between these sensors is too high the print will be aborted.
// #define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled it is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.

```

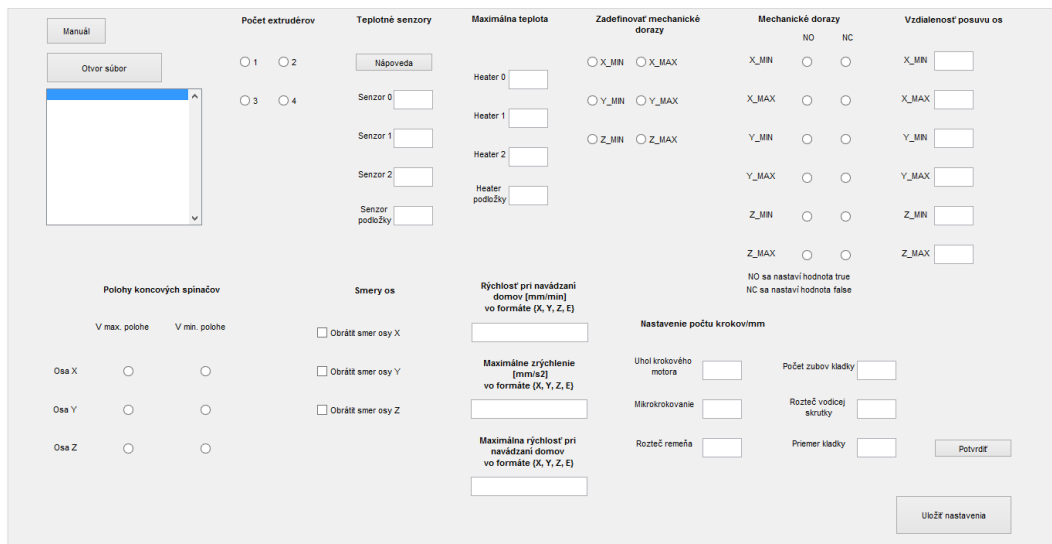
Obr. 24) Marlin firmware [31].

8.2 Uživatelské prostredie

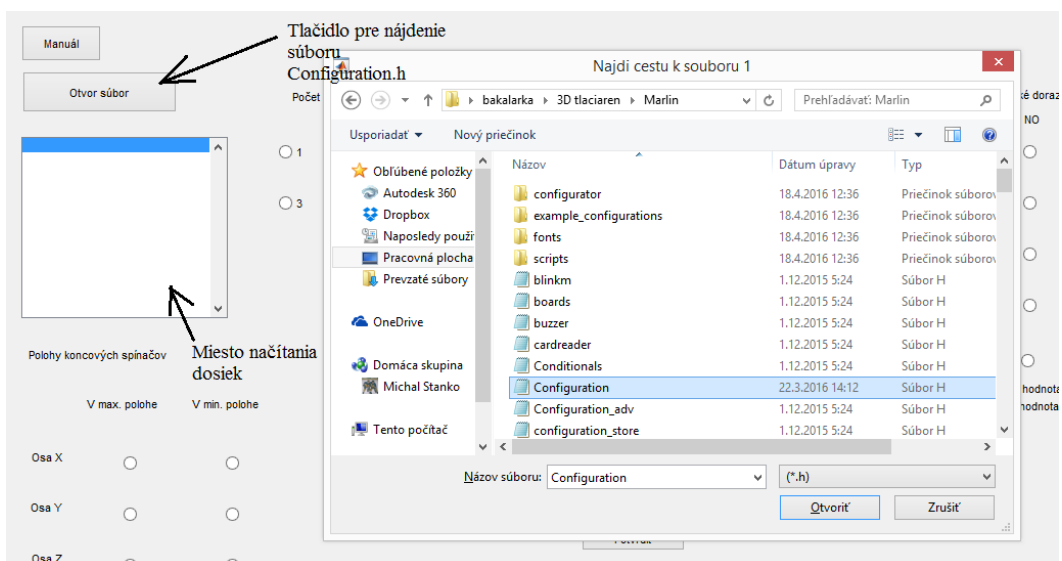
Pre jednoduchšie nastavenie základných parametrov som vytvoril skript v Matlabe ako užívateľské prostredie, ktoré jednoduchým zadaním hodnôt ich prenastaví na požadované. Tento skript je naprogramovaný pre Marlin firwaru. Toto riešenie pomôže najmä tým, ktorí nemajú ešte skúsenosti s nastavovaním a mnohonásobne im uľahčí hľadanie správnych riadkov vo firmwari.

Po otvorení skriptu vyskočí okno s parametrami pre nastavenie firmwaru. V prvom rade je potrebné vybrať príslušný Configuration.h súbor, ktorý sa nachádza v priečinku Marlin. To sa spraví tak, že sa stlačí tlačidlo Otvoriť súbor a nájdeme požadovaný súbor.

Po jeho načítaní do skriptu vyskočia do okna pod tlačidlom všetky základné dosky, ktoré sú vhodné na použitie pre RepRap tlačiarne. Zoznam, z ktorých sa dosky načítali nájdeme taktiež v priečinku Marlin ako boards.h. Jedným kliknutím myšky na požadovanú dosku prepíšeme príslušný riadok vo firmwari. Pre kontrolu správnosti by mal v príkazovom riadku v Matlabe vyskočiť následný príkaz.



Obr. 25) Užívateľské prostredie v Matlabe



Obr. 26) Načítanie súboru Configuration.h

8.2.1 Tepelné nastavenia

V prvom rade je na výber nastavenie počtu extrudérov, kde máme na výber z možností 1 až 4. Pri chybnom zaškrtnutí tlačidla sa nič nestalo, jednoducho vybereme tú možnosť, ktorú sme pôvodne chceli. Program to automaticky zmení.

Pokračujeme nastavením teplotných senzorov, kde vpíšeme hodnotu prislúchajúcemu senzoru. Dané hodnoty sa nám zobrazia ako dokument vo Worde po stlačení Nápovedy. Najčastejšie sa nastavuje hodnota 1. TEMP_SENZOR_0 je používaný prvou tryskou a TEMP_SENZOR_BED je pripojený k vyhrievanej podložke. Ak sa senzor nepoužíva, nastaví sa hodnota 0.

Maximálna teplota sa nastaví jednoducho a to tak, že len napíšeme hodnotu. Teplota je v stupňoch Celzia. Teplota k Heateru_0 patrí pre extrudér 1. Z bezpečnostných dôvodov sa pri dosiahnutí požadovanej teploty vyhrievanie vypína. Nastavenie minimálnej teploty nie je až také dôležité, jej hodnota býva väčšinou prednastavená. V podstate určuje minimálnu teplotu, pod ktorou nebude ohrievač aktivovaný. Toto sa používa iba v prípade, že chceme vedieť, či zapojenie do termistora nie je poškodené.

Počet extrudérov	Tepelné senzory	Maximálna teplota	Zadefinov
<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	<input type="button" value="Nápoveda"/> Senzor 0 <input type="text"/> Senzor 1 <input type="text"/> Senzor 2 <input type="text"/> Senzor podložky <input type="text"/>	Heater 0 <input type="text"/> Heater 1 <input type="text"/> Heater 2 <input type="text"/> Heater podložky <input type="text"/>	<input type="radio"/> X_MIN <input type="radio"/> Y_MIN <input type="radio"/> Z_MIN
h spínačov V min. polohe	Smery os	Rýchlosť pri navádzaní domov [mm/min] vo formáte {X, Y, Z, E}	

Obr. 27) Tepelné nastavenia

8.2.2 Mechanické nastavenia

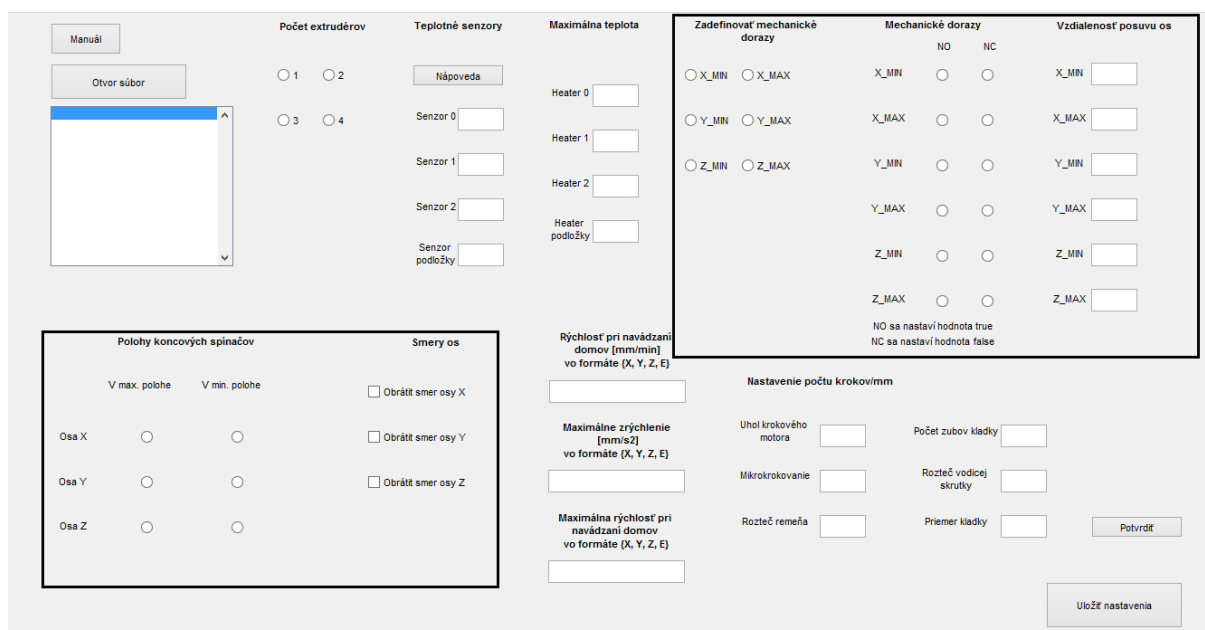
Mechanický doraz je najjednoduchším typom dorazu. Je to jednoduchý mechanický prepínač, ktorý sa zapne, keď osy X,Y,Z dosiahnú koniec svojho pohybu. Inak povedané, zabráni tlačiarňi, aby svojím pohybom vyšla von z rámu. Stlačením tlačidla NO sa nastaví hodnota true a tlačidlom NC hodnota false.

Zadefinovanie dorazov koncových spínačov sa nastavuje vtedy ak tlačiareň využíva mechanické dorazy. V prípade optických dorazov sa nechávajú políčka nezaškrtnuté. Marlin firmware umožňuje nakonfigurovať každý koncový spínač jednotlivo. Vďaka tomu je možné použiť viac typov koncových dorazov na rovnakej tlačiarňi.

Vzdialenosti pohybu trysky záleží na veľkosti podložky. Ak máme podložku o veľkosti 100x190mm nastavíme hodnoty pre X_MIN=0, X_MAX=190 a Y_MIN=0 a Y_MAX=100. Osa Z určuje výšku, po ktorú je schopná daná tlačiareň tlačiť. Praktická vzdialenosť sa môže ale líšiť, preto sa odporúča nastaviť menšie hodnoty, prípadne vrátiť sa k tomuto kroku neskôr po kalibrovaní.

Nastavenie smeru dorazov pri navádzaní domov. Tým sa myslí, že ktorým smerom sa bude pohybovať tlačiareň do koncovej polohy po stlačení tlačidlo domov. Po zaškrnutí tlačidlo pre maximálnu polohu sa nastaví hodnota 1, v opačnom prípade sa nastaví hodnota -1.

Jediným možným spôsobom ako zistiť, že smer krokového motora je správny, je zapnúť tlačiareň a vyskúšať to. Najskôr sa ale odporúča dokončiť konfigurácia a v prípade, že osy sa pohybujú požadovaným smerom, políčka sa nechávajú prázdne. Zaškrtnutím sa zmení smer na opačný.



The screenshot shows the Marlin configuration interface. A red box highlights the 'Zadefinovať mechanické dorazy' (Define mechanical endstops) section. This section includes radio buttons for X_MIN, X_MAX, Y_MIN, Y_MAX, Z_MIN, and Z_MAX. To the right, there are two columns of radio buttons: 'Mechanické dorazy' (Mechanical endstops) with 'NO' and 'NC' options, and 'Vzdialenosť posuvu os' (Travel distance) with input fields for X_MIN, X_MAX, Y_MIN, Y_MAX, Z_MIN, and Z_MAX. Below this, there are sections for 'Nastavenie počtu krokov/mm' (Steps per mm), 'Maximálne zrýchlenie [mm/s²] vo formáte (X, Y, Z, E)' (Maximum acceleration), and 'Maximálna rýchlosť pri navádzaní domov [mm/min] vo formáte (X, Y, Z, E)' (Maximum homing speed).

Obr. 28) Vyznačené mechanické nastavenia

8.2.3 Nastavenie pohybov

Nastavenie rýchlosti pri navádzaní domov sa wpisuje do príslušného riadku vo forme {X,Y,Z,E}, čo označuje rýchlosti daných os a extrudéra. Veľkosť rýchlosti je v jednotkách [mm/min].

Maximálny posuv je maximálna rýchlosť prijatá do G-kódu. Takže v prípade, že v Slic3ri bude nastavená vyššia rýchlosť, stále bude maximálna dosiahnutá rýchlosť taká ako sa nastavila v skripte. Rovnako ako v predošlom prípade sa zapisuje vo forme {X,Y,Z,E}, ale narozdiel teraz v jednotkách [mm/sec].

Maximálne zrýchlenie sa opäť zadáva vo forme {X,Y,Z,E} v jednotkách [mm/s²].

Krokový motor prijíma príkazy z riadiacej jednotky. Aby sme dosiahmi požadované vzdialenosti, riadiaca jednotka potrebuje vedieť správny pomer krokov na mm. Nastavenie počtu krokov závisí hneď od niekoľko parametrov.

Postupne to sú:

- uhol krokového motora (hodnota na štítku motora)
- mikrokrokovanie (hodnota na štítku motora)
- rozteč remeňa
- počet zubov kladky
- rozteč vodiacej skrutky
- priemer kladky

Po vyplnení hodnôt sa stlačí tlačidlo Potvrdiť a program vypočíta počet krokov pre jednotlivé osy a prepíše ich vo firmwari vo forme {X,Y,Z,E} v jednotkách [kroky/mm].

Pomocné medzivýpočty:

$$počet_krokov_za_otáčku = \frac{360}{uhol_krokového_motora} \quad (1)$$

$$obsah_kladky = priemer_kladky \times \pi \quad (2)$$

$$počet_medzikrokov = \frac{360 \times mikrokrokovanie}{uhol_krokového_motora} \quad (3)$$

Rovnice pre výpočet daných krokov pre každú os:

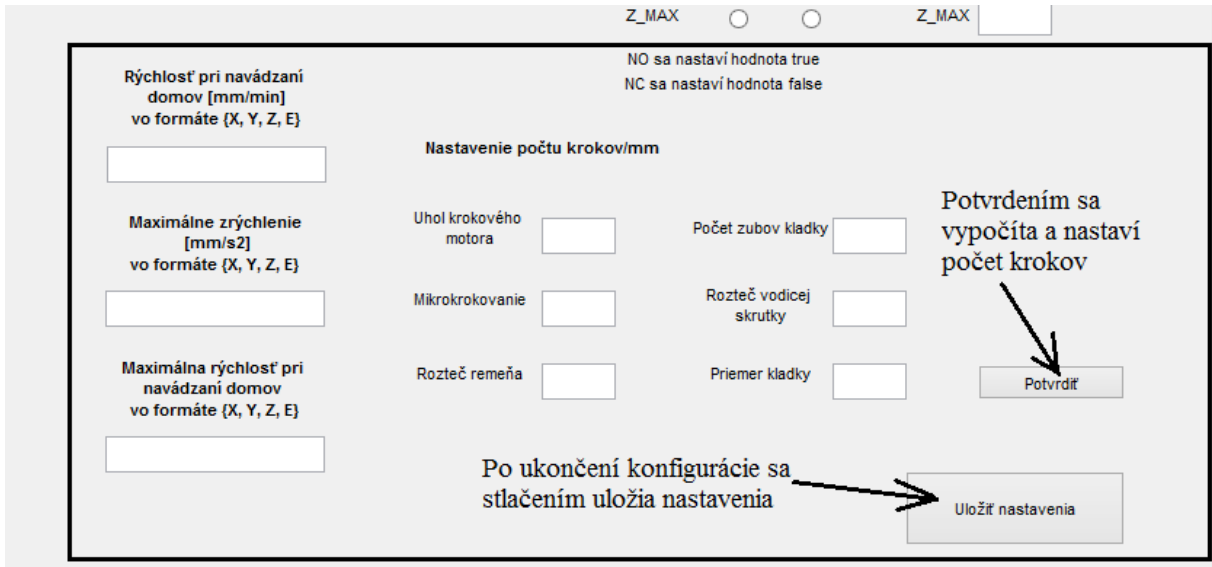
$$\text{počet_krokov_osy_X} = \frac{\text{počet_krokov_za_otáčku} \times \text{mikrokrokovanie}}{\text{rozteč_remeňa} \times \text{počet_zubov_kladky}} \quad (4)$$

$$\text{počet_krokov_osy_Y} = \frac{\text{počet_krokov_za_otáčku} \times \text{mikrokrokovanie}}{\text{rozteč_remeňa} \times \text{počet_zubov_kladky}} \quad (5)$$

$$\text{počet_krokov_osy_Z} = \frac{\text{počet_krokov_za_otáčku} \times \text{mikrokrokovanie}}{\text{rozteč_vodiacej_skrutky}} \quad (6)$$

$$\text{počet_krokov_extrudéra} = \frac{\text{počet_medzikrokov}}{\text{obsah_kladky}} \quad (7)$$

Po dokončení konfigurácie sa stlačením tlačidla Uložiť nastavenia uložia požadované zmeny a vytvorí sa nový súbor s názvom Soubor_configuration.h, ktorý premenujeme a nahradíme pôvodný Configuration.h.



Z_MAX Z_MAX

Rýchlosť pri navádzaní domov [mm/min]
 vo formáte {X, Y, Z, E}

Maximálne zrýchlenie [mm/s²]
 vo formáte {X, Y, Z, E}

Maximálna rýchlosť pri navádzaní domov
 vo formáte {X, Y, Z, E}

NO sa nastaví hodnota true
 NC sa nastaví hodnota false

Nastavenie počtu krokov/mm

Uhol krokového motora

Mikrokrokovanie

Rozteč remeňa

Počet zubov kladky

Rozteč vodiacej skrutky

Priemer kladky

Potvrdením sa vypočíta a nastaví počet krokov

Po ukončení konfigurácie sa stlačením uložia nastavenia

Obr. 29) Nastavenia pohybov

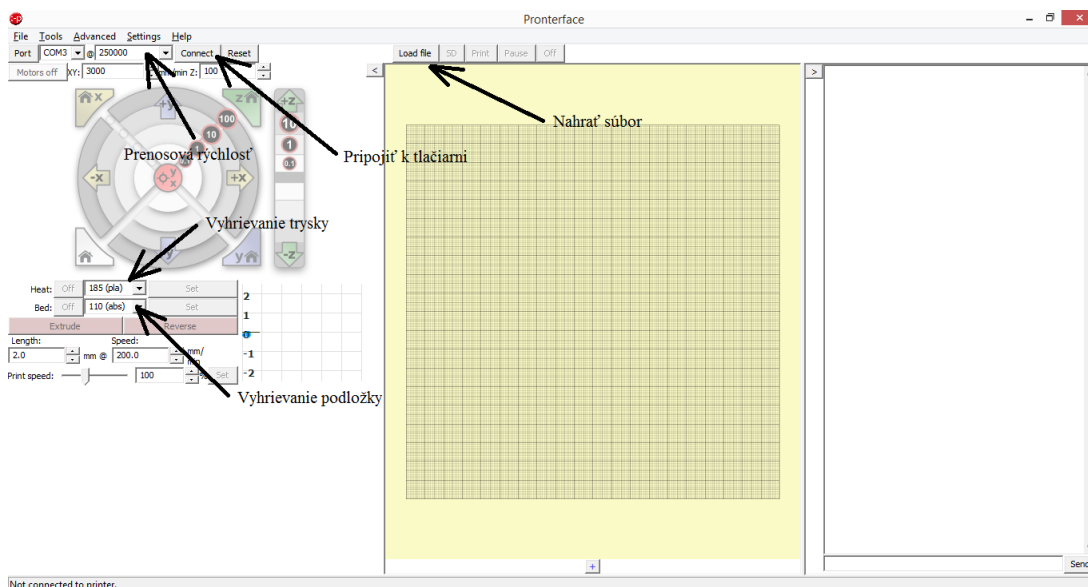
8.3 Pronterface

Pronterface je grafické rozhranie dodávané ako súčasť sady softwaru Printron pre ovládanie 3D tlačiarne. Služi k vygenerovaniu G-kódu súčiastky, ktorý je potrebný aby bola možná tlač.

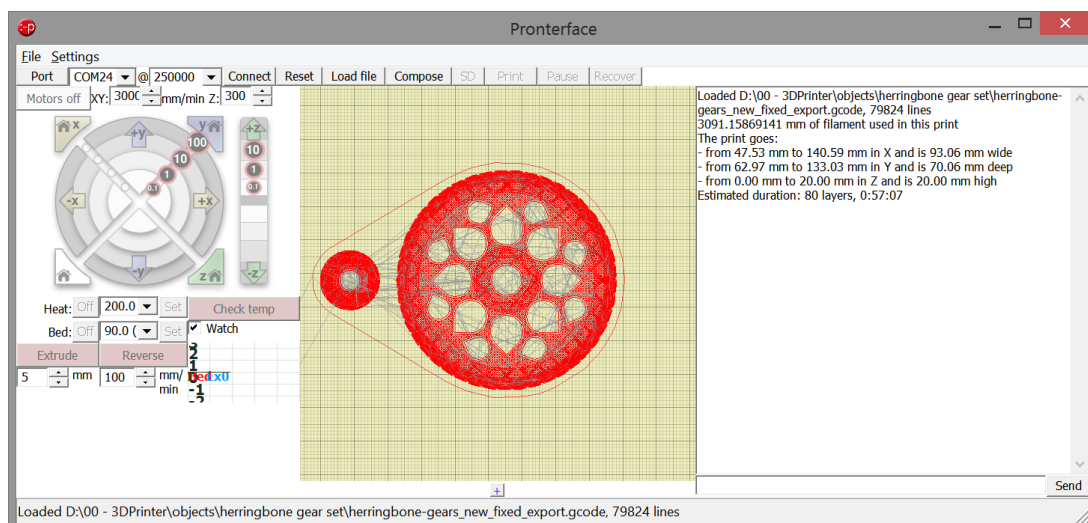
Po nainštalovaní aplikácie sa najskôr pripojí tlačiareň k počítaču pomocou USB kábla. Otvorí sa Pronterface a nastaví sa prenosová rýchlosť na hodnotu 250000. Následne sa stlačí tlačidlo pripojiť a pravom stĺpci by malo indikovať, že pripojenie bolo úspešné.

Následne je potrebné zapnúť vyhrievanie trysky a podložky. To sa nachádza pod ovládaním smerov os. Predvolené sú 2 teploty pre plasty PLA a ABS. Po zadaní konkrétnej teploty sa stlačí tlačidlo Set a pri dosiahnutí teploty alebo jej vypnutí po dokončení tlače sa stlačí tlačidlo Off [30].

Ak je všetko potrebné nastavené, môžeme objekt, ktorý chceme tlačiť nahráť stlačením tlačidla Load File. Musí byť ale vo formáte G-kód, ktorý sme získali konvertovaním STL formátu v programe Slic3r. Ak je všetko splnené tlač môže začať.



Obr. 30) Nastavenie Pronterface [30].



Obr. 31) Načítaný objekt v Pronterface [30].

9 ZHODNOTENIE A DISKUSIA

Znalosť medzi ľuďmi o 3D tlačiarňach ešte nie je na takej vysokej úrovni. Z hľadiska toho, že 3D tlač neustále napreduje a predpokladá sa, že sa v budúcnosti bude používať vo veľkej miere, rozhodol som sa, že sa tejto problematike budem venovať a následne pomôžem ostatným, ktorí si budú chcieť zaobstarať tlačiareň na domáce účely. Hlavný problém práve spočíva v správnom nakonfigurovaní tlačiarne, ktoré som si mohol skúsiť na vlastnej koži.

Princíp bol v tom, v súbore pre konfiguráciu tlačiarne sa museli nájsť špecifické riadky a prepísať ich hodnoty na odpovedajúce konštrukcii tlačiarne. Hoci na internete je hneď niekoľko diskusií, bohužiaľ žiadne neboli v mojom rodnom jazyku alebo jazyku, kde by som rozumel všetkým technickým. Nakonfigurovanie tlačiarne bol zdĺhavý proces s množstvom pokusov a omylov.

Preto som sa rozhodol naprogramovať skript, ktorý po otvorení jasne a zrozumiteľne navádza užívateľov ako si správne nakonfigurovať vlastnú tlačiareň. Stačí len poznať správne hodnoty dôležitých súčiastok ako napríklad rozmery podložky alebo teplota trysky. V prípade nejasností sa v skripte nachádza užívateľský manuál, ktorý opisuje proces dopodrobna. Takto by malo byť sprevádzkovanie tlačiarne RepRap jednoduchšou záležitosťou, čo bolo ako som spomínal mojím hlavným cieľom.

10 ZÁVER

3D tlač je metóda, ktorá je momentálne na vzostupe. V minulosti bránilo jej vývoju patenty od veľkých spoločností, ktoré ju využívali iba v niektorých odvetviach ako letectvo, kozmonautika alebo vývoj monopostov Formuly 1. Vtedy sa to teda považovalo za veľmi nezvyčajný spôsob výroby, ku ktorému sa obyčajný ľudia len ťažko dostali.

Po vypršaní týchto patentov sa vyskytla príležitosť a hlavne veľký potenciál vo využívaní 3D tlačiarňí. Išlo hlavne o zjednodušenie výroby, lebo poskytovali výhodu v tom, že narozdiel od klasickej výroby kde bolo za potreby veľkého množstva nástrojov, ktoré mali za úlohu materiál odoberať, 3D tlačiareň naopak materiál pridávala. To znamenalo v strojníckom priemysle lacnejšiu, ale aj rýchlejšiu výrobu. Stačilo k tomu mať len model vytvorený v príslušnom počítačovom programe. Kvalitom už dokážu konkurovať klasickým výrobným technológiám a je pravdepodobné, že v budúcnosti ich môžu aj úplne nahradiť.

Vývoj naďalej napreduje a 3D tlačiarne sa postupne dostávajú aj do domácností alebo na školské účely. Momentálne sa dajú tlačiť modely z rôznych materiálov ako sú kovy alebo keramika, ale stále najčastejšie používané sú plasty PLA a ABS. Nanešťastie, táto technológia je stále považovaná za relatívne drahú, či už mám na mysli samotné tlačiarne alebo používané materiály. Ak ale vývoj bude napredovať stále takýmto istým tempom, v budúcnosti by sa 3D tlačiareň mohla nachádzať v každej škole a domácnosti, kde by bol považovaná za samozrejmosť ako to je teraz pri tlačiarňach atramentových alebo laserových.

To bol jeden z hlavných dôvodov môjho rozhodnutia pre spracovanie tejto témy. Dostať sa bližšie k technológiám 3D tlače a vyskúšať náročnosť práce s tlačiarňou. Vhodné nastavenie vyžadovala čas a dospel som k záveru, že vytvorením skriptu pre nakonfigurovanie firmwaru tlačiarne uľahčím v budúcnosti prácu najmä tým, ktorí nemajú ešte potrebné zručnosti a skúsenosti.

11 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] *3D Printing Basics: What is 3D printing?* [online]. 2012 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/3d-printing-basics.html>
- [2] *What is 3D printing?* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- [3] *3D Printing, Rapid Prototyping, Additive Manufacturing? What is the Difference?* [online]. Eric Miller, 2012 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.padtinc.com/blog/additive-mfg/3d-printing-rapid-prototyping-additive-manufacturing-what-is-the-difference>
- [4] *The Journey of a Lifetime* [online]. 2013 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/30-years-innovation>
- [5] *Co znamená Rapid Prototyping* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/>
- [6] *3D tisk* [online]. Praha [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>
- [7] *3D tlač včera, dnes a zajtra* [online]. Roman Kadlec, 2011 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://old.itnews.sk/spravy/technologie/2011-11-21/c144816-3d-tlac-vcera-dnes-a-zajtra>
- [8] *Príprava modelu na tlač: Na čo si dávať pozor?* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://tvaroch.sk/priprava-modelu-na-tlac/>
- [9] *Dočasné podpory* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/docasne-podpory/>
- [10] *Post Processing PLA and ABS Prints!* [online]. 2015 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://pinshape.com/blog/post-processing-your-pla-and-abs-prints/>
- [11] *3D Printing in 3 Steps* [online]. Kevin Ackerman [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.staples.com/sbd/cre/tech-services/explore-tips-and-advice/tech-articles/3d-printing-in-3-steps-yes-only-3.html>
- [12] *About Additive Manufacturing: The 7 Categories of Additive Manufacturing* [online]. Leicestershire [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>
- [13] *Fused deposition modeling* [online]. Wikipedia, the free encyclopedia [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fused_deposition_modeling&oldid=661029019
- [14] *Technológia 3D tlače* [online]. Bratislava [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://mire.sk/technologie-3d-tlace/>
- [15] *About Additive Manufacturing: Materials* [online]. Leicestershire [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/materials/>
- [16] *Materiály a Technológia* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://tvaroch.sk/ako-to-funguje/materialy-technologie/>
- [17] *ABS modrá - 1kg, 1,75mm* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://virtualnarealita.com/abs-1kg-1-75mm/>

- [18] *Rozdiel medzi ABS a PLA* [online]. 2013 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://tvaroch.sk/blog/rozdiel-medzi-abs-pla/>
- [19] *Nerez ocel' a drahé kovy* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://tvaroch.sk/nerez-ocel-drahe-kovy/>
- [20] *3D Printing Materials: The Free Beginner's Guide* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/materials/>
- [21] *Jak vybrat 3D tiskárnu* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/vyber-3d-tiskarny/>
- [22] *NAVIGATING THROUGH THE SELECTION OF 3D PRINTING MATERIALS: KNOW YOUR STRENGTHS!* [online]. Bridget Butler Millsaps, 2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://3dprint.com/42417/3d-printing-material-strengths/>
- [23] *4 Important Questions Before Buying a 3D Printer* [online]. Darcie Nolan, 2014 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://tobuya3dprinter.com/4-questions-before-buying-home-3d-printer/>
- [24] *Fused filament fabrication* [online]. Wikipedia, the free encyclopedia [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication
- [25] *Krokový motor* [online]. Wikipedia, the free encyclopedia [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD_motor
- [26] *Heated Bed* [online]. RepRap [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/Heated_Bed
- [27] *Mechanical Endstop* [online]. RepRap [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/Mechanical_Endstop
- [28] *RepRap* [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RepRap#Hardware>
- [29] *RepRapPro Huxley* [online]. RepRap [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/RepRapPro_Huxley
- [30] *Tutorials: Connecting to your printer* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.plasticscribbler.com/tutorial/getting-started/item/21-getting-started-with-pronterface#.VzwrPvmLS00>
- [31] *Marlin firmware user guide for beginners: Starting with Marlin Firmware* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://solidutopia.com/marlin-firmware-user-guide-basic/>
- [32] *3D tlač (aditívna výroba)* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/5181/3d-tlac-aditivna-vyroba>
- [33] *IN STOCK – LulzBot TAZ – Open source 3D Printer* [online]. 2014 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://blog.adafruit.com/2014/01/28/in-stock-lulzbot-taz-open-source-3d-printer/>
- [34] *The Authority on 3D Printing: Up, Up* [online]. Michael Molitch-Hou, 2014 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/2014/09/18/way-new-3d-printer-tiertime/>
- [35] *Software, Kalibrace a Tisk* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://drupp.eu/tisk.html>
- [36] *Wade's Geared Extruder* [online]. RepRap [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/Wade%27s_Geared_Extruder

- [37] *Prusa Mendel Kit* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z:
<http://www.nextdayreprap.co.uk/prusa-mendel-kit/>
- [38] *Prusa Mendel (iteration 2)* [online]. RepRap [cit. 2016-05-20]. Dostupné z:
[http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel_\(iteration_2\)](http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel_(iteration_2))

12 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV

12.1 Zoznam skratiek

2D	2-Dimenzionálny
3D	3-Dimenzionálny
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
CNC	Computer Numeric Control
DLP	Digital Light Processing
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
HIPS	High Impact Polystyrene
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PA6	Polyamid
PC	Polycarbonate
PET	Polyethylene Terephthalate
PLA	Polylactic Acid
PVA	Polyvinylalkohol
SLA	StereoLithography Apparatus – stereolitografia
SLI	SLIc3r
SLS	Selective Laser Sintering
STL	StereoLithography
UV	UltraViolet – ultrafialové žiarenie

12.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1) Prvá 3D tlačiareň a jej výtlačok [4]	19
Obr. 2) Príklad maximálnych rozmerov a vhodnej hrúbky steny [8]	20
Obr. 3) Príklad príliš tenkej časti [8]	20
Obr. 4) Orientácia modelu [9]	21
Obr. 5) Súčasť vo formáte .STL [8]	21
Obr. 6) Súčasť vo formáte .SLI [8]	21
Obr. 7) Súčasť pred a po dokončovacích úprav [10]	22
Obr. 8) Fotopolymerizácia v nádobe [2]	23
Obr. 9) Tryskanie materiálu [2]	23
Obr. 10) Vytlačanie materiálu a), b) [2]	24
Obr. 11) Tlač v práškovej lôži [2]	25
Obr. 12) Vrstvenie listov [2]	25
Obr. 13) Smerované nanášanie materiálu [2]	26
Obr. 14) Technológie 3D tlače a), b), c) [32]	27
Obr. 15) Graf znázorňujúci najpoužívanejšie materiály [20]	30
Obr. 16) LulzBot TAZ – Open source 3D Tlačiareň [33]	31
Obr. 17) UP BOX 3D Tlačiareň (uzavretý design) [34]	31
Obr. 18) Príklady kvality výrobu v závislosti na výške vrstvy a doby tlače [23]	32
Obr. 19) Krokový motor NEMA 17 [25]	33
Obr. 20) Nema 17 extrudér [36]	34
Obr. 21) Vyhrievaná podložka PRE REBEL II [26]	35
Obr. 22) RepRap tlačiarne a) b) c) d) [28,29]	36
Obr. 23) Prusa Mendel	37
Obr. 24) Marlin firware [31]	38

Obr. 25) Uživatelské prostředí v Matlabe	39
Obr. 26) Načítanie súboru Configuration.h	39
Obr. 27) Tepelné nastavenia	40
Obr. 28) Vyznačené mechanické nastavenia	41
Obr. 29) Nastavenia pohybov	43
Obr. 30) Nastavenie v Pronterface [30]	44
Obr. 31) Načítaný objekt v Pronterface [30]	44

13 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – CD:

- Manuál na konfiguráciu 3D tlačiarne.docx
- Temperature sensor settings.docx
- Nastavenie tlačiarne (Matlab_oprava.m, Matlab_oprava.fig)
- Marlin-1.1.0-RC3.rar
- Printron.rar

