



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Konstrukce 3D tiskárny

Vojtěch KUČHTA

Střední průmyslová škola, Praha 10, Na Třebešíně 2299

Anotace

Tato technická zpráva obsahuje od historie 3D tisku a tiskáren, přes vývoj až po jejich využití v budoucnu. Dále jsou zde uvedeny materiály, které se používají při 3D tisku. Praktická část je zaměřena na samotný návrh 3D tiskárny, její parametry, výpočty, modely, výrobní výkresy, výkresy sestav, software a řídicí jednotky i postup samotné výroby a montáže 3D tiskárny. Další část se zabývá analýzou problémů vzniklých při zkušebním provozu tiskárny a návrhem jejich řešení.

Klíčová slova:

historie 3D tisku a tiskáren, materiály pro tisk, návrh 3D tiskárny, problémy při zkušebním provozu

3. Úvod:	5
4. Teoretická část.....	6
4.1. Princip 3D tisku:.....	6
4.2. Tisk z reaktoplastu:.....	6
4.3. Tisk z termoplastu:	6
4.4. Tisk z kovu:	7
5. Historie 3D tisku a tiskáren:	8
6. Uplatnění a perspektiva:	8
7. Materiály pro tisk:	9
7.1. Akrylonitrilbutadienstyren (ABS).....	9
7.2. Polylacticacid (PLA).....	9
7.3. Polykaprolakton (PCL)	9
7.4. Polypropylen (PP)	10
8. Zdrojová data:.....	10
9. Praktická část maturitní práce.....	10
9.1. Návrh tvaru, rozměru a jednotlivých funkcí tiskárny	10
9.2. Parametry navrhované konstrukce tiskárny:	12
9.2.1. Výpočty.....	14
9.2.2. Výpočet průměru a průhybu vedení stolu	14
9.2.3. Výpočet hotendu	16
9.2.4. Výpočty pohybových motorů	18
9.3. Software a řízení tiskárny	19
9.3.1. Volba řídicí jednotky.....	19
9.3.2. Programy pro správu a tvorbu dat	21
9.4. Výroba nenormalizovaných součástí.....	22
9.4.1. Plastové spojovací bloky.....	22
9.4.2. Kovové spojovací a vodicí tyče	23

9.5. Poznatky ze stavby, seřízení a provozu tiskárny	23
9.6. Závěr a zhodnocení.....	23
10. Poděkování	25
11. Seznam použité literatury	25
12. Seznam obrázků	26
13. Přílohy:.....	27
13.1. Obsah CD:	27

2. Seznam použitých zkratek a symbolů

m_o – hmotnost obrobku – výtisku (kg)

m_s – hmotnost stolu (kg) d – průměr

(mm) l – délka (mm) F – síla (N) g –

gravitační zrychlení ($m \cdot s^{-2}$) F_a, F_b –

reakční síla (N)

M_o – ohybový moment (N.mm)

σ_{Do} – dovolené napětí v tahu (MPa)

W_o – průřezový modul v ohybu (mm^3)

F_q – síla spojitého zatížení (N) q –

spojité zatížení ($kg \cdot m^{-1}$) γ –

průhyb (mm) E – modul

pružnosti v tahu (MPa) v_t –

rychlost tisku (mm) d_t – průměr

trysky (mm) d_s – průměr struny

(mm) v_p – rychlost podavače

($m \cdot s^{-1}$) t_1, t_0 – teplota ($^{\circ}C$)

Δt – rozdíl teplot ($^{\circ}C$)

ρ – hustota ($kg \cdot m^{-3}$)

C – měrná tepelná kapacita ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

m/s – hmotnostní tok (kg) P_h – příkon

trysky (W) a – zrychlení ($m \cdot s^{-2}$) f –

součinitel tření ()

F_t – třecí síla (N)

F_p – síla pohybové síly (N)

D_r – průměr řemenice (mm) M_{kx} -
krouticí moment osy x (N.mm) d_z –
průměr závitové tyče (mm) p –
rozteč závitu (mm) m_p – hmotnost
příčného posuvu (kg)
 ϕ - třecí úhel (°) α – úhel
stoupání závitu (°) F_u –
utahovací síla (N)
 M_k – krouticí moment (N.mm)

3. Úvod:

Počátky technologie 3D tisku spadají do druhé poloviny 20. století. Rapid Prototyping¹ nebo aditivní výroba, jak se této technologii říkalo před zavedením pojmu 3D tisk. Od roku 2008 se dostala na úroveň, kdy nabízí dostatečnou kvalitu pro různé průmyslové oblasti.[1] Tisknout se dají nové díly nebo malé sestavy, ale dají se tisknout i různé součásti do opravárenství. Před tiskem musí být počítačový model vymodelovaný nebo 3D naskenovaný.

Tento projekt jsem si vybral, abych si mohl ověřit využití svých znalostí, které jsem během studia získal a mnou navržený model tiskárny mohl využít i ve svém budoucím profesním životě.

Cíle:

Navrhnout, zkonstruovat a postavit 3D tiskárnu za pořizovací náklady nižší než 18 000 Kč.

¹ rapid prototyping, je snadná a rychlá výroba prototypů

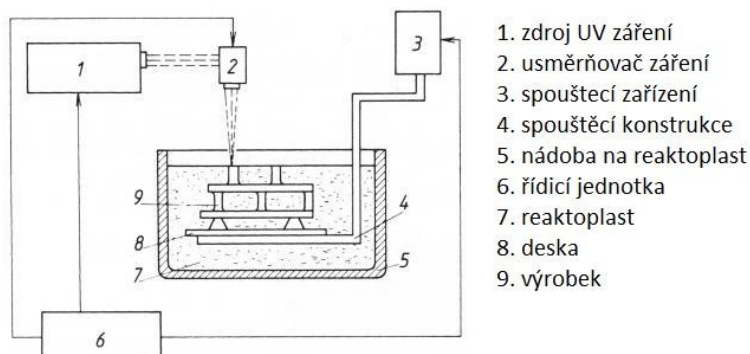
4. Teoretická část

4.1. Princip 3D tisku:

Základní princip 3D tisku spočívá v kladení jednotlivých vrstev materiálu na sebe. Každá další vrstva se částečně propojuje s vrstvou předešlou. Generování vrstev je řízeno programem.

4.2. Tisk z reaktoplastu:

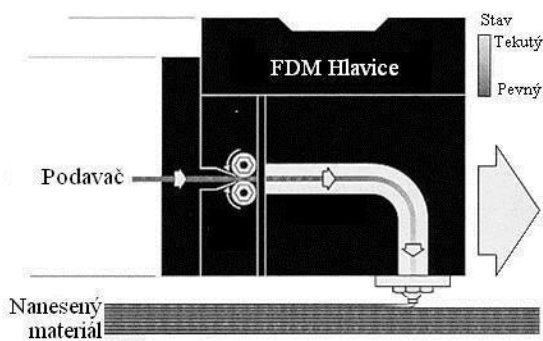
Používá se UV vytvrditelný plast, kterým je vyplněná nádoba do které se postupně ponořuje o tloušťku vrstvy která se vytvrdí UV zářičem.



Obr. 1-Tisk reaktoplastu

4.3. Tisk z termoplastu:

Pro tisk se nejčastěji používají plasty ABS a PLA, které se dodávají ve strunách o průměrech 3 a 1,75 mm, jež se vtlačují do extruderu², kde se roztaví a protlačí přes trysku o průměru 0,3, nebo 0,5 mm. Po průchodu tryskou se roztavený plast částečně spojí s předešlou vrstvou a chladne na vzduchu.

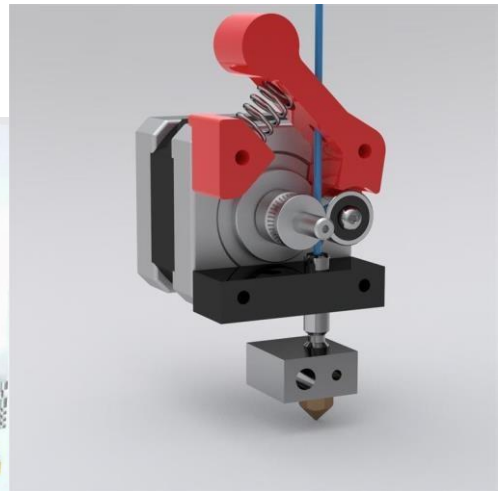


Obr. 2-Tisk termoplastů

² extruder je sestava motoru, který podává materiál, přítlačné kladky a hotendu, kde je hotend sestava trysky ohřívacích rezistorů a termistoru.



Obr. 3-Kolekce hotendů



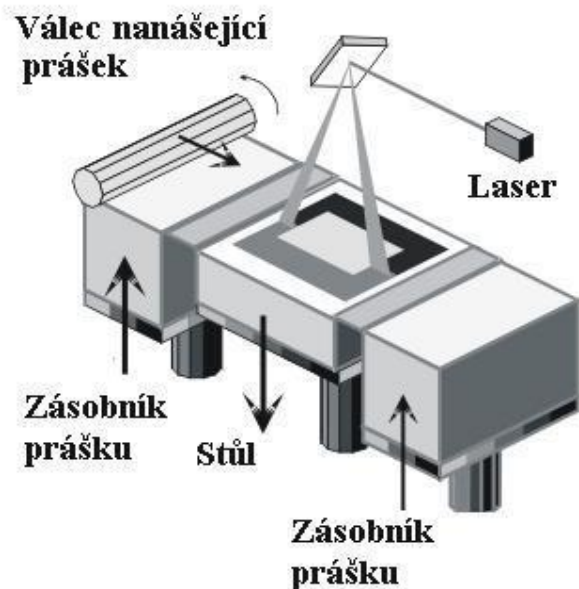
Obr. 4-Sestava extrudéru

4.4. Tisk z kovu:

Tisk z kovového prášku se provádí dvěma způsoby:

1. Svaření laserem

Nanese se malá vrstva kovového prášku (přibližně 0,1 mm), který se pomocí laseru roztaví a spojí v jedné vrstvě s předešlou vrstvou. Stůl potom sjede o šířku vrstvy dolů. Toto se provádí až do dokončení tisku.



Obr. 5-Tisku kovů

2. Tisk do písku a vypálení v peci

Do žáruvzdorné nádoby se nasype vrstva křemičitého písku, tento písek se běžně používá v hutnictví k odlévání ocelí. Do té vrstvy písku se pak z trysky vytlačí kov s přidaným lepidlem. Tento postup se opakuje, dokud není forma zaplněna. Po dokončení tisku se forma přesune do indukční pece, kde se model vypálí a výrobní proces končí rozbitím pískové výplně.

5. Historie 3D tisku a tiskáren:

Charles Hull nechal v roce 1986 patentovat technologii stereolitografie³. Tato technika spočívá v trojrozměrném laserovém tisku s využitím UV laseru a tekutého fotopolymeru. Před koncem 90. let pak Hull pod hlavičkou své nové firmy 3D Systems, vytvořil první zařízení tisknoucí v 3D formátu pro širokou veřejnost, tzv. stereolitografický aparát SLA-1. Modely SLA se také staly základem vývoje dnešních 3D tiskáren či CNC strojů. SLA-1 je doposud k vidění ve Fordově muzeu v Dearborn, Michigan.[2]



Obr. 6-SLA-1 první 3D tiskárna

6. Uplatnění a perspektiva:

V oboru strojírenství nalezne 3D tisk největší uplatnění k výrobě prototypů, polotovarů a později i k nahrazení třískového obrábění pro maximální využití malého množství materiálu,

³ Stereolitografie je metoda vytváření objektů pomocí postupného vytvrzování polymerů pomocí působení UV záření.

které by se stalo dokončovacími operacemi. Dále ve vesmírném programu, bioinženýrství-tisk orgánů a tkání, v neposlední řadě v gastronomii a mnoha dalších odvětvích.



Obr. 7-První karosérie automobilu vytištěná na tiskárně

7. Materiály pro tisk:

Nejpoužívanější termoplasty:

7.1. Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)

- je běžně používaný termoplast
- teplota tání je v rozmezí 180°C až 220°C
- při překročení teploty 250°C se začíná rozpadat

7.2. Polylacticacid (PLA)

- je organický polymer, který se vyrábí z kyseliny mléčné, z fermentované kukuřice
- taje při teplotách 150°C až 200°C

Další druhy termoplastů:

7.3. Polykaprolakton (PCL)

- je biologicky odbouratelný polyester s nízkou teplotou tání cca 60 ° C
- tento polymer má hojně využití v lékařství, např. chirurgické nitě či k tisku kostí

7.4. Polypropylen (PP)

-je termoplastický polymer, má širokou škálu použití v potravinářství, textilním průmyslu, lze ho použít jako izolaci kabelů

-teplota tání je 130°C až 170°C

Práškové kovy:

měď
hliník
ocel

Další materiály:

keramika
sklo dřevěná vlákna spojená
pryskyřicí vosk

8. Zdrojová data:

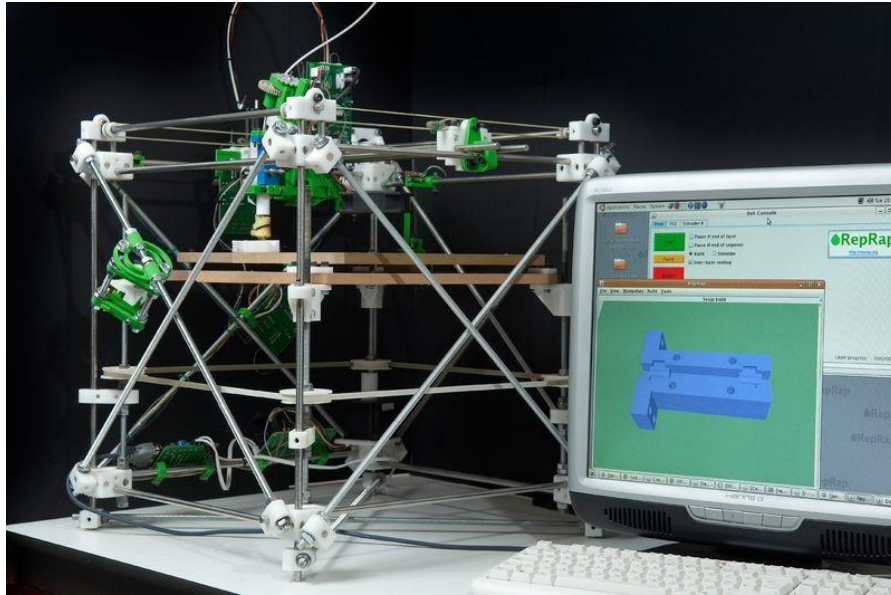
Postup 3D tisku není až tak složitý. Postup začíná počítačovým modelem vytvořeným v programech Inventor, SolidWorks, Cinema4D nebo 3D skenováním. Hotový počítačový model je nutno uložit ve formátu .STL (formát .OBJ není podporován všemi programy), ten se následně importuje do programu, kde je model rozvrstven a jsou v něm vytvořeny dráhy pro pohyb tiskárny, kterými bude tiskárna projíždět během tisku. Výsledkem je vygenerovaný gcode⁴, který se nahraje na SD kartu, nebo je možné provádět tisk přímo z počítače, ten ale musí být po celou dobu připojen k tiskárně. Následně může začít samotný tisk.

9. Praktická část maturitní práce

9.1. Návrh tvaru, rozměru a jednotlivých funkcí tiskárny

Inspirací pro můj návrh byla tiskárna Darwin viz Obr.8.

⁴ gcode., je tip počítačového souboru, který se používá pro řízení CNC strojů (strojů řízených počítačem).



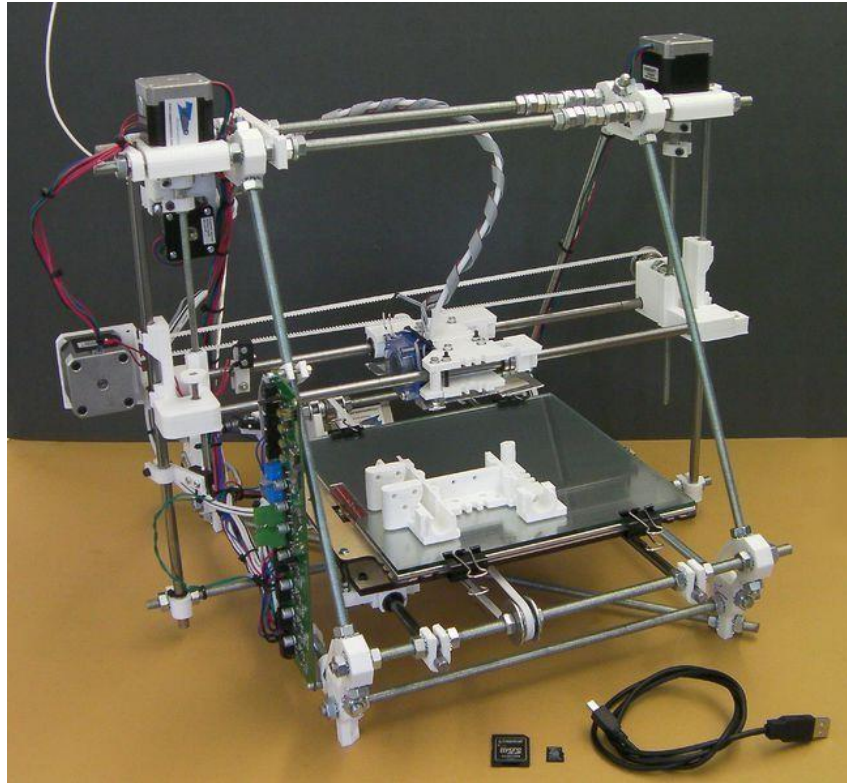
Obr. 8-Tiskárna Darwin

Na této tiskárně jsou použity závitové tyče jako základní stavební prvky pro konstrukci kostry. Předností těchto tyčí je jejich nízká pořizovací cena a poměrně dobrá seřizovací schopnost. Pro jejich malou přesnost naválcovaného závitu, je nelze použít jako pohybového šroubu. Závitové tyče se dají nahradit hliníkovými profily, které jsou řádově 4krát až 5krát dražší než závitové tyče, ale mají mnoho výhod, např. jsou tuhé, snadno a rychle smontovatelné a oproti závitovým tyčím i lehčí. Na výrobu různých druhů 3D tiskáren jsou použity rozdílné materiály a výrobní prvky, dle toho k jakému tisku je daná tiskárna určena.

Rozbor konstrukce tiskárny Darwin:

- stabilní konstrukce
- tiskový prostor 230x230x100 mm
- velké využití prostoru tisku oproti objemu tiskárny
- na stavbu je použité velké množství materiálu

Požadavek na malé množství materiálu lze splnit změnou uspořádání jednotlivých částí tiskárny tak, jak je to řešeno u tiskárny RepRapPro Mendel na Obr.9.



Obr. 9-Tiskárna RepRapPro Mendel

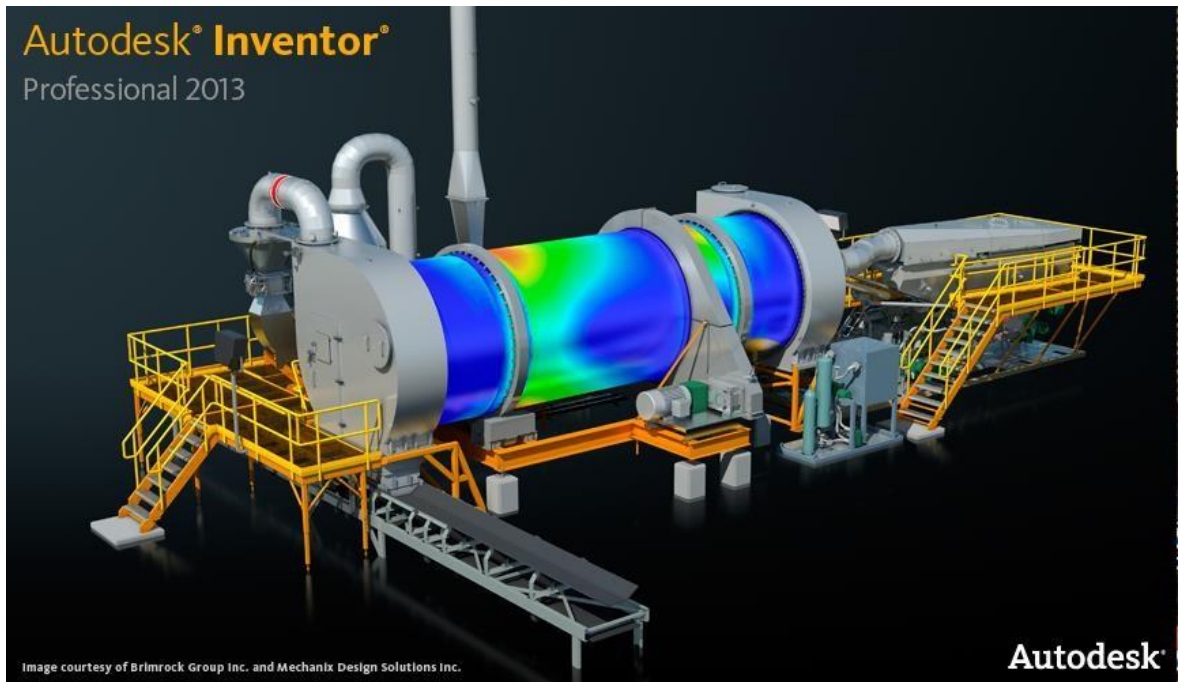
9.2. Parametry navrhované konstrukce tiskárny:

Rozměr tiskového prostoru 500x500x500 mm a maximální hmotnosti výtisku (obrobku) 3kg, stanovena pro provedení výpočtů a simulací.

Návrh snadno smontovatelné konstrukce s využitím co nejmenšího množství materiálu.

Možnost přestavění tiskárny na 3D obráběcí centrum nebo 2D vyřezávačku.

Při řešení byl použit 3D modelovací software Inventor Profesionál 2013 od firmy Autodesk, využitý k výrobě modelů a následné simulaci jednotlivých sestav.



Obr. 10-Autodesk Inventor Profesional 2013

V tomto programu se modeluje následujícím postupem: vytvoří se 2D skica na základní rovině nebo existující ploše, která se následně vysune, odebere, nebo se vytvoří otvor. Po dokončení základního tvaru můžeme srazit nebo zaoblit hrany, vybrat materiál a povrchovou úpravu. Modely jsou umísťovány a zavazbeny v sestavách, u nichž se může provést simulace statickým zatížením. V této práci je obsažena i výkresová dokumentace vytvořená v tomto programu ze školní výkresové šablony.

System značení výkresové dokumentace:

Výkresy sestav

MP_x.B_x.x_xx

Př.: MP_4.B _1.3_01

MP_třída_č. úlohy.formát listu_číslo sestavy

Výrobní výkresy

MP_x.B_x.x_xxx

Př.: MP_4.B_1.4_101

MP_ MP_třída_č. úlohy.formát listu_číslo sestavy+číslo výkresu

9.2.1. Výpočty

9.2.2. Výpočet průměru a průhybu vedení stolu

Výpočet průhybů veškerého vodorovného vedení se musí provést z důvodu přesnosti výtisků. Největší průhyb bude nastávat u podélného posuvu a stolu kvůli rozměrům.

Pro výpočet průhybu budu zanedbávat průřez desky stolu, která částečně přenáší ohybový moment.

$$m_o=3 \text{ kg} \quad m_s=3 \text{ kg} \quad d=12 \text{ mm}$$

$$l=1000 \text{ mm} \text{ výpočet průměru}$$

tyčí:

výpočet zátěžné síly:

$$F = g \cdot (m_o + m_s) / 2$$



(1)

$$F = 9,81 \cdot (3 + 3) / 2$$

$$F = 29,43 \text{ N}$$

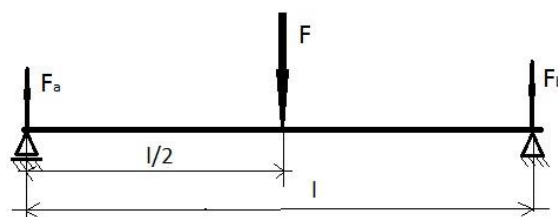
Výpočet reakcí:

$$F_a = F_b = \frac{F}{2}$$

(2)

$$F_a = F_b = \frac{29,43}{2}$$

$$F_a = F_b = 14,715 \text{ N}$$



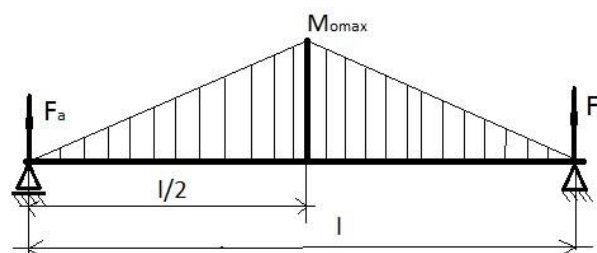
Výpočet ohybového momentu:

$$M_o = F_a \cdot \frac{l}{2}$$

(3)

$$M_o = 14,715 \cdot \frac{1000}{2}$$

$$M_o = 7357,5 \text{ Nmm}$$



Výpočet minimálního průměru tyče:

Materiál tyčí: 12 050

Z materiálových listů $\sigma_{D0}=110$ MPa

$$\sigma_{D0} \geq \sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \text{ kde } W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

(4)

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot \sigma_{D0}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 7357,5}{\pi \cdot 110}}$$

$$d \geq 8,8 \text{ mm}$$

Minimální průměr, který se vyrábí a je použitelný je 10 mm, ale pro dimenzování zvolím průměr 12 mm.

Výpočet průhybu:

Tento výpočet se musí provést z důvodu přesnosti tisku v polovině vodicích tyčí.

Pro zpřesnění průhybu budu počítat i s hmotností broušených tyčí. $q=0,84$ kg/m

$$F=29,43 \text{ N}$$

$$L=1000 \text{ mm}$$

Výpočet síly způsobené hmotností nosníku:

$$F_q = q \cdot l \cdot g$$

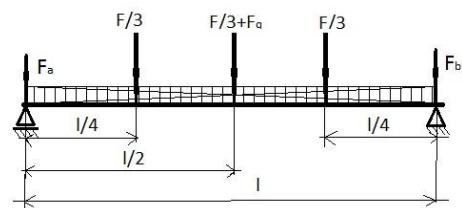
(5)

$$F_q = 0,84 \cdot 1 \cdot 9,81$$

$$F_q = 8,24 \text{ N}$$

Výpočet průhybu:

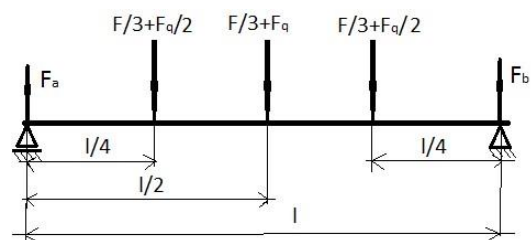
$$y = \frac{\left(\frac{F}{3} + F_q\right) \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}$$



(6)

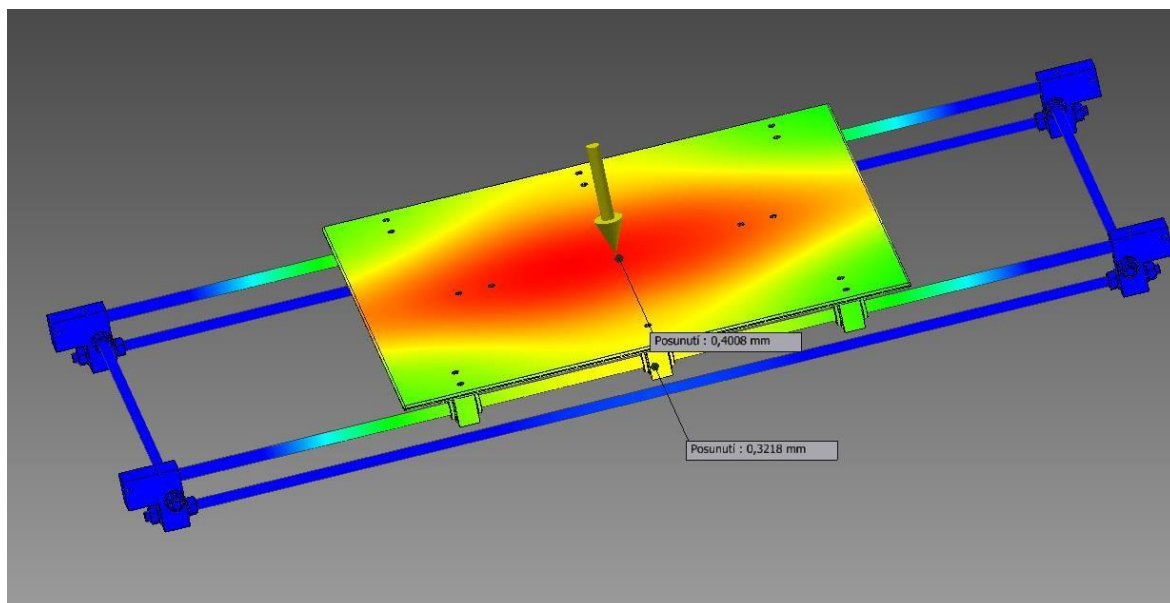
$$y = \frac{\left(\frac{29,43}{3} + 8,24\right) \cdot 1000^3}{48 \cdot 200000 \cdot \frac{\pi \cdot 12^4}{64}}$$

$$y = 1,67 \text{ mm}$$



Porovnání výpočtu se simulací programu Inventor:

Nastavení simulace je provedeno podle skutečných parametrů, podobě jako bude zatížení a chování ve skutečnosti. Zátěžná síla 30N spolu s hmotností všech komponent a nastavení výsledků simulace je s odchylkou 0,5% a pět postupů řešení.



Obr. 11-Výsledek simulace

Z virtuálních sond můžeme odečíst hodnoty průhybu 0,4 mm uprostřed stolu a 0,3 mm průhybu vedení.

Porovnání výpočtu a simulace:

	výpočet	simulace
průhyb vedení	1,67 mm	0,3 mm

Je vhodné ještě provést měření průhybu po smontování zařízení.

9.2.3. Výpočet hotendu

Tento výpočet se musí provést pro návrh topných tělísek a jejich příkonu.

Při tvorbě této tiskárny nechci použít žádný z již vyráběných hotendů viz. Obr. 1.

Výpočet rychlosti podavače:

$$v_t = 0,4 \text{ m/s}$$

$$d_t = 0,5 \text{ mm} \quad d_s = 3$$

$$v_p = \frac{v_t \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_s^2}{4}}$$

$$v_p = \frac{0,4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 3^2}{4}}$$

$$v_p = 0,011 \text{ m/s}$$

mm

(7)

Výpočet příkonu hotendů:

materiál	PLA	ABS
t ₁	180°C	240°C
t ₀	20°C	20°C
Δt	160°C	220°C
ρ	1000 kg/m ³	1050 kg/m ³
c	1,9 kJ/kg.K	1,4 kJ/kg.K
m/s	(8) 0,0000785 kg	0,0000827 kg
P _h	(9) 5,5W	3,4W

$$m/s = v_t \cdot \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \cdot \rho$$

(8)

$$P_h = \frac{c}{m/s \cdot (\Delta t + 274,15)}$$

(9)

9.2.4. Výpočty pohybových motorů

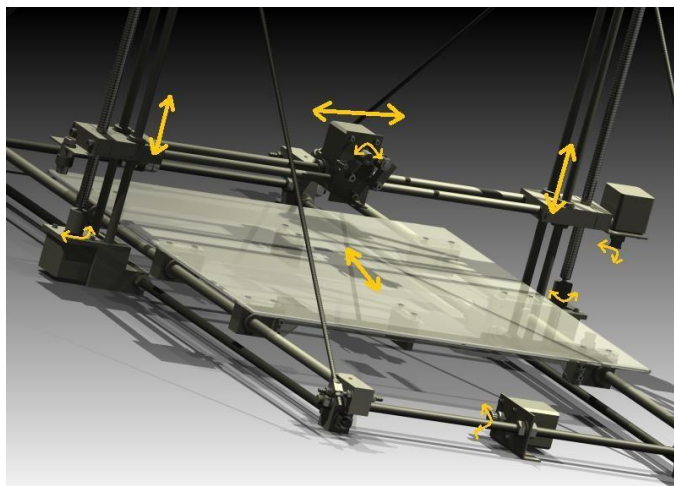
Pohon osy x: $a=0,3\text{m/s}^2$ $m_o=3$ kg
 $m_s=3$ kg $f=0,02$ výpočet třecí síly:

$$F_t = (m_o + m_s) \cdot g \cdot f$$

(10)

$$F_t = (3 + 3) \cdot 9,81 \cdot 0,02$$

$$F_t = 1,18\text{N}$$



Výpočet pohybové síly:

$$F_p = (m_o + m_s) \cdot a$$

(11)

$$F_p = (3 + 3) \cdot 0,3$$

$$F_p = 2,7\text{ N}$$

Výpočet krouticího momentu osy x:

$D_r=12,7$ mm

$$M_{kxx} = F_p + F_t \cdot \frac{D_r}{2}$$

(12)

$$M_{kxx} = 2,7 + 1,18 \cdot \frac{12,7}{2}$$

$$M_{kxx} = 24,64\text{ Nmm}$$

V rámci dimenzování a výrobních parametrů jsem zvolil motor NEMA 17 s 0,44Nm.

Pohon osy y:

Použiji stejný postup jako u výpočtu pohonu osy x. Pouze se změní hmotnost na 1,5 kg.

Podle předešlého výpočtu se dá odvodit motor NEMA 17 o 0,36Nm zátěž vydrží.

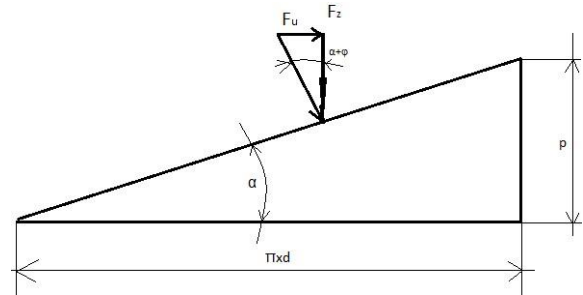
Pohon osy z:

Pro převod točivého momentu na posuv, použiji závitové tyče R10x2 o parametrech:

$d_z=10 \text{ mm}$ $p=2 \text{ mm}$ $m_p=3,5 \text{ kg}$ $\varphi=1^\circ 10'$

Výpočet úhlu stoupání:

$$\sin \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d_z}$$
$$\sin \alpha = \frac{2}{\pi \cdot 10} \quad (13)$$
$$\alpha = 3^\circ 40'$$



Výpočet utahovací síly:

$$F_u = m_z \cdot g \cdot \tan \alpha + \varphi \quad (14)$$
$$F_u = 3,5 \cdot 9,81 \cdot \tan(3^\circ 40' + 1^\circ 10')$$
$$F_u = 2,9 \text{ N}$$

Výpočet krouticího momentu:

$$M_k = F_u \cdot \frac{d_z}{2} \quad (15)$$
$$M_k = 2,9 \cdot \frac{10}{2}$$
$$M_k = 14,5 \text{ Nmm}$$

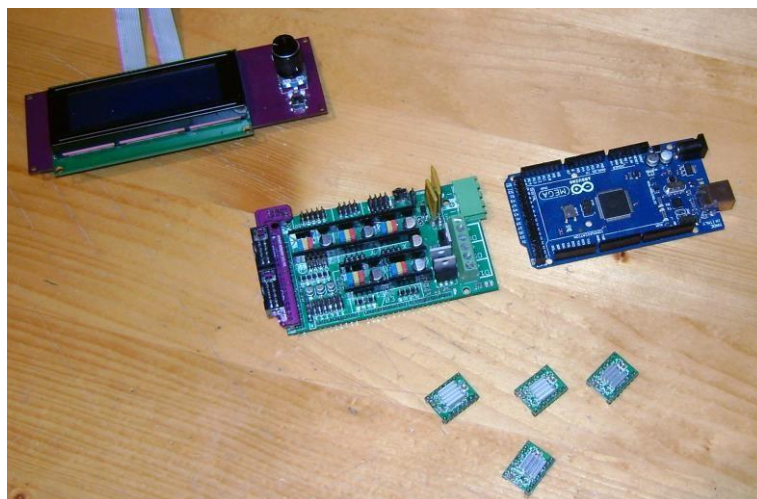
Motor s nejbližším vyšším krouticím momentem je NEMA 17 s 0,36 Nm.

9.3. Software a řízení tiskárny

Existuje mnoho možností a způsobů ovládání a řízení tiskárny.

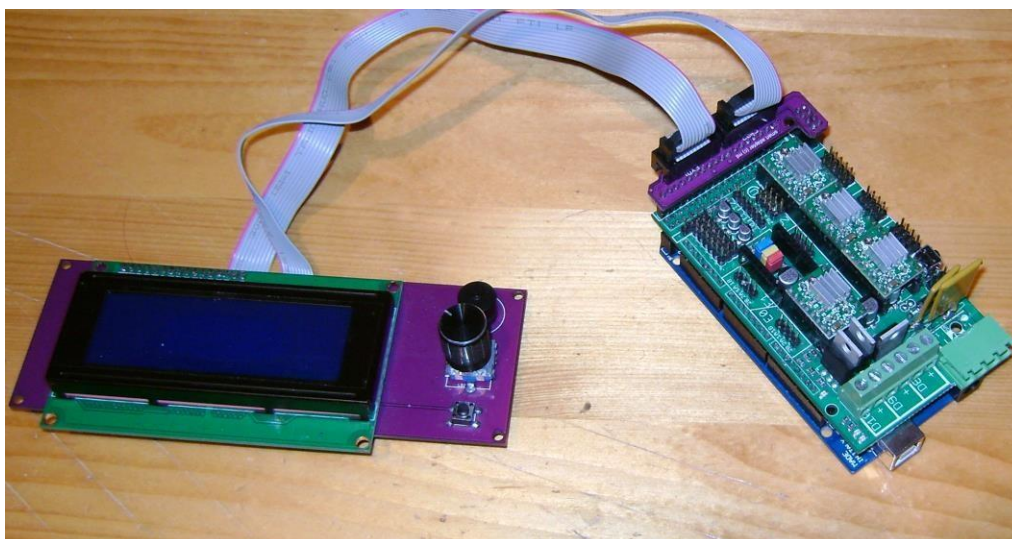
9.3.1. Volba řídicí jednotky

Není možné použít k jakémukoliv hardwaru jakýkoliv software. Proto je nejlepší začít výběrem hardwaru řídicí jednotky. Já jsem zvolil řídicí jednotku složenou z ARDUINA MEGA 2560, RAMPS 1.4, LCD Smart kontroléru a ovladačů motorů A4899.



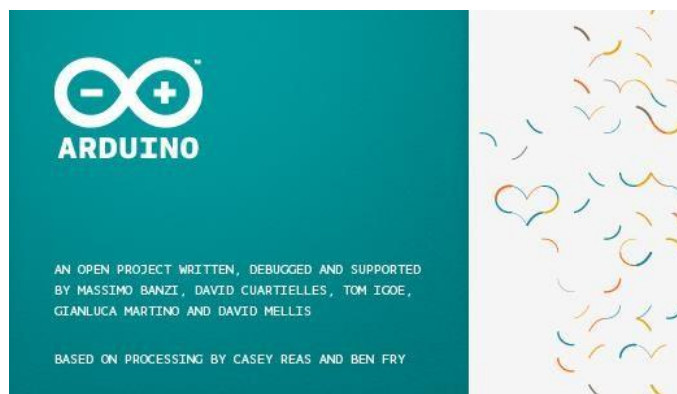
Obr. 12-Komponenty řídicí jednotky

Tato řídicí jednotka je jedna z levnějších možností. Výhoda této sestavy spočívá v tom, že tiskárna nemusí být připojena k počítači a v případě poškození stačí zakoupit pouze poškozenou část a nahradit ji.



Obr. 13-Komplet řídicí jednotky

Před sestavením řídicí jednotky je nutné nahrát program (firmware) do desky firmy Arduino, typ Mega 2560. Firma Arduino distribuuje program pro tvorbu a aplaudování programů do jejich zařízení. Existují 4 firmwary, které se dají použít v tomto řešení, ale pouze firmware Marlin

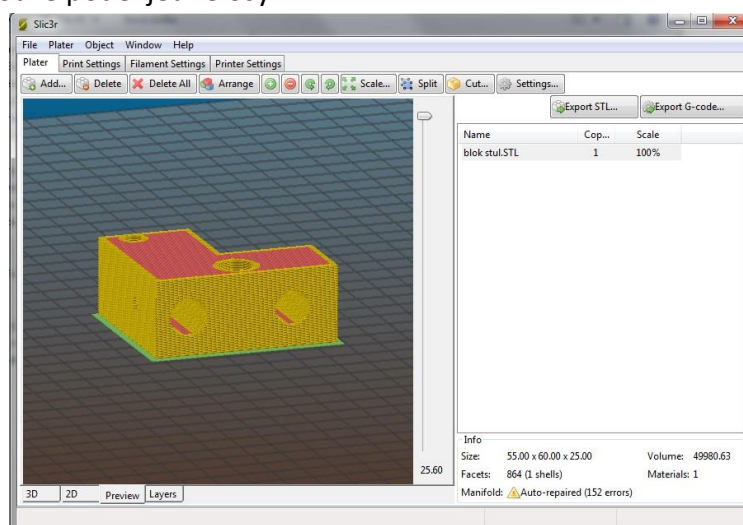


využívá všechny funkce této řídicí jednotky a je možné ručně nastavit parametry jakékoliv tiskárny. Marlin je předpřipravený program pro tiskárnu Sanguino. Firmware se musí upravit podle parametrů tiskárny délku posuvů, délka posuvu na jeden „krok motoru“, maximální rychlost a zrychlení posuvů, nastavení displeje a kontrolního panelu. Pro zjednodušení práce s tiskárnou jsem provedl překlad zpráv LCD displeje do českého jazyka, ale to není nezbytné pro provoz tiskárny.

9.3.2. Programy pro správu a tvorbu dat

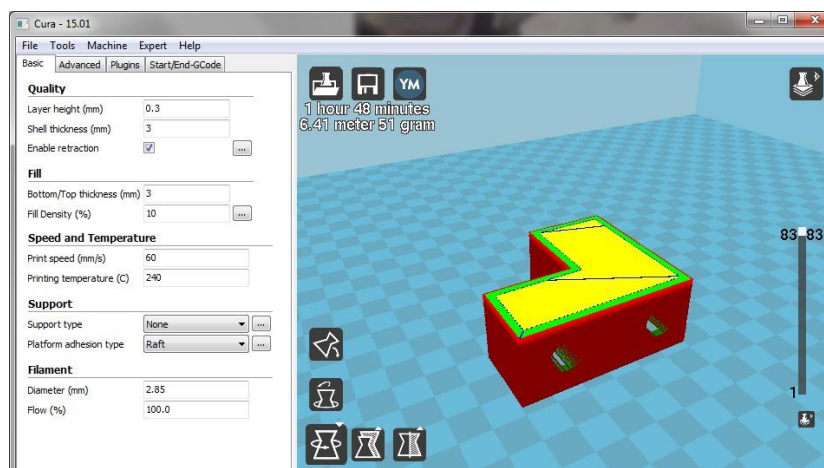
Pro ovládání a řízení 3D tiskáren existuje mnoho druhů řídicích jednotek stejně jako softwarů. V mém případě je tiskárna nezávislá na počítači, a proto stačí pouze program, do kterého se dají nastavit zvláštní parametry mé tiskárny, např.: rozměr pracovního prostoru, řídicí firmware, rychlosti a zrychlení posuvů, podle kterých se vygeneruje g-kód, který se uloží na paměťovou kartu. V úvahu připadají dva programy, které jsou volně ke stažení a to slic3r a Cura 15.01.

Program slic3r je jednoduchý, rychlý a dá se zprovoznit téměř na jakémkoliv počítači, poměrně detailně a precizně se tady pracuje s daty před vygenerováním kódu, dá se použít i pro ruční řízení tiskárny. Nevýhodou je, že otevírá modely pouze ve formátu .STL, modely se dají otáčet pouze podél jedné osy.



Obr. 14-Program Slic3r

Program Cura 15.01 je složitější a náročnější na hardware počítače. Tento program je ještě stále ve vývoji, ale přesto nabízí možnost plně pracovat s modelem (rotace ve všech osách, přesné umístování na základně a možnost nastavení přesných rozměrů modelu), dokáže zobrazovat problematická místa pro tisk a v neposlední řadě umí importovat mapy z Minecraftu, což potěší zejména hráče této hry. Nelze jej ale použít pro ruční řízení tiskárny a ve vygenerovaném kódu se vyskytují občasné chyby.



Obr. 15-Program Cura 15.01

Jako další program budu používat G-kóde simulation, z jehož názvu vyplývá že, se bude jednat o program simulování g-kódů. Tento program budu používat pouze ze začátku, a to pro kontrolu správnosti a funkčnosti kódů, před nahráním a spuštěním tiskárny, aby se zabránilo jejímu poškození.

9.4. Výroba nenormalizovaných součástí

9.4.1. Plastové spojovací bloky

Tyto součásti musely být navrženy stroze a jednoduše, s požadavkem na jednoduchost obrábění. Při prvním návrhu byl zvolen materiál POM (Polyoxymetylen). Jedná se o termoplast používaný pro výrobu ložisek, pístních kroužků, těsnění, kluzných prvků, vodících součástí, který se bude obrábět v CNC obráběcím centru. Takto vyrobené součásti jsou dražší variantou, ale mají vysokou přesnost a přenesou větší zatížení. Druhou variantou byla možnost tyto součásti vyrobit na školních 3D tiskárnách Prusa z materiálu PLA. Tato varianta je podstatně levnější, ale výtisky trpí mnoha nedokonalostmi, např.: menší pevností, strukturou povrchu a deformacemi vzniklými při tisku. Výrobky se musí přebrousit a částečně doobrobit, aby se daly použít pro stavbu jiné tiskárny.

Z finančních a časových důvodů jsem musel zvolit druhou variantu, a to výrobu na 3D tiskárně.

9.4.2. Kovové spojovací a vodící tyče

Pro vedení jsou použity broušené vodící tyče, které se dají sehnat ve specializovaných obchodech pro CNC obráběcí stroje. Tyče se vyrábí od průměru 8 mm do 20 mm a v délkách od 1m do 2m, ale je možné u dodavatelů sehnat i jiné délky.

Spojovací závitové tyče se dodávají v rozměrech M5 až M16 a délce pouze 1 metru, které se zkrátí na délku podle výrobních výkresů.

9.5. Poznátky ze stavby, seřízení a provozu tiskárny

Sestavení tiskárny je nejlepší provádět na rovné podložce s předem označenými polohami pro zjednodušení a zrychlení stavby. Abych zabránil povolování šroubových spojů, použil jsem samojistící matice. K nim se nemusejí použít pojistné podložky, ovšem nevýhodou těchto matic je, že se obtížně šroubují.

Při změně parametrů ve firmwaru se musí pokaždé rozebrat řídicí jednotka a k počítači připojit řídicí desku ARDUINO Mega 2560. Při každém přeprogramování se změní jeden, maximálně dva parametry. Po odpojení od počítače se řídicí jednotka složí a otestují se změněné parametry. Toto jsem během stavby provedl nespočetněkrát.

Velký problém představovaly mnou navržené trysky, u kterých se v různé míře vyskytují problémy v souvislosti se stoupajícím teplem, které způsobuje předčasné tavení materiálu a jeho následné vrácení zpět z trysky. To vede k zaseknutí struny materiálu. Další problémem jsou tepelné ztráty a přenos tepla z topných rezistorů do těla trysky. Přenos tepla jsem vyřešil nanesením keramiky okolo rezistorů a pro další snížení tepelných ztrát jsem hrot trysky a prostor okolo rezistorů překryl minerální vatou používanou na tepelnou izolaci fasád, protože odolává teplotám okolo 300°C. Žádný další izolační materiál takto vysoké teploty nevydrží.

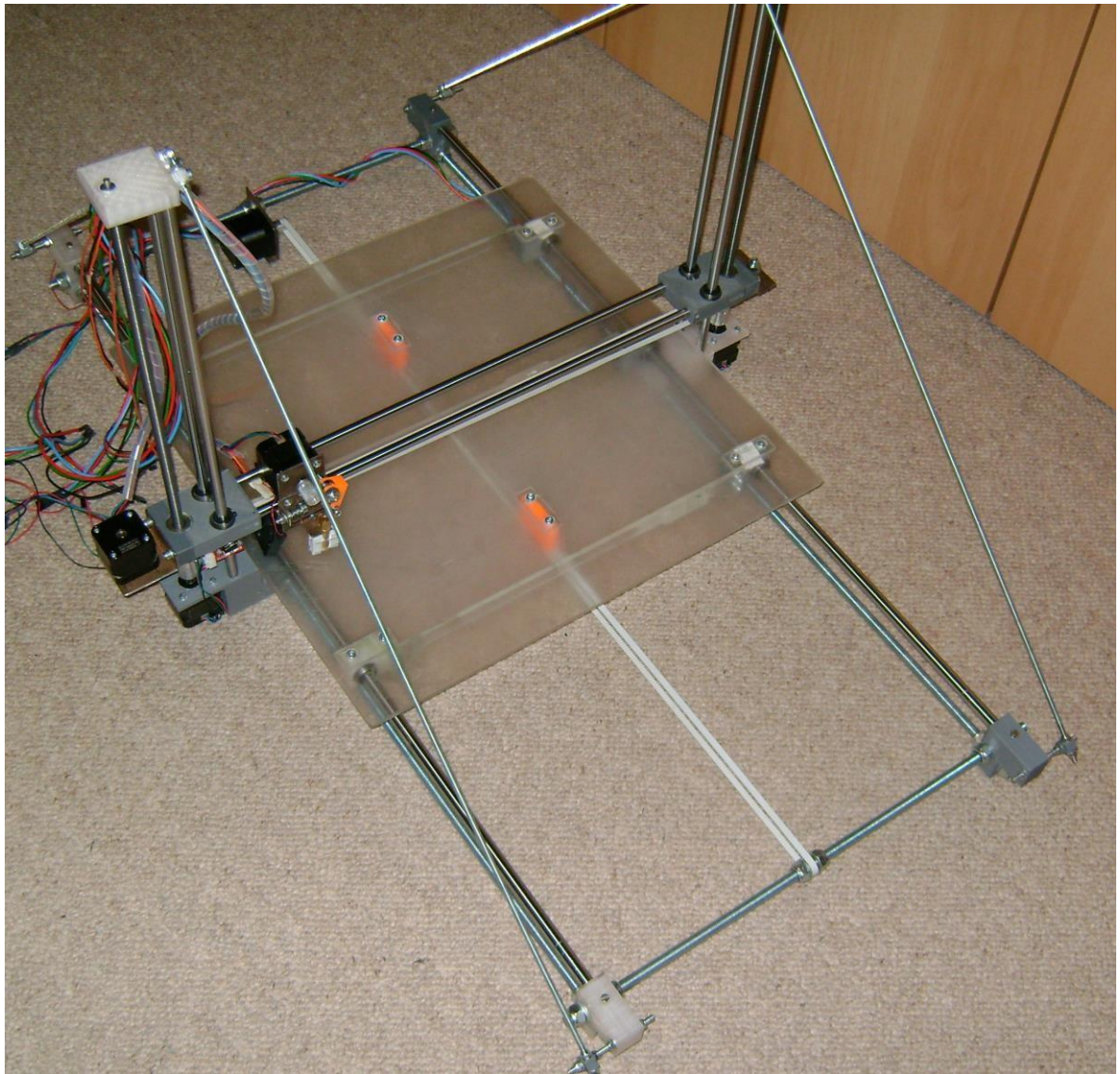
Při seřizování se vyskytl problém s nerovností a zkroucením desky stolu. Tento problém se dal pouze částečně zmírnit podložkami ze složeného papíru. Zbývající nerovnosti se dají řešit přidáním tzv. rastru (před tiskem vlastního modelu, je vytištěna plocha vyrovnávající nerovnost desky). Při tisku rastru se ale spotřebovává materiál, který je už dále nepoužitelný. Zkroucení se dá eliminovat deskou vyrobenou z hliníku, to vede ke zvednutí nákladů.

Prozatím se nevyskytly žádné další problémy. Vzniku poruch se dá zabránit pravidelnou údržbou a mazáním pohyblivých částí.

9.6. Závěr a zhodnocení

Při realizaci tohoto projektu jsem využil znalosti z předmětů vyučovaných na této škole např.: mechanika, stavba a provoz strojů, strojírenská technologie, technické kreslení a

znalosti ze školních dílen. Bylo také nutno udělat spoustu technických kompromisů a měnit pohled na konstrukci, montáž, údržbu a ovládání 3D tiskáren, ale i strojů s podobnou mechanickou konstrukcí. V tomto projektu jsem se hlavně naučil orientovat a psát programy v jazyce C++. Největší problém byla konstrukce hotendu, aby se zajistila jeho 100% funkčnost. Na tomto projektu jsem strávil 508 hodin z toho 286 hodin návrhu, konstrukce, výpočtů a výkresové dokumentace. Výroba kovových součástí a celková montáž trvala 98 hodin. Seřízení a zkouška tiskárny 95 hodin a zbývajících 29 hodin psaní technické zprávy. Splnění cílů této práce, postavit 3D tiskárnu za pořizovací náklady do 18 000 Kč se podařilo splnit s rezervou 5.762 korun, spočítané podle Tab.1-Seznam součástí pro nákup.



Obr. 16-Sestava tiskárny

10. Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu této práce Ing. Martinu Nermutovi za odborné vedení, podnětné rady a vstřícnost při konzultacích, dále Mgr. Davidu Frýbertovi za umožnění a pomoc při 3D tisku komponentů na mou tiskárnu. Mé díky patří i paní Mgr. Ilje Černé za pomoc při gramatické kontrole práce a všem profesorům, kteří mi pomohli tuto práci zkompletovat.

11. Seznam použité literatury

[1] Historie 3D tisku: Časová linie 3D tisku II. CHLEBO, Martin. *O3D* [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3dhttp://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1t%C3%ADtky/historie-3d-tisku/tisku/>

[Obr. 17-Tisk reaktoplastu] Nekonvenční metody obrábění 9. díl. [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metodyhttp://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>

[Obr. 18-Tisk termoplastů, Obr. 19-Tisku kovů] 3D tisk-metody. 14220.cz. [online]. 01.05.2013 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tiskhttp://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/metody/>

[Obr. 20-Kolekce hotendů] Hot-end Collection. . *Hot-end Collection* [online]. 30.11.2013 [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://jheadnozzle.blogspot.cz/2013/11/hot-end-collection.html>

[2] 3D tisk. wikipedia.org. [online]. 21.1.2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk

[Obr. 21-SLA-1 první 3D tiskárna] 3D Printing: What You Need to Know!: The First 3D Printer. [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: http://www.pcmag.com/slideshow_viewer/0,3253,l=289174&a=289174&po=1,00.asp

[Obr. 22-První karosérie automobilu vytištěná na tiskárně] WOOLLASTON, Victoria. Print your own car in less than TWO DAYS: Read more: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2784792/Print-car-TWO-DAYS-Worlds-3D-printed-Strati-vehicle-costs-11-000-using-just-49-parts.html#ixzz3QCQIMNw6> Follow us: @MailOnline on Twitter | DailyMail on Facebook. [online]. [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2784792/Print-car-TWO-DAYS-World-s-3D-printed-Strati-vehicle-costs-11-000-using-just-49-parts.html>

[Obr. 23-Tiskárna Darwin] Darwin. rerap.org. [online]. 28.11.2014 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/Darwin>

[Obr. 24-Tiskárna RepRapPro Mendel] RepRapPro Mendel. rerap.org. [online]. 25.10.2013 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: http://reprap.org/wiki/RepRapPro_Mendel

[vzorce: 1 až 6] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2004, 753 s. ISBN 80-718-3312-6 [cit. 2015-03-25].

[vzorce: 7 až 15] KŘÍŽ, Rudolf, Karel WEIGNER a Jaroslav SVOBODA. *Stavba a provoz strojů III*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979. ., 164 s [cit. 2015-03-25].

12. Seznam obrázků

Obr. 1-Tisk reaktoplastu	9
Obr. 2-Tisk termoplastů	9
Obr. 3-Kolekce hotendů	10
Obr. 4-Sestava extrudéru	10
Obr. 5-Tisku kovů	10
Obr. 6-SLA-1 první 3D tiskárna.....	11
Obr. 7-První karosérie automobilu vytištěná na tiskárně	12
Obr. 8-Tiskárna Darwin	14
Obr. 9-Tiskárna RepRapPro Mendel	15
Obr. 10-Autodesk Inventor Profesional 2013	16
Obr. 11-Výsledek simulace	19
Obr. 12-Komponenty řídicí jednotky	22
Obr. 13-Komplet řídicí jednotky	23
Obr. 14-Program Slic3r	24
Obr. 15-Program Cura 15.01	24
Obr. 16-Sestava tiskárny	27

13. Přílohy:

Tab.1-Seznam součástí pro nákup

Tab.2-Seznam výkresové dokumentace

Kompletní výkresová dokumentace

13.1. *Obsah CD:*

- 1) Modely všech použitých součástí
- 2) Podsestavy a sestavy tiskárny
- 3) Elektronická verze zprávy
- 4) Elektronická výkresová dokumentace
- 5) Firmware Marlin (software tiskárny)

Tab.1-Seznam součástí pro nákup

rozměr	délka	počet kusů	cena za kus
broušené tyče			
12 mm	1000 mm	2	184,48
10 mm	500 mm	6	182
lineární kuličková ložiska			
Standardní lineární ložisko pro průměr tyče 12mm		6	43,90
Standardní lineární ložisko pro průměr tyče 10mm		6	43,20
závitové tyče			
M5	1000 mm	4	19
M10	1000 mm	3	32
spojovací materiál			
Šroub M3x10		20	0,42
Šroub M3x16		14	0,42
Šroub M5x10		30	1
Šroub M5x15		4	1
Šroub M5x20		8	1,20
Šroub M8x30		1	1,50
Šroub M8x16		1	2,30
Podložka M3		44	0,25
Podložka M5		60	0,50
Podložka M8		6	0,70
Podložka M10		22	1,10
Matice M3		12	0,75
Matice M5		36	1,20
Matice M8		4	1,50
Matice M10		22	1,80

trapezové závitové tyče			
R 10x2	440 mm	2	69,42
trapezová matice			
R 10x2 D=22 mm	15 mm	2	70,40

ložiska			
5		2	40
8		3	56,30
10		2	45
pojistné kroužky			
5 mm		2	2
19 mm		12	1
21 mm		12	2
řemen a příslušenství			
T 2,5	3000 mm	1	304
řemenice			
T 2,5 x16		2	190
krokové motory			
NEMA 17 0,36 Nm		4	351
NEMA 17 0,44 Nm		1	343
elektronika a řídicí jednotka			
RAMPS 1.4		1	824
ARDUINO MEGA 2560		1	628
LCD Smart kontrolér		1	690
ovladač motoru A4899		4	120
endstop v1.2		6	120
termistor 100k		1	60
průmyslový spínaný zdroj 350w 12v		1	999

ventilátor 30x30x15mm		1	165
-----------------------	--	---	-----

Tab.2-Seznam výkresové dokumentace

Název výkresu	Číslo výkresu
3D TISKARNA	MP_4.B_1.3_1
DESKA TISKARNY	MP_4.B_1.2_00
DOMECEK 12MM LOZISKA	MP_4.B_1.4_000
DESKA STOLU5mm	MP_4.B_1.3_001
PODLOZKA STOLU	MP_4.B_1.4_003
VZPERA 5mm	MP_4.B_1.4_004
DRZAK REMENE STOLU	MP_4.B_1.4_005
ZAKLADNA	MP_4.B_1.2_01
BLOK STOLU	MP_4.B_1.4_100
STREDNI BLOK STOLU	MP_4.B_1.3_101
VRCHNI STREDOVY DIL	MP_4.B_1.4_102
SIKMY VYSTUZ	MP_4.B_1.4_103
ZAVITOVA TYC M10x1000	MP_4.B_1.4_104
ZAVITOVA TYC M10x500	MP_4.B_1.4_105
ZAVITOVA TYC M5x730	MP_4.B_1.4_106
ZAVITOVA TYC M5x690	MP_4.B_1.4_107
ZAVITOVA TYC M5x80	MP_4.B_1.4_108
VEDENI 12MM	MP_4.B_1.4_109
VEDENI 10x500	MP_4.B_1.4_110
DRZAK MOTORU PODELNY	MP_4.B_1.4_111
ZDVIH R10x2	MP_4.B_1.4_112
PRICNY POSUV	MP_4.B_1.2_02
SVISLY POJEZD	MP_4.B_1.4_200
DELENY NABOJ	MP_4.B_1.4_201
DRZAK MOTORU PRICNY	MP_4.B_1.4_202

DRZAK REMENICE	MP_4.B_1.4_203
EXTRUDER	MP_4.B_1.3_03
BLOK PRICNEHO POSUVU	MP_4.B_1.4_300
DRZAK HOTENDU	MP_4.B_1.4_301
PRITLACNE RAMENO	MP_4.B_1.4_302
POSLOZKA	MP_4.B_1.4_303
PODAVACI KOLECKO	MP_4.B_1.4_304
TAHLO	MP_4.B_1.4_305
NAPINAC	MP_4.B_1.4_306
DRZAK MOTORU	MP_4.B_1.4_307
DRZAK REMENE PRICNY	MP_4.B_1.4_308