

Mendelova univerzita v Brně
Provozně ekonomická fakulta

Zařízení na výrobu filamentu pro 3D tiskárnu

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Michal Hammerschmiedt

Jakub Hohn

Brno 2016

Děkuji svému vedoucímu, panu Ing. Michalu Hammerschmiedtovy, za trpělivost, rady, poznatky, vstřícnost a vedení mé práce. Také bych rád poděkoval svým přátelům, Robertu Čížkovy mimo jiné za to, že byl mi ochotný pomoci v době, kdy byl sám vytížen a Mgr. Martinu Juránkovy za pomoc a rady během studia. Dále pak bych chtěl poděkovat svým rodičům, Ing. Jitce Hohnové, za poskytnuté korektury a Ing. Janu Hohnovy, za cenné rady, a za podporu po celou dobu mého studia. Také bych chtěl poděkovat svým nadřízeným za vstřícný přístup.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Zařízení na výrobu filamentu pro 3D tiskárnu** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 22. května 2016

.....

Abstract

Hohn J. Filament extruder. Bachelor thesis. Brno: Mendelu university in Brno, 2016.

This thesis contains information regarding making of filament extruder, including technologies necessary for its assembly, and workflow. This thesis also contains elaboration of possible solutions for achieving required result with reasoning why such solutions were chosen or not. The goal of this thesis is to create filament extruder by utilising commonly accesable parts. Outcome of this thesis is assembled filament extruder.

Keywords

Extruder, filament, 3D print, plastics processing, filament making

Abstrakt

Hohn J. Filamentový extruder. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016.

Tato práce se zabývá vytvořením extruderu filamentu včetně technologií potřebných k jeho vytvoření a postupu práce. Součástí práce je také rozbor možných řešení k dosažení požadovaného výsledku s odůvodněním, proč byly tyto řešení vybrány či nikoliv. Cílem práce je vytvořit filamentový extruder za užití běžně dostupných součástí. Výsledkem práce je sestavený filamentový extruder.

Klíčová slova

Extruder, filament, 3D tisk, zpracování plastu, tvorba filamentu

Obsah

1	Úvod	14
2	Co to je a jak se nazývá aditivní 3D tisk	15
2.1	Extruzivní tisk	16
2.2	Stereolitografie	17
2.3	Laminated object manufacturing (LOM)	17
2.4	Direct Metal LASER Sintering (DMLS)	17
2.5	Speciální případy 3D tiskáren	18
2.6	Bio tisk	19
2.7	Nano tisk	19
2.8	Molekulární tisk	20
3	Plasty a polymery - terminologie	21
3.1	Polymer	21
3.2	Plast	21
3.3	Plniva	22
3.4	Kompozitní filameny	22
4	Co je to filament a filamentový extruder	25
5	Srovnání extruderů filamentu	26
5.1	Extruder Filabot	26
5.2	DYI extruder	27
5.3	Extruder Noztek	28
5.4	Extruder ProtoCycler	29
5.5	Extruder Ewe	30
5.6	Zhodnocení stávajících extruderů	30
6	Recyklace PET lahví	32
6.1	Ceny granulátů a filamentu	33
7	Metodika	34
7.1	Tělo extruderu	34
7.2	Nahřívání a řízení	36
8	Konstrukce	41
8.1	Nahřívání	41
8.2	Praktické zpracování měření teploty	44
8.3	Řízení	44
8.4	Doprava	48

9 Závěr	49
9.1 Shrnutí práce	49
9.2 Zhodnocení výsledků	50
9.3 Možná vylepšení	50
10 Reference	51
Přílohy	53
A Fotografie filamentového extruderu	54
B Zapojení nahřívacího obvodu	55

Slovník pojmů

3D tisk	Tisk prostorových objektů, v praxi myšleno převážně objektů plasotvých
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren, druh plastu
Bioprinting	Tištění biologických materiálů
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
CNT	Carbon nanotube, karbonové nanotrubic
DMLS	Direct Metal laser sintering, natavování pomocí laseru
EBM	Electron-beam melting, tavení elektronovým paprskem
Extruder	Výrobní zařízení využívající k produkci teplotu a tlak
Extruzivní tisk	Výroba pomocí tlaku a teploty
FDM	Fused Deposition Modeling, modelování pomocí přidávání
FFF	Fused Filament Fabrication, tvázení pomocí spojování filamentu
Filament	Plastový drát využívaný v 3D tiskárnách jako náplň
Filamentový extruder	Výrobní zařízení využívající tlaku a teploty k výrobě filamentu
Interface	Rozhraní, nejčastěji myšleno mezi strojem a člověkem
Kompozitivní filamenty	Filamenty které jsou složené z více různých materiálů
LOM	Laminated object manufacturing, výroba pomocí řezů laminátu
Molekulární tisk	Tisk v rozlišení jednotlivých molekul
Metalické filamenty	Kompozitní filamenty, kde jedna z jejich složek je metalická
Nanoprinting	Tisk v rozlišení jednotlivých atomů
Nanotubicové filamenty	Kompozitní filamenty s příměsí nanotubic
Nylon	Označení pro skupinu syntetických polymerů
PES	polyestery, označení skupiny plastů
PET	polyetylentereftalát, druh plastu
PID regulátor	Regulátor složený z proporcionální, integrační a derivační části
PJP	Plastic jet printing, tisk pomocí tryskání plasu
PLA	Polylactidová kyselina, druh plastu
Plniva	Aditiva do plastu
Polymer	Makromolekula, de facto jiný název pro plast
Pracovní teplota	Teplota, ve které je možné materiál zpracovávat
PVC	polyvinylchlorid, druh plastu
Rapid prototyping	Jiný název pro 3D tisk vzniklý na základě jeho využití k výrobě fyzických prototypů velkou rychlostí
Reaktoplast	Plast, který nedestruktivně tepelně zpracovat nelze
Rezistor	Jiný název pro odpor
SLM	Selective laser melting, selektivní natavování laserem
SLS	Selective laser sintering, modernější verze DMLS
Stereolitografie	Velmi přesná výroba využívající 3D lázeň
Toroid	Těleso v prostoru získané rotací uzavřené rovinné křivky (např. kružnice) okolo osy ležící v rovině křivky a neprotínající křivku.
Toroidová cívka	Cívka s jádrem v toroidovém tvaru
Termoplast	Plast, který nedestruktivně tepelně zpracovat nelze

Orientace v textu

Název funkce

Tělo funkce

Proměnná či přiřazení konstanty

1 Úvod

3D tisk je velmi se rozmáhající se formou výroby realizované pomocí 3D tiskáren. Tato technologie stále není v povědomí mnoha lidí, avšak je možné, že v budoucnu bude mnohem důležitější součástí života člověka než je tomu dnes. Jako jakákoliv forma fyzické výroby vyžaduje i 3D tisk materiál, ze kterého bude výrobek tvořen. V případě 3D tisku je to filament, a výroba filamentu je nedílnou součástí celého procesu. Cílem mé práce bude navrhnout a vytvořit tento filamentový extruder včetně jeho ovládacích prvků.

2 Co to je a jak se nazývá aditivní 3D tisk

Nejprve udělejme jednoznačnou klasifikaci aktuálních metod výroby označované jako 3D tisk nebo Rapid prototyping. Na základě této klasifikace je možné identifikovat technologie, pro které by bylo praktické realizovat vývoj filamentu.

V mnoha případech jsou také využívány několikero výrazy pro stejnou technologii, mnohé z nich jsou používány nesprávně. Tyto nesprávně používané termíny se také pokusím identifikovat.

Napřed si definujme, co to 3D tisk je: „3D tisk, nebo také rapidní prototypování, je proces tvorby 3 dimensionálních objektů z digitálního zdroje.“ (3DPrinting.com., 2015) Toto je definice uvedená na výše uvedené stránce.

Avšak tímto ještě tamní definice nekončí, pokračuje „Při tvorbě objektu je využito aditivních procesů. Při aditivním procesu je pokládána vrstva po vrstvě, dokud požadovaný objekt není vytvořen.“

V tomto bych si dovolil s definicí nesouhlasit. Takováto definice totiž popisuje pouze jeden typ 3D tisku, a to takzvaný aditivní. Jsou i jiné formy 3D tisku, a tato záměna je způsobena dostupností a patenty, které technologie zatěžují.

2.1 Extrusivní tisk

V následujících podkapitolách rozdělím extrusivní tisk na 2 kategorie, protože se reálně na dvě kategorie dělí. Bohužel, nemohu přidělit jednotný název každé z kategorií, protože to je problém, který budu v následujících kapitolách řešit, a to totiž ten, že je více sumárních názvů pro každou kategorii, a tyto názvy jsou v rámci svých skupin ekvivalentní a také jsou všechny používané (alespoň dva na sobě nezávislé výskyty).

Prozatím rozdělím názvy do kategorie „standardní“, protože když se obecně mluví o 3D tisku, většinou se myslí tento způsob, a do kategorie „speciální“ protože, ač je založen na technologiích způsobu „standardního“, tak má oproti němu jiné vlastnosti, dobré i špatné.

„Standardní“

Prvním z těchto názvů, se kterým se lze setkat, je FDM, Fused Deposition Modeling. Nicméně, na trhu jsou i další technologie, a je velmi častým jevem, že na stránkách zabývajících se 3D tiskem, tyto dvě věci zaměňují. Každé FDM je 3D tisk, ale ne každý 3D tisk je FDM.

Také je třeba představit FFF tisk, Fused Filament Fabrication, a ještě PJP, Plastic Jet Printing (www.3dsystems.com, 2015), či také prostě Jet Printing.

Všechny tyto tři názvy (FFF, PJP a FDM) vyjadřují stejnou věc, vznikly pouze z důvodů legálních, aby daný název nebyl svázán žádným zákonem a mohl být využíván libovolně, kdežto FDM je registrován Stratasys Inc, FFF byl dokonce vytvořen uměle pro specifický projekt, komunitní, open-source tiskárnu, která má být schopna tisknout maximum dílů, ze kterých je sama složena. (reprap.org, 2015).

PJP je velmi užívaný, pravděpodobně právě z právních a autorských důvodů, a stává se populárním termínem pro označení aditivního tisku jako takového, nicméně na mnoha stránkách je využito pojmenování FDM, protože je toto pojmenování nejstarší, celá kategorie tisku pod názvem FDM vznikla, což má samo o sobě velkou váhu, která snadno převažuje negativa. Jak již bylo výše zmíněno, FFF bylo stvořeno pouze pro specifický účel, tudíž není příliš rozšířené, avšak na některých místech je využíván také.

Tento typ tisku je pro záměr vývoje ideální. Je velmi rozšířený, patenty na tuto technologii nejsou a samotná technologie poskytuje velký rozsah možných materiálů, které je možné využít pro tisk. Je tudíž možné předpokládat, že tato technologie poskytne největší potenciál pro další rozvoj, je schopna odpustit drobné chyby a zároveň je schopna velké invence.

„Speciální“

Druhá skupina obsahuje Robocasting a Direct Ink Writing (DIW). Zde se zdá být terminologie jasnější, Robocasting je nejčastějším názvem, protože DIW je spíše popis procesu než názvem, ale i tak se stačil rozšířit.

Robocasting je metoda, která se používá na exaktní tisk. Má své nevýhody, jako například, že výrobky mají vlastnosti nepálené keramiky či litého skla (kvůli tomuto názvu casting, jakožto slévání) a musí se zatvrdit. Na druhou stranu je velmi přesná. Právě robocasting je využíván na tvorbu umělých protéz (nikoliv však na tvorbu implantátů, tyto vyžadují jiné metody, tzv. bioprinting).

Technologie DIW je také velmi perspektivní. Její realizace je složitější, tudíž může vzniknout problém s obstaráním tiskárny a také s optimalizací samotného filamentu, protože aby filament mohl fungovat, musí splňovat zatím neznámá kritéria, jejichž přítomnost je možné předpokládat ze stylu, jakým tato tiskárna funguje.

2.2 Stereolitografie

Stereolitografie je nejstarší technologie 3D tisku, patentovaná v roce 1986 (Charles Hull, spoluzakladatel 3D Systems, Inc) /citestereolithography

Jedná se o tisk z lázně tekuté, pod UV světlem tvrdnoucí látky, nejčastěji plastu (photopolymer). V lázni se nachází těsně pod hladinou platforma. Samotný postup vypadá tak, že na látku se svítí UV laserem, látka ztvrdne, a „přilepí“ se k platformě. Tímto způsobem se vytvoří první vrstva požadovaného předmětu. Když je první vrstva hotová, platforma se sníží a pokračuje se na vrstvě druhé. Typická tloušťka vrstvy je 0.05 mm až 0.15 mm.

Tato technologie je vzhledem k záměru mé práce, vytvářet filament, nepřijatelná. Existuje několik málo způsobů jak (dnes) vytvářet filament pro stereolitografické tiskárny, žádný z nich není dostatečně ekonomický a žádný z nich nesplňuje mé požadavky na složení a potenciál filamentu.

2.3 Laminated object manufacturing (LOM)

LOM je technologie v základu velmi jednoduchá. V zásobníku je tenký film (plastový, kovový, nebo třeba papírový). Tento film je vinut přes platformu, na které je tvořen požadovaný objekt. Jedna vrstva objektu je vytvořena tak, že je z plochy filmu vyříznuta silueta aktuální vrstvy a následně přilepena na vrstvy předchozí. Film je pak odvinut tak, aby nad objektem byla opět neporušená, celistvá vrstva a proces se opakuje.

2.4 Direct Metal LASER Sintering (DMLS)

Jedná se o technologie založené na tisku do vrstvy „prachu“ (Powder bed). Různým způsobem je do tohoto prachu vytvořena aktuální vrstva požadovaného výrobku, zbytek prachu je následně odstraněn (a často znovu využit).

Pomocí paprsku se taví prach v požadovaném tvaru. Roztavený prach poté ztuhne slitý. Proces probíhá ve vakuu, což z něj dělá ideální prostředek na práci s materiály, které jsou velmi reaktivní s kyslíkem, například titan, a probíhá při teplotách až 1000° C.

Některé z těchto názvů bývají zaměňovány. SLM (popsáno níže) je často zmiňováno jako DMLS. Na některých místech je zase jako SLM označována obecná kategorie, DMLS jako konkrétní aplikace této technologie na kovy. Občas také lze narazit na název Laser Cusing, avšak toto je pouze obchodní název některé z jiných technologií (www.twi-global.com, 2015).

1. Selective laser melting (SLM): Velmi podobná technologie jako EBM, místo elektronového paprsku však využívá laseru.
2. Electron-beam melting (EBM): Ač se technicky nejedná o laser, většinou je tato technologie zmíněna společně s SLM, protože jediný rozdíl je, že využívá paprsku elektronového namísto fotonového
3. Selective laser sintering (SLS): Relativně nová metoda, která namísto úplného roztavení materiálu materiál jenom nahřeje.

Tato technologie je ale pro tuto práci nepřijatelná. Ne z důvodu, že by byl problém s vlastním filamentem, ale velký problém je s tiskárnou. Není k dispozici žádná, kterou by bylo praktické pořizovat, většina z těch, co lze sehnat, je svojí cenou na úrovni industriálních CNC strojů.

2.5 Speciální případy 3D tiskáren

Existuje mnoho 3D tiskáren, které nelze přímo zařadit do standardních kategorií, alespoň bych ale chtěl přiblížit několik velmi zajímavých exemplářů:

SiSpis

Robotické mobilní tiskárny SiSpis jsou dnes spíše konceptem. Jejich primárním přínosem je schopnost tisku velkých 3D projektů, kdy roboti budou moci pracovat kooperovaně a společně zadaný velký projekt zkonstruovat. Jedna z vlastností toto umožňující je schopnost poznat, kdy dochází energie v bateriích a vrátit se na nabíjecí stanici, přičemž během výrobního procesu může jiný robot plynule navázat na práci předchozího, tudíž práce bude probíhat nepřetržitě. (Benedict, 2015)

Dalším z hlavních konceptů robotů SiSpis je vymezení prostoru, který je jím delegován. Toto je vytvořeno pomocí virtuální „krabice“, ve které budou přiřazení roboti pracovat. Uvnitř takto vytvořené krabice bude jejich delegovaný prostor, který musí být dostatečně velký, aby obsáhl celý zamýšlený výrobek. To, co se týče teorie, je krom dostatku materiálu a energie vše, co tito roboti potřebují. Jedná se o, nejspíše jedno z prvních, „mobilních výrobních zařízení“ - Livio Dalloro. (Chris Weller, 2016). Přístup Siemensu k 3D tisku mne zaujal kvůli svému širokému užítí a celkovému konceptu.



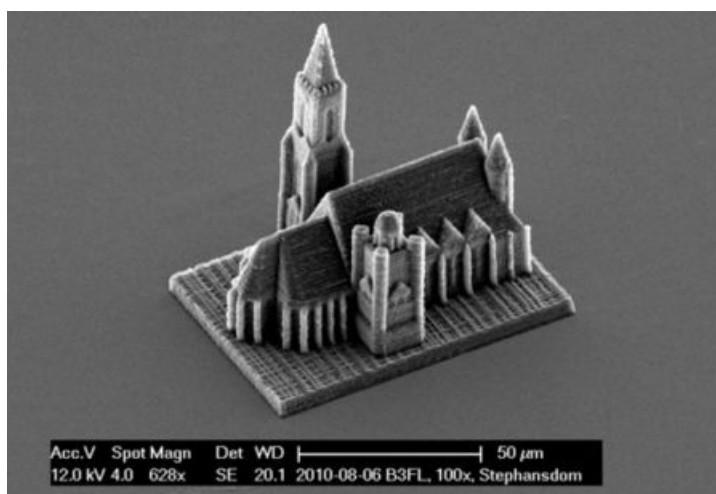
Obrázek 1: Clusterový pavoučí robot SiSpis. (<http://www.3ders.org/>, 2016)

2.6 Bio tisk

Tisk z organických materiálů (Bioprinting) je velmi zajímavý z mnoha úhlů pohledu. Většina 3D tiskáren je však zcela mimo dosah běžných lidí. O to více je přitažlivá myšlenka vytvoření tohoto zařízení „na koleně“. Jedná se o velmi rudimentální zařízení, které nejspíše nesplní očekávání mnoha lidí, kteří si vytvoří tuto tiskárnu za účelem tisku komplexních organických předmětů, nicméně myšlenka je jinde. Jde o důkaz konceptu, kdy pomocí málo zdrojů je možné vytvořit velmi zajímavý nástroj, na kterém autoři, dle jejich slov, byli schopni vytvořit ve tmě svítící bakterii E-COLI (Patrik., 2016). Je nutno poznamenat, že tento návod je myšlen jenom jako stavební kámen potenciální technologie, která se časem může objevit, ale potenciál této technologie je dle mého názoru sám o sobě tak zajímavý, že i samotná myšlenka a jednoduchý návod, jak vytvořit něco takto významného „na koleně“, si zaslouží alespoň zmínku.

2.7 Nano tisk

Nano tisk (Nanoprinting) je manipulace materiálů, jak název napovídá, na úrovni nanometrů. Jedná se o zatím spíše teoretickou či akademickou technologii, která, ač existuje, je v praxi nevyužitelná. Hlavní důvody, proč je nevyužitelná, je délka tisku, kdy tento tisk je velmi časově náročný, a to i v případech, kdy je tištěný výrobek malý a vyžaduje velkou přesnost, například mikroprocesory. Vzhledem k tomu, že tato technologie doznala podstatných průlomů teprve v roce 2012, není žádným divem, že je tato technologie zatím v plenkách, nicméně pokroky, které se každým rokem na tomto poli objevují, jsou velmi pozoruhodné. Bude nejspíš trvat ještě dlouho, než bude nanoprinting skutečně použitelný v širokém průmyslu. Možná tato alternativa nikdy nenastane, protože samotná podstata nanoprintingu je vytvářet extrémně malé a přesné výrobky. Již dnes každopádně nanoprinting dosahuje stonásobné přesnosti oproti stereolitografii, dokonce přesahuje svoji přesností i UV litografii, která se z obecných zdrojů zdá být považována za extrémně přesnou. (Dehue R., 2012)

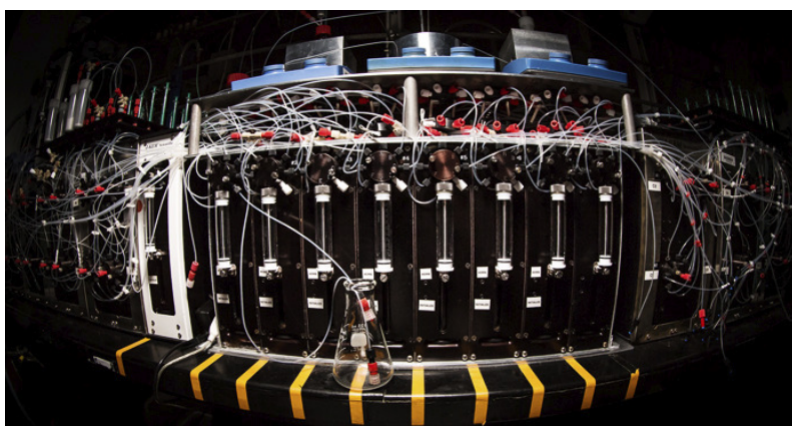


Obrázek 2: Tištěný výrobek nanoprinterem, velikost zrnka písku. (3dprinting.com, 2016)

2.8 Molekulární tisk

Možná že jednoho dne budeme tisknout ze samotných atomů a molekul. I když je tato alternativa dnes velmi vzdálená a pro mnoho lidí nepředstavitelná, tým PhD/MD Martina D. Burkeho udělal velký pokrok, když syntetizoval malé molekuly, tedy molekuly s hmotností menší než 900 daltonů s proteinovými strukturami. Tyto molekuly jsou nejčastěji používány v pesticidech či elektronice jako například LED nebo solárních článcích. *“Chtěli jsme vzít velmi složitý proces, chemickou syntézu, a zjednodušit ji...Jednoduchost umožňuje automatizaci, která, na druhou stranu, může umožnit mnohé objevy a přináší značnou sílu tvorby molekul ne-specialistům.”* - Martin D. Burke, 2015.

Budoucí snaha a směr výzkumu u molekulárního tisku bude vytvoření systému, který je schopen rozkládat velmi složité sloučeniny a využívat je při tisku jako stavební kostky. (Krassenstein B., 2015)



Obrázek 3: Molekulární tiskárna. (3dprint.com, 2016)

3 Plasty a polymery - terminologie

3.1 Polymer

Termín polymer vznikl složením z řeckého slova poly, což znamená více, mnoho, a z řeckého slova mer, což znamená část. Polymer je syntézou vzniklá makromolekula pomocí mnohokrát se opakující, ale zároveň jednoduché reakce, na jejímž počátku je tzv. monomer. Monomer je látka, která musí být schopna alespoň dvou chemických vazeb se sousedními skupinami, tedy musí být alespoň dvoufunkční. Reakci, kterou polymer vzniká, říkáme polymerizace. Rozlišujeme polymerizaci aditivní a kondenzační. Makromolekula je vlastně pouze molekula vzniklá provázaným řetězcem více monomerů. Jeden polymer může být tvořen tisíci monomery, které jsou provázány dvojitou vazbou, která se vyznačuje svojí pevností. V přírodě se polymery vyskytují například v podobě aminokyselin. Názvy jednotlivých druhů plastů jsou odvozeny z monomerů, které jsou při jejich tvorbě použity, například z rodiny vinylových plastů je polyvinylchlorid (PVC), z rodiny polyesterů (PES) je polyetylentereftalát (PET), který je velmi, velmi rozšířený, od lahví až po bytové textilie. (www.materialsworldmodules.org)

3.2 Plast

V obecné mluvě je obecně používán termín plast, resp. plastová hmota, jako zástupce celé skupiny chemických sloučenin. Toto použití je správné, nicméně je dobré oddělit, co přesně tento termín představuje v technické terminologii a jakým způsobem se liší od polymerů.

Plasty se velmi často definují jako polymer + plniva (příměsí). Technicky vzato jsou příměsí nepovinnou součástí, ale pro všechny praktické účely jsou příměsí nutné z ekonomických a mechanických důvodů, také v poslední době začínají vznikat i příměsí pomáhající rozkladu a recyklaci plastů, protože jsou příměsí žádoucí i z environmentálních důvodů. Jinými slovy, je zjevné, že hlavní rozdíl mezi polymerem (v přírodě se hojně vyskytující sloučenina) a plasty (pouze synteticky vytvořená sloučenina) jsou právě plniva. Název plasty se mimo jiné také používá proto, že plasty bývají v závislosti na svém typu velmi tvárné, plastické.

Termín umělá hmota je v běžné mluvě často používán a je do značné míry správný, protože přijmeme-li definici umělého jakožto „vyskytující se pouze po úmyslném zásahu člověka“, plasty se bez zásahu člověka v přírodě nevyskytují.

Pro účely tvorby filamentu jsou důležité ještě termíny reaktoplast (dříve termoset) a termoplast. Jedná se o rozdělení plastů dle jejich vlastností po prvotním zpracování. Reaktoplasty jsou zesíťované polymery, které vytvářejí prostorovou trojrozměrnou síť. Tato síť je ale tvořena až při tepelném a tlakovém zpracování a jakmile je vytvořena, již není možné ji změnit. Jinými slovy, plast není po prvotním zpracování již možné roztavit, je možné ho maximálně spálit či jinak tepelně znehodnotit.

Termoplast je plast, který od určité vyšší teploty měkne až kapalní a po ochlazení se stane pevným, a to i v případě potřeby i opakovaně.

3.3 Plniva

Plniva jsou velmi podstatnou součástí moderních plastů. Plniva ovlivňují vlastnosti plastů velmi podstatně, například protipožární retardanty jsou zákonnou součástí mnoha ve stavebnictví používaných plastových materiálech.

Plniva se rozdělují dle různých vlastností, nejčastěji je to:

1. materiál:
 - a) minerální plniva, obvyklý přínos je zlepšení tuhosti
 - b) elastická plniva, zlepšují houževnatost kompozitu
2. tvar částic plniva:
 - a) částicová plniva
 - b) krátká vlákna
 - c) kontinuální vlákna

Množství plniva zvyšuje jeho přínos pro plast, nicméně při překročení určité hranice koncentrace příměsi dochází ke zhoršení mechanických vlastností plastu. Je tedy nutná optimalizace množství příměsí tak, aby byl daný plast svými vlastnostmi co nejbližší ideální požadavku (www.fsiforum.cz).

3.4 Kompozitní filamenty

S rozšiřováním 3D tisku se rozšiřuje i materiální věda týkající se filamentu. Značná část výzkumu se zabývá zkoumáním příměsí, které lze přidat až při tvorbě filamentu. Existují různé druhy příměsí. Některé jsou mířené na změnu vzhledu, například barvy, mnoho jiných na změnu fyzikálních vlastností filamentu. Filamentům s příměsemi se říká kompozitní filamenty. Rozlišujeme mnoho různých příměsí. Krom níže rozvedených existují velmi zajímavé filamenty s příměsí, mimo jiné s příměsí kamenů či vosku.

Metalické filamenty

Metalické filamenty bývají prezentovány jako mezikrok mezi tiskem z plastů a tiskem čistě z kovů, kdy 3D tiskárny, které jsou schopné tisknout z čistého kovu, jsou dnes drahé a dostupné pouze velkým výrobcům, jiné jsou neefektivní a pomalé, experimentální či z jiných důvodů nepraktické. Metalické filamenty obcházejí nutnost vysokých teplot a náročných procesů tím, že při jejich použití nemusí tiskárna nutně zpracovávat samotný kov, protože je přidáný v plastu často v podobě malých kousků.

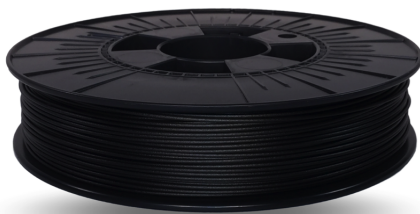
Kovy používané v těchto filamentech bývají snadno zpracovatelné, například bronz či hliník. Někteří výrobci filamentu udávají, že cín není pro tento účel vhodný, a to hlavně proto, že skutečně dochází ke zkapalnění cínu a následnému ničení plastu, který měl cín podporovat.



Obrázek 4: Bronzový kompozitní filament. (<http://www.makergeeks.com/>, 2016)

Nanotubicové filamenty

Co jsou nanotrubice? Celým názvem karbonové nanotrubice, anglicky carbon nanotubes, zkráceně CNT. CNT jsou velmi odolné, lehké, vodivé, mikroskopické trubice tvořené pouze atomy karbonu. CNT existovaly již delší dobu a přes své zajímavé vlastnosti se nevyužívaly v takové míře, jak by si zasloužily. Převážným důvodem byla absence snadné a smysluplné implementace, při které by se CNT nestaly zbytečnými. Odolnost CNT se bohužel nepřenáší do odolnosti filamentů, protože polymery se nedokáží navázat na molekuly karbonu. Nicméně, při dostatečné koncentraci CNT se stává filament vodivý, ale ztrácí své mechanické vlastnosti. CNT filamenty tedy mohou nahradit kovy tam, kde není podstatná odolnost kovů, ale vodivost filamentu je velmi zajímavá vlastnost umožňující jeho aplikaci například na elektronické komponenty.



Obrázek 5: Nanotubicový kompozitní filament 3DXNANO ESD ABS. (<http://www.3dxtech.com/>, 2016)

4 Co je to filament a filamentový extruder

Filament je v kontextu 3D tiskáren náplň v podobě plastového drátu, s průměrem nejčastěji mezi 1.75 mm a 3 mm. Volně dostupné filamentsy se liší barvou, složením a průměrem.

Filamentový extruder (dále jen „extruder“) je stroj, který vytváří z různých typů plastů a příměsí filament do 3D tiskáren pomocí teploty a tlaku. Základem konstrukce je zásobník s hmotou, dopravník (nejčastěji šroub) a tryska. Tryska bývá nahřívána na teplotu, která je dost vysoká k roztavení plastu a zároveň dost nízká na to, aby plast teplem nepoškodila. Také tloušťka filamentu je určena dle profilu trysky. Mezi dostupnými extrudery existuje několik podstatných variací, kterými se liší. Jednou z velmi podstatných variací mezi extrudery je chlazení, které určuje, jak dlouho může daný extruder fungovat, a stupeň automatizace stroje.

Standardní plasty na filament jsou:

- PLA(Polylactic Acid), teplota zpracování 180-220°C
- ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), teplota zpracování 220-235°C
- Nylon(Polyamide), teplota zpracování 235-270°C
- PET(Polyethylene Terephthalate), teplota zpracování 235-270°C

(www.matterhackers.com, 2015)

Teplota zpracování nemusí nutně odpovídat teplotě, kdy plast kapalní. Tato teplota je bodem, kdy začíná být možné daný plast zpracovat na filament.

5 Srovnání extruderů filamentu

5.1 Extruder Filabot

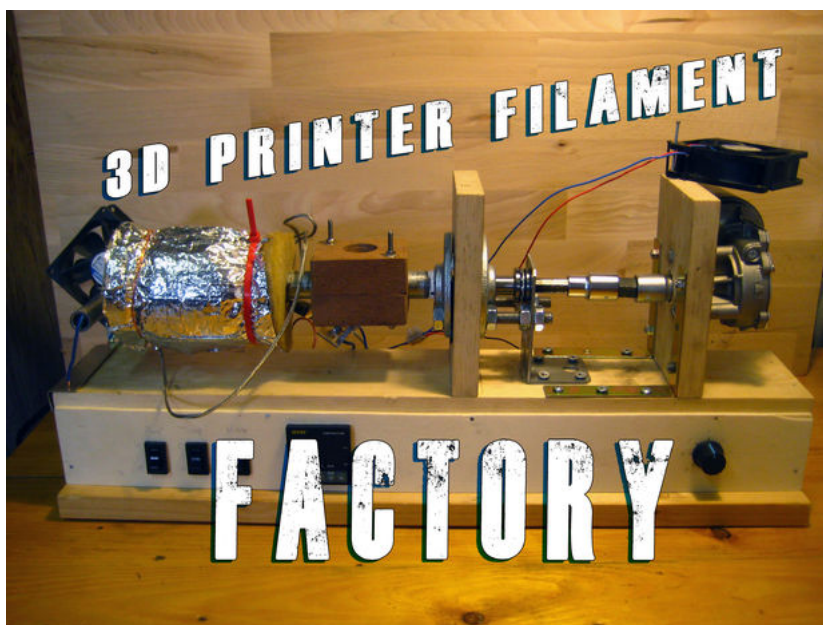
Na první pohled vypadá filabot vcelku jednoduše, téměř amatérsky. Avšak v jednoduchosti může být síla. Maximální pracovní teplota je stanovena na 450°C. Výrobce udává, že potenciální úspora na filamentu může být až 90 %. Jako mnoho jiných extruderů je filabot schopen zpracovat i již jednou využité plasty, což je ostatně jeden z důvodů, proč jsou extrudery používány, nicméně už z tohoto důvodu je až téměř zvláštní, že výrobce tuto vlastnost tolik propaguje, protože je implicitně daná, a je relativně nepravděpodobné, že uživatel, který shání extruder, nebude s touto vlastností obeznámen, neboť právě úspora je hlavním důvodem, proč extruder shánět. Je zjevné, že kryt byl udělán velmi jednoduše a prakticky, což ale není vůbec na škodu. Pro mnoho uživatelů bude podstatnou vlastností praktičnost, nikoliv estetičnost extruderu. Je vidět, že co se týče chlazení, není příliš zohledněno v obecné konstrukci, chybí jakékoliv ošetřování filamentu za tryskou a vnitřní funkce jsou omezeny na absolutní funkční minimum pro splnění účelu. Přes tyto výhrady je Filabot schopen svůj účel splnit, a to je vše, co by měl uživatel od dané věci chtít. Na druhou stranu je z konstrukce patrné, že není příliš otevřená, na delší dobu by mohl být tento extruder nevhodný, protože bude možná problém s přehříváním. Mohlo by docházet nejen k přehřívání okolo trysky, ale k přehřívání celého stroje (www.filabot.com, 2015).



Obrázek 6: Fotografie extruderu Filabot. (www.filabot.com, 2016)

5.2 DIY extruder

Jak bývá pravidlem u DIY (do-it-yourself) návrhů, je tento extruder velmi jednoduchý na sestavení a výsledek má daleko od kvalit extruderů komerčních. Na druhou stranu je dle názoru uživatelů spolehlivý, a ač postrádá většinu technicky velmi zajímavých vlastností, kterými se honosí jiné extrudery, je stále praktický a svoji roli zastává dobře. Jedná se navíc o stroj, který si musí uživatel sám sestavit, takže si každý může upravit konstrukci dle svých potřeb a představ. Inzerovaná konstrukce má velkou nevyužitou plochu. Tato plocha však může být využita k chlazení, takže, ač bezprostředně nevyužita, může být nakonec užitečná (ianmcmill, 2015).



Obrázek 7: Fotografie vzniklého extruderu. (www.instructables.com, 2016)

5.3 Extruder Noztek

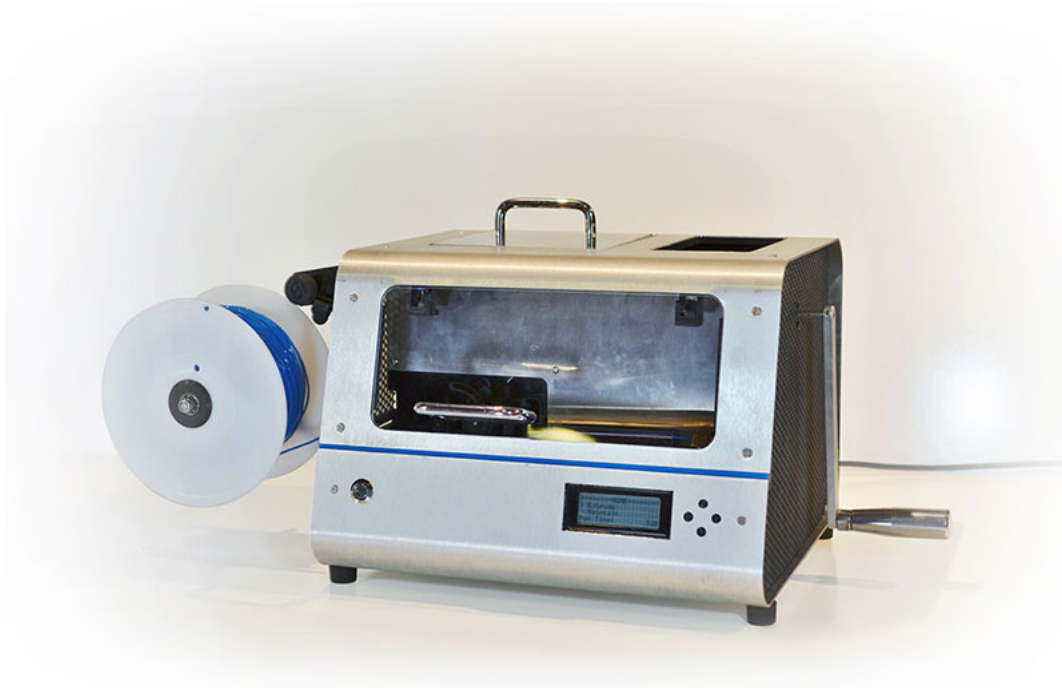
Noztek je profesionální. Je to patrné z každého detailu, který nám jeho výrobci představují. Digitální displej, hladká konstrukce, náklon, který zlepšuje transport hmoty. Jak výrobce udává, je to jeden z velmi mála extruderů přicházejících v „ready-to-use“, jinými slovy není třeba žádná montáž. Také jako jeden z mála je zde přítomen ventilátor za tryskou. Noztek bude v mnohém výkonnější než jiné extrudery. Nevýhodou ale je podprůměrná teplota trysky, protože teplota 300°C by mohla být v některých případech možná nedostatečná. Přesto že veškeré běžně používané plasty tato teplota spolehlivě zpracuje, není vyloučeno, že při využití exotičtějších plastů bude tato teplota nízká. Tato výtku ale není na místě, pokud se bavíme o „běžném uživateli“, jinými slovy o člověku, který se nesnaží vytvořit speciální filament, ale pouze zásobovat své 3D tiskárny (www.noztek.com, 2015).



Obrázek 8: Inzerovaná fotografie extruderu Noztek. (www.noztek.com, 2016)

5.4 Extruder ProtoCycler

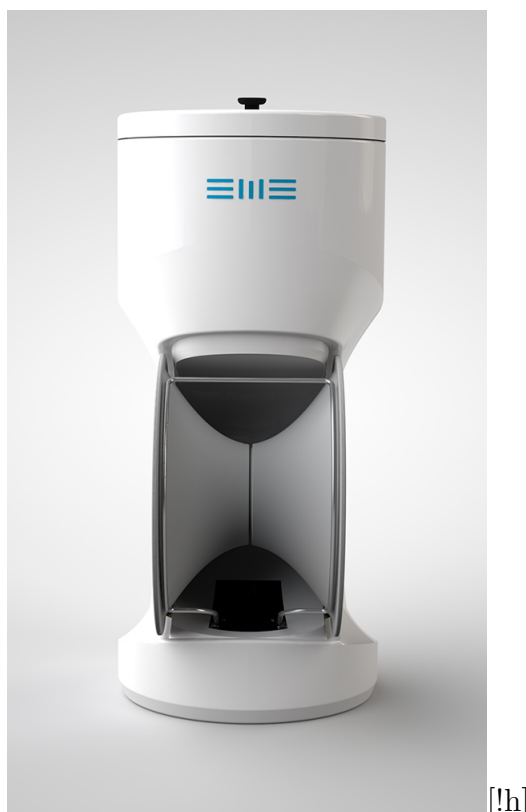
Stejně jako u Nozteku, i zde je vidět profesionální konstrukce, která byla zaplácena z peněz dárců na Kickstarteru (společnost zabývající se finanční podporou začínajících projektů formou dotací od patronů). Protocycler ošetřuje optimální průtok plastu a zamezuje rozdílnému průměru filamentu. Na stránkách ProtoCycleru je inzerováno, že je průměr filamentu velmi stabilní, k čemuž je také mimo jiné využito kontrolního zpětnovazebného obvodu. Z dostupných extruderů se jedná, alespoň dle inzerovaných vlastností, o jeden z nejlepších. Také jeho standardní verze obsahuje „recycler“ (drtičkou na plast, která zajistí zpracovatelnost i větších kusů plastu na filament). Dalším velmi podstatným faktorem je plná automatizace extruderu, která se jistě může hodit, protože ne vždy bude mít uživatel čas na osobní kontrolu a dohled (www.redetec.com, 2016).



Obrázek 9: Inzerovaná fotografie extruderu ProtoCycler. (www.redetec.com, 2016)

5.5 Extruder Ewe

U extruderu EWE je znát snaha o reprezentativní vzhled, čehož je dosaženo štíhlou, uhlazenou vnější konstrukcí. Což ale znamená, že vnitřní struktura bude spíše horší, než jaká je k mání u jiných výrobců. Například maximální teplota 250°C je naprosto nedostačující, a skutečnost, že výrobce udává minimální teplotu na 40°C, je téměř irrelevantní, protože takto nízké teploty není třeba u žádného plastu, ale mohla by nastat situace, kdy by toto nastavení šlo využít. Z hlediska ovládání ale k dispozici displej a joystick, takže uživatel může využít kvalitní interface (eweindustries.com, 2015).



Obrázek 10: Extruder EWE. (eweindustries.com, 2016)

5.6 Zhodnocení stávajících extruderů

Extrudery přichází v mnoha podobách, každá z těchto podob má své vlastnosti, které dělají extrudery užitečnými. Při zpracování filamentu není důležité pouze kolik, ale také jak kvalitní filament produkují. Silueta filamentu je velmi podstatným faktorem při určování jeho kvality. Pokud je příliš nestejněměrný, tak takovýto filament není použitelný. Stejně tak není filament použitelný, pokud má v různých úsecích velmi rozdílnou hustotu. Co se týče chlazení, mnoho konstrukcí extruderů se

spoléhá na to, že filament se nějak ochladí, výrobci tomu často nevěnují pozornost, a extrudery i tak fungují dobře. Přesto v mnoha případech chlazení přítomno je, takže není zbytečné. Existují exotičtější konstrukce, velmi uživatelsky přívětivé a estetické (eweindustries.com, 2015), ale téměř žádná z dostupných konstrukcí extruderů nevystupuje svými parametry z řady, kromě případů, kdy konstrukce v základu obsahuje drtičku („recycler“), takže není třeba do zásobníku dodávat předzpracované plasty. V případech, kdy extruder drtičku neobsahuje, často existuje možnost dokoupení této drtičky.

6 Recyklace PET lahví

Jedním z velkých přínosů extruderu je možnost jednoduché recyklace polyethylenu terephthalátu (PET), a to ve formě odpadních PET lahví. Recyklace (mechanická) PET lahví je velmi výhodná z velké části proto, že téměř 100 procent PET je možné znovu využít. V době, kdy prázdné PET lahve jsou produkovány v téměř každé oblasti obývané lidmi, a v době kdy recyklace těchto lahví vešla do povědomí lidí v naší zemi natolik, že se Česká republika dostala na špičku žebříčku zemí v recyklaci PET (www.cenia.cz, 2005) je ideální doba tuto příležitost využít pro získávání levného, dostupného a snadno zpracovatelného materiálu. PET plast je snadný na recyklaci jak z pohledu předběžného zpracování lahví (rozdrcení, či jiné zpracování lahve na formu malých kousků plastu, použitelnou v standardním extruderu) protože mechanicky je Polyethylen Terephthalátu velmi dobře zpracovatelný, tak ze stránky tepelného zpracování. Teplota zpracování je 235-270°C, což je sice z pohledu běžně využívaných plastů teplota vyšší než průměr, nicméně stále snadno dosažitelná a s rozsahem 35 K, kdy je plast možné zpracovat, tudíž dosažitelná a realistická i pro extrudery jednodušší konstrukce, které nejsou schopny operovat zcela přesně jako industriální, profesionálně navržené extrudery.

Při praktické aplikaci se však ukazují mnohé problémy, které nejsou z teoretického hlediska zřejmé, nicméně velmi podstatné. Tyto problémy jsou mimo jiné:

- Etiketa na PET lahvi. Tato bývá velmi často vyrobena z jiných a špatně zpracovatelných materiálů a musí být mechanicky odstraněna.
- Lepidlo, kterým je etiketa připevněna. I když lepidlo není problém u zpracování samotného, může velmi výrazně ovlivnit složení a kvalitu filamentu.
- Víčka lahví, která nejsou složena ze stejného typu plastu jako zbytek lahve a různí se i mezi jednotlivými víčky.
- Nečistoty na lahvi. Tento problém je možné vyřešit důkladným očištěním.

Každý z těchto problémů je možné vyřešit zavedením dalšího procesu do recyklace, nicméně zavádění dalších procesů jednoznačně snižuje efektivitu a výhodnost recyklace, z čehož je možné vyvodit, že bude třeba automatizace i těchto, sekundárních, procesů. Automatizační řešení těchto problémů je nicméně mimo rozsah této práce.

Dalším potenciálním problémem je zpracovatelnost a tvárnost Polyethylenu Terephthalátu a to proto, že tyto vlastnosti bude mít i výsledný plast, čímž budou nutně trpět mechanické vlastnosti výrobků.

Z výše uvedených důvodů (dostupnost, zpracovatelnost) je recyklace PET lahví velmi přínosnou jak z hlediska výroby filamentu, tak z hlediska ochrany životního prostředí a veškeré problémy je možné vyřešit či přijmout jako nutnost a přizpůsobit se jim.

6.1 Ceny granulátů a filamentu

Široce zpracovávané plasty ABS a PLA, popřípadě Nylon. Nutno podotknout, že ABS, jakožto jeden z levnějších plastů, stojí průměrně 10€ za kilo, dle kurzu eura k 16.5.2016 270 Kč. Při troše kreativity lze sehnat kilo ABS i levněji. (Kubac P., 2013) 1 kilo ABS filamentu lze sehnat zhruba od 650 Kč, místy ale i za 1700 a více, jenom kvůli tomu, že je tento plast obarvený.

Při tvorbě filamentu ve vlastní výrobě je navíc zcela jisté, jakých kvalit tento filament dosahuje. V dnešní době, kdy je na trhu velké množství kvalitních extruderů, z nichž některé z nich začínají být až téměř módní a luxusní je zbytečné využívat nabídek předražených filamentů bez přidané hodnoty. Může být otázkou, zda v případě, kdy je třeba speciálních příměsí či materiálů, jako třeba polytetrafluorethylen (Teflon), těchto nabídek, a jistot s nimi spojených, nevyužít. Pokud ale je třeba kilo nylonového filamentu, je otázkou, zda zakoupit tento nylon za 70 USD (1680 Kč), nebo raději koupit kilo struny do sekačky za 70 Kč se zhruba obdobnými vlastnostmi.

7 Metodika

7.1 Tělo extruderu

Hlavní segment extruderu

Hlavní část těla extruderu bude kovová trubka o průměru 3/4 palce. Tento průměr by měl být dostatečně velký, aby mohl být plast plynule dopraven k trysce, zároveň dostatečně malý, aby cívka byla schopna prohřát všechny filamenty relativně rovnoměrně a pro praktické účely dostatečně. Do této trubky bude shora zapojena násypka s možností výměny za jiný případný přípojný zásobovací modul.

Trubka bude zkrácena tak, aby odpovídala délce šroubu, a aby tento šroub byl celý zasunut do trubky s malým přesahem na náhonové straně. Trubka je přichycena kovovými okružemi a závitovou tyčí k podložce na třech místech s relativně pravidelnými rozestupy.

Dopravní systém

Plast bude dopravován k trysce pomocí šroubu. Pro tento šroub byl zvolen vrták do dřeva o průměru 20 mm vzhledem k jeho proporcím z pohledu místa mezi závitů a sklonem závitů. Tyto proporce byly odhadem zvoleny jako vhodné pro dopravu plastu. Je jisté, že existuje parametricky lépe zkonstruovatelný šroub pro toto řešení, nicméně při realistickém přístupu je třeba zohlednit i jeho dostupnost. Z tohoto důvodu nebyl nalezen šroub lepší, jelikož výroba šroubu přesně dle parametrů by byla velmi nákladná a výsledek by nejspíš nebyl konstrukčně tak pevný jako existující vrtáky, které je možné zakoupit na mnoha místech k tomuto určených a 20mm průměr je ideální pro zvolenou trubku.

Dopravník bude poháněn pomocí přímo připojeného střídavého motoru. Je nutné dát si pozor na drhnutí šroubu o válec, protože při daných proporcích je mezera mezi válcem a šroubem velmi malá, a je třeba dbát na tepelnou roztažnost materiálu.

Toto řešení má tu nevýhodu, že při určitých podmínkách může dojít k „prokluzování“ plastu v okolí šroubu, což by následně vedlo k ucpání dopravního systému. Tyto podmínky jsou převážně určeny třením plastu o stěny trubky, ve které jsou dopravovány, a také tlakem plastu, který je v dopravním systému. Tento problém by šel zcela vyřešit změnou konstrukce tak, aby místo dopravního šroubu byl plast dopravován k trysce pístem.

Řešení pomocí pístu by ale nebylo praktické, protože by znamenalo, že vyrobený filament bude v pravidelných intervalech přerušovaný. Místo dlouhého drátu by vznikla krátká lanka, což je pro 3D tisk velmi nepraktické a pravděpodobně zcela nepoužitelné. Existuje možnost, že by takto vytvořený filament šel využít, pokud by došlo k jeho propojení jakožto další fáze výroby, toto však celou konstrukci zbytečně zesložítuje.

Jiný způsob, jak by šel problém dopravy plastu vyřešit, je využití trubky, která se bude ke svému konci zužovat. Toto zužování by způsobilo, že na plast bude

v trubce vytvářen velký tlak, protože stejný objem plastu by v průběhu dopravy procházel zmenšujícím se průměrem trubky.

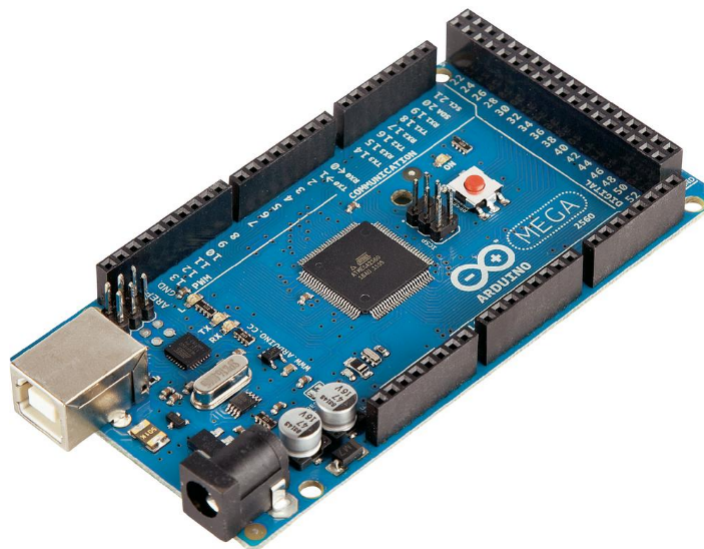
Dalším způsobem vyřešení tohoto problému je vytvoření „vodících“ rýh po vnitřním obvodu trubky. Tyto rýhy by nutně nemusely být dlouhé, tvarem by měly připomínat trojúhelník. Jejich podstatou by bylo vytvoření zářezek pro plast, který rotuje okolo šroubu, čímž by byl tento plast nucen postupovat ve směru chodu závitů šroubu. Jakmile by byl plast spolehlivě rozpořehován, šlo by se již spolehnout na vzniklou setrvačnost systému, že dopravovaný plast zůstane v chodu.

Řídící jednotka

Jako řídící jednotka bylo vybráno Arduino Mega 2560. Oproti ostatním řídícím jednotkám se vyznačuje velkým počtem pinů, které budou v případě potřeby k dispozici, a umožňují zapojení dalších příslušenství až bude třeba extruder rozšiřovat.

Technické specifikace Arduino Mega 2560:

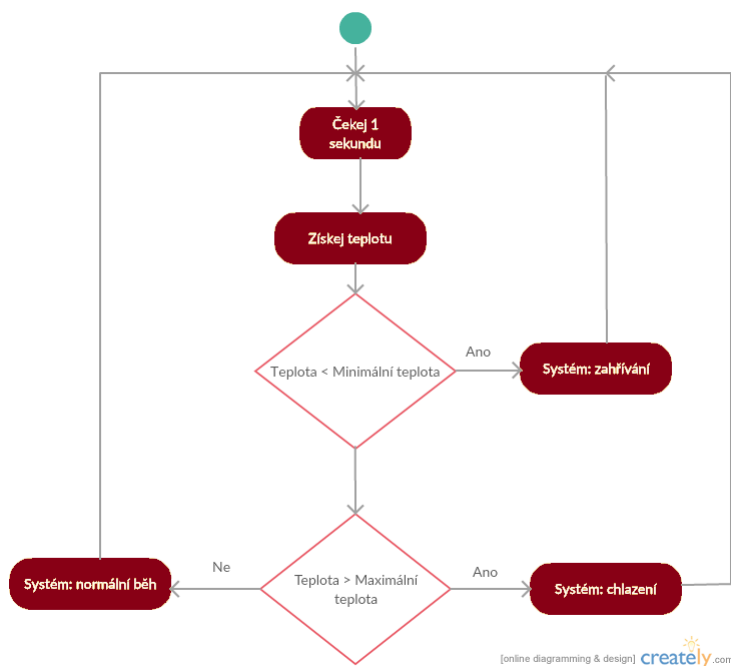
- Vstupní napětí: 7 - 12 V
- Digitální I/O: 52 (14 pro PWM výstup)
- Analogové vstupy: 16
- SRAM: 8 kB
- EEPROM: 4 kB
- Taktovací frekvence: 16 MHz



Obrázek 11: Arduino Mega 2560

Jakožto volba pro mikrokontroler je Arduino výhodné i tím, že je velmi oblíbené u komunity, tudíž v případě vzniku problémů je možná konzultace s mnoha autory, jejichž již vytvořená řešení na tento problém jsou volně k dispozici k nahlédnutí a inspiraci.

Následující diagram popisuje, jakým způsobem bude aktivita systému probíhat. Jednotlivé kódy budou rozepsány v kapitolách, jichž se nejbližší tematicky týkají.



Obrázek 12: UML Activity diagram procesů

Tryska

Trysku bude tvořit kovový uzávěr s vyvrtaným otvorem, před tímto uzávěrem bude nahřívací tryska. Tryska bude nahřívána pomocí baterie rezistorů, viz výše. Existují způsoby, jak trysku zkonstruovat složitěji a lépe, nicméně tato konstrukce by měla pro základní funkce extruderu stačit.

7.2 Nahřívání a řízení

Teplota a její řízení

Nastavení pro jednotlivé druhy plastu bude nutné nejprve experimentálně zhodnotit. Obecně udávané hodnoty nemusí nutně vždy odpovídat optimu pro tvorbu filamentu. Plast nesmí být příliš tuhý a ani příliš tekutý, aby filamentový drát odpovídal požadované kvalitě. Na první pohled by se mohlo zdát, že lze tuto teplotu jednoduše odvodit z materiálových tabulek, nicméně realita bývá složitější. Hlavním

problémem je, že při manipulaci s plastem není distribuce teploty simplicítní. Už jen ten faktor, že teplota bude měřena bodově, znamená, že teplota plastu bude velmi odlišná na různých místech na povrchu extruderu, neřkuli na různých místech v objemu samotné hmoty, ze které bude filament tvořen.

Tento problém nelze vyřešit ani snímáním teploty na více místech či snímáním teploty plošně, například termokamerou, protože i přes veškeré snahy o změřené teploty nebude informace nikdy kompletní. Jediná možnost by byla měřit teplotu v celém objemu, což je ale pouze teoretická záležitost. V případě praktické možnosti by se nejspíš jednalo o extrémně složitý problém s velmi komplexním řešením a ani toto by nevyřešilo veškeré problémy s teplotou, protože měření teploty je jedna věc, ale praktická aplikace této znalosti věc úplně jiná.

Lze implikovat, že aproximace teploty dle vnějších znaků procesu tvorby filamentu je mnohem praktičtější řešením. Laicky řečeno, správná otázka, jakou si položit, a odpověď na tuto otázku by měla být v následujících intencích: „Filament proudí?“ „Proudí.“ „Je použitelný?“ „Ano.“

Jakékoliv jiné parametry filamentu jsou redundantní a přebytečné, myšleno rychlost, s jakou je fabrikován, teplota trysky extruderu, rychlost otáček motoru, objem plastu na dopravníku, atp. Podstatný je výsledek.

Samozřejmostí je přihlídnutí k ekonomičnosti procesu či případným jiným parametrům, které by mohly případnou ztrátovost procesu vynahradiť, jako například příměsi ve filamentu, které nejsou běžně přítomné a jedná se o v tomto smyslu o unikátní filament s vlastnostmi, které by mohly být velmi přínosné pro účel, za jakým je filament vytvářen.

Nahřívání cívky je možné řešit mnoha způsoby. Na konec byl výběr zúžen na čtyři možné způsoby:

Nahřívání indukci

Toto řešení je velmi efektivní. Tryska bude nahřívána pomocí toroidové cívky či dvou cívek postavených zhruba jako transformátor s tryskou mezi cívkami. Tato cívka bude umístěna tak, aby při přivedení střídavého proudu cívka indukovala magnetické pole přímo na trysku. Toto řešení určitě nebude vyžadovat PID regulátor, protože při přivedení proudu začne teplota trysky stoupat velmi rychle, tudíž je možné řídit teplotu bez nutnosti předvídat, pouze pomocí minima a maxima naměřené teploty.

Nahřívání indukci je velmi zajímavou volbou. Energie by byla indukována přímo na trubku pomocí elektromagnetů s vysokou frekvencí změny polarity. Výhody tohoto řešení je možno shrnout jedním slovem, a to: příměst. Neobsahuje žádné prostředníky, nemluvíme zde o zahřívání jiných součástí za účelem nahřátí trysky. Na první pohled ideální. Realizace tohoto problému spočívá ve složitosti konstrukce, protože toto řešení je elektrotechnicky nejvíce komplikované. Musí se vyřešit správná frekvence změny polarity, aby elektrická síla projevila svůj potenciál. I při standartních 50 Hz rozvodné sítě je tato síla značná. Dalo by se tvrdit, největším problémem by byla ochrana okolí. Při přímé manifestaci elektrické síly jakožto elek-

tromagnetického záření se běžný výkon stává velmi znatelným činitelem, poněvadž se elektromagnetické vlny šíří nerestriktivně do svého okolí. Síla samotné indukce musí stačit na zahřátí trubky na operační teplotu přesahující 200°C, což v praxi znamená takovou sílu, že při neopatrném přiblížení zařízení jako hodinek či kapesních počítačů (mobilů) by nejspíš velmi rychle došlo ke spolehlivému vyřazení zmíněných zařízení. Mohla by vzniknout obava, že tato síla, i při exponenciálním zeslabování se vzdáleností, by stačila k tomu, aby neopatrnému přítomnému pozorovateli připomněla, že zubní plomby jsou tvořeny z magnetického materiálu indukovaním znatelné teploty během několika málo vteřin. Tento problém je samozřejmě řešitelný, například diaelektrikem, nicméně je to velmi složitý a velmi reálně i nebezpečný problém.

Nevýhody jsou převážně v samotné konstrukci tohoto systému, kdy je mnoho věcí, které je nutné vyřešit. To samozřejmě znamená, že je řešení reálné, nicméně složitost konstrukce převážila nad svým přínosem.

Nahřívání odporovým drátem

Nahřívací cívka bude vytvořena z odporového drátu. Tepelné senzory se budou soustředit kolem této cívky a budou tvořit zpětnou vazbu pro řízení stroje. Je nutné dát si pozor na nahřívání plastu v zadních částech stroje, protože toto může být při nesprávném nastavení problém způsobující ucpání dopravní soustavy. Řídícím prvkem stroje bude Arduino a řízeným prvkem bude teplota cívky dle potřeby i rychlost dopravy plastu. Tento způsob má ale mnoho nevýhod, zejména pak dlouhou tepelnou setrvačnost cívky a vodivost hlavní trubky extruderu. Oba problémy jsou řešitelné. Tepelná setrvačnost cívky by mohla být řešena pomocí PID regulátoru, a to buďto hardwarově, což zesložití celkovou konstrukci o jeden kontrolní prvek, či softwarově, což velmi výrazně zesložití kontrolní program Arduina.

Nahřívání pájkou

Tento přístup je velmi výhodný tím, že se jedná o již připravené řešení tohoto problému. Při využití pájek, které jsou běžně dostupné, by velmi jednoduše šlo vyřešit nastavitelnost teploty, měření teploty, udržitelnost teploty i stabilitu nahřívání. Koncentrovaný hrot pájek je ideální pro bodové nahřívání, nicméně při vhodné aplikaci několika samostatných jednotek by bylo možné i prostorové nahřívání celého těla extruderu. Bylo by však potřeba vyřešit mnoho praktických problémů, jmenovitě například fyzickou fixaci pájek, aby pevně a nehybně byly nastavené tak, jak je třeba. Nicméně, od tohoto řešení jsem upustil převážně z praktických i akademických důvodů. Při této aplikaci pájek by se jednalo o velmi nákladný projekt, protože exaktní nástroje, jakými pájky, které mám na mysli, jsou, nebyvají nejlevnějšími a součástí projektu pro mne je, aby byl tak ekonomicky efektivní, jak to jen v rozumných intencích půjde. Z akademického hlediska vidím jako největší problém to, že při aplikaci baterie pájek by se celá konstrukce zjednodušila na absolutně rudimentální problém. Kontrola teploty, nastavení teploty a samotná aplikace energie

k vytvoření této teploty by se stala triviální, protože pájky již byly navrhnuty a vytvořeny inženýry právě tak, aby tyto problémy samy řešily pomocí interfacu a co nejjednoduššímu komunikování těchto hodnot. Jinými slovy, aplikací těchto řešení bych degradoval syntézu projektu téměř na akt zakoupení již hotového extruderu.



Obrázek 13: Ilustrační obrázek regulovatelného pájedoručce, pájka LKR-50 (www.elektrovaltice.cz, 2016)

Nahřívání odpory

Toto řešení spočívá ve využití tepelně odolných odporů jakožto nahřívacího tělesa. Nevýhody jsou na první pohled patrné. Je třeba mnoho rezistorů, což zvyšuje obtížnost konstrukce a je tak oproti ostatním řešením nevýhodné jak z pohledu konstrukční náročnosti, tak z pohledu toho, že je prostorově náročnější. Také zde vzniká potřeba propočítat, jaké odpory jsou třeba. Na rozdíl od nahřívání pomocí odporového drátu, který je pouze jedna součástka, a ač se může přepálit, tak je na rozdíl od řešení pomocí odporů relativně robustní. To je hlavně dáno tím, že toto řešení obsahuje mnoho jednotlivých součástí, kdy možnost zničení je u každé jednotlivé z nich. Zároveň, ze své podstaty, se každý odpor podílí na zesložení obvodu. Není tedy možné triviálně měnit počet a způsob zapojení odporů, jakákoliv změna se prudce projeví na proudu a napětí, které obvodem bude protékat, a každý obvod je stavěný s limitem výkonu. Výkon je v tomto případě spočítán jako $U \cdot I$. V obvodu bude třeba dostatečného výkonu k tomu, aby byla tryska nahřívána na dostatečnou teplotu, takže celkový počet rezistorů bude muset být takový, aby všechny rezistory byly schopny tento výkon pojmout, a vzhledem k vyššímu počtu rezistorů se, opět, zvyšuje celková složitost systému.

Jak již bylo výše zmíněno, při realizaci tohoto řešení je třeba také dbát na reálnou dostupnost rezistorů, protože není možná konstrukce obvodu propočteného tak, že jsou potřeba odpory které neexistují.

Vyhodnocení tepelného obvodu

Všechny způsoby mají svá pro a proti. Nahřívání indukcí je nejspíš objektivně nejlepší, neboť tento způsob by znamenal rovnoměrné nahřívání celé tryky. Nicméně, technické komplikace vzniké tímto řešením předčí přínosy. Nahřívání odporovým drátem je obecně nejčastější způsob. Je velmi praktický a jednoduchý na aplikaci. Nahřívání odpory má své nevýhody, nicméně je ze všech řešení nejdostupnější. Nahřívání pájkou je nejsnazší způsob, nicméně jedná se o již hotové řešení, které by navíc nemuselo být tak výkonné, jak by se mohlo na první pohled zdát.

8 Konstrukce

8.1 Nahřívání

Nakonec bylo vybráno řešení pomocí rezistorů. Toto řešení je nejproveditelnější.

Běžně dostupné odpory, vzhledem k výkonu, který jsou schopny pojmout, jsou děleny na 5W, 10W, 20W a 50W. Odpory dimenzované na 50W jsou ale specifické svou konstrukcí, kdy se nejedná o odpor v klasickém keramickém pouzdru, ale jsou uzavřené do kovové konstrukce, která by mohla při konstrukci způsobovat problémy. Z těchto důvodů byly 50W odpory jakožto možnost vyřazeny. Následně byla provedena kalkulace potřebných rezistorů. Tento úkon byl složitější právě o to, že ač byla několikrát nalezena odpověď, nakonec bylo zjištěno, že realita a dostupnost zamezuje tomuto řešení.

Při výpočtu tohoto obvodu využitím 20W rezistorů byl hlavním problémem rozměr těchto rezistorů, protože i když by se dle všech parametrů hodil na nahřívání, samotný objem rezistorů zamezil aplikaci tohoto řešení. Podobného výsledku bylo dosaženo mnohokrát. Kombinace rezistorů byla zavržena, protože ač na první pohled byly výsledky velmi pozitivní, nakonec byl vždy nalezen nějaký problém.

Veškeré výše zmíněné problémy tkví v tom, že výběr rezistorů záležel na velmi mnoha parametrech, kde některé z nich je možné matematicky odvodit jako rovnice a pouze dosadit proměnné, vždy však bude několik parametrů, které budou prostě z výpočtu vynechány.

Aby byl tento problém řešitelný, bylo rozhodnuto, že obvod bude vykonávat zhruba 230 W, jinými slovy využijeme standartní napětí 230 V při 1 A. Samozřejmě, toto pravidlo bylo zvoleno čistě arbitrálně, nicméně toto rozhodnutí bylo založeno na předpokladu že 230 W bude stačit na roztavení plastu. Krom odhadu tomuto rozhodnutí přizvukuje i fakt, že pájky na cín funují na 100 W a jsou schopny vyvinout teploty mnohem vyšší, než které jsou potřebné pro zpracování plastu, čímž by při 230 W měla být dostatečná rezerva, konkrétně 2,3 násobná. Tento výkon je rozprostřen na významně větší plochu, než jakou využívá pájka, ale i přes toto by měl být tento výkon dostatečný.

Pro přehled, parametry, které bylo nutné během výběru rezistorů zohlednit, jsou:

- Rezistivita
- Rozměry
- Tepelná odolnost
- Samotná existence a dostupnost rezistoru s danými parametry
- Celkový výkon, který se v obvodu bude vykonávat

Jsem si jistý, že existuje nastavení a rozmístění rezistorů takové, které by možná odpovídalo lépe danému problému, nicméně se ho nepodařilo najít. Dalším problémem, který byl řešen při konstrukci trysky, byl jednak způsob zapojení rezistorů,

a jednak řešení v jakém poměru. Libovolná kombinace paralelních a sériových zapojení velmi komplikovala návrh obvodu, speciálně v kombinaci s variabilním počtem rezistorů. Nakonec byl zvolen rezistor RMO 180R 5W 5



Obrázek 14: Rezistor RMO 180R 5W 5%. (www.gme.cz, 2016)

Parametry rezistoru:

- Rezistor metaloxidový 180R Ohm, pouzdro KERAM
- $P_z = 5 \text{ W}$
- Tol. = 5 %
- TK = 300 ppm/K
- Rozměry: = 22x9,5x9 mm

(www.gme.cz, 2016)

Zůstal problém s rozměry rezistoru, které jsou stále vyšší, než by bylo ideální. Nicméně, realita prostě má poslední slovo a po rozhodnutí, že odporové dráty nebudou využity, byl tento fakt přijat. Navíc není nutné, aby samotné rezistory byly rozmístěny zcela ideálně a rovnoměrně, protože graduální a průběžné zahřívání plastu bude velmi praktické. Jeden z důvodů pro praktičnost průběžného zahřívání plastu je nižší šance na tepelnou degradaci materiálu (spálení plastu). K tomuto jevu by mohlo dojít mnohem snáz, pokud by byl plast zahřát najednou z pokojové teploty na teplotu okolo 250°C. Opět se zde setkáváme s kolizí teorie a reality. I když je samozřejmě možné teorii pokrýt velmi mnoho, i tuto skokovou změnu teploty, není z reálného hlediska možné pokrýt všechny jevy, ke kterým dochází. Jinými slovy, existují rovnice, podle kterých by se dalo přesně určit chování plastu při průchodu tryskou. Poté by ale bylo nutné započítat i rychlost, s jakou bude plast touto tryskou procházet. Toto samo o sobě není jednoznačné, protože i když můžeme mít dobrou představu o rychlosti a profilu šroubu, stále existují jevy, které zamezují jednoduchému propočtu množství. Tyto jevy jsou mimo jiné tepelná roztažnost dopravní soustavy, prokluzování šroubu, tepelná roztažnost plastu a podobně.

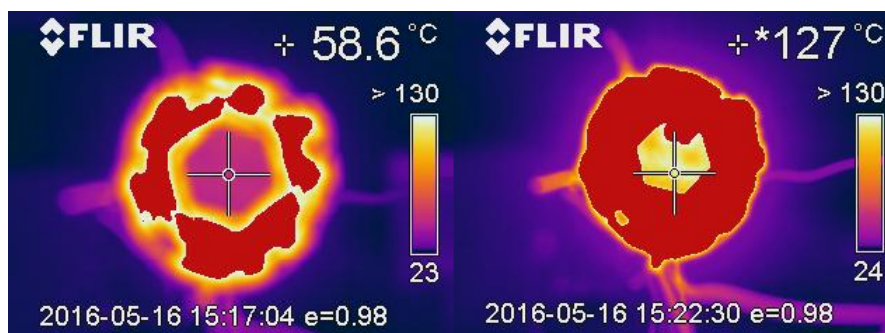
Takže, i když by teoreticky nemělo vadit prudné zahřátí plastu, vzhledem k reálným podmínkám by minimálně docházelo k deformaci filamentu, nejpíše ale k destrukci plastu, když ne kvůli pálení, tak například kvůli přítomnosti kyslíku či kvůli hoření drobných nečistot přítomných uvnitř či vně zařízení, například běžně přítomný prach.

Jisté je, že při operacích s materiálem při teplotách takto vysokých lze očekávat chování materiálu, které není na první pohled vidět, nicméně je velmi podstatné ho zohlednit.

Z jiné stránky věci je ale nutné poznamenat, že i přes výše zmíněné problémy má zpracování plastu své tolerance. Už jen to, že filament nemusí být vytvářen s přesností, jakou je vyráběna mikroelektronika, znamená, že můžeme předpokládat relativní nezávadnost některých chyb a pouhých aproximací v systému. Například právě fakt, že tavení materiálu nebude zcela předvídatelné, znamená, že můžeme vyřešit mnoho problémů s tryskou tím, že budeme ignorovat momentární chování filamentu a budeme spoléhat na to, že ve výsledku bude tlak plastu před tryskou na plast právě tavený zajišťovat to, že při zahřátí plastu na opracovatelnou teplotu bude prostě vytlačen. Pokud bude teplota nedostatečná, plast vytlačen nebude, místo toho bude v trysce tak dlouho, dokud tuto teplotu nezíská. Předpokládaná doba průběhu bude dle odhadu v řádu zlomků sekund a výsledný filament bude relativně rovnoměrný, v rámci tolerancí. V případě, že v rámci tolerancí nebude, je nutné systém vylepšit, ale toto je již možné zařizovat až na základě výsledků, kterých bude extruder reálně dosahovat.

Nahřívací obvod se skládá ze 7 šestic odporů, z nichž má každá šestice celkový odpor $30\ \Omega$. Vzhledem k rozložení odporů a jejich hodnotě bude celkový odpor obvodu $210\ \Omega$. Po zapojení tohoto obvodu na $230\ \text{V}$ zdroj bude obvodem probíhat zhruba $1,09\ \text{A}$. Z těchto údajů můžeme vyvodit, že obvodem bude vykonávat zhruba $250\ \text{W}$ tepelného výkonu, což vzhledem k požadavkům na teplotu je výkon dostačující.

Na obrázku níže lze vidět propagace tepla od nahřívacího obvodu do trysky.



Obrázek 15: Nahřívací obvod

Je pravdou, že některé tiskárny vyžadují vyšší přesnost filamentu, než jakých se bude extruderem vyrobený filament pohybovat. Tento problém lze ale opět vyřešit pomocí dalších kontrolních systémů či lepším seřízením extruderu.

Arduino řídí nahřívání velmi jednoduše:

```
void heatingSwitchOn()
{
    Serial.println("Heating on");
    digitalWrite(RELEPIN1, HIGH);
    digitalWrite(RELEPIN2, HIGH);
}

void heatingSwitchOff()
{
    Serial.println("Heating off");
    digitalWrite(RELEPIN1, LOW);
    digitalWrite(RELEPIN2, LOW);
}
```

Funkce heating switch se starají o spínání a rozepínání relé v nahřívacím obvodu. Důvod, proč je relé ovládáno ze dvou pinů je ten, že je třeba překonat minimální proud potřebný k aktivaci relé, na což by jediný pin z kontroleru nestačil.

8.2 Praktické zpracování měření teploty

Pro měření teploty byl zvolen 100K ohm 1Otázkou, kterou bylo nutné vyřešit, bylo, jakým způsobem bude tento termistor zapojený. Existují 2 smysluplné způsoby zapojení:

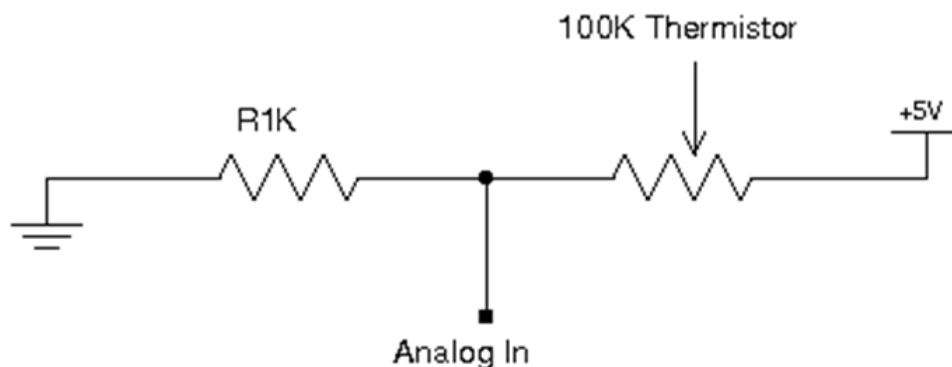
- Základní zapojení
- Wheatstoneův můstek

Základní zapojení má výhody v jednoduchosti, pročez bude mnohem méně náchylné na případně chyby. V tomto způsobu zapojení bude vznikat větší chyba než ve Wheatstoneově můstku, nicméně právě kvůli chybám způsobeným pájením, vodiči atp. je toto zapojení velmi praktické. Navíc při samotném nahřívání bude počítáno s odchylkou teploty trysky v místech termistoru a v samotném otvoru, kudy bude plast protlačován.

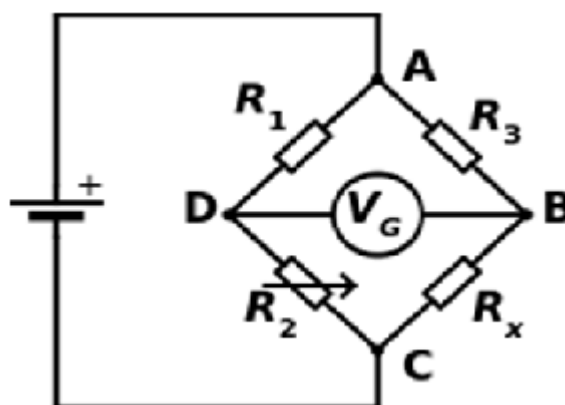
Zapojení pomocí Wheatstoneova můstku má mnohé výhody. Mezi nimi například velmi vysokou přesnost. Při tomto využití by odpor RX byl velmi přesně měřen, nicméně, jak již bylo výše zmíněno, je nutné vzít v potaz i praktickou aplikaci tohoto zapojení. Při měření nebude nutná taková přesnost, jakou Wheatstoneův můstek poskytuje, proto bylo nakonec rozhodnuto, že pro montáž zařízení bude využit základní způsob.

8.3 Řízení

Jelikož je teplota hlavní údaj, dle kterého je zařízení řízeno, je velká část kódu se věnuje právě zpracování dat z termistoru. Jak je vidět níže na sérii IF, teplota, které



Obrázek 16: Jednoduché zapojení termistoru



Obrázek 17: Obecné zapojení pomocí Wheatstoneova můstku

je třeba dosáhnout, je zadávána jakožto teplota ve stupních Ceslia, nicméně při zadání tolerance je reálně dosáhnout stavu, kdy bude systém s teplotou na trysce spokojen. Program je uzpůsoben tomu, aby extruder byl schopen fungovat i při výchytkách mimo toleranci, neboť je možné, že při provozu dojde z různých důvodů k vychýlení teploty, například z důvodů různé hustoty plastu na dopravníku.

Kód na získání teploty:

```
float Thermistor(int RawADC)
{
    float pad = 100;
    float thermr = 100000;
    long Resistance;
    float Temp;
    Resistance=pad*((1024.0 / RawADC) - 1);
    Temp = log(Resistance);
    Temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 * Temp) +
        + (0.0000000876741 * Temp * Temp * Temp));
    Temp = Temp - 273.15;
    return Temp;
}
```

V kódu je užito proměnné Temp nejprve pouze jako pomocné, do které se uloží $\log(\text{resistance})$ aby nemusel být kalkulován čtyřikrát. Následně je do jí využito pro uložení teploty v Kelvinech, následně převedených na Celsia a vrácena. (Maleševic M., Stupic Z., 2011)

Je možné, aby vznikly 3 možné stavy:

- Systém je příliš chladný
- Systém se přehřívá
- Systém je v rámci tolerance na požadované teplotě.

Každému z těchto stavů náleží jedna funkce, která se při vstupu systému do tohoto stavu volá.

```
void systemHeatup()
{
    heatingSwitchOn();
    engineSlow();
}
```

```
void systemCooldown()
{
    heatingSwitchOff();
    engineFast();
}
```

```
void systemNormal()
{
    heatingSwitchOn();
    engineNormal();
}
```

Pro řízení, zobrazování a interpretaci dat získaných Arduinem je použit tento kód jakžto hlavní cyklus:

```
float desiredTemperature = N;
float tolerance = M;
float tempWithToleranceMax =
((desiredTemperature / 100) * tolerance) + desiredTemperature;
float tempWithToleranceMin =
desiredTemperature - ((desiredTemperature / 100) * tolerance);
float temp;

void loop()
{
    float temp;
    temp=Thermistor(analogRead(THERMISTORPIN));
    if (tempWithToleranceMin>temp)
    {
        systemHeatup();
        Serial.println("Heating up");
        Serial.print("Min");
        Serial.println(tempWithToleranceMin);
    }

    else if (tempWithToleranceMax<temp)
    {
        systemCooldown();
        Serial.println("Cooling down");
        Serial.print("Max");
        Serial.println(tempWithToleranceMax);
    }

    else
    {
        systemNormal();
        Serial.println("System normal");
        Serial.print("Max ");
        Serial.println(tempWithToleranceMax);
        Serial.print("Min ");
        Serial.println(tempWithToleranceMin);
    }
}
```

V kódu proměnná N je teplota, na kterou je požadováno zahřátí trysky, M je tolerance, s jakou je této teploty dosaženo. *Thermistorpin* je umístění termistoru v arduinu, *pad* je referenční odpor v obvodu.

Každá funkce je zamýšlena tak, aby při jejím zavolání se systém nastavil na nový stav produkující filament, a aby díky tomu by filament byl tvořen pokud možno nepřerušovaně.

Při stavu, je nutné trysku zahřát na vyšší teplotu je volána funkce `systemHeatup`. Tato funkce zpomalí přísun plastu do trysky, což by mělo znamenat rychlejší zahřívání systému.

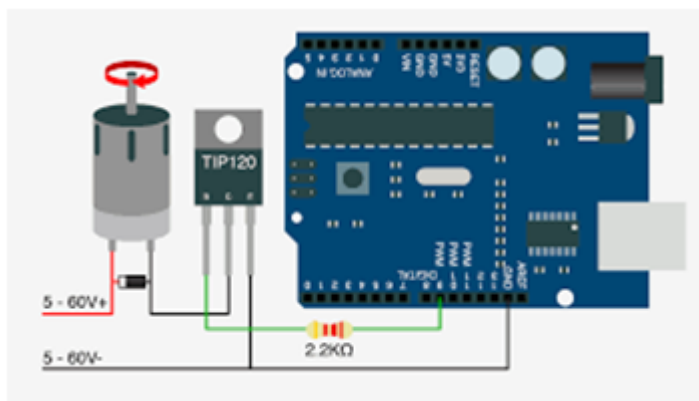
Při stavu, kdy se systém přehřívá, je smyslem funkce `systemCooldown` zvýšit rychlost přísunu plastu do trysky a zároveň vypnout nahřívání.

Normální stav znamená standartní rychlost podavače, nicméně tryska je stále nahřívána.

Toto rozdělení funkcí znamená, že v systému bude pravidelně nastávat stav, kdy je tryska přehřátá a musí se chladit. Při nastavování teploty je na toto nutné brát ohled.

8.4 Doprava

Zapojení obvodu stejnosměrného elektromotoru je řešené následně. Na diagramu je



Obrázek 18: Zapojení motoru do arduina (learn.sparkfun.com, 2016)

vidět, že je motor pevně zapojen tak, aby bylo možné ho pohánět pouze jedním směrem. Toto by mohla být v mnoha případech negativní vlastnost, nicméně vzhledem k účelu tohoto motoru je přínosem, že je motor jistěn, aby náhodou nebyl puštěn opačným směrem.

Konflikt s realitou: Jako v mnoha jiných případech, i v tomto se nakonec ukázalo, že praktická realizace byla více náročná, než jak se původně zdálo. Hlavním problémem se stalo vycentrování motoru a šroubu. Z teoretického hlediska je toto zcela irelevantní, protože odpověď na otázku, jak fyzicky propojit motor a šroub, je jednoduchá - vytvořit spojení takové, aby parametry konektorů na obou stranách vzájemně odpovídaly. Nicméně, při pokusech o zapojení bitu do jeho delegovaného slotu docházelo pravidelně k vyosení, které znamenalo velmi výrazné zesložnění realizace celé konstrukce. Nakonec byl tento problém vyřešen vytvořením vŭle, ve které se může propojovací díl mezi motorem a šroubem volně pohybovat.

9 Závěr

9.1 Shrnutí práce

Jedním z velkých problémů, se kterými jsem se při realizaci své bakalářské práce neustále potýkal, byl konflikt reality a teorie. Ač mnoho problémů je teoreticky buďto velmi snadno řešitelných či zcela ignorovatelných, při syntéze řešení se ukázaly jako mnohem podstatnějším problémem než samotná analýza a vyvození závěrů či navrnutí řešení. Je jisté, že teoreticky absolutně pokrytý problém bude plně v souladu s realitou. Nicméně takovéto pokrytí problému je v praxi opět čistě teoretické. I nejzákladnější problémy, se kterými se v běžném životě setkáváme, jsou natolik konvulované, že při snaze o plném zabstraktnění problému a následné aplikaci znalostí k vytvoření komplexního řešení by se ukázalo, že na takovýto proces nelze aplikovat, ať už z praktického hlediska časového, výpočetního či materiálního.

Během procesu syntézy extruderu byla velkým problémem samotná tvorba. To, že z matematického hlediska je mnoho problémů snadno řešitelných, neznamená, že prakticky snadno řešitelné jsou. Praxí je myšlena reálná příležitost vytvořit, zakoupit či jiným způsobem získat nějakou součást řešení, na kterou matematická rovnice poukazuje jakožto na ideální. V informatické praxi jako programátor jsem se mnohokrát setkal s problémy, které vyžadují řešení, které je na první pohled zjevné, ale velmi málokdy došlo ke kolizi reality a syntézy problému na základě teoretického řešení. I když teoretické řešení nebylo třeba na první pohled zjevné a analýza problému zabrala delší dobu, při dokončení analýzy a vytvoření mentálního obrazu řešení bylo vždy již jen otázkou času, než došlo k finálnímu dokončení řešení.

Při vytváření teoretického řešení jsem se pokoušel se co nejméně inspirovat od již vytvořených řešení, které jsou k dispozici (ianmcmill, 2015).

Toto omezení jsem si udělil zcela arbitrálně, převážně z důvodů, že jsem si byl vědom mnoha řešení, které by bylo možné aplikovat při konstrukci, speciálně bych zmínil nahřívání trysky pomocí indukce, více v kapitole o nahřívání trysky.

Nicméně, nakonec bylo nutné od řešení pomocí indukce upustit, protože vytvoření nahřívání tímto způsobem by znamenalo potřebu řešení velmi významného množství sekundárních problémů, například velmi vysokého napětí, které se v obvodu nachází, „...na některých místech až 1000 V“ - Ing. Richard Klein, 2016. Je pravdou, že toto řešení jsem opustil z velké části z osobních důvodů, neboli obav o své zdraví, protože dle dostupných informací jsem toto řešení vyhodnotil jakožto nebezpečné a v extrémních případech by se mohlo jednat i o život operátora s tímto zařízením v případě neopatrného zacházení. Při správné konstrukci by samozřejmě nebyl problém, nicméně jsem vyhodnotil své zkušenosti jakožto nedostatečné pro realizaci tohoto řešení. Teorie proti praxi.

Problém s nahříváním pomocí odporového drátu vychází z faktu vodivosti těla extruderu a dostupnosti odporového drátu s odpovídajícími vlastnostmi. Problém s vodivostí těla extruderu je řešitelný pomocí keramické konstrukce, keramické objímky, která by oddělila odporový drát od vodivé trubky. Takováto konstrukce by ale

byla nakonec velmi složitě vyrobitelná, protože by bylo třeba velmi vysoké přesnosti a materiálu s odpovídajícími vlastnostmi. Problém s dostupností odporového drátu byl ale nakonec podstatnější. I když je k dispozici několik velmi dobrých kandidátů, nakonec se ukázalo, že odporové dráty v nabídce odpovídají potřebám menších objemů či menších teplot.

Nakonec bylo zvoleno nahřívání pomocí odporů. Toto řešení samo o sobě vypadá velmi dobře, protože přes své problémy vycházející z faktu, že obsahuje mnoho samostatných článků, kdy každý může selhat, ale je reálné a dostupné. Teoreticky je mnohem složitější než výše zmíněné, nicméně právě jeho proveditelnost ho nakonec dosadilo jakožto řešení, které se provede.

9.2 Zhodnocení výsledků

První verze extruderu byla schopna dosáhnout 200°C, umožňující vytvářet filament z PLA Soft. Po drobných úpravách a zavedení izolace byla již teplota 250°C. Plast byl roztopen a byl protlačen tryskou. Tyto teploty byly naměřeny pomocí NTC termistoru a zkontrolovány pomocí teplotního čidla PT 100.

9.3 Možná vylepšení

Možné vylepšení je pomocí zvýšení výkonu, který topný obvod vykonává a lepší izolace proti okolí. Dalším možným vylepšením je dopravní systém. Spojovací modul mezi motorem a dopravním šnekem byl umístěn volně, aby při rotaci bylo drobné vyosení vyrovnané pohybem bitu. Toto řešení funguje, nicméně síla není přenášena tak efektivně, jak by byla přenášena při pevném spojení. Nicméně, jedná se o drobnou vadu, která se projevuje velmi málo. Zlepšení pomocí silnějšího motoru by umožnilo zpracovávat větší kusy plastu, což by bylo přínosné zvláště při recyklaci. Optimální vylepšení pro účely recyklace by bylo zapojení drtičky na plast přímo k násypce. Další vylepšení spočívá v kalibraci rychlosti dopravníku a teploty trysky na různé typy plastů a vytvořit interface na jednoduché přepínání režimů systému vzhledem k právě zpracovávanému plastu. Také je možné zlepšení pomocí tepelné izolace části stroje u trysky od zbytku stroje, aby nedocházelo k prostupu tepla a zahřívání částí, u kterých není teplota žádoucí.

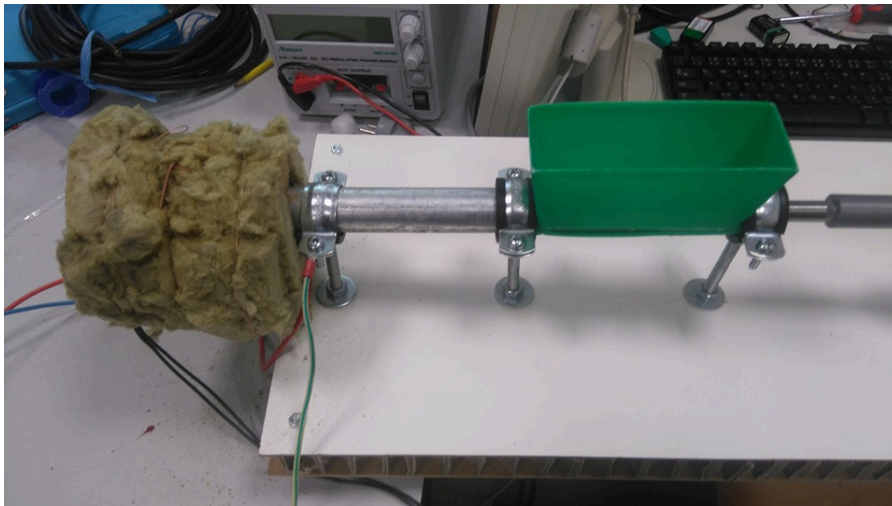
10 Reference

- 3DPRINTING.COM. [online]. *What is 3D printing?.*, © 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#whatitis> .
- BENEDICT [online]. *Siemens unveils cluster of 3D printing spider robots*, © 2015 [cit. 2015-12-14]. <http://www.3ders.org/articles/20160421-siemens-unveils-cluster-of-3d-printing-spider-robots.html> .
- REPRAP. [online]. *RepRap – RepRap Wiki.*, 23.7.2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://reprap.org/> .
- 3D SYSTEMS, INC. [online]. *Plastic Jet Printing (PJP).*, © 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/plastic-jet-printing-pjp> .
- 3D PRINTING FROM SCRATCH [online]. *Types of 3D printers or 3D printing technologies overview*, © 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview> .
- ELIZABETH P. [online]. *What is Stereolithography?. Livescience. [online].*, 16.7.2013 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.livescience.com/38190-stereolithography.html> .
- TWI GROUP WEBSITES. [online]. *Selective Laser Melting*, © 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/capabilities/joining-technologies/additive-manufacturing/selective-laser-melting> .
- THE VIRTUAL FOUNDRY. [ONLINE]. *Home – Virtual Foundry.* © 2014 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.thevirtualfoundry.com/#> .
- 3D Printer Filament Comparison Guide *MatterHackers Inc.* [online]. California, USA, © 2015 [cit. 2016-1-10]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare> .
- What is ProtoCycler? ReDeTec *ReDeTec* [online]. Toronto, Ontario, Canada, © 2016 [cit. 2016-1-10]. Dostupné z: <http://www.redetec.com/> .
- Filabot - original. Filabot. *Filabot* [online]. Vermont, USA, © 2016 [cit. 2016-1-10]. Dostupné z: <http://www.filabot.com/collections/filabot-core/products/filabot-original?variant=570433109> .
- IANMCMILL Build your own 3D printer filament factory (Filament Extruder). *Instructables* [online]. © 2015 [cit. 2016-1-10]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Build-your-own-3d-printing-filament-factory-Filament> .

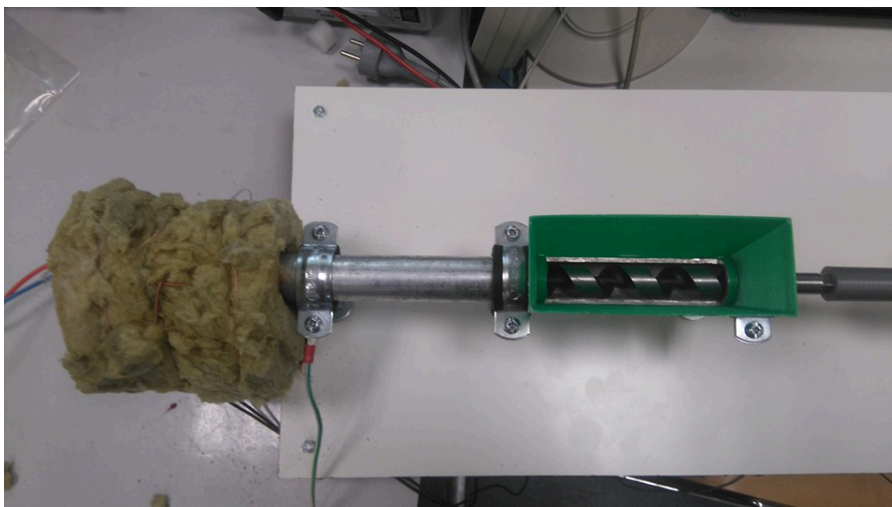
- Zpráva CENIA. CENIA. *CENIA* [online]. 2005 [cit. 2016-4-14]. Dostupné z: [http://web.archive.org/web/20070927001921/http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPMSFHD5KDG/\\$FILE/Zprava_o_ZP_CR_2005.pdf](http://web.archive.org/web/20070927001921/http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPMSFHD5KDG/$FILE/Zprava_o_ZP_CR_2005.pdf) .
- The Noztek Pro ABS and PLA Filament Extruder for 3D Printers. Noztek. *Noztek* [online]. London, England © 2015 [cit. 2016-1-10]. Dostupné z: <http://www.noztek.com/product/the-noztek-pro-abs-and-pla-filament-extruder-for-3d-printers> .
- EWE Filament Extruder. EWE. *EWE industries* [online]. Pomezia, Italia [cit. 2016-1-10]. Dostupné z: <http://eweindustries.com/ewe-filament-extruder> .
- Polymers and Monomers. Materials World Modules. *Materials World Modules* [online].[cit. 2016-4-15]. Dostupné z: <http://www.materialsworldmodules.org/resources/polimerization/2-polymers+monomers.html> .
- KONSTRUKČNÍ PLASTY A KOMPOZITY. FSI Fórum. *KONSTRUKČNÍ PLASTY A KOMPOZITY* [online]. [cit. 2016-4-15]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/BUM/bum2008/bum-2008-konstrukni-plasty.pdf> .
- 5W rezistor. GM elektro. GM ELEKTRO. [online]. *RMO 180R 5W 5%*. [online]. © 2016 [cit. 2016-3-5]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/rmo-180r-5w-5-p114-152> .
- CHRIS WELLER. [online]. *Armies of these 3D-printing spiders could someday build airplanes and ships.*, © 2016 [cit. 2016-5-5]. Dostupné z: <http://www.techinsider.io/siemens-3d-printing-spiders-could-build-ships-and-planes-2016-4>.
- PATRIK. [online]. *DIY BioPrinter.*, © 2016 [cit. 2016-5-5]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/DIY-BioPrinter>.
- DEHUE R. [online]. *D3D printing on nanoscale.*, © 19. Března, 2012 [cit. 2016-15-5]. Dostupné z: <http://3dprinting.com/news/3d-printing-on-nanoscale> .
- KRASSENSTEIN B. [online]. *BREAKTHROUGH MOLECULAR 3D PRINTER CAN PRINT BILLIONS OF POSSIBLE COMPOUNDS.*, © 13. Března, 2015 [cit. 2016-15-5]. Dostupné z: <https://3dprint.com/50777/molecular-3d-printer/> .
- MALESEVIC M., STUPIC Z. [online]. *Reading a Thermistor.*, © 2011 [cit. 2016-15-5]. <http://playground.arduino.cc/ComponentLib/Thermistor2> .
- KUBAC P. [online]. *Ceny 3D tisku - paranoidní úvaha.*, © 12. Březen, 2013 [cit. 2016-15-5]. Dostupné z: <http://petr-kubac.blog.cz/1303/ceny-3d-tisku-paranoidni-uvaha> .

Přílohy

A Fotografie filamentového extruderu

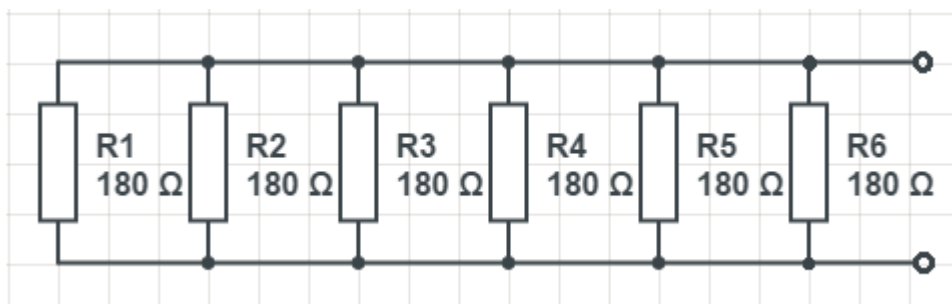


Obrázek 19: Hotový extruder.

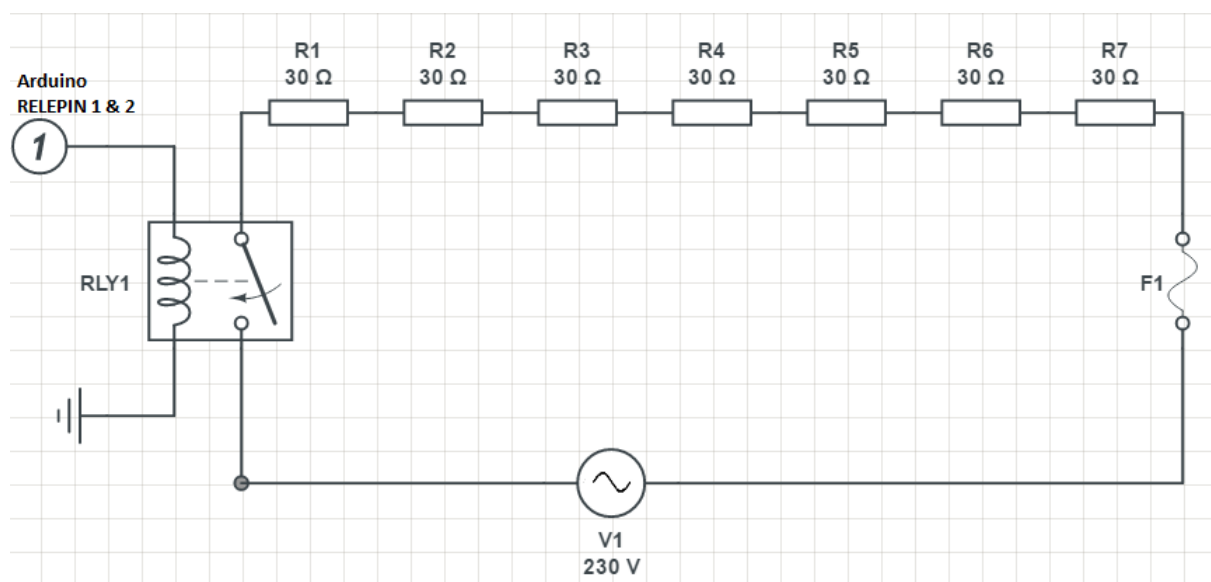


Obrázek 20: Extruder, pohled shora.

B Zapojení nahřívacího obvodu



Obrázek 21: Zapojení paralelní šestice odporů



Obrázek 22: Celý výkonný obvod