



Konstrukce a výroba zařízení pro extrudaci ABS a jiných materiálů pro 3D tiskárny.

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T030 – Výrobní systémy a procesy
Autor práce: **Bc. Josef Vašata**
Vedoucí práce: Ing. Jiří Šafka, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef Vašata**
Osobní číslo: **S13000845**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní systémy a procesy**
Název tématu: **Konstrukce a výroba zařízení pro extrudaci ABS a jiných materiálů pro 3D tiskárny.**
Zadávající katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je provést rešerši stávajícího řešení a navrhnout nové zařízení na tvorbu plastového vlákna pro 3D tiskárnu REP-RAP z granulátu. Hlavní důraz bude kladen na konstrukční řešení a to z hlediska ekonomičnosti a variability (využití pro různé materiály, zde je nezbytné nastavení vhodných teplot pro tavení materiálu). Dalším neméně důležitým faktorem bude možnost jednoduché demontáže a čištění celého zařízení. V případě potřeby bude elektronické řízení zařízení řešeno jinou BP/DP ve spolupráci s FM.

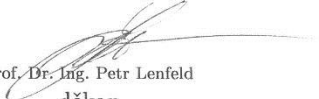
1. Provést rešerši stávajících řešení těchto extruderů.
2. Navrhnout vhodnou 3D konstrukci extruderu pro různé plastové granuláty.
3. Zhotovit fyzický prototyp a otestovat vhodnost předkládaného řešení.
4. Zhodnotit vhodnost či nevhodnost tohoto řešení pro různé plastové materiály.

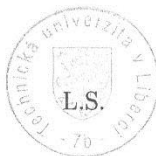
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **60 stran textu včetně příloh**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

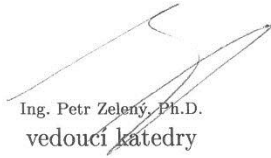
- [1] **BASF PLASTICS PORTAL.** *Product information on BASF Plastics (ABS, PA, etc.).* BASF [online]. 2001-2013 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.plasticsportal.net/>
[2] **3DERS.ORG.** *3D printer and 3D printing news.* 3ders.org [online]. 2011-2015 [cit. 2014-10-11]. Dostupné z: <http://www.3ders.org>
[3] **GIBSON, I., D.W. ROSEN a B. STUCKER.** *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.* New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-1119-3.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Šafka, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant diplomové práce: **Ing. Martin Seidl**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **5. března 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **5. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

dne

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat všem kolegům, přátelům a rodině za neustálou podporu a pomoc při všech mých dosavadních rozhodnutích napříč studiem i osobním životem.

Jmenovitě bych chtěl poděkovat převážně panu Ing. Jiřímu Šafkovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnou pomoc, cenné rady a nekonečnou trpělivost při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ondřeji Jůzovi za jeho pomoc a věnovaný čas.

Děkuji také své přítelkyni Adéle Fialové za neustálou podporu nejen v průběhu studia.

V poslední řadě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli nápomocní při tvorbě této práce.

TÉMA : KONSTRUKCE A VÝROBA ZAŘÍZENÍ PRO EXTRUDACI ABS A JINÝCH MATERIÁLŮ PRO 3D TISKÁRNY

ABSTRAKT : Cílem práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení na výrobu vlákna z termoplastického materiálu pro 3D tiskárny. V práci jsou popsány možné návrhy konstrukcí pro rozdílné typy termoplastických materiálů a různé teplotní nastavení. Výsledné zařízení disponuje snadným ovládáním a především snadným čištěním při výměně termoplastického granulátu. Navrhovaná konstrukce zařízení vychází z několika již dostupných extruderů, které se dají zakoupit na trhu. Vzhledem k preferované nízké ceně je jako šnek použit hadovitý vrták do dřeva, který je vhodnou náhradou za dražší průmyslově vyráběné šneky. Ostatní komponenty: motor, převodovka a spojka byly dodány od různých dodavatelů v ČR. Topná tělesa, byla zvolena s vyšším výkonem, tak aby bylo možné zpracovávat i materiály s vyšší teplotou tavení. Vlastní chlazení výstupního vlákna je zabezpečeno pomocí ventilátoru, který se běžně používá v počítačových skříních. Komponenty, které nemohly být zakoupeny, byly navrženy a vyrobeny na Katedře výrobních systémů a automatizace. V praktické části práce je popsán test výroby vlákna z ABS materiálu včetně odzkoušení 3D tisku na 3D tiskárně - 3D Factories. Výsledky kvality materiálu byly verifikovány mechanickou zkouškou tahem. Zde bylo provedeno porovnání s komerčně dostupným materiálem pro 3D tiskárny. Neméně významným výsledkem je možnost vyrábět vlastní typ vláken pro 3D tisk – kompozity, které nelze na komerčních strojích zpracovávat. Dalším významným přínosem této práce je i finanční, kdy „komerční“ vlákna z materiálu ABS jsou i desetkrát dražší.

KLÍČOVÁ SLOVA: (3D tisk, extruder, vlákno, RepRap, ABS)

THEME : DESIGN AND CONSTRUCTION OF DEVICE FOR EXTRUSION OF ABS AND ANOTHER MATERIALS FOR 3D PRINTERS

ABSTRACT: The aim of my dissertation is to design and construct a device for production of filament from thermoplastic material for 3D printers. The work describes the possible construction of different types of thermoplastic materials and different temperature settings. The final device is easy to use and especially easy to clean within changing of thermoplastic granules. The proposed design of the device is based on several available extruders which can be purchased on the market. Due to preferred low price a screw was used as a serpentine drill. Other components: engine, gearbox and clutch were delivered from different suppliers from the Czech Republic. Heaters were selected with more power so that also materials with higher melting temperature may be processed. Self-cooling of output filament is ensured by a fan, which is commonly used in computers. Components which cannot be bought were designed and manufactured at the Department of manufacturing systems and automation. In the practical part of the dissertation there is described a test of filament production of ABS material including the testing of 3D printing on 3D printer – 3D Factories. The results of material quality were verified by a mechanical tensile test. Then it was compared to a commercially available material for 3D printers. No less important result is the option to produce an own type of filaments for 3D printing –

composites which cannot be processed on commercial machines. Next important benefit of this work is financial one, where „commercial“ filaments from ABS material are ten times more expensive.

KEYWORDS: (3D print, extruder, filament, RepRap, ABS)

Zpracovatel : TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Počet stran :	60
Počet příloh :	2
Počet obrázků :	56
Počet tabulek :	0
Počet grafů:	1

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
Úvod	12
1. Popis procesu vytlačování	13
2. Stroje pro vytlačování	14
2.1 Šnekové vytlačovací stroje	14
3. Extrudery pro výrobu vlákna do 3D tiskáren	16
3.1 Profesionální extrudery	16
3.1.1 Extrudery Noztek	16
3.1.2 Extruder Wellzoom	20
3.1.3 FilaFab EX100 & EX350	21
3.1.4 FilaFab Kit without motor	22
3.2 Homemade extrudery	23
3.2.1 Lyman's Filament extruder	23
3.2.2 Lyman's Filament extruder	25
3.2.3 Delta Filament extruder	25
4. Technická řešení extruderu	27
4.1 Volba a konstrukce komponentů	28
4.1.1 Stejnosměrný kartáčový motor, planetová převodovka	28
4.1.2 Regulátor teploty, topný pásek, termočlánek	29
4.1.3 Pružná spojka	30
4.1.4 Extruzní šnek	31
4.1.5 Extruzní komora s přírubou a držáky pro násypku	32
4.1.6 Plastová příruba	32
4.1.7 Násypka	33
4.1.8 Dávkovací hlava	34
4.1.9 Lamač	34

4.1.10	Držáky extruderu	34
4.1.11	Tryska	35
4.1.12	Ventilátor	36
4.1.13	Základna extruderu	37
4.1.14	Naviják vlákna	37
4.2	Konstrukce a montáž	38
4.2.1	Montáž elektrických a ovládacích komponentů	39
4.2.2	Montáž držáků pro extruzní komoru a motor s převodovkou	40
4.2.3	Montáž extruzní komory s ostatními komponenty	41
4.2.4	Montáž stejnosměrného motoru s planetovou převodovkou	42
4.2.5	Sestavení extruderu.....	43
4.2.6	Montáž topných těles s termočlánky a zapojení extruderu.....	43
5.	Extruze vlákna.....	45
6.	Použití vlákna pro 3D tisk a výsledky 3D tisku	49
7.	Závěr.....	51
8.	Seznam použité literatury	53
9.	Seznam obrázků	55
10.	Seznam grafů.....	58
11.	Seznam příloh.....	59
	Obsah příloženého CD	60

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam anglicky	Význam česky
3D	3-dimensional	Trojrozměrný
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene	Akrylonitrilbutadienstyren
DC	Direct current	Stejnoseměrný proud
DIN	Deutsche Industrie Norm	Německá průmyslová norma
HCS	High carbon steel	Vysokouhlíková ocel
PET	Polyethylene terephthalate	Polyethylentereftalát
PID	Proportional–integral–derivative controller	Proporciálně-integračně-derivační regulátor
PLA	Polylactic acid	Kyselina polylaktická
PLC	Programmable Logic Controller	Programovatelný logický automat
PVA	Polyvinyl alcohol	Polyvinylalkohol
RepRap	Replicating rapid prototyper	Sebereplikace a rychlé kopírování
TUL	Technical University of Liberec	Technická univerzita Liberec

Symbol	Jednotka	Popis
n	ot/ min	Otáčky
%	[-]	Procento
t	°C	Teplota
L	m	Délka
L	mm	Délka
Mk	Nm	Krouticí moment
Ø	mm	Průměr
P	W	Výkon
v	mm/min	Rychlost extrudace

Symbol	Jednotka	Popis
U	V	Napětí
i		Převodový poměr
°		Stupeň
\$		Americký dolar
Kč		Koruna česká
£		Libra

Úvod

Komerční 3D tiskárny se využívají pro stavbu prototypových či produkčních zařízení a dílů. Zhotovené výrobky mohou být z různých stavebních materiálů, jako jsou například termoplasty, kovové prášky, vosk či různé kompozitní materiály. V současné době jsou nejvíce rozšířené tiskárny na zpracování termoplastického materiálu. Komerční stroje, které využívají tento princip, převážně umožňují zpracovávat originální materiál od výrobce stroje. Výhodou tohoto přístupu k originálnímu materiálu je nastavení technologických parametrů stroje pro daný typ materiálu a tisknuté vrstvy. Nevýhodou je využití omezených druhů materiálů převážně u některých 3D tiskáren, které mají čipový zásobník a díky tomu neumožňují použití dalších materiálů. Další nevýhodou, po stránce designu, jsou omezené barevné variace materiálu.

Tato práce je zaměřena na výrobu vlákna pro 3D tiskárnu typu RepRap, která zpracovává termoplastické materiály ve formě vlákna. Problematika vlákna spočívá nejenom v jeho ceně, která je někdy i desetkrát vyšší, než cena granulátu, ale zároveň dostupnost speciálních materiálů, či jejich barevných kombinací. Tento problém by mohlo vyřešit zařízení pro vytlačování vlákna - extruder, který dokáže zpracovávat jakýkoliv termoplastický materiál ve formě granulí a následně z něho vytvořit vlákno, které se zpracuje při 3D tisku.

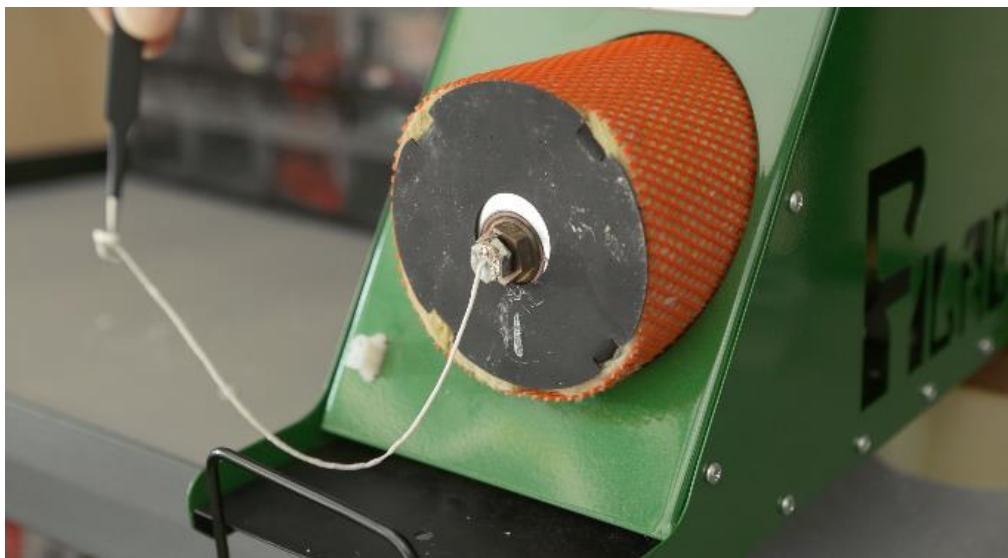
Design extruderu, kterým se tato práce zabývá, bude vycházet z podomácku vyrobených extruderů, které jsou popsány v této práci. Tyto stroje vycházejí z větších průmyslových extruderů tak, jak je známe.

Díky tomuto zařízení se budou moci vyrábět vlákna dle různých specifikací a zkoušet nové druhy materiálů a kompozitů, například materiál s příměsí přírodního, či syntetického vlákna. Další výhodou, po stránce designu, je možnost vytvoření různě barevného vlákna - výrobku.

1. POPIS PROCESU VYTLAČOVÁNÍ

Výraz extruze pochází z latinského slova „extrudere“ = vyhánět. Je to proces, při kterém se kontinuálně vyrábějí polotovary, roury nebo fólie z plastů. Extruder, český ekvivalent vytlačovací stroj, pracuje na podobném principu, jako strojek na mletí masa, proto se také označuje jako „šnekový stroj“. Tento stroj je základní částí vytlačovací linky. Jeho úkolem je dopravovat homogenní taveninu v určitém množství, za určité teploty a tlaku do nástroje, pro další zpracování. [1]

Tavenina získá požadovaný tvar protlačením přes vytlačovací hlavu, která je konstruována dle profilu výrobku. Pro zajištění rozměrové stabilizace profilu je zapotřebí chladit extrudovaný profil. To se provádí především v chladicích vanách ve vodní lázni, popřípadě se chladí proudícím vzduchem.



Obr. č. 1: Extruze vlákna [2]

2. STROJE PRO VYTLAČOVÁNÍ

Stroje pro vytlačování mají různou konstrukci na základě měnícího se pracovního členu v tavicí komoře. Následně rozeznáváme stroje pístové, šnekové a diskové. Požadavky pro všechny vytlačující stroje jsou stejné a patří do nich: vysoký vytlačovací výkon, rovnoměrné dopravování taveniny bez vzduchových kapes, homogenní zamíchání směsi polymeru s případnými aditivami, teplotní stabilizace v různých místech v závislosti na použitém polymeru, které je optimální z hlediska výkonu stroje. [3]

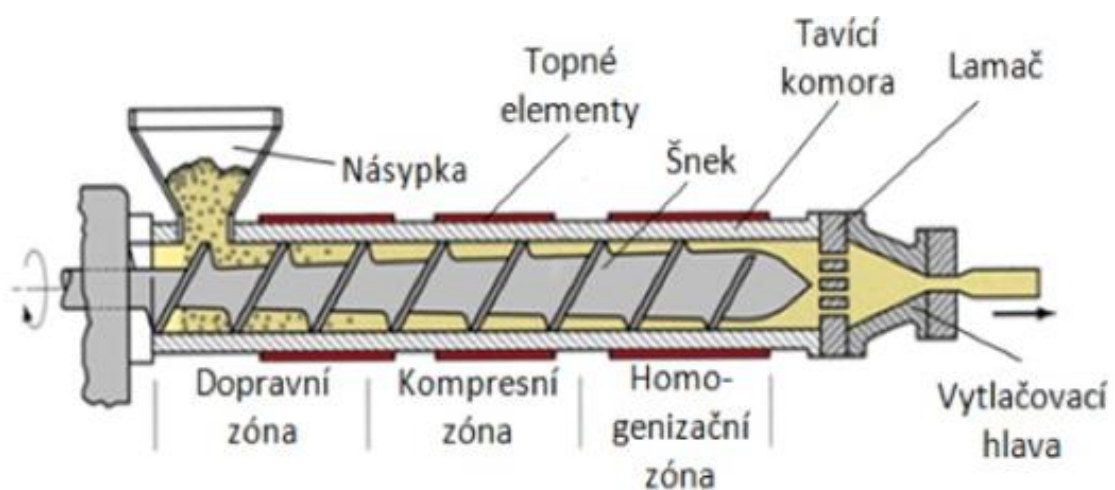
Další rozdělení vytlačovacích strojů je na rychloběžné a pomaloběžné. U rychloběžných strojů mají vysoké otáčky (250 až 1500 ot/min) za následek tavení materiálu díky vzniklému teplu pomocí tření, proto tyto stroje si vystačí pouze s vytápěním na začátku. Zatímco u pomaloběžných strojů musí být ohřev tavicí komory neustálý. Z důvodu jednodušší konstrukce a příznivější ceny dílů byl, pro účel této práce, zvolen šnekový stroj. [3]

2.1 ŠNEKOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE

Schéma uspořádání vytlačovacího stroje je zobrazeno na obrázku 2. Do násypky se vloží granulát s případnými přísadami a za pomoci šneku je dopravován k topným elementům, kde nastává proces stlačování, plastikování a homogenizace materiálu. Tavenina dále postupuje přes lamač, jehož funkce je zbavení směsi bublin a následného promíchání před samostatným vytlačováním. V tomto okamžiku je již tavenina tepelně i materiálně homogenní a následně je pod tlakem kontinuálně vytlačována do nástroje přes vytlačovací hlavu.

Ke zpracování plastů se používají především konstrukčně jednodušší jednošnekové vytlačovací stroje. Je-li zapotřebí lepšího poměru promíchání směsi, používají se dvoušnekové vytlačovací stroje, které jsou mnohem výkonnější, jelikož dokáží dopravovat dvakrát více materiálu než extrudery jednošnekové.

Šnek je nejdůležitější částí vytlačovacího stroje. U profesionálních extruderů se používá několika stupňovitý šnek, dle zón v tavicí komoře. [3]



Obr. č. 2: Schéma šnekového stroje [4]



Obr. č. 3: Šnekový extruder [5]

3. EXTRUDERY PRO VÝROBU VLÁKNA DO 3D TISKÁREN

V současné době pořízení 3D tiskáren, ať už pro osobní účely, či pro účely průmyslové, už není tak finančně nákladné jako dříve. Jak se technologie 3D tisku stává dennodenní součástí, vyvíjí se u vstupní materiál, který má již širokou paletu použití. Pro 3D tiskárny, které zpracovávají termoplastické materiály je vstupní materiál běžně nabízený ve formě vlákna, které je připraveno rovnou pro použití do 3D tiskáren. Nicméně varianty vlákna (ať už materiálu samotného, či barevné variace) byly omezené a cena příliš vysoká.

Díky tomu přišla myšlenka použití zmenšeného modelu průmyslových šnekových extruderů pro výrobu vlákna. Z toho konceptu vycházejí všechny současné profesionální i po domácímu vyrobené extrudery, jelikož ve srovnání komerčně vyrobeného vlákna s granulami pro extruder, je granulovaný materiál zhruba o 70% levnější.

3.1 PROFESIONÁLNÍ EXTRUDERY

Tyto extrudery se dají běžně koupit od soukromých firem na jejich internetových stránkách. Technologie a účel je stejný, zde se liší převážně kvalita zpracování, či parametry stoje. A právě tyto aspekty ovlivňují cenu stroje, která úměrně roste s lepším dílenským zpracováním a širším spektrem funkčnosti stroje.

3.1.1 EXTRUDERY NOZTEK

Britská firma Noztek se zaměřuje na výkonné extrudery pro různé materiály. Zařízení je dodáváno již sestavené a připravené pro okamžité použití. Tento extruder disponuje kvalitním zpracováním jak po mechanické, tak i po stránce elektrické. Výhodou zařízení je jednoduché nastavování pracovních hodnot a obsluhování stroje. Nevýhodou těchto extruderů je cena, která je u nejvyšších modelů mnohonásobně vyšší než u jiných extruderů.

Firma nabízí několik variant extruderů:

Noztek Pro ABS and PLA Filament

Základní varianta extruderu od firmy Noztek je technicky řešena na stejném principu jako průmyslové extrudery. Šnek je použit několika stupňovitý, který zajišťuje lepší distribuci granulátu, jeho homogenizaci a dostatečný tlak v trysce. Tato skutečnost má za následek zvýšení ceny extruderů v porovnání s ostatními stroji. Tavení materiálu zajišťuje topné těleso u výstupu z extruderu, jehož teplotu můžeme měnit v rozmezí 1-300°C. Chlazení vlákna je zajištěno proudícím vzduchem z ventilátoru.

Specifikace: Použitelnost pro materiály (ABS, PET, PLA)

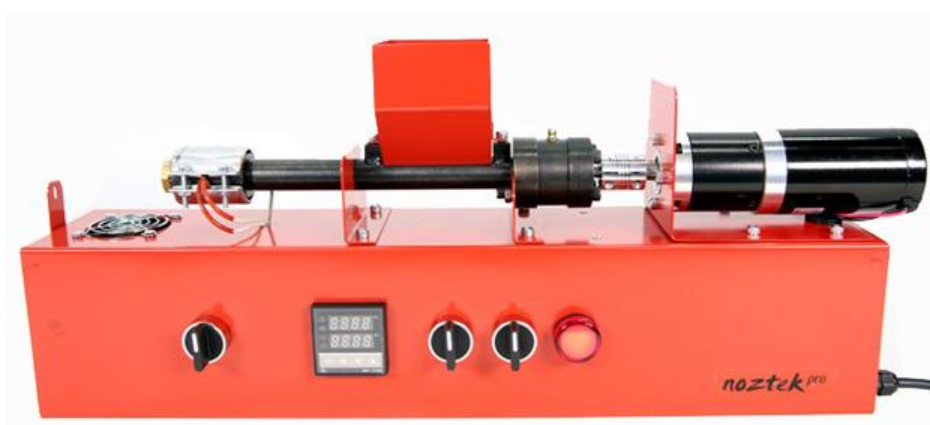
Průměr vlákna 1.75mm, nebo 3mm vlákna, tolerance (+ 0,04 / - 0,04)

Rozmezí teplot 1- 300° C

Extrudování rychlostí až 2 m za minutu (v závislosti na teplotě vytlačování a druhů plastů)

Výroba 1 kg vlákna za 45 minut

Cena: £ 794.95 [6]



Obr. č. 4: Noztek Pro ABS and PLA Filament [6]

Noztek Pro High Temperature

Tento extruder vychází z předchozího modelu. Rozdíl je v navýšení teplotního rozmezí na 50-600°C pomocí výkonnějšího topného elementu na konci extruzní komory. Cena: £ 1239.95 [6]



Obr. č. 5: Noztek Pro High Temperature – Topné těleso [6]

Noztek Touch & Touch HT

Produkt, spadající do vyšší cenové kategorie, je extruder s dotykovým ovládáním a dalšími možnostmi řízení. K těmto možnostem patří regulace otáček motoru, přesnější nastavování teploty a časovač stroje. K výbavě také patří různá bezpečnostní zařízení, jako je pojistka proti přehřátí motoru, či úplné zastavení stroje při poklesu provozní teploty. Tento model má také rozhraní USB pro aktualizaci firmwaru dle uživatelských preferencí. Cena: £ 1195, £ 1639 [6]



Obr. č. 6: Noztek Touch & Touch HT [6]

Noztek Xcalibur

Nejvýkonnější extruder od této firmy je typ Xcalibur. Stroj je určen pro uživatele, kteří potřebují extrudovat širší škálu materiálů, včetně kovových slitin. Má vyšší rozsah funkcí, než ostatní stroje, například 3 vysokoteplotní topné pásy, všechny navrženy tak, aby pracovaly na teplotě 600°C i výše. Používá se pro roztavení většinu druhů materiálů, jaké jsou i vysokoteplotní termoplasty, nebo různé kombinace kovových prášků. Opět je zde využit stejný tvar šneku, jako je u průmyslových extruderů. Maximální krouticí moment u stejnosměrného motoru je omezen na 35Nm. Stroj opět disponuje možnostmi regulace otáček či nezávislé kontroly teplotních pásů.

Cena: £ 5995.00 [6]

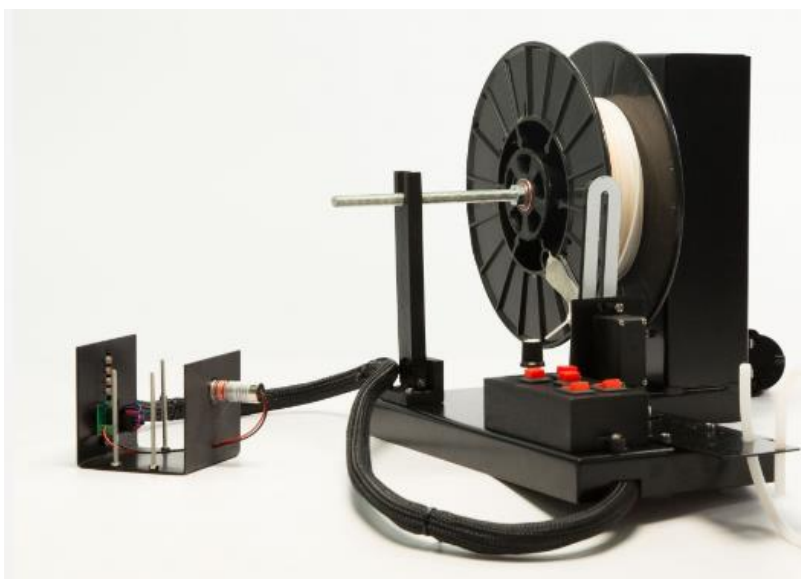


Obr. č. 7: Noztek Xcalibur [6]

Příslušenství pro extrudery – naviják vlákna

Zařízení dokáže snímat rychlost vlákna při navíjení a laserový snímač, který hlídá výšku vlákna na cívce pro úpravu rychlosti navíjení, z důvodu měnící se obvodové rychlosti navinutého vlákna. Pomocí kontinuálního odvíjení dokáže zařízení zvyšovat tolerance vláken jak u 1,75 tak i u 3mm. Rám je vyroben z kovu a díky konstrukci je naviják stabilní i při hmotnosti cívky 1kg. Mezi vodičem vlákna a cívkou motoru je zhotoveno propojení pro zpětnou vazbu, která má za následek pohyb vodiče cca o 1° s každou otáčkou cívky. Díky tomuto zařízení se dosáhne plynule navinutého vlákna na cívce, které se pak rovnou může připojit k 3D tiskárně.

Cena: £ 595.00 [6]



Obr. č. 8: Naviják vlákna pro extrudery [6]

3.1.2 EXTRUDER WELLZOOM

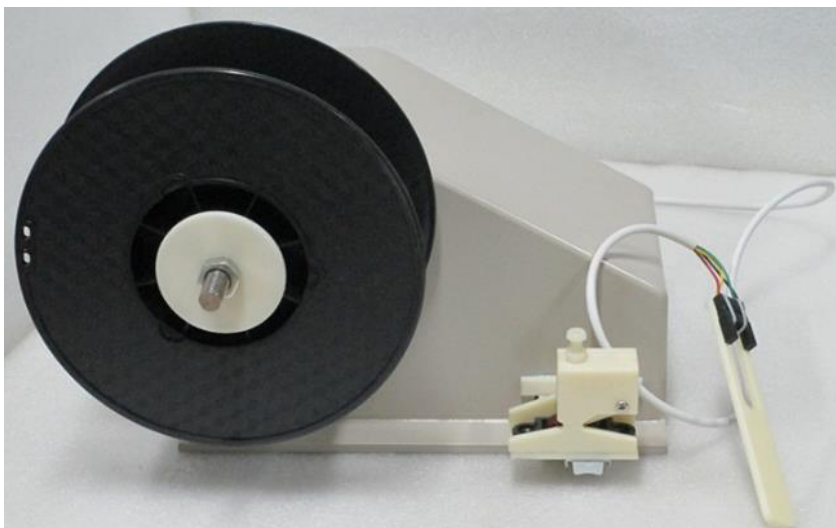
Firma Wellzoom z Kanady nabízí jednoduše koncipovaný stolní extruder, který sice není tak sofistikovaný jako Noztek Pro, nicméně cena je nižší o polovinu. Základní parametry stroje jsou velmi podobné jako u konkurence. 1,75mm a 3mm průměr vlákna, rychlost mezi 300-650mm/min a pracovní teplota 300°C, při potřebě uživatele až 600°C. Zpracovávají termoplastické materiály: PLA, ABS, PVA.



Cena: \$800.00 [7]

Obr. č. 9: Extruder Wellzoom [7]

Součástí zařízení je také naviják vlákna v obdobném provedení jako naviják vlákna pro extrudery Noztek. Otáčky navijáku pracují na základě rychlosti extruderu, tak aby se vlákna navíjelo rovnoměrně, a optické senzory zajišťují kontrolu maximální výšky navinutého vlákna. [7]



Obr. č. 10: Naviják vlákna Wellzoom [7]

3.1.3 FILAFAB EX100 & EX350

Firma FilaFab nabízí dvě verze kompaktních extruderů. Verze EX100 je standardní model s výkonným motorem pro materiály ABS a PLA. Verze EX350 je zaměřena na uživatele, jejichž záměrem je recyklace nebo výroba vlastní šarže. Tento model poskytuje mnohem více výkonu a další funkce jako je například regulace otáček motoru.

Extruder obsahuje infračervený senzor, který řídí rychlost navíjení vlákna na cívku. Optický mikrometr poskytuje v reálném čase měření šířky extrudovaného vlákna.

Cena: £ 1370.00 [8]



Obr. č. 11: Extruder FilaFab EX100 [8]



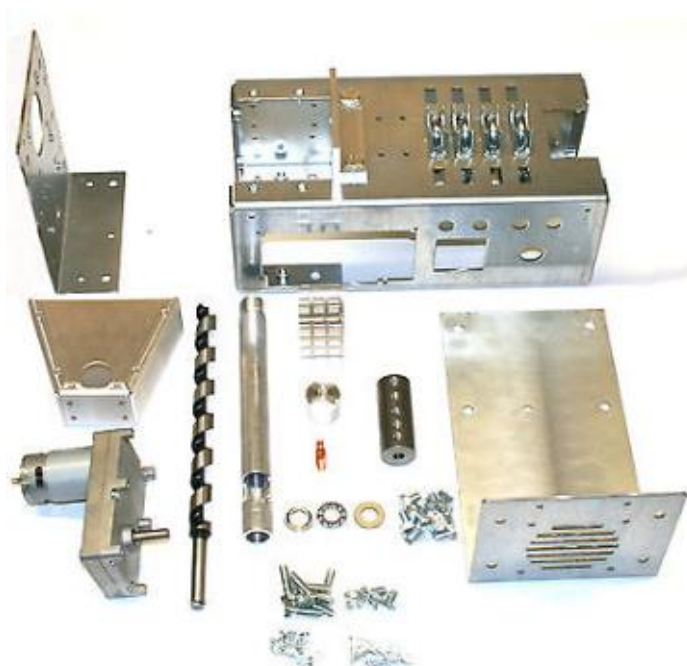
Obr. č. 12: Extruder FilaFab EX350 [8]

3.1.4 FILAFAB KIT WITHOUT MOTOR

Poslední konstrukční model extruderu je také od firmy FilaFab. Jedná se o kit bez motoru, který si uživatel složí doma. Výhodou je zcela jistě cena a možnost variace sestavy a vlastní nastavení parametrů.

Kit obsahuje vše pro sestavení extruderu, motor si uživatel musí doobjednat. Extruzní šnek byl, z hlediska nízké ceny setu, použit hadovitý vrták místo standardního šneku. Veškeré komponenty jsou z kvalitní oceli, která zajistí dlouhou životnost stroje.

Cena: £ 289.00 [9]



Obr. č. 13: Extruder FilaFab - Kit [9]



Obr. č. 14: Extruder FilaFab - Kit [9]

3.2 HOMEMADE EXTRUDERY

Velký převrat 3D tisku způsobil snadný přístup k technickým datům k 3D tiskárnám. Díky tomu si spoustu šikovných lidí nemá problém postavit doma svojí vlastní 3D tiskárnu. Do určité doby byli závislí na komerčních materiálech, které byly sice dostupné, ale jejich cena vysoká. Díky těmto lidem přišla myšlenka pro zkonstruování vlastního domácího extruderu pro extruzi vlákna do 3D tiskáren.

Základní princip je vždy stejný jako u profesionálních průmyslových extruderů pro výrobu vlákna přímo pro 3D tisk. Konstrukce těchto strojů je téměř shodná s profesionálními extrudery z kapitoly 3.1. Použité materiály a prvky jsou tvořeny „po domácku“ ať už z nějakých polotovarů, či dílů vyrobených 3D tiskem.

3.2.1 LYMAN'S FILAMENT EXTRUDER

Tento extruder se řadí do vyšší řady „homemade“ extruderů z důvodu jeho dlouholetého výzkumu a několik předchozích verzí, které dopomohly vylepšit tuto finální podobu extruderu. Jako všechny ostatní extrudery se i tento skládá z motoru, převodovky, pružné spojky, těla vyrobené z 3D tiskárny, barelu pro hadovitý vrták, topný pás na konci

barelu a trysky. Vláknó je opěť chlazené pomocí ventilátoru. Celá sestava je ještě vylepšená navíjecím mechanismem pro vlákna a cívkou.

Autoři stroje se podělili o příručku stroje a cenné rady na svých stránkách.

Cena: \$600.00 [10]



Obr. č. 15: Lyman's Filament extruder [10]



Obr. č. 16: Lyman's Filament extruder - příslušenství [10]

3.2.2 LYMAN'S FILAMENT EXTRUDER

Další verze extruderu od pana Lymana pracuje s materiály ABS a PLA. Tento extruder je postaven z co nejlevnějších komponentů a materiálů. Základní rám je sestaven z dřevěných desek, násypka z 3D tiskárny. Vytlačování vlákna je pomocí stejného systému ze stejného materiálu jako u předchozího extruderu. Pohon je zajištěn pomocí elektromotoru, který je z převodován na hřídel pomocí řetězu. Z elektroniky stojí za zmínku hlavně PID regulátor pro regulaci teplotního keramického tělesa. Využití PID regulátoru má výhodu v rychlosti a jakosti regulované soustavy.

Cena: \$250.00 [11]



Obr. č. 17: Lyman's Filament extruder [11]

3.2.3 DELTA FILAMENT EXTRUDER

Poslední extruder s příznakem „homemade“ je postaven z komponentů, které najdeme téměř v každé domácnosti a právě proto je cena tak nízká. Extruder opět využívá stejný princip jako všechny ostatní. Teplotní ohřev barelu je zajištěn pomocí elektrických topných článků napájených 220V na teplotu 200°C, cena jednoho článku je pouhý 1\$. Tyto články jsou napojeny na barel přes hliníkový blok a zapojeny přímo do domácí sítě, tudíž zde není žádná teplotní regulace. Šnek, jak u většiny „homemade“ extruderů je tvořen z hadovitého vrtáku, jeho špička byla zkrácena na požadovanou délku. Pohon extruderu je zajištěn pomocí motorku

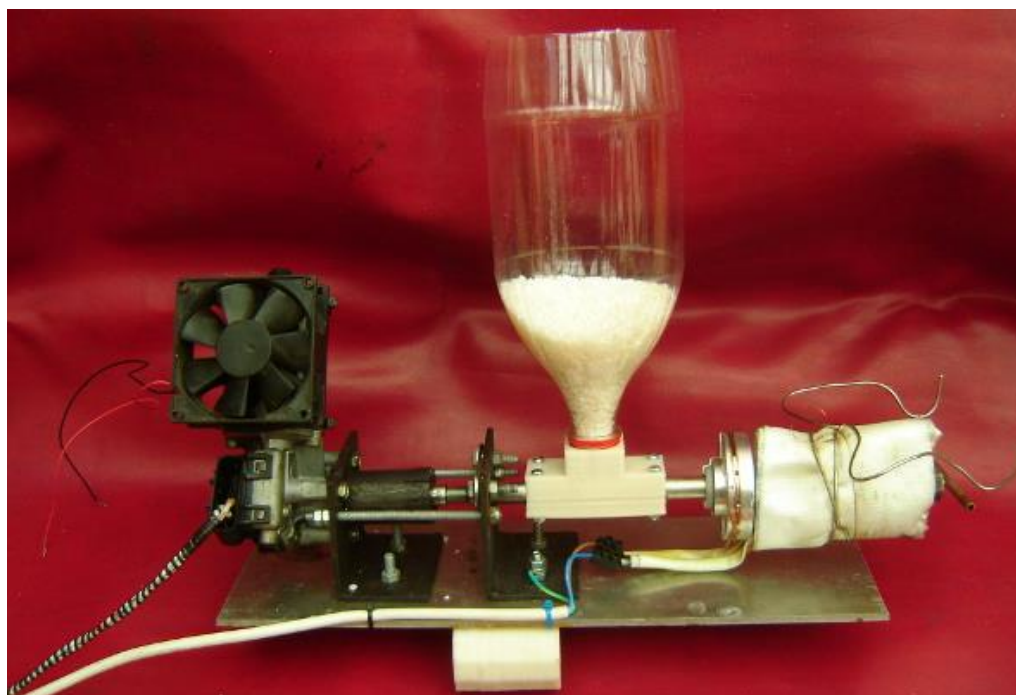
ze stěračů pro automobily se snížením rychlosti. Jako násypka je použita PET lahev, která je uchycena na mezikus extruderu vyrobený z 3D tiskárny.

Výhodou tohoto zařízení je, že zde nebyly použity žádné speciální technologie ani elektro komponenty a přitom výrobce slibuje velmi přesné vlákno a spolehlivost stroje.

Cena: \$100.00 [12]



Obr. č. 18: Delta Filament extruder – fáze stavění [12]

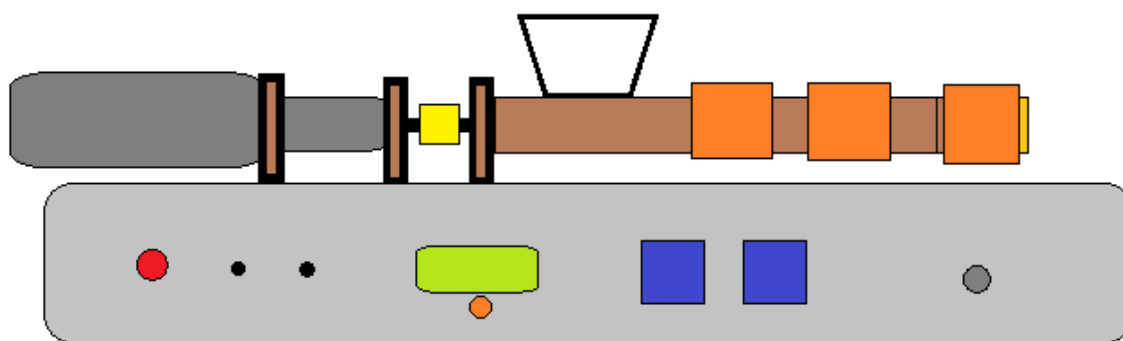


Obr. č. 19: Delta Filament extruder [12]

4. TECHNICKÁ ŘEŠENÍ EXTRUDERU

Technický koncept navrhovaného extruderu vychází především z designu extruderu od firmy Noztek – Xcalibur. Veškeré rotující části jsou v jedné ose: motor, převodovka, spojka a šnek. Jako šnek, který je nejdůležitější částí zařízení, byl použit hadovitý vrták zkrácený na příslušnou délku. Extruder disponuje třemi topnými tělesy pro lepší rozložení teploty ve válci a přesnější nastavování provozní teploty. Násypka byla vyrobena pomocí 3D tisku a je připevněna k extruzní komoře. Tato extruzní komora je svařena k ocelové přírubě, která je spojena za pomoci šroubů k plastové přírubě. Plastová příruba slouží jako těsnící člen a zároveň jako kluzné ložisko pro šnek. Další součástí zařízení je „break plate“, takzvaný lamač, který má za účel zlepšit homogenizaci materiálu a snížení výskytu bublin v tavenině. Tento člen je zafixován v dávkovací hlavě pomocí segerovy pojistky. Dávkovací hlava má na obou stranách vnitřní závit s jemným stoupáním pro lepší utěsnění spoje a má za úkol shromažďovat homogenní taveninu před vstupem do trysky. Samotná tryska je koncipovaná pro daný průměr vlákna.

Vlákno, které je vytlačováno z trysky, je následně chlazeno vzduchem za pomoci ventilátoru, který je umístěn v nerezové skříni, na které je připevněn celý extruder. Tato skříň disponuje otvory pro ovládací a informační techniku, jako je například hlavní vypínač, regulátor teploty, regulátor otáček a další.



Obr. č. 20: Schéma extruderu

4.1 VOLBA A KONSTRUKCE KOMPONENTŮ

Při volbě komponentů a konstrukci byl kladen důraz na kvalitu a jednoduchost v případě nějakých závad ale i také cena byla jedním z důležitých elementů při výběru jednotlivých dílů.

Na základě návrhu technického řešení extruderu byly zjištěny obdobné mechanické a elektrické komponenty, které vycházely z předchozích extruderů a následně byly poptány u tuzemských dodavatelů.

4.1.1 STEJNOSMĚRNÝ KARTÁČOVÝ MOTOR, PLANETOVÁ PŘEVODOVKA

Na základě poptávky motoru s převodovkou, byla vybrána firma Raveo. Motor je stejnosměrný kartáčový s výkonem 180 W– 250 W a krouticím momentem 0,57 Nm – 0,8 Nm dle režimu provozu. Motor je připojen k 3- stupňové planetové převodovce s převodovým poměrem $i = 78,71$ a s přípustným výstupním momentem 50 Nm. Dále bylo objednáno řízení DC motoru. Zde je možnost řízení rychlosti, zrychlení, zpomalení a nastavení proudového omezení. [13]



Obr. č. 21: Stejnosměrný kartáčový motor – Raveo [13]



Obr. č. 22: Planetová převodovka – Raveo [13]

4.1.2 REGULÁTOR TEPLoty, TOPNÝ PÁSEK, TERMOČLÁNEK

Pro ohřev extruzní komory a její regulace byly převzaty zkušenosti od různých výrobců menších extruderů. Nejvhodnější ohřev komory, pro toto zařízení, je pomocí topných pásků, které fungují na principu ohřevu pomocí elektrického odporu. Maximální výkon použitých topných pásků je 230 W, při kterých lze dosáhnout teploty až 380 °C.

Dále byla potřeba snímat danou teplotu na topných páscích. Za tímto účelem byly použity ploché termočlánky typu J. Typ J určuje teplotní rozsah termočlánku 0°-750°C. Termočlánek je vyroben ze dvou různorodých kovů, které jsou spojeny v jednom bodě. Při zahřívání, či ochlazování spoje těchto kovů vzniká elektrické napětí, které je dále snímáno a vyhodnocováno v regulátoru, na kterém je také zobrazena aktuální teplota termočlánku.

Tyto komponenty by však nefungovaly bez regulátoru a řízení. Proto byly tyto komponenty poptány u firmy, která nabídla celkové funkční řešení pro celou sestavu. Sestava obsahuje regulátor teploty a jednofázové polovodičové spínací relé.

Na základě konstrukce zařízení, kde se budou vytápět dvě teplotní pásma za pomoci třech topných těles, bylo nutno objednat dva regulátory teplot a doplňující komponenty – polovodičové spínací relé a ploché termočlánky. V praxi to znamená, že první regulátor bude pracovat se dvěma topnými pásky a druhý regulátor bude pracovat se třetím topným páskem. [14]



Obr. č. 23: Regulátor teploty – Hotset [14]



Obr. č. 24: Hermeticky utěsněný topný pásek – Hotset [14]



Obr. č. 25: Plochý termočlánek typ J – Hotset [14]

4.1.3 PRUŽNÁ SPOJKA

Pružné spojky splňují důležitou úlohu při spojování dvou sousedících hřídelí. Jejich předností jsou částečná kompenzace nesouososti a radiální vůle, dále tlumí rezonance a přenos vibrací od hnaného členu zpět do motoru a šetří tím životnost součástí. Spojka se skládá ze dvou nábojů a pružného plastového středu. Náboje jsou ze slitiny hliníku a věnec spojky je z termoplastu s tvrdostí 94° Shore, v případě nedostatečné tvrdosti věnce je k dispozici tvrdost 96° Shore. [15]

Spojka použitá pro extruder je bez vrtaných nábojů, díky tomu můžeme spojku přizpůsobit pro hnaný a hnací člen, jejíž průměry nejsou shodné. Věnec spojky odolá nominálnímu krouticímu momentu 35 Nm. Cena spojky činí 322 Kč. [15]



Obr. č. 26: Pružná spojka – T.E.A. Technik [15]

4.1.4 EXTRUZNÍ ŠNEK

Při výběru designu šneku bylo postupováno na základě recenzí z podomácku vyrobených extruderů, kde byl použit hadovitý vrták a to pro svoji cenu i dobrou schopnost dopravovat granulovaný materiál uvnitř tavicí komory. Délka vrtáku byla zvolena tak, aby se na opláštění komory vhodně rozmístily tři topná tělesa pro rovnoměrnější ohřev. Jako extruzní šnek byl zvolen vrták o rozměrech 25x300 mm a jeho konec byl soustružen na kruhový průřez o průměru 10 mm pro uchycení pružné spojky, která jej spojuje s převodovkou. Materiál vrtáku je HCS (High Carbon Steel).

Pro názorné srovnání ceny mezi šnekem z hadovitého vrtáku a profesionálním šnekem na zakázku, byl profesionální šnek poptán u firmy vyvíjející komponenty pro extruzi vlákna. Ta na základě vstupních údajů zpracovala nabídku na extruzní šnek v provedení nitridovaná ocel. Cena tohoto šneku byla 21 500 Kč na rozdíl od vybraného hadovitého vrtáku, kde cena činila 960 Kč.



Obr. č. 27: Hadovitý vrták – Vrtáky Vrbovský [16]

4.1.5 EXTRUZNÍ KOMORA S PŘÍRUBOU A DRŽÁKY PRO NÁSYPKU

Extruzní komora je vyrobená z nerezové bezešvé trubky s rozměry Ø30x318 mm se světlostí trubky 2 mm. Na jednom z konců byl vytvořen vnitřní závit M27x0,75 mm pro montáž dávkovací hlavy, zatímco druhý konec byl ponechán beze změny pro zavaření spolu s přírubou. Na trubce je vyfrézována drážka pro usazení násypky a na krajích drážky jsou přivařeny ocelové kostky se závity, které slouží pro uchycení násypky za pomoci šroubů.

Příruba je rovněž z oceli s rozměry Ø20x80 mm a se čtyřmi otvory se závity, pomocí nichž bude svařená sestava spojena s plastovou přírubou. Příruba má vrtaný otvor o průměru shodném s vnějším průměrem trubky pro nasazení a svaření.

Extruzní komora poptávaná u firmy Borra byla naceněna na částku 34 000 Kč. Ve srovnání s extruzní komorou vyrobenou na katedře výrobních systémů a automatizace, je tato cena mnohonásobně vyšší.



Obr. č. 28: Extruzní komora s přírubou a držáky pro násypku

4.1.6 PLASTOVÁ PŘÍRUBA

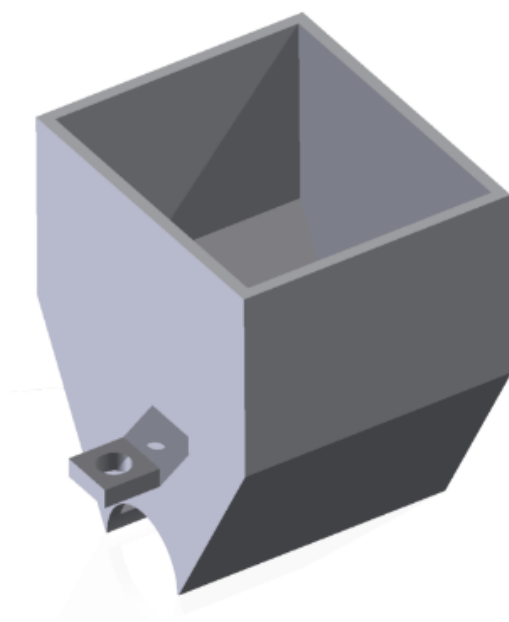
Plastová příruba rozměrově vychází z příruby ocelové. Má taktéž rozměry Ø20x80 mm se čtyřmi otvory a zahloubeními pro šrouby. Při výrobě příruby byl použit materiál silon pro jeho dobré mechanické vlastnosti, jako je například vysoká mechanická pevnost, houževnatost a nízký koeficient tření, díky němuž můžeme tento díl využít jako kluzné ložisko pro extruzní šnek. Vyvrtaný otvor uprostřed má stejný průměr jako výstupní část vrtáku, tudíž slouží jako kluzné ložisko a těsnění proti případnému vypadávání granulátu.



Obr. č. 29: Plastová příruba

4.1.7 NÁSYPKA

Násypka je vytvořena pomocí 3D tisku z polykarbonátu. Je koncipovaná tak, aby zapadla do drážky vyfrézované v extruzní komoře. Dále má násypka na bocích výstupky s otvory pro šrouby, které se připevňují k extruzní komoře. Násypka pojme cca 0,35 kg ABS materiálu, ze kterého zařízení následně dokáže vytlačit vlákno o délce cca 140 metrů o průměru 1,75 mm.



Obr. č. 30: Násypka

4.1.8 DÁVKOVACÍ HLAVA

Dávkovací hlava je mezičlen mezi extruzní komorou a tryskou a je vyrobena z oceli. Vnější průměr je shodný s průměrem extruzní komory a vnitřní otvor jde kónicky od většího vnitřního průměru extruzní komory až po menší vnitřní průměr trysky. Uvnitř dávkovací hlavy je dále prostor pro lamač a vnitřní osazení pro vnitřní segerovu pojistku, která zajišťuje správnou polohu lamače. Díky segerově pojistce lze lamač snadno vyjmout pro lepší čištění vnitřních prostor hlavy. Účel dávkovací hlavy je nashromáždit homogenní taveninu skrze lamač a dále ji, díky kuželovitému vnitřnímu otvoru, pod tlakem dopravovat k trysce.



Obr. č. 31: Dávkovací hlava

4.1.9 LAMAČ

Lamač o rozměrech Ø21,5x 3 mm s otvory o průměrech 1,6 mm je rovněž vyroben z oceli. Tato komponenta je usazena uvnitř dávkovací hlavy a její funkce je zbavení taveniny bublin a lepší homogenizace taveniny.



Obr. č. 32: Lamač

4.1.10 DRŽÁKY EXTRUDERU

Držáky pro extruzní komoru, převodovku a motor jsou vyrobeny z oceli o tloušťce 3 mm. Po vyříznutí na laseru byly následně ohnuty na 90°. Podpěry mají za úkol pevně upevnit celé zařízení bez přenášení vibrací a zajistit souosost všech rotujících elementů.



Obr. č. 33: Držák extruzní komory



Obr. č. 34: Držák převodovky a motoru

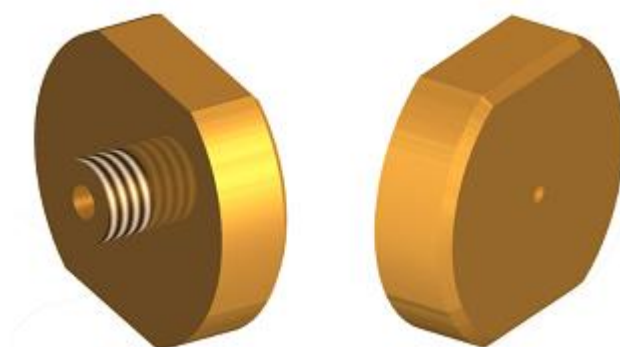
Při návrhu trysky byla nejprve odzkoušena průmyslově vyráběná tryska pro 3D tiskárny typu RepRap. Tato tryska má průměr ústí 0,2 mm, tudíž byla vrtána na několik průměrů (1 mm, 1,5 mm a 1,7 mm) pro odzkoušení vhodnosti pro vlákno o průměru 1,75 mm. Nicméně tato tryska není vhodná pro extruzi vlákna, jelikož vlákno nedosahovalo konstantního průměru z důvodu malé délky ústního otvoru. To mělo za následek expanzi vlákna za tryskou a destabilizaci průměru. Další nedostatek vycházel z teplotní nerovnoměrnosti vlákna, jelikož tryska nemohla být vyhřívána pomocí topných těles, z důvodu menšího vnějšího průměru než extruzní komora.

Byl tedy navrhnut nový design trysky, který by měl eliminovat všechny výše uvedené nedostatky.



Obr. č. 35: Nakupovaná tryska [17]

Tato navrhnutá tryska je vyrobena z mosazi pro lepší distribuci tepla z topných těles. Vnější průměr tělesa je shodný s dávkovací hlavou a je opatřen sražením pro jednodušší montáž a demontáž pomocí kleští. Vnitřní průměr přechází z kónického tvaru do konstantního průměru 1,7 mm. Tryska s konstantním průměrem otvoru má délku 8 mm pro stabilizaci průměru vytlačeného vlákna.



Obr. č. 36: Navrhnutá tryska

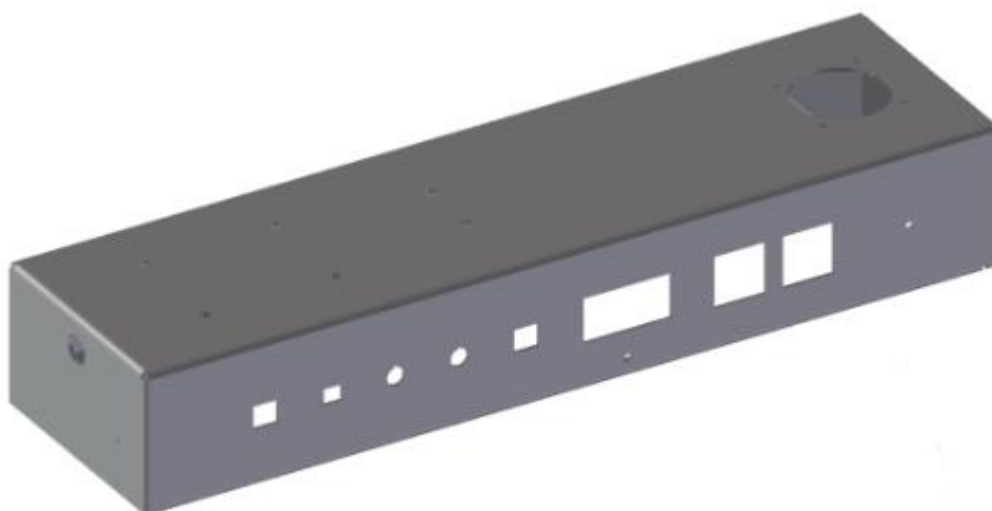
Chladicí médium pro vytvořené vlákno je proudící vzduch, který produkuje ventilátor o rozměrech 80x80x15 mm. Tento ventilátor, s nímž se můžeme setkat u počítačových skříní, je zabudován uvnitř základny a pro vyšší bezpečnost je opatřen krycí mřížkou.



Obr. č. 37: Ventilátor 80x80x15 [18]

4.1.13 ZÁKLADNA EXTRUDERU

Nosnou část celého zařízení tvoří základna z ohýbaného nerezového plechu o tloušťce 2 mm. Plech byl vyroben v laboratořích TUL pomocí laserového řezání. Do základny byly taktéž vyřezány otvory pro šrouby držící samotné zařízení, otvory pro kabely spojené s elektronickými komponenty uvnitř základny, pro ventilátor a otvory pro ovládací komponenty zařízení, které jsou umístěny na jejím boku.



Obr. č. 38: Základna extruderu

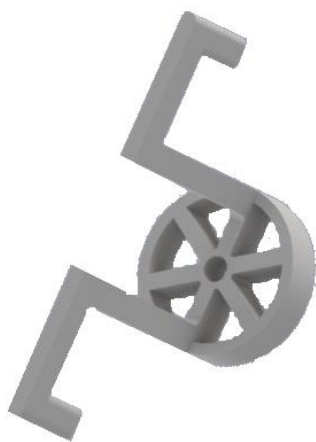
4.1.14 NAVIJÁK VLÁKNA

Pro lepší stabilitu průměru vlákna, byl zapůjčen motor s regulací otáček, na který byl připevněn unašeč cívky pro vlákno.

Unašeč byl vyroben za pomoci 3D tisku z polykarbonátu.

Otáčky motoru byly regulovány tak, aby se vlákno z extruderu odvíjelo rovnoměrně.

Z hlediska funkčnosti bylo obtížné navíjet vlákno rovnoměrně po celé šířce cívky. Tento problém by řešilo zařízení, které by navádělo vlákno po celé šířce cívky, například princip navijáku na rybářském prutu.



Obr. č. 39: Unašeč cívky pro vlákno



Obr. č. 40: Naviják vlákna s cívkou

4.2 KONSTRUKCE A MONTÁŽ

Hlavním požadavkem pro konstrukci zařízení má být jeho snadné čištění při výměně granulovaného materiálu za jiný. To znamená, že komponenty jako je extruzní šnek, lamač, dávkovací hlava a tryska musí být snadno a rychle demontovatelné, jelikož se v těchto částech budou usazovat zbytky taveniny.

Dalším požadavkem je tuhost zařízení i při vyšším krouticím momentu, který bude vznikat v závislosti na použitém granulátu a pracovní teploty zařízení. Materiál nelze roztavit na nízko viskózní hmotu, která by sice kladla menší odpor uvnitř extruzní komory nicméně

její vlákno by mělo nestabilní rozměry a místo vytlačování by vytékalo.



Obr. č. 41: Díly extruderu

4.2.1 MONTÁŽ ELEKTRICKÝCH A OVLÁDACÍCH KOMPONENTŮ

Prvním krokem montáže celého zařízení je zabudování elektrických a ovládacích komponentů dovnitř do základny extruderu. Vnitřní prostor zařízení je osazen elektrickým zdrojem o napětí 220 V, PLC pro řízení motoru, svorky připevněné na DIN liště a ostatní komponenty, které slouží pro regulaci topných pásků.

Co se týče ovládacích či informačních komponentů na boku zařízení, zde je zabudováno tlačítko na vypnutí a zapnutí celého zařízení, pojistky topných těles, jistič motoru, tlačítko pro nastavení směru otáček motoru, display ukazující napětí motoru, displeje regulátorů teploty a potenciometr pro změny rychlosti otáčení ventilátoru.

V poslední řadě bude montáž ventilátoru a připojení k potenciometru, který bude regulovat otáčky ventilátoru. Z hlediska bezpečnosti bude ventilátor opatřen krycí mřížkou.



Obr. č. 42: Elektrické a ovládací komponenty uvnitř základny extruderu



Obr. č. 43: Ovládací komponenty na boku základny extruderu

4.2.2 MONTÁŽ DRŽÁKŮ PRO EXTRUZNÍ KOMORU A MOTOR S PŘEVODOVKOU

Dalším krokem je montáž tří držáku pro extruder. Držáky připevníme pomocí šroubů do otvorů v základně a na druhé straně zajistíme matkami. Dbáme na správnou orientaci ohýbaných dílů. Otázku souososti otvorů pro extruzní komoru se šnekem a motor s převodovkou lze řešit až po sestavení všech komponentů. Díky malým vřtům otvorů v základně a držácích lze řešit případnou nesouosost, utažením všech šroubů, zkorigováním všech os a následného dotažení. Tím zajistíme přesnější polohu mezi extruzním šnekem a hřídelí z převodovky. Zvýšíme tím tak životnost jednotlivých komponentů, převážně pružné spojky.



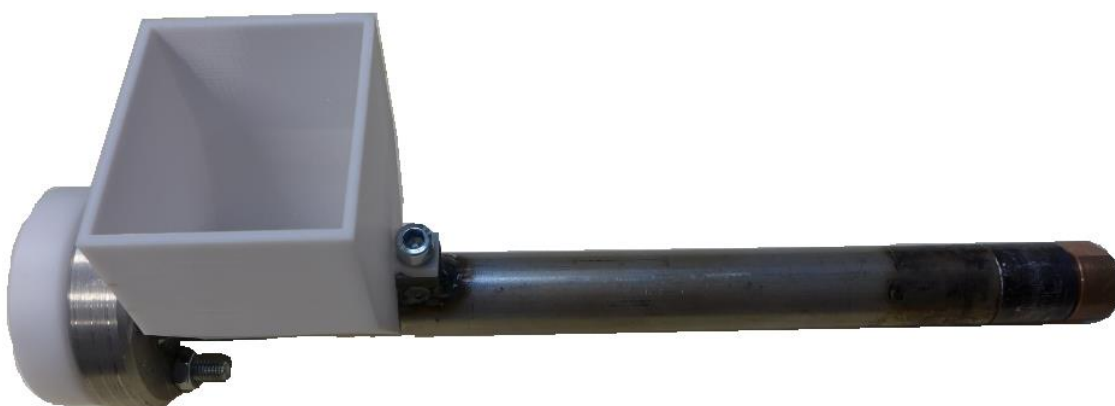
Obr. č. 44: Základna extruderu s držáky

4.2.3 MONTÁŽ EXTRUZNÍ KOMORY S OSTATNÍMI KOMPONENTY

Montáž nejdůležitější části extruderů začíná montáží extruzní komory spolu s plastovou přírubou. Na stranu s výřezem pro násypku jsou použity šrouby kratší než pro druhou stranu, jelikož budou použity i pro upevnění k držáku. Dalším krokem je připevnění násypky pomocí šroubů k extruzní komoře, vložení šneku do extruzní komory a montáž jedné z částí pružné spojky na konec šneku. Při montování druhé strany extruzní komory se nejdříve vloží lamač do dávkovací hlavy a zajistí vnitřní segerovou pojistkou. Nyní se může celý set připevnit k extruzní komoře. Posledním krokem je našroubování trysky na dávkovací hlavu a utažení pomocí kleští.



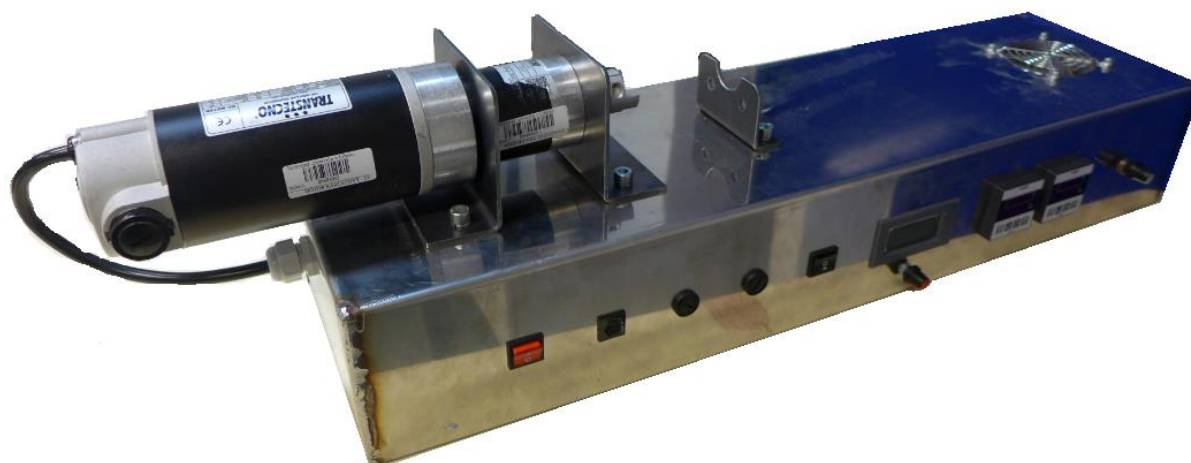
Obr. č. 45: Lamač zasazen do dávkovací hlavy a zajištěn segerovou pojistkou



Obr. č. 46: Extruzní komora s ostatními komponenty

4.2.4 MONTÁŽ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU S PLANETOVOU PŘEVODOVKOU

Montáž motoru s převodovkou probíhá dle specifikací od dodavatele. Jedná se pouze o sestavení obou komponent za pomoci šroubů. Posledním úkolem je připevnění druhé části pružné spojky na konec výstupní hřídele z planetové převodky a vložení plastového středu spojky.



Obr. č. 47: Stejnsměrný motor s planetovou převodovkou

4.2.5 SESTAVENÍ EXTRUDERU

Nyní jsou připraveny tři podsestavy pro kompletní sestavení extruderu: základna s držáky extruderu, tělo extruderu a sestava motoru s převodovkou.

První krok je montáž extruderu k držáku na základně pomocí šroubů vycházejících z přírub a následné zajištění celé sestavy matkami.

Druhým krokem je vložení sestavy motoru s převodovkou skrze druhé držáky a zajištění pomocí šroubů přes prostřední držák k planetové převodovce.

V této fázi jsou obě části propojené pomocí pružné spojky, v případě nesouososti celé stavy lze tento problém korigovat povolením šroubů mezi držáky a skříní extruderu a celou sestavu vycentrovat.



Obr. č. 48: Sestavený extruder

4.2.6 MONTÁŽ TOPNÝCH TĚLES S TERMOČLÁNKY A ZAPOJENÍ EXTRUDERU

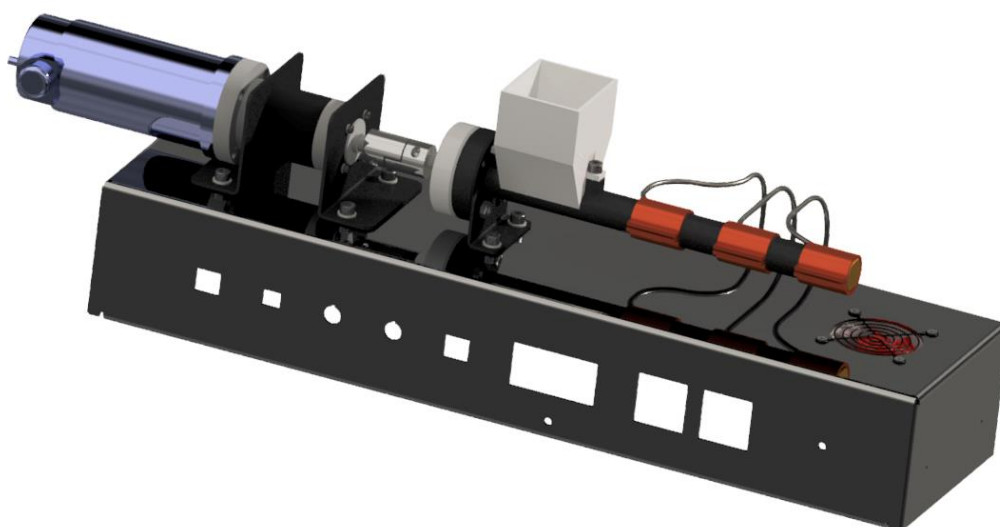
Finální zařízení zbývá osadit topným setem a zapojit motor do elektrického systému s řídicí jednotkou. Jak už bylo zmíněno, extruder disponuje třemi topnými tělesy s termočlánky a dvěma regulátory. Dvě topná tělesa blíže k násypce budou zapojena na jeden regulátor a poslední topné těleso bude mít svůj vlastní. Třetí topné těleso bude namontováno na trysku tak, aby plocha trysky lícovala s hranou topného tělesa. Ostatní topná tělesa budou od sebe vzdálena 30-35 mm.

Zapojení elektrických obvodů bylo přenecháno odborníkovi z Fakulty mechatroniky, informatiky a mezioborových studií (FM).

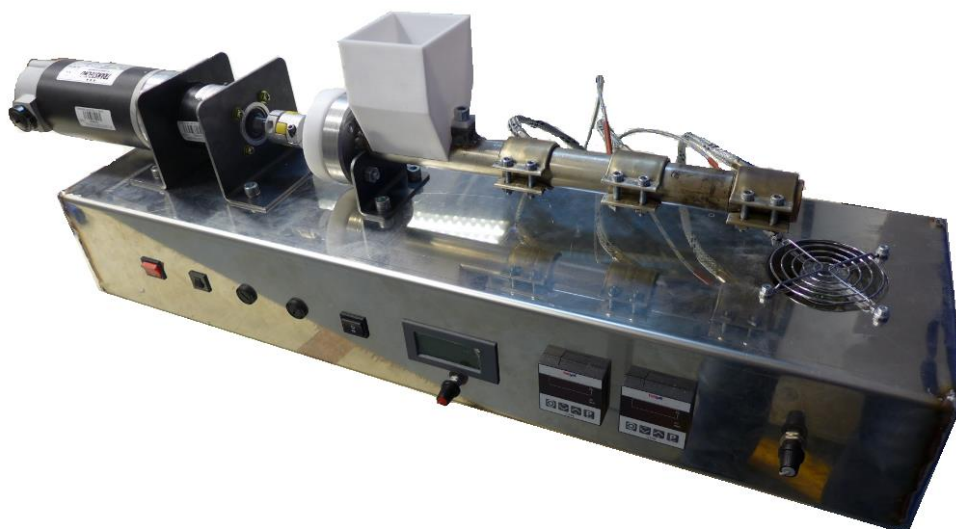
Takto složený extruder je připraven pro první zkoušky výroby vlákna.



Obr. č. 49: Montáž topného tělesa s termočlánkem



Obr. č. 50: 3D extruder



Obr. č. 51: Finální extruder

5. EXTRUZE VLÁKNA

První testy probíhaly na průmyslově vyráběných tryskách o různých průměrech a při teplotách 175°C na prvních dvou topných těles a 185°C na topném tělesu u trysky. Otáčky motoru byla ve všech třech variantách stejné okolo 6 otáček za minutu.

Vlákno bude extrudováno z materiálu ABS, které má následující parametry:

Výrobce: Styron

Typ: Magnum ABS 3616 7 natural

Maximální hodnota mechanické zkoušky tahem u vstřikovaného dílu= 60 MPa

Modul pružnosti: $E = 2900 \text{ MPa}$

Při extruzi vlákna je několik elementů, které nám výrazně mohou měnit výsledky v nezávislosti na konstrukci zařízení.

Tyto elementy jsou:

- Otáčky extruderu, kdy při vyšších otáčkách se vlákno nestačí ochladit a je těžké zachovat konstantní průměr. Při nižších otáčkách má vlákno nestabilní vytlačování a expanduje při vytlačení z trysky.
- Nastavení teploty u topných těles, jelikož při nižší teplotě sice vlákno má stabilnější průměr ale zařízení je mnohem více zatěžováno větším krouticím momentem a větším namáháním z důsledku většího odporu taveniny uvnitř extruzní komory. Zatímco vyšší teplota topných těles má za důsledek táhnutí vlákna a nestabilní průměr.
- Nastavení rychlosti návinu vlákna v souvislosti s rychlostí vytlačování vlákna. Tento problém způsobuje, při vyšší rychlosti navíjení, natahování vlákna a zmenšování jeho průměru. Při nízké rychlosti je problém velkého prověšení vlákna a jeho kroucení.

Jak je vidět z prvního obrázku, průměr trysky byl příliš malý na extruzi vlákna.



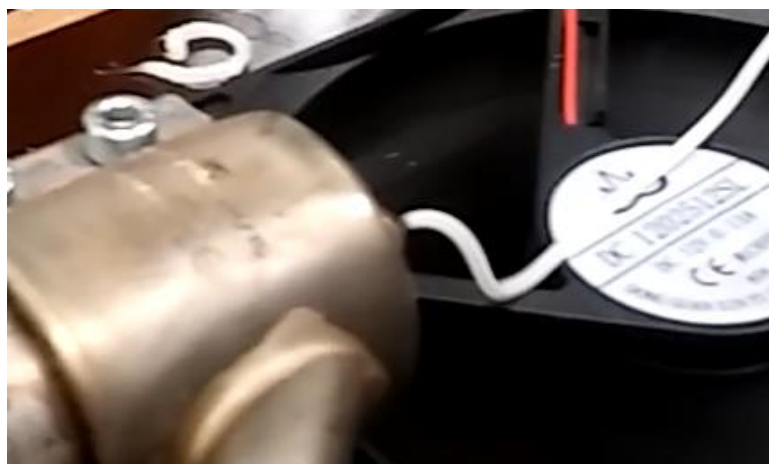
Obr. č. 52: Extruze vlákna s průmyslovou tryskou o průměru 1 mm

Na druhém obrázku je zřejmý problém s expanzí vlákna za tryskou, kdy se průměr vlákna zvětšuje a je nestabilní, díky tomu by se mohly vyskytnout problémy s tolerancemi průměru vlákna.



Obr. č. 53: Extruze vlákna s průmyslovou tryskou o průměru 1,5 mm

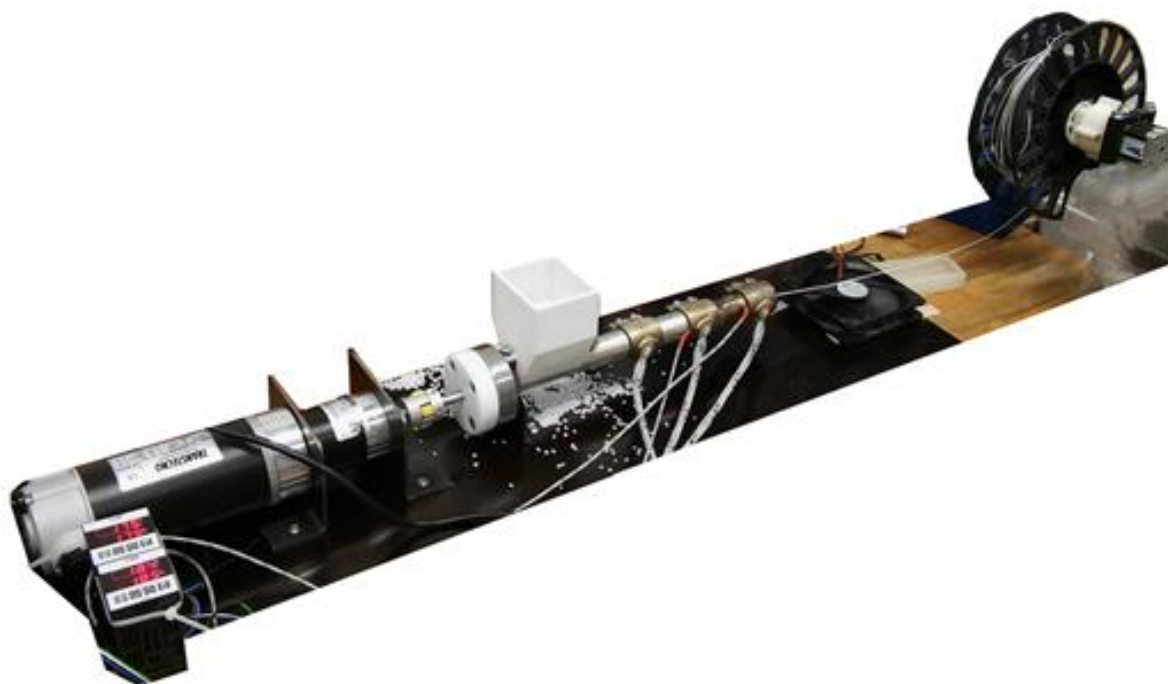
Na dalším obrázku je vidět, jak je důležité mít konstantní navíjení vlákna jinak se vlákno začne deformovat.



Obr. č. 54: Extruze vlákna s průmyslovou tryskou o průměru 1,75 mm

Na základě popisovaných problémů se průmyslová tryska vyloučila, jako vhodný díl pro vytlačování vlákna a byla nahrazena navrhovanou a nově vyrobenou tryskou.

Další testy, již s novou tryskou s průměrem 1,7 mm, probíhaly s lepšími výsledky, co se týče dodržování přesnosti průměru vlákna i kvalitou vlákna samotného. Bylo to převážně díky vnitřnímu otvoru s délkou 8 mm, který dostatečně stabilizoval vlákno. Také zvětšení vnějšího průměru tak, aby mohla být tryska vytápěna, pomohlo k lepšímu zahřátí trysky na začátku procesu a konstantní rychlosti vytlačování vlákna. Parametry zařízení zůstaly zachované z předchozích testů.



Obr. č. 55: Extruze vlákna s vyrobenou tryskou o průměru 1,7 mm

Pro kontrolu se, v průběhu extrudace, měřil průměr vlákna na každých 20 mm délky. Dále se vlákno kontrolovalo po stránce kvality povrchu, kdy mohly vznikat různé zvlnění vlákna, či bubliny a spáleniny.

Vlákno bylo vytvořené v dostatečné délce několika metrů pro odzkoušení stabilizace procesu a pro jeho odzkoušení na 3D tiskárně.

6. POUŽITÍ VLÁKNA PRO 3D TISK A VÝSLEDKY 3D TISKU

Vlákno, vyrobené pomocí sestaveného extruderu, bylo následně odzkoušeno na 3D tiskárně RepRap 3D factories. Při 3D tisku nebyly zaznamenány žádné problémy s kvalitou vlákna, či s nepřesným průměrem. Tisk probíhal kontinuálně a vzorky byly úspěšně vytisknuty bez známek chyb.

Pro porovnání mechanických vlastností s komerčně vyráběným vláknem byl zvolen postup zkoušky tahem na trhacím stroji. Byly vytisknuty zkušební vzorky s průřezem 10x4 mm z materiálu ABS. První zkušební vzorky byly vyrobeny z vlákna z postaveného extruderu a vytisknuty na 3D tiskárně RepRap 3D factories.

Druhé vzorky byly vyrobeny z komerčně dostupného vlákna a vytisknuty na komerční 3D tiskárně Stratasys Dimension sst768.

Poté byly vzorky předány do laboratoře na TUL, kde na nich byly provedeny zkoušky tahem.



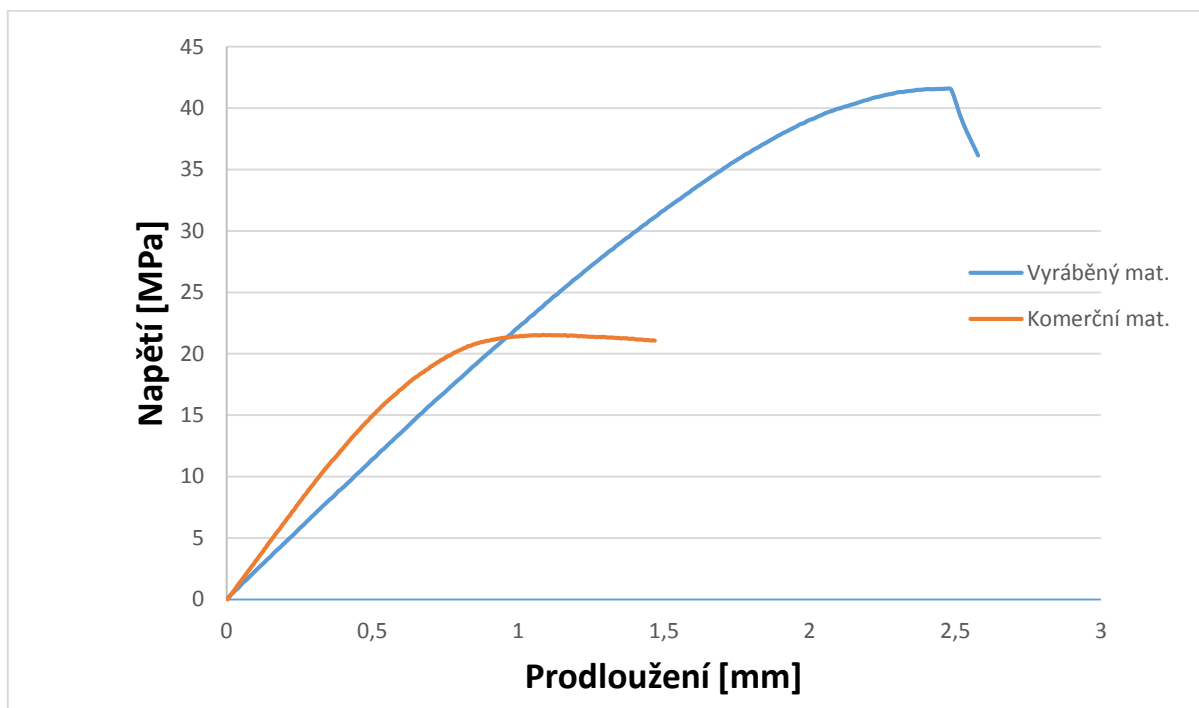
Obr. č. 56: Vytisknuté zkušební vzorky z komerčního stroje a z komerčního materiálu ABS

Výsledné hodnoty byly zapsány do tabulky a pro lepší názornost byl sestrojen graf průběhů zkoušek.

Na grafu 1 jsou vidět závislosti napětí na prodloužení obou testovaných materiálů. Na grafu můžeme také vidět, že vyráběný materiál disponuje vyšší mezí pevnosti než materiál

komerční. Jeden z důvodů lepšího výsledku je použití jiného druhu ABS materiálu, než u komerčního materiálu.

Tento ABS materiál ve formě granulí je dostupný pro vstřikovací lisy v laboratořích Katedry strojírenské technologie. Hlavní důvod využití tohoto granulátu byla možnost otestování dalšího druhu ABS materiálu, který lze velice efektivně využít pro stavbu fyzických prototypů.



Graf č. 1: Výsledky tahové zkoušky komerčního

7. ZÁVĚR

Cílem práce byla konstrukce a následná výroba zařízení pro extrudaci různých materiálů pro 3D tiskárny typu RepRap. Cíl práce byl splněn díky zařízení splňující všechny body v zadání.

Navrhovaná konstrukce zařízení vychází z několika již dostupných extruderů a splňuje požadavek na variabilitu různých plastových granulátů. Tři topná tělesa, které zaručí zpracovatelnost materiálů s bodem tání až 380°C. Dále výkonný stejnosměrný motor zajistí snadnou dopravu a homogenizaci materiálu. Vyráběná tryska je schopna dodržet průměr vlákna v tolerančním poli pro bezproblémové použití v 3D tiskárně RepRap. Objem násypky pro granulát byl navržen pro zhruba 140 metrů vlákna bez potřeby zásahu obsluhy stroje.

Výhoda konstrukce spočívá v jednoduchosti celého zařízení a tím i snížení výrobních nákladů. V případě nutnosti vyčištění vnitřního prostoru zařízení, například při výměně materiálu, nabízí zařízení snadnou demontáž přední i zadní části extruzní komory a vyjmutí šneku s dávkovací hlavou a jejich následné vyčištění.

Další výhodou extruderu je snadné ovládání směru otáček a regulace rychlosti motoru, nastavení provozních teplot topných pásků a rychlost otáčení ventilátoru chladící extrudované vlákno.

Nevýhody této konstrukce spočívá ve vyrovnávání souososti, které nemusí být vždy přesné. Díky tomu vznikají z převodovky, přes spojku, na šnek axiální síly, které mohou vyvolat vibrace stroje a rychlejší opotřebení součástí. Tuto skutečnost lze korigovat dvěma způsoby a tím zlepšit souosost všech prvků sestavy. První způsob spočívá ve vycentrování os při povolených držácích motoru, spojky a extruzní komory, jak je popsáno v kapitole: 4.2.5 Sestavení extruderu. Druhý způsob je použití dalšího uchycení a zafixování extruzní komory v místech mezi topnými páskami. Další nevýhodou zařízení je nemožnost nastavení otáček na přesnou hodnotu, jelikož výstupní hřídel za převodovkou, či extruzní šnek neobsahují snímač otáček.

Zařízení je schopno vyrábět vlákna z různých termoplastických materiálů, které mohou být následně použity při 3D tisku. Toto zařízení umožní zpracovávat různé typy termoplastických materiálů a vyrábět vlákno, které je i desetkrát levnější v porovnání s komerčním materiálem.

U testů byl použit jiný typ ABS, který je detailněji popsán v kapitole 5. Extruze vlákna, než který byl použit při komerční výrobě vlákna. Tento typ ABS materiálu má jiné

mechanické vlastnosti v tahu než komerčně dodávaný materiál a proto lze vyrábět díly s lepšími mechanickými vlastnostmi, než na komerčních 3D tiskárnách.

Zařízení je vhodné pro různé typy materiálů z důvodu předimenzování topných těles a snadné montáže a demontáže šneku. V závěru praktických testů byl otestován materiál na bázi vosku s příměsí keramiky, ale i termoplastický materiál s přírodním vláknem.

Neméně významným výsledkem je také možnost vyrábět vlastní typ vláken pro 3D tisk – kompozity, které nelze na komerčních strojích zpracovávat.

Dalším velkým přínosem tohoto zařízení může být proniknutí do světa designu, díky možnostem kombinací materiálů a jejich barevných odstínů.

Vyrobené vlákno může být tedy použito při tisknutí různorodých výrobků ať už funkčních, vývojových, či designových.

Hodnoty strojního zařízení:

Cena nakupovaných součástí: 23 000 Kč

Cena vyráběných součástí na KSA: cca 2300 Kč

Výroba: 4-5 metrů vlákna za minutu

Připojení: 230 V

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Fa.Hans Weber Maschinenfabrik Gmbh, *Firemní materiály*
- [2] Filabot Original Filament Extruder, *Firemní stránky* [online]. 2015
[cit. 2015-08-20]. Dostupné z: <https://www.filabot.com/>
- [3] Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld, *Katedra tváření kovů a plastů, Technologie II - skriptu*
[online]. 2015 [cit. 2015-10-05]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm#064
- [4] Ing. Martin Seidl, *Další stroje pro zpracování plastů* [online]. 2015
[cit. 2015-10-05]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/14.html>
- [5] Bentraco, *Firemní stránky* [online]. 2015 [cit. 2015-10-06]. Dostupné z:
www.bentraco.com
- [6] Noztek filament extrusion system, *Firemní stránky* [online]. 2015
[cit. 2015-10-06]. Dostupné z: www.noztek.com
- [7] Wellzoom, *Firemní stránky* [online]. 2015 [cit. 2015-10-07]. Dostupné z:
www.desktopeextruder.com
- [8] 3D print, *Forum* [online]. 2015 [cit. 2015-10-09]. Dostupné z: www.3dprint.com
- [9] Ebay, *Obchodní portál* [online]. 2015 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z:
www.ebay.com
- [10] Thingiverse, *Forum* [online]. 2015 [cit. 2015-10-11]. Dostupné z:
<http://www.thingiverse.com/make:75984>
- [11] Thingiverse, *Forum* [online]. 2015 [cit. 2015-10-15]. Dostupné z:
<http://www.thingiverse.com/thing:30642>
- [12] Delta 3D Printer, *Firemní stránky* [online]. 2016 [cit. 2015-10-15]. Dostupné z:
<http://deltaprinter.co.za/filamentextruder/index.html>
- [13] Elektromotory a převodovky, *Firemní stránky* [online]. 2015 [cit. 2015-09-05].
Dostupné z: <http://www.raveo.cz/>
- [14] Topné elementy, měření a regulace teploty, *Firemní stránky* [online]. 2015
[cit. 2015-09-13]. Dostupné z: <http://www.hotset.cz/topne-elementy/>
- [15] Pružné spojky, *Firemní stránky* [online]. 2015 [cit. 2015-08-06]. Dostupné z:
<http://www.teatechnik.cz/>

- [16] Vrtáky do dřeva – hadovitý vrták, *Firemní stránky* [online]. 2015
[cit. 2015-08-05]. Dostupné z: [http://vrtaky-vrbovsky. cz /](http://vrtaky-vrbovsky.cz/)
- [17] Tryska pro 3D tiskárny RepRap , *Firemní stránky* [online]. 2015
[cit. 2015-10-20]. Dostupné z: [http:// www.jprint3d. cz/](http://www.jprint3d.cz/)
- [18] Chlazení do skříní – Ventilátor, *Firemní stránky* [online]. 2015
[cit. 2015-10-28]. Dostupné z: [http:// www.alza. cz /](http://www.alza.cz/)

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. č. 1: Extruze vlákna [2]
- Obr. č. 2: Schéma šnekového stroje [4]
- Obr. č. 3: Šnekový extruder [5]
- Obr. č. 4: Noztek Pro ABS and PLA Filament [6]
- Obr. č. 5: Noztek Pro High Temperature – Topné těleso [6]
- Obr. č. 6: Noztek Touch & Touch HT [6]
- Obr. č. 7: Noztek Xcalibur [6]
- Obr. č. 8: Naviják vlákna pro extrudery [6]
- Obr. č. 9: Extruder Wellzoom [7]
- Obr. č. 10: Naviják vlákna Wellzoom [7]
- Obr. č. 11: Extruder FilaFab EX100 [8]
- Obr. č. 12: Extruder FilaFab EX350 [8]
- Obr. č. 13: Extruder FilaFab - Kit [9]
- Obr. č. 14: Extruder FilaFab - Kit [9]
- Obr. č. 15: Lyman's Filament extruder [10]
- Obr. č. 16: Lyman's Filament extruder - příslušenství [10]
- Obr. č. 17: Lyman's Filament extruder [11]
- Obr. č. 18: Delta Filament extruder – fáze stavění [12]
- Obr. č. 19: Delta Filament extruder [12]
- Obr. č. 20: Schéma extruderu
- Obr. č. 21: Stejnoseměrný kartáčový motor – Raveo [13]
- Obr. č. 22: Planetová převodovka – Raveo [13]
- Obr. č. 23: Regulátor teploty – Hotset [14]
- Obr. č. 24: Hermeticky utěsněný topný pásek – Hotset [14]
- Obr. č. 25: Plochý termočlánek typ J – Hotset [14]
- Obr. č. 26: Pružná spojka – T.E.A. Technik [15]

- Obr. č. 27: Hadovitý vrták – Vrtáky Vrbovský [16]
- Obr. č. 28: Extruzní komora s přírubou a držáky pro násypku
- Obr. č. 29: Plastová příruba
- Obr. č. 30: Násypka
- Obr. č. 31: Dávkovací hlava
- Obr. č. 32: Lamač
- Obr. č. 33: Podpěra extruzní komory
- Obr. č. 34: Podpěra převodovky a motoru
- Obr. č. 35: Nakupovaná tryska [17]
- Obr. č. 36: Navrhnutá tryska
- Obr. č. 37: Ventilátor 80x80x15 [18]
- Obr. č. 38: Základna extruderu
- Obr. č. 39: Unašeč cívky pro vlákno
- Obr. č. 40: Naviják vlákna s cívkou
- Obr. č. 41: Díly extruderu
- Obr. č. 42: Elektrické a ovládací komponenty uvnitř základny extruderu
- Obr. č. 43: Ovládací komponenty na boku základny extruderu
- Obr. č. 44: Základna extruderu s držáky
- Obr. č. 45: Lamač zasazen do dávkovací hlavy a zajištěn segerovou pojistkou
- Obr. č. 46: Extruzní komora s ostatními komponenty
- Obr. č. 47: Stejnosměrný motor s planetovou převodovkou
- Obr. č. 48: Sestavený extruder
- Obr. č. 49: Montáž topného tělesa s termočlánkem
- Obr. č. 50: 3D extruder
- Obr. č. 51: Finální extruder
- Obr. č. 52: Extruze vlákna s průmyslovou tryskou o průměru 1 mm
- Obr. č. 53: Extruze vlákna s průmyslovou tryskou o průměru 1,5 mm

Obr. č. 54: Extruze vlákna s průmyslovou tryskou o průměru 1,75 mm

Obr. č. 55: Extruze vlákna s vyrobenou tryskou o průměru 1,7 mm

Obr. č. 56: Vytisknuté zkušební vzorky z komerčního stroje a z komerčního materiálu
ABS

10. SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Výsledky tahové zkoušky komerčního

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha číslo 1: VÝKRESY

Výkres sestavení: A3-KSA-VYS-01-00

Výrobní výkres: A3-KSA-VYS-01-01

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-01-02

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-01-03

Výrobní výkres: A3-KSA-VYS-01-04

Výrobní výkres: A3-KSA-VYS-01-05

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-01-06

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-01-07

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-01-08

Výkres sestavení: A4-KSA-VYS-02-00

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-02-01

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-02-02

Výrobní výkres: A4-KSA-VYS-02-03

Příloha číslo 2: FOTOGRAFIE A OBRÁZKY

Obrázek extruderu 3D

Obrázek finálního extruderu

OBSAH PŘÍLOŽENÉHO CD

Text diplomové práce:

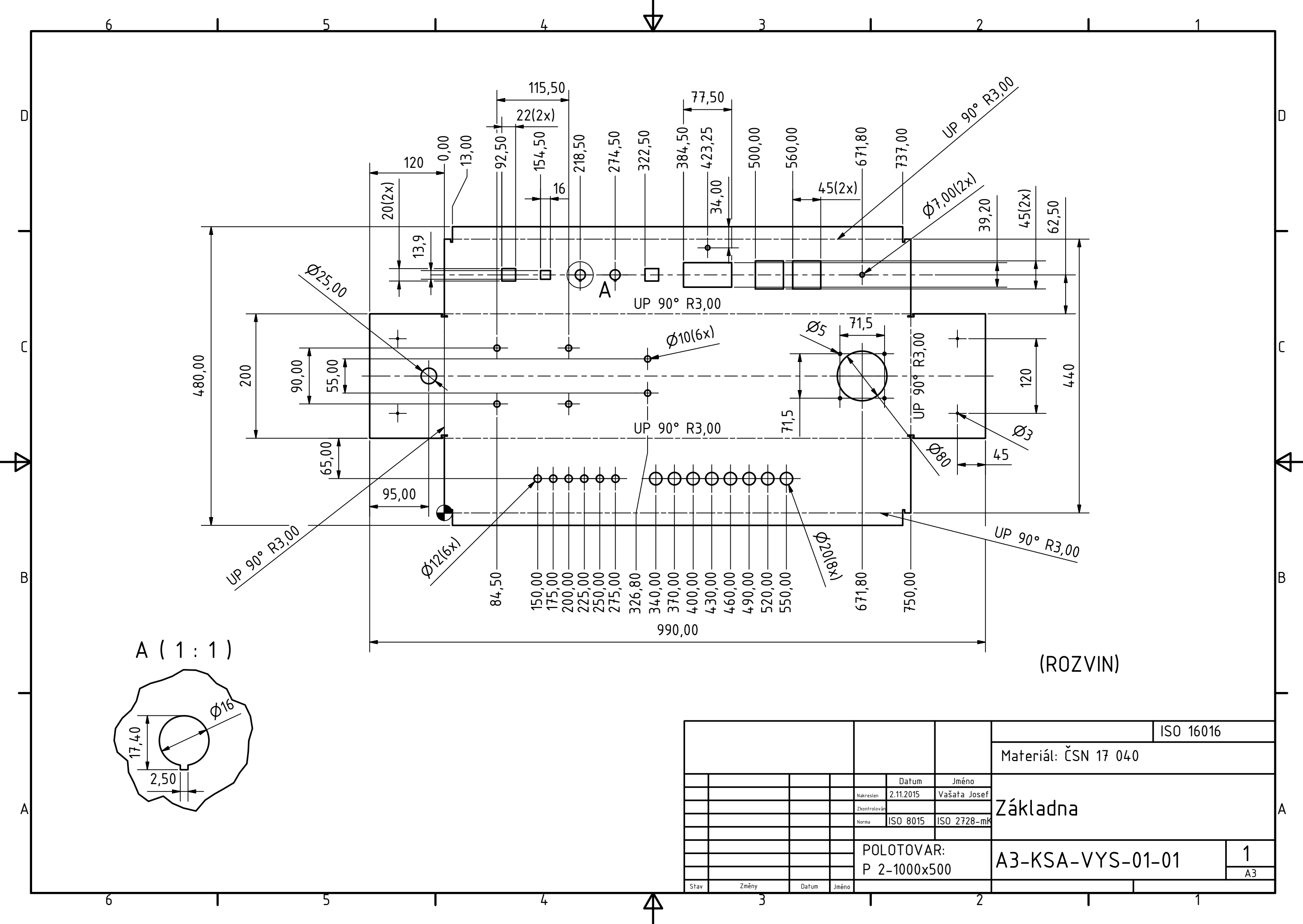
- Diplomova_prace_2016 _Josef_Vasata.pdf
- Diplomova_prace_2016_Josef_Vasata.docx
- Kopie_zadani_ Diplomova_prace_Josef_Vasata.pdf

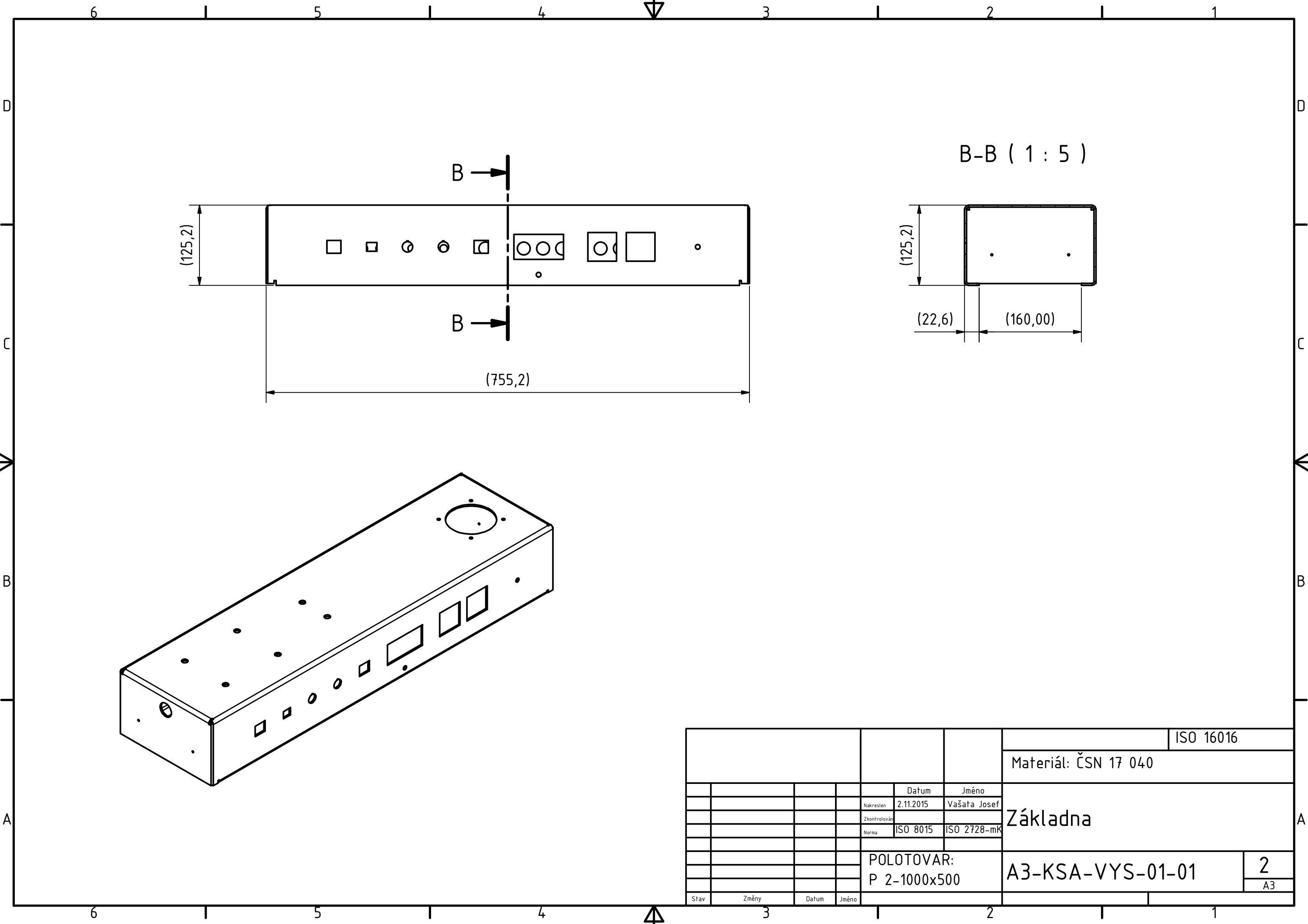
Výkresy:

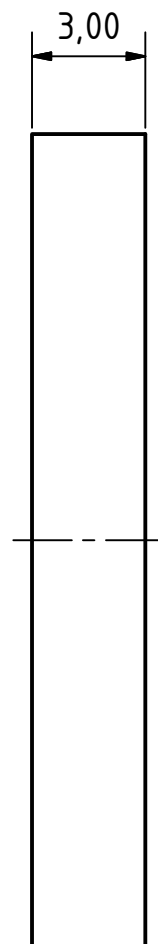
- A3-KSA-VYS-01-00.pdf
- A3-KSA-VYS-01-01.pdf
- A4-KSA-VYS-01-02.pdf
- A4-KSA-VYS-01-03.pdf
- A3-KSA-VYS-01-04.pdf
- A3-KSA-VYS-01-05.pdf
- A4-KSA-VYS-01-06.pdf
- A4-KSA-VYS-01-07.pdf
- A4-KSA-VYS-01-08.pdf
- A4-KSA-VYS-02-00.pdf
- A4-KSA-VYS-02-01.pdf
- A4-KSA-VYS-02-02.pdf
- A4-KSA-VYS-02-03.pdf

Fotografie a obrázky:

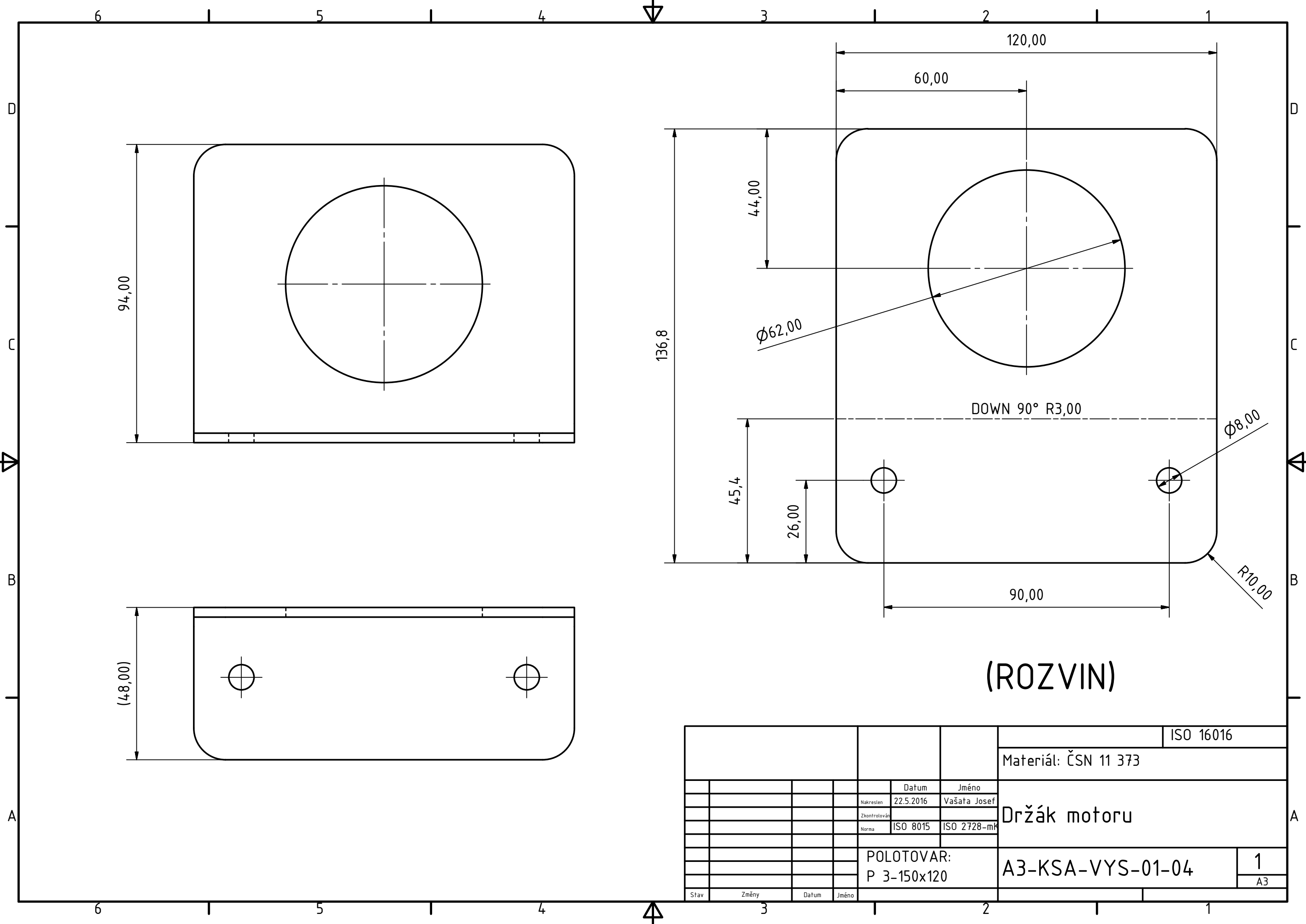
- Finalni_extruder.pdf
- Extruder_3D.pdf





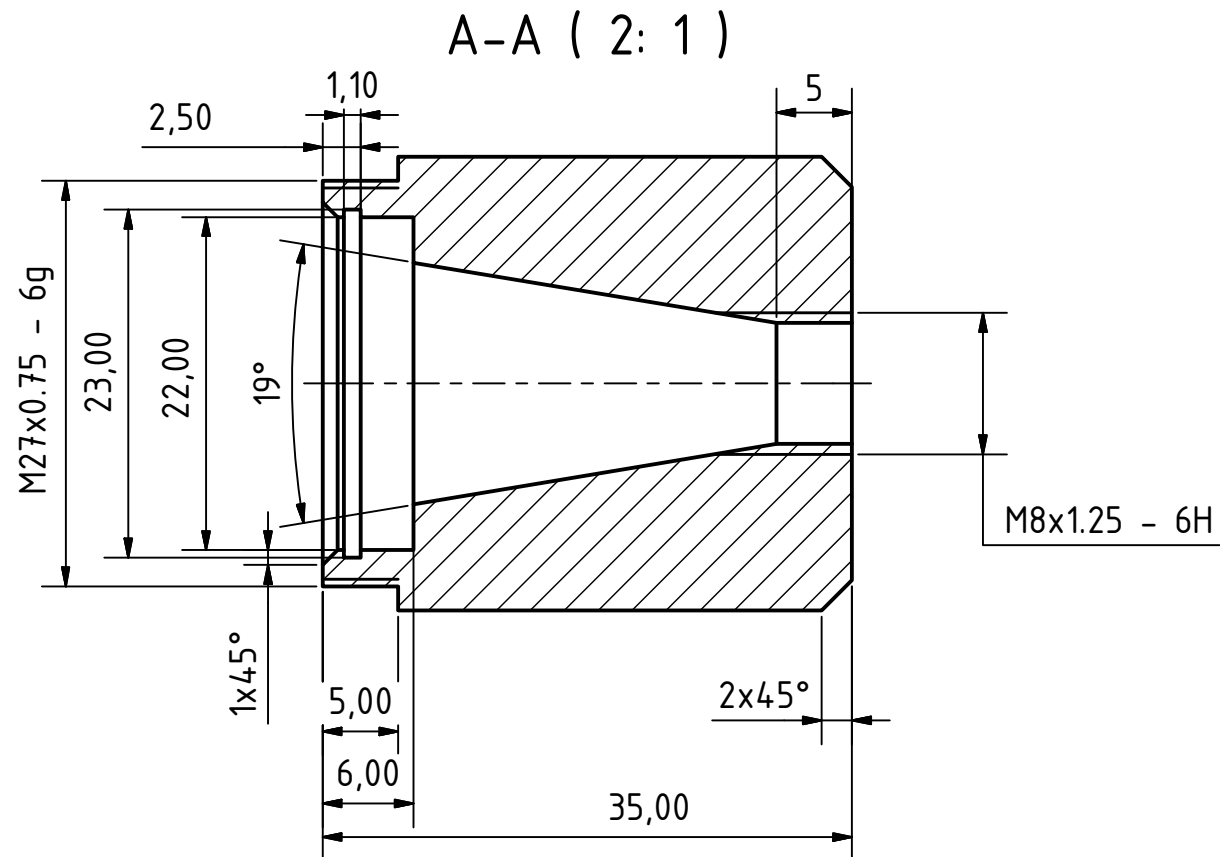
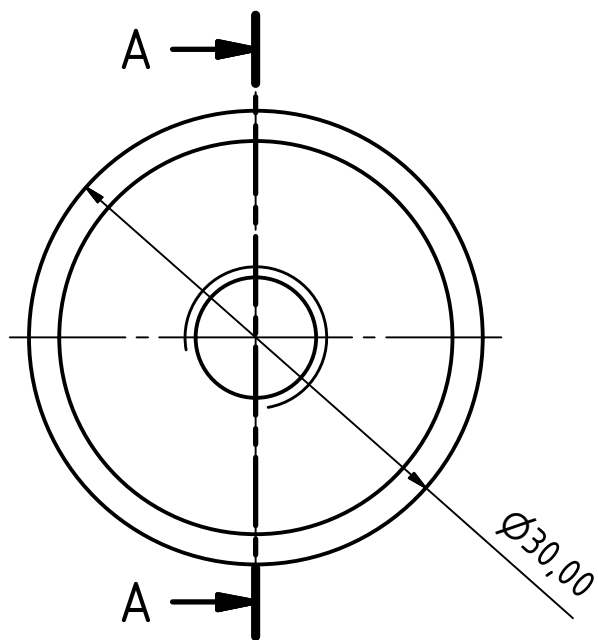


						ISO 16016		
						Materiál: ČSN 11 373		
				Datum	Jméno	Lamač		
				Nakreslen	22.10.2015			Vašata Josef
				Zkontrolován				
				Norma	ISO 8015			ISO 2728-mk
				POLOTOVAR:		A4-KSA-VYS-01-03		
				Ø30x100				
Stav	Změny	Datum	Jméno			1		
						A4		

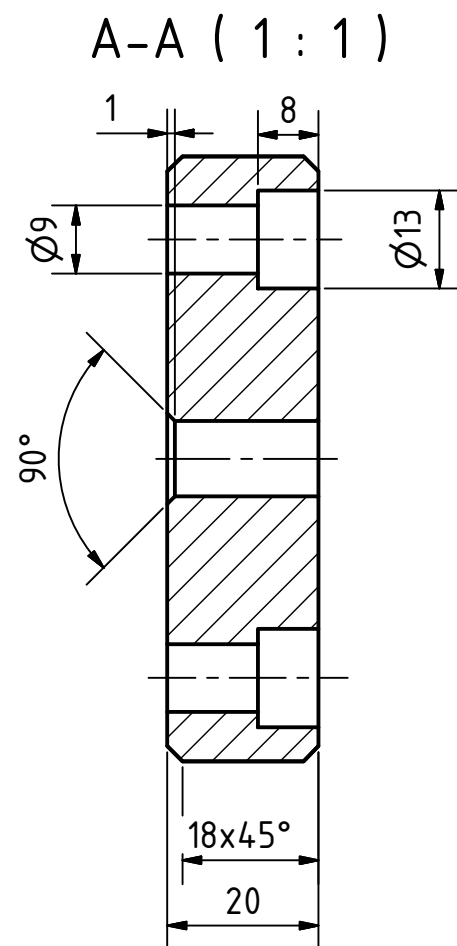
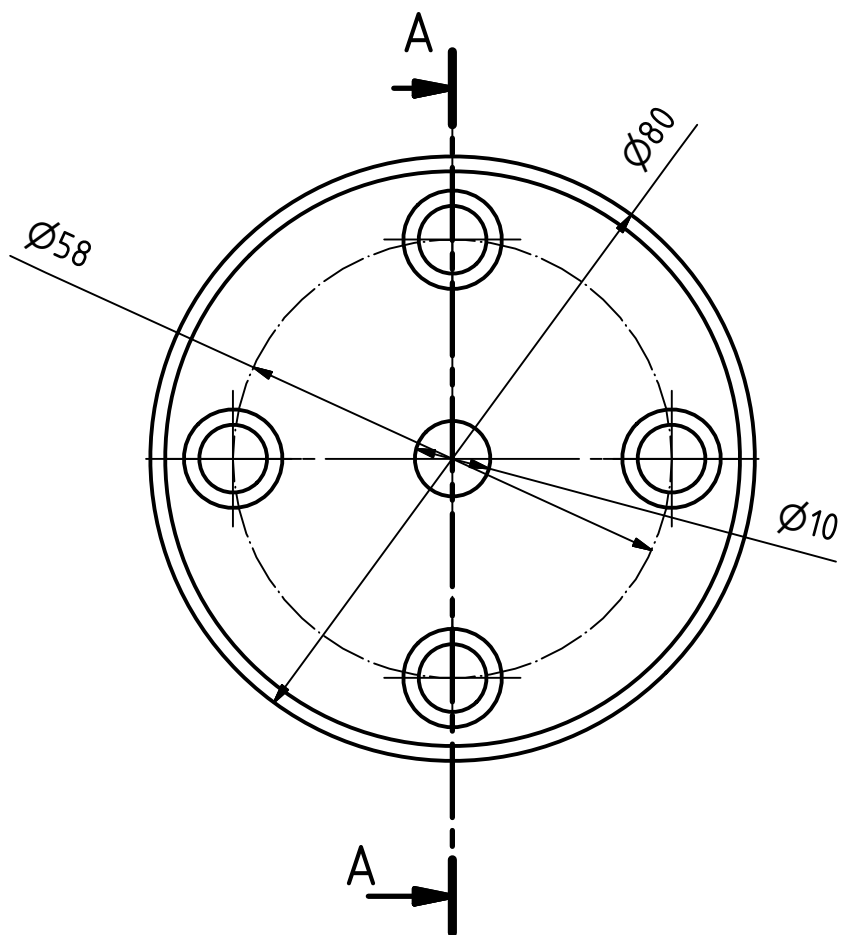


(ROZVIN)

						ISO 16016	
				Materiál: ČSN 11 373			
				Datum	Jméno		
				Nakreslen	22.5.2016	Vašata Josef	
				Zkontrolován			
				Norma	ISO 8015	ISO 2728-mk	
							Držák motoru
				POLOTOVAR:			
				P 3-150x120			
				A3-KSA-VYS-01-04			1
							A3
Stav	Změny	Datum	Jméno				



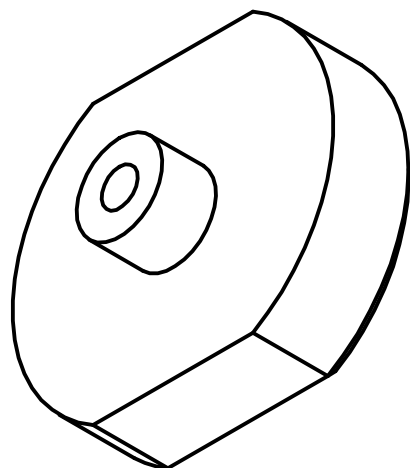
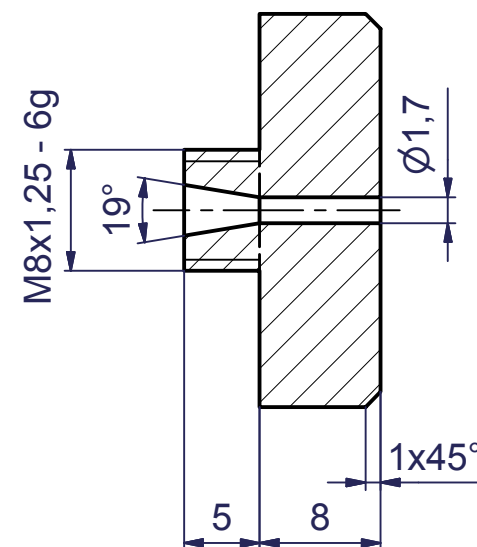
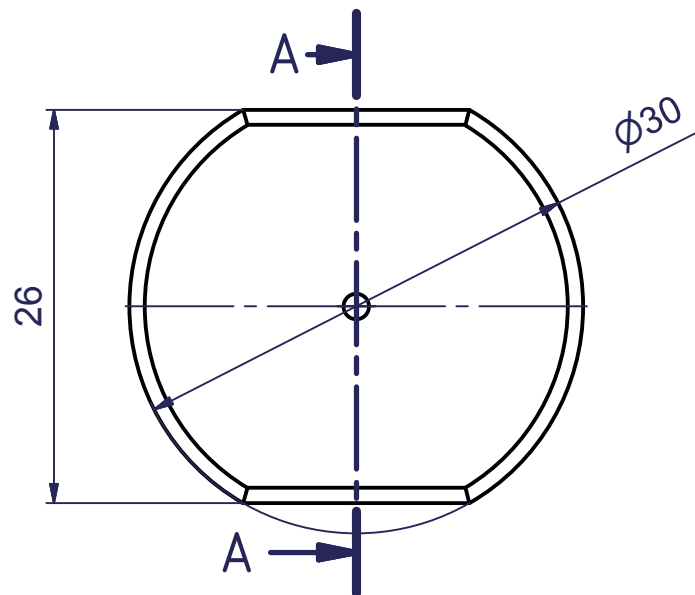
						ISO 16016		
						Materiál: ČSN 11 373		
				Datum	Jméno	Dávkovací hlava		
				Nakreslen	22.10.2015			Vařata Josef
				Zkontrolován				
				Norma	ISO 8015			ISO 2728-mK
				POLOTOVAR:		A4-KSA-VYS-01-06		
				Ø30x100				
Stav	Změny	Datum	Jméno			1		
						A4		



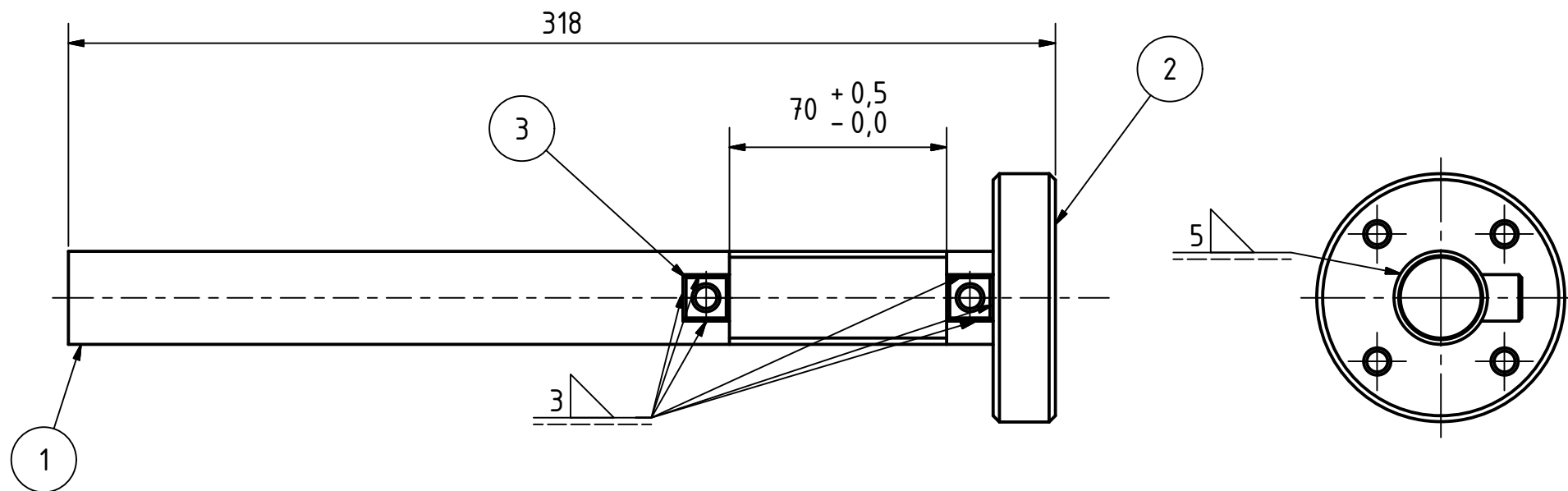
								ISO 16016	
								Materiál: Polyamid PA6–APA (silon)	
				Datum	Jméno	Plastová příruba			
				Nakreslen	30.10.2015				Vašata Josef
				Zkontrolován					
				Norma	ISO 8015				ISO 2728–mk
				POLOTOVAR: Ø90x300		A4–KSA–VYS–01–07		1	
								A4	
Stav	Změny	Datum	Jméno						

3,2/ (✓)

A-A (2 : 1)

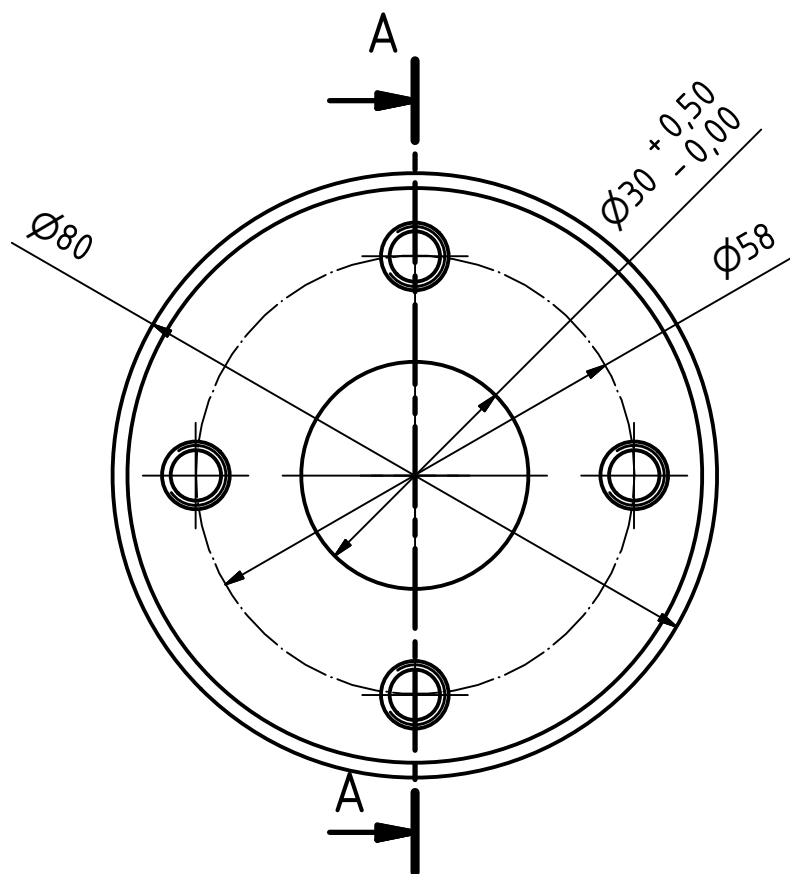


						ISO 16016		
						Materiál: ČSN 423223, CuZn39Pb3 (mosaz)		
				Datum	Jméno	Tryska		
				Kreslil	8.1.2016			Vašata Josef
				Schválil				
				Norma	ISO 8015			ISO 2728-mk
				POLOTOVAR:		A4-KSA-VYS-01-08		
				Ø30x500				
Stav	Změna	Datum	Jméno			1		
						A4		

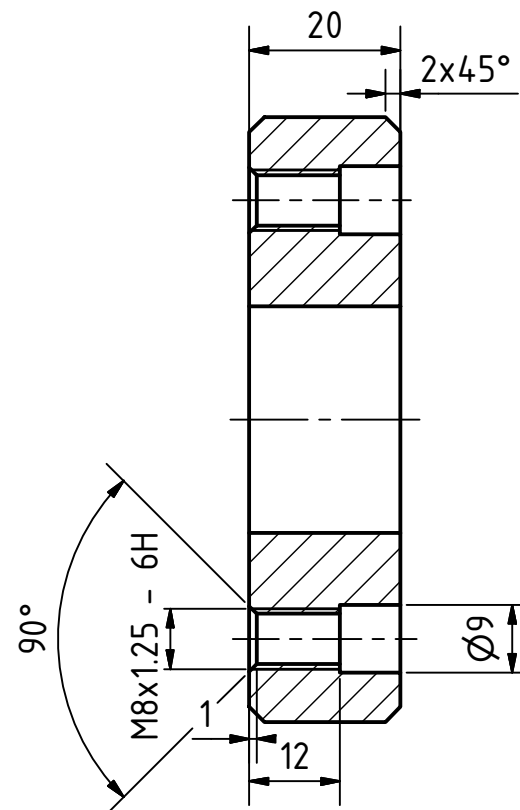


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Extruzní trubka	A4-KSA-VYS-02-01
2	1	Příruba	A4-KSA-VYS-02-02
3	2	Kostka	A4-KSA-VYS-02-03

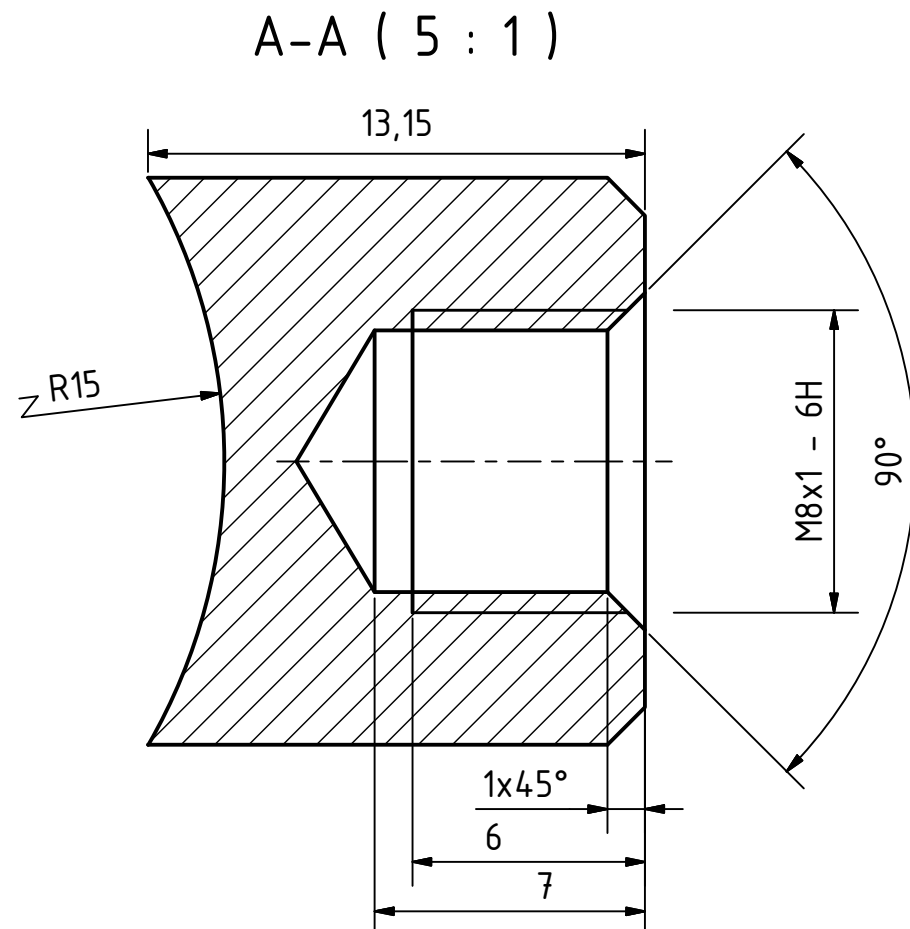
				Datum	Jméno	Extruzní komora			
				Nakreslen	26.10.2015			Vašata Josef	
				Zkontrolován					
				Norma					
						A4-KSA-VYS-02-00		1	
								A4	
Stav	Změny	Datum	Jméno						



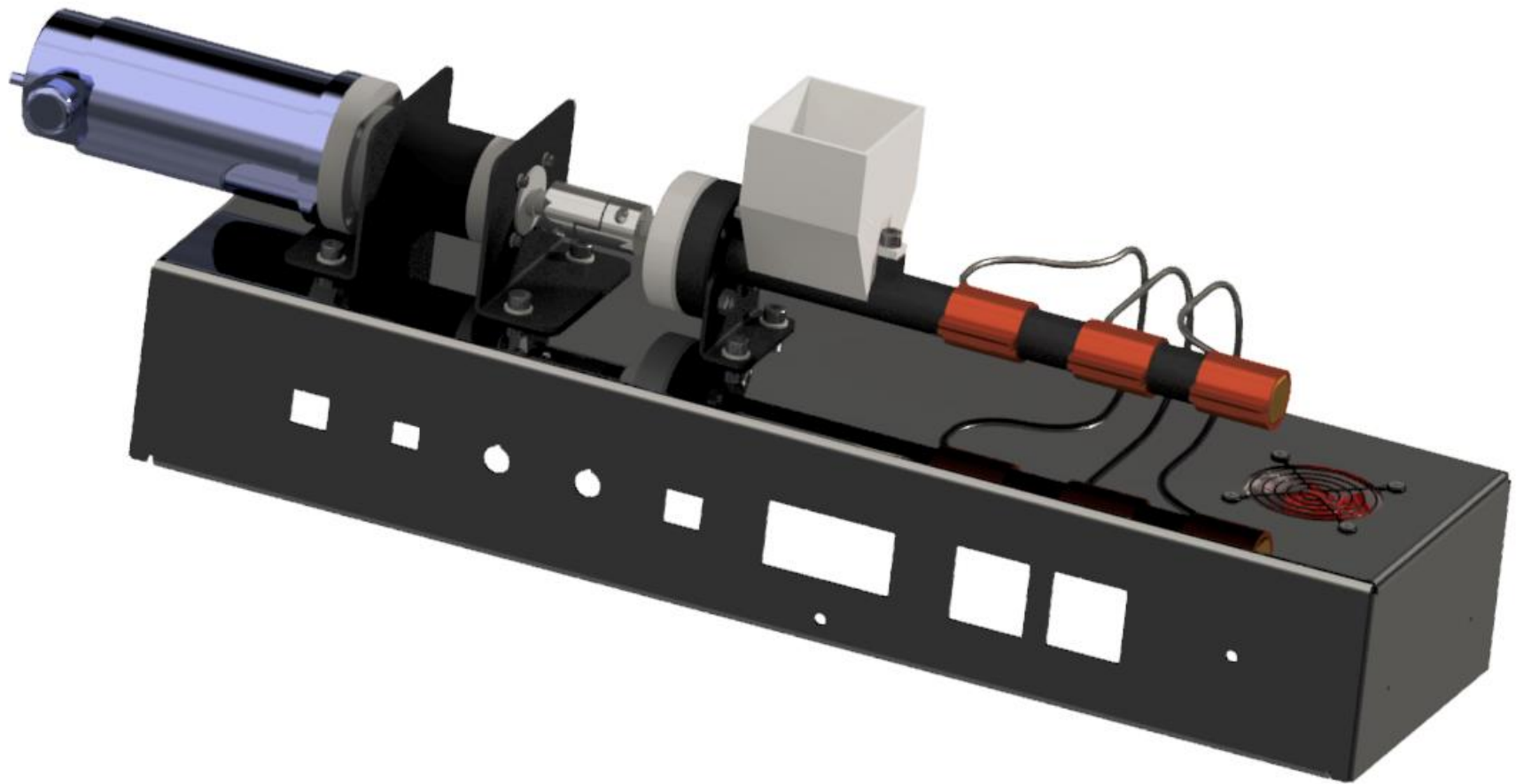
A-A (1 : 1)



								ISO 16016		
								Materiál: ČSN 11 373		
				Datum	Jméno	Ocelová příruba				
				Nakreslen	26.10.2015					Vašata Josef
				Zkontrolován						
				Norma	ISO 8015					ISO 2728-mk
				POLOTOVAR: Ø90x50		A4-KSA-VYS-02-02			1	
									A4	
Stav	Změny	Datum	Jméno							



Extruder 3D



Finální extruder

