

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH DÁVKOVACÍHO ZAŘÍZENÍ PRO 3D TISK ČOKOLÁDOU

DESIGN OF DOSING DEVICE FOR CHOCOLATE 3D PRINTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Otakar Valenta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Bradáč, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Otakar Valenta**
Studijní program: Strojirenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. František Bradáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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

Návrh dávkovacího zařízení pro 3D tisk čokoládou

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je konstrukční návrh dávkovací hlavy pro 3D tisk čokoládou. Pro vybranou tiskovou hlavu navrhnete potřebné pohony a jejich řízení.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Systémový rozbor problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant konstrukčního řešení tiskové hlavy a zdůvodnění výběru optimální varianty.

Potřebné technické výpočty.

3D model navržené konstrukční varianty.

Návrh elektrického zapojení navržené konstrukční varianty včetně návrhu připojení řídicího systému.

Výkres sestavy.

Závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

BECKHOFF New Automation Technology [online], 2018. Verl, Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co. [cit. 2018-09-20]. Dostupné z: <http://www.beckhoff.com/>

Beckhoff Information System [online], 2018. Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co. [cit. 2018-09-20]. Dostupné z: https://infosys.beckhoff.com/index_en.htm

SMC Worldwide leading experts in pneumatics [online], 2018. Vitoria (Alava), Spain: SMC [cit. 2018-09-20]. Dostupné z:

https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/main/index_restyling.jsp?is_main=yes&lang=en&ctry=EU

Potravinářské barvy a barviva [online]. Karviná: PNM International, 2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.svecukraru.cz/potravinarske-barvy-a-barviva/>

Čokoláda a čokoládové výrobky [online]. Karviná: PNM International, 2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.svecukraru.cz/cokolada-a-cokoladove-vyrobky/>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá kritickou rešerší a návrhem tiskové hlavy 3D tiskárny čokolády. Cílem práce je provedení studie rozšíření 3D portálového manipulátoru tiskovou hlavou pro 3D tisk čokolády. V první části je uveden přehled současného stavu poznání a je provedena rešerše. V další části jsou zhodnoceny informace z rešerše a jejich použitelnost pro návrh tiskové hlavy. V poslední části je předvedeno konstrukční řešení tiskové hlavy.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the research and design of a printhead of a 3D chocolate printer. It aims to perform a study of the extension of the 3D portal manipulator printhead for 3D chocolate printing. The first part provides an overview of the current state of knowledge and research is performed. The next part evaluates the information from the research and their applicability to the design of the printhead. The last part shows the constructional solutions of the print head.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, čokoláda, tisková hlava, portálový manipulátor

KEYWORDS

3D printing, chocolate, printhead, portal manipulator

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VALENTA, Otakar. *Návrh dávkovacího zařízení pro 3D tisk čokoládou*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137314>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. František Bradáč, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Františku Bradáčovi, Ph.D. za odborné rady, podnětné připomínky, trpělivost a přátelský přístup při tvorbě této práce. Další poděkování patří Miroslavu a Milanu Klímovi za odborné rady a připomínky ke konstrukčnímu řešení.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Františka Bradáče, Ph.D.. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	10
2.1	3D tisk obecně	10
2.2	3D tisk čokolády	11
2.3	Úprava klasické 3D tiskárny	12
2.3.1	ChocoL3D	12
2.3.2	Choco 3DRAG	13
2.4	Komplet speciální tiskárna	14
2.4.1	Choc Edge	14
2.4.2	Wiiibox Sweetin	16
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	17
3.1	Analýza problému	17
3.1.1	Materiál a přísady	17
3.1.2	Parametry procesu	19
3.2	Cíl práce	22
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	23
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	25
6	ZÁVĚR	28
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	32
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	33
10	SEZNAM TABULEK	34
11	SEZNAM PŘÍLOH	35

1 ÚVOD

Automatizace a průmysl 4.0 postupuje do celé řady nejen průmyslových odvětví a výrobních procesů. Potravinářský a cukrářský průmysl není výjimkou. 3D tisk, jako zástupce technologie rapid prototyping, představuje automatizaci tvorby modelů a tím i zrychlení, zjednodušení a zpřesnění výsledných produktů.

Implementace 3D tisku do rozdílných odvětví průmyslu představuje ale spoustu výzev, které je potřeba překonat. Ať už se jedná o beton či čokoládu, každý tisknutelný materiál má rozdílné vlastnosti a ke svému tisku vyžaduje rozdílné parametry.

Rozmach 3D tisku v potravinářském průmyslu ovlivní nejen běžnou výrobu čokoládových figurek, ale hlavně uměleckou tvorbu cukrářů. Tvorba uměleckých výrobků z čokolády samozřejmě zůstane skutečným uměním, jen se může přesunout více do digitálního prostoru. Rozšiřují se možnosti tvorby složitějších tvarů, možná i jednoduchých mechanismů z čokoládové hmoty. 3D tisk nejen postupuje rychlým tempem mezi průmyslová odvětví, ale podobným tempem se rozvíjí a přináší stále nové možnosti tvorby modelů. Není výjimkou zahlédnout na internetu 3D tiskárny s dvojitým zásobníkem na čokoládu různé barvy či různých složení.

Na trhu lze v současné době najít modely 3D tiskáren čokolády přímo vytvořené za jediným účelem a to právě tiskem čokolády. Lze ale, a možná ve větší míře, nalézt množství vyměnitelných extrudérů a tiskových hlav, umožňující běžným 3D tiskárnám na plast tisknout jiné materiály včetně čokolády. Specializované tiskárny jsou kvůli své cenové dostupnosti používané téměř výhradně v profesionálních cukrářských či kulinářských podnicích. O vyměnitelných extrudérech však lze prohlásit opak. Díky cenové dostupnosti a faktu, že běžné 3D tiskárny již nejsou luxusní vymožeností pracovního stolu, se nabídka těchto produktů zvětšuje. Existuje ale také množství přístupů k dané problematice a různé přístupy vedou ke různým vlastnostem výsledných modelů.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 3D tisk obecně

3D tisk je jedna z technologií hojně využívaných v dnes populárním Rapid Prototyping. Jde o technologii umožňující výrobu modelů přímo z 3D dat CAD softwarů. 3D tisk lze zařadit do kategorie aditivních technologií – materiál pro výrobu finálního modelu je postupně přidáván, dochází k vrstvení materiálu na sebe. Technologie tisku funguje na principu natavování materiálu. Materiál je nejčastěji dodáván formou plastové struny tzv. filamentu.

První zmínky o 3D tisku lze zařadit do počátku 80. let minulého století. Koncept lze ale vypátrat již v letech sedmdesátých. V roce 1981 Hideo Kodama z městského průmyslového výzkumného ústavu Nagoya (Japonsko) publikoval funkční prototyp zařízení pro tisk polymerů po vrstvách. V následujících letech přicházel postupně vývoj a implementace 3D softwarů. Za další významné historické milníky lze označit například první úspěšná operace 3D vytisknutého lidského orgánu (1999), úspěšný tisk protetické končetiny (2008), uvolnění patentů technologie 3D tisku (FDM) do veřejné sféry a tedy širší dostupnost a pokles cen 3D tiskáren (2009) [1].

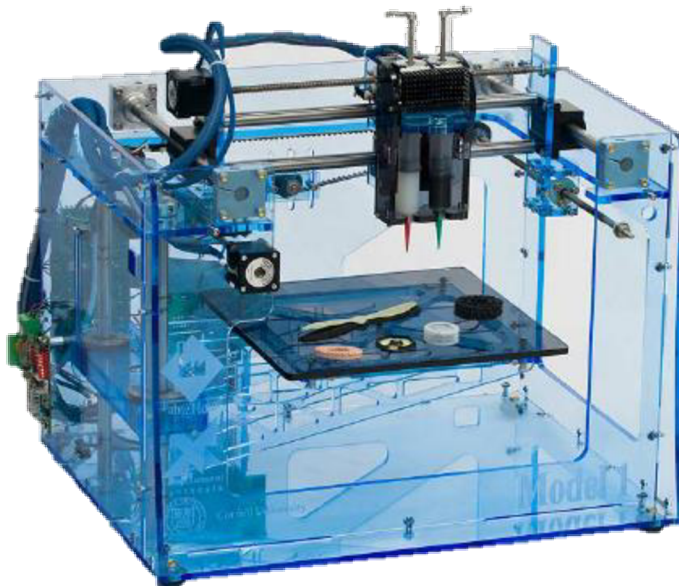
Nejpoužívanějšími materiály ve 3D tisku jsou různé druhy plastů, ale setkáme se i s tiskem kovů, betonových směsí, v lékařství s tiskem orgánů či protéz a v potravinářském průmyslu s tiskem čokolády, marcipánu či masa.

3D tiskárny lze rozlišovat podle technologie, jakou tvoří 3D model. Nejrozšířenější kategorie v tomto rozlišení jsou tiskárny FDM a SLA.

- FDM tiskárny, někdy označované FFF, jsou na trhu nejrozšířenější. Tvorba modelu probíhá pomocí tenkého vlákna materiálu, který je vytlačován přes tiskovou hlavu. Tiskárny s touto technologií se vyznačují nízkými pořizovacími náklady a možností širokého výběru filamentů s různými vlastnostmi.
- SLA tiskárny využívají ke tvorbě modelu fotoreaktivní pryskyřici a světlo o určité vlnové délce. Pryskyřice je ozařována zespodu řízeným světlem a v reakci na to tvrdne. Poté se platforma posune výš a tvoří se další vrstva. Tato technologie dosahuje vyšších přesností tisku a dokonalejšího povrchu než tiskárny s technologií FDM, pořizovací i provozní náklady jsou vyšší a na výběr je menší množství tiskových materiálů.

2.2 3D tisk čokolády

Počátky 3D tisku v potravinářském průmyslu nelze určit se stoprocentní přesností, ale mnoho zdrojů ukazuje na Creative Machines Lab Columbia University. Projekt Fab@Home této laboratoře začal kolem roku 2006 experimentovat s 3D tiskem potravin. Výslednými výrobky se staly cookies sušenky s písmeny, různé tvary z čokolády, sýru a další. Postup tisku se sestával z vytlačování potravinářské pasty z tiskové hlavy [2].



obr. 2-1 Fab@Home – Model 1 [3]

Po počátečních experimentech Creative Machines Lab myšlenka 3D tisku potravin nabírala na popularitě. Mezi první společnosti rozšiřující tuto myšlenku patří britská společnost Choc Edge, která v roce 2012 uvedla první komerčně dostupnou 3D tiskárnu čokolády – Choc Creator V1. V současné době je tato firma stále součástí trhu a nabízí tiskárnu Choc Creator V2.0 Plus [4].

Kromě firmy Choc Edge lze na současném trhu najít celou řadu tiskáren čokolády. Spousta z nich je stále ve vývoji nebo ve formě kickstarteru, přesto již disponují řadou rozdílných přístupů k jednotlivým fázím tisku. Příklad výrobců tiskáren čokolády: ChocoL3D, CocoJet, Cocoapress, byFlow, Procusini, Zmorph, Mycusini, Wiiibox, Choco 3Drag.

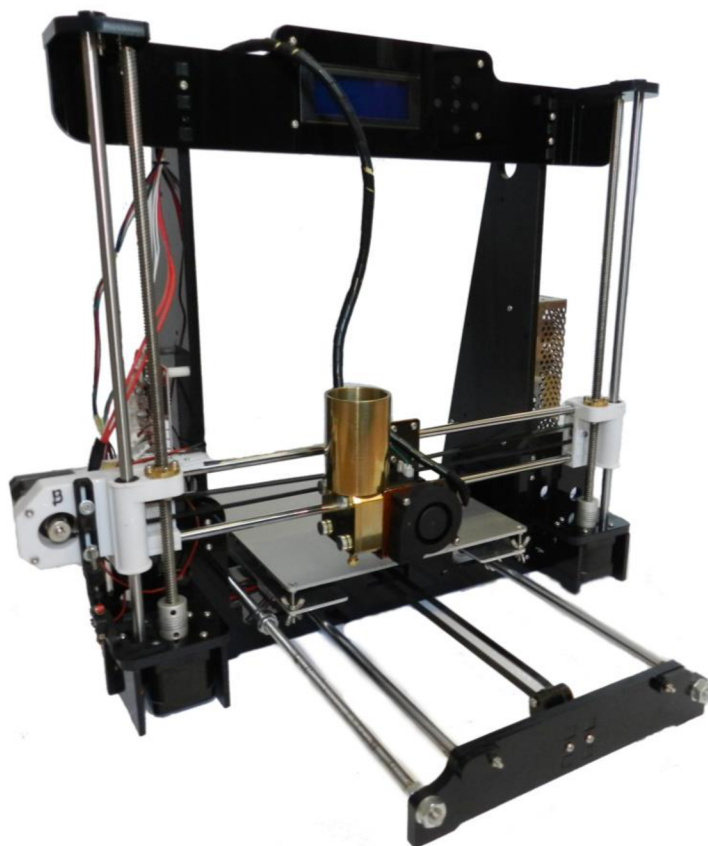
Hlavním rozdílem mezi profesionální tiskárnou pro potravinářské firmy a relativně levnější tiskárnou pro menší podniky či hobby tisk je samotná konstrukce tiskárny. Profesionální tiskárny jsou od počátku výroby určeny na tisk čokolády, levnější tiskárny řeší konstrukci úpravou klasické 3D tiskárny na polymerní materiál.

2.3 Úprava klasické 3D tiskárny

2.3.1 ChocoL3D

L3D extruder je vyměnitelný extrudér (součást tiskárny zajišťující posun a tisk filamentu), který se instaluje na místo extrudéru běžné tiskárny. Extrudér i nádrž jsou vyrobeny z hliníku a potaženy nitridem titanu kvůli zamezení oxidaci. Ozubená kola jsou vyrobeny z polyoxymethylenu. Extrudér má ohřivač a teplotní čidlo, které udržují stabilní teplotu pro roztavení čokolády. Umožňuje přidat novou čokoládu i během tisku. Pro vysokorychlostní tisk je potřeba tisknout více modelů najednou. Když se tisknou další díly, mají předchozí díly dostatek času na vychladnutí [5].

Přibližná cena: 350\$ ≈ 7 500 CZK



obr. 2-2 Chocolate kit – ChocoL3D [5]

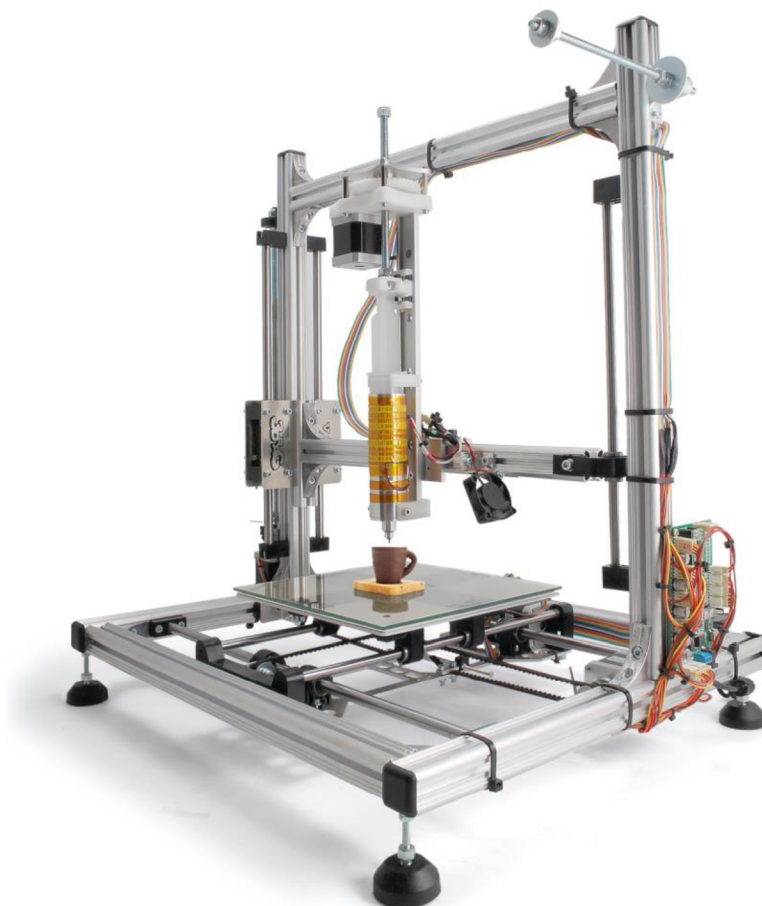
2.3.2 Choco 3DRAG

3D Maker Systems nabízí opět vyměnitelný extrudér. Základ tohoto extrudéru je 60 ml injekční stříkačka. Tato stříkačka je vložena v hliníkovém válci, který upravuje teplotu z důvodu udržení čokolády v rozpuštěném stavu. Roztavená čokoláda může jehlou vytékat. Čokoláda je vytlačována ze stříkačky nepřetržitým tlakem. Toho je docíleno podavačem, který se skládá z nekonečného šroubu. Hliník je dobrým vodičem tepla, ale má také tendenci teplo vyzařovat do okolí. Hliníkový válec je proto obalen kaptonovou fólií.

Plnění stříkačky probíhá dvěma možnými způsoby. Můžeme do válce nalít již rozpuštěnou čokoládu nebo můžeme vložit čokoládové vločky, které budou rozpuštěny až ve válci.

Celý tisk funguje na principu kontinuálního nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě. Pohyblivou součástí tiskárny je tisková plocha. Válec se stříkačkou stojí na místě [6].

Přibližná cena: 150 EUR ≈ 4 000 CZK



obr. 2-3 Chocolate kit – Choco3DRAG [6]

2.4 Komplet speciální tiskárna

2.4.1 Choc Edge

Britská firma Choc Edge existuje již od roku 2007. Od svého počátku se zabývá tiskem čokolády. Po její první tiskárně Choc ALM prototype následovala první komerčně dostupná tiskárna čokolády – Choc Creator V1. Současný model Choc Creator V2.0 Plus disponuje moderními prvky jako například LCD dotykový displej nebo automatická regulace teploty [7].

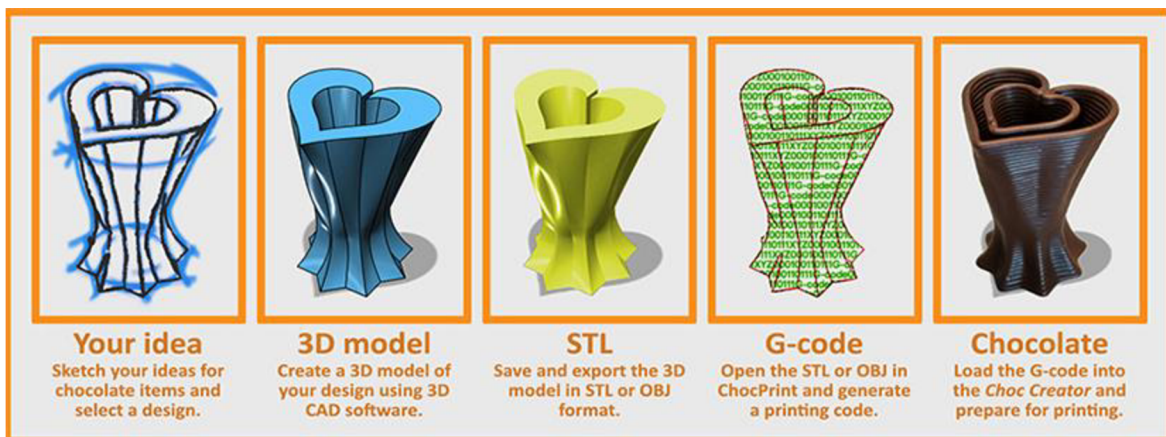
Přibližná cena: 2 380 GBP ≈ 70 000 CZK



obr. 2-4 Choc Edge – Choc Creator V2.0 Plus [7]

Postup tisku FDM technologií dle serveru chocedge.com:

Tvorba 3D modelu probíhá v CAD softwaru. Tento model je převeden do formátu STL. Tento formát popisuje pouze geometrii objektu bez jakýchkoliv jiných atributů (textura, barva). Pro tiskárnu je tento model „rozřezán“ na jednotlivé vrstvy. Výška jednotlivých vrstev záleží na nastavení uživatele a záleží na mnoha aspektech. Tento rozřezaný model po vrstvách je převeden do G-kódu. G-kód popisuje dráhu tiskové hlavy v kartézských souřadnicích. Podle tohoto kódu tiskárna po vrstvách tikne výsledný objekt.



obr. 2-5 Choc Edge – Postup FDM tisku [8]

2.4.2 Wiiboox Sweetin

Wiiboox nabízí škálu 3D tiskáren, skenerů a laserů. Tiskárna Sweetin této firmy je 3D tiskárnou nejen čokolády, ale celé řady požitelných materiálů. Tiskárna je určena zejména pro kuchaře za účelem experimentů s kombinací chutí a jídel. Tiskárnu lze jednoduše ovládat pomocí displeje a nabízí kontrolu a nastavení teplot v reálném čase [9].

Přibližná cena: 1 200\$ ≈ 26 000 CZK



obr. 2-6 Wiiboox Sweetin – food 3D printer [9]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Pro návrh tiskárny pro tisk potravin je potřeba definovat důležité parametry tisku:

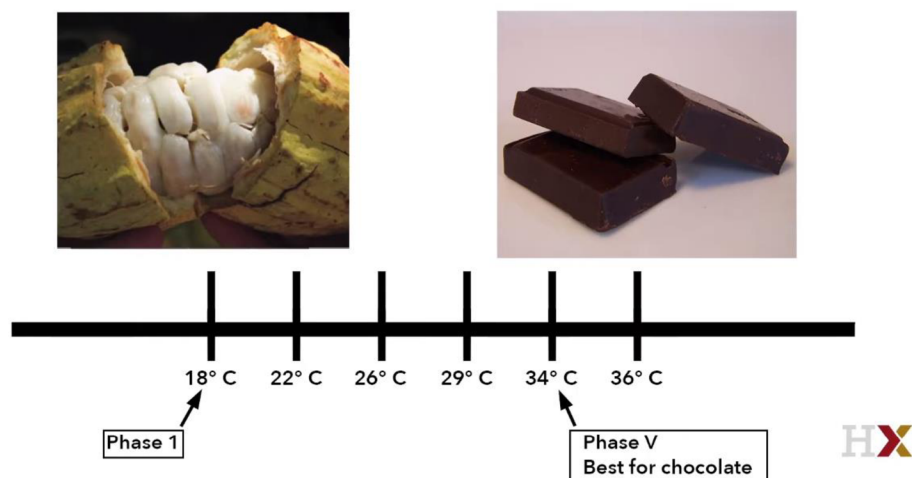
- materiál a přísady
 - viskozita
 - rozměrové vlastnosti
- parametry procesu
 - průměr trysky
 - rychlost tisku
 - výška tisknutelné vrstvy
 - teploty

3.1.1 Materiál a přísady

Na rozdíl od plastu je tisk čokolády výrazně složitější. Čokoláda má výrazně odlišné vlastnosti v závislosti na teplotě. Při tavení se může připalovat a má delší dobu tuhnutí. Právě dlouhá doba tuhnutí může vést ke zhroucení tuhnoucí 3D struktury. Důležitou roli hraje i druh čokolády. Ať už jde o hořkou, mléčnou či bílou čokoládu, každá má jinou viskozitu a tím i jiné chování v závislosti na teplotě. Toto chování dále závisí na relativním zastoupení složek čokolády jako například cukr či tuk.

Jak vysvětluje Mingyu Yang z MIT ve videu Youtube kanálu Kitchen Matters: čokoláda má šest krystalických fází. Každá z těchto krystalických fází taje při rozdílné teplotě. Cukráři je nejvíce používaná pátá fáze. Tato čokoláda taje kolem 34 °C, takže se nerozpustí v ruce, jíž teplota se může pohybovat okolo 28 °C, ale v ústech s teplotou kolem 37 °C se rozpustí. Potřebné krystalické fáze je dosaženo temperováním čokolády. Temperování čokolády je tepelný proces ohřátí čokolády nad teplotu tání šesté fáze a zchlazení pod teplotu tání požadované výsledné fáze [10].

PHASES OF CHOCOLATE



obr. 3-1 HarvardX – Science of chocolate phases [11]

Choc Edge pro svoji tiskárnu Choc Creator V2.0 Plus důrazně doporučuje použít vysoce kvalitní strojově temperovanou čokoládu. Doporučená čokoláda firmy Choc Edge je Callebaut 811 [12].

Callebaut Recipe N° 811 je recept na belgickou čokoládu firmy Callebaut. Tato čokoláda se skládá z minimálně 54,5 % kakaa (36,6 % kakaového másla a 19,4 % kakaa bez tuku) a 36,6 % tuku [13].

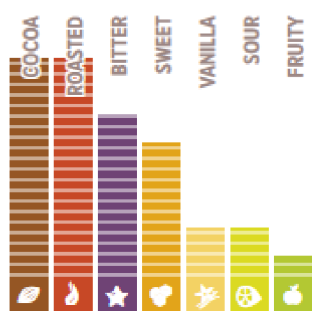
Description

rich cocoa - balanced - smooth -
fruity hints

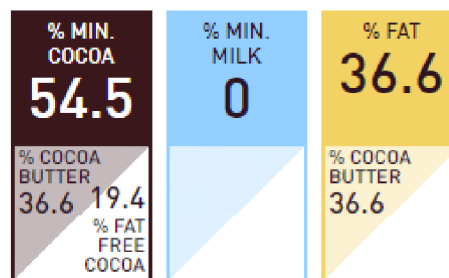
Fluidity

-  +
STANDARD FLUIDITY

Taste profile



Composition



obr. 3-2 Callebaut – Recipe N° 811 [13]

Firma Zmorph na svém webu uvádí recept na přípravu čokoládové směsi pro svou tiskárnu. Tato směs se podle jejich receptu skládá z 5 lžic mletého cukru, 200 ml horké vody a 3 balíčků čokoládové polevy na cupcakes [14].

Firma Mmuse v manuálu pro svou 3D tiskárnu doporučuje použít čokoládové vločky konkrétně od firmy Gotit [15]. Tyto čokoládové vločky jsou o průměru od 2 do 4 mm.

Simon Sörensen ve svém YouTube videu [16] používá tiskárnu Choco L3D a v průběhu videa vysvětluje problémy způsobené špatným výběrem čokolády. Po kontaktování výrobce této tiskárny a je mu doporučeno použít čokoládové vločky Non temp mörk Švédského prodejce Mitt söta skafferri. Tento prodejce na svém eshopu uvádí, že tyto čokoládové vločky pochází od firmy Callebaut, tedy stejný výrobce, kterého doporučovala i firma Choc Edge pro svoji tiskárnu Choc Creator V2.0 Plus.

3.1.2 Parametry procesu

Většina tiskáren pro 3D tisk čokolády používají technologii FDM. Technologie SLA je pro tisk potravin prakticky nepoužitelná.

Kvalitu výsledného modelu výrazně ovlivňují tiskové parametry a rozměrové parametry tiskové hlavy. Mezi nejvýznamnější parametry patří vnitřní průměr tiskové jehly, rychlost tisku a teplota roztavené čokolády. Následující tabulka srovnává tyto parametry podle dohledatelných hodnot jednotlivých tiskáren [6] [17] [18] [19] [20] [21] [22].

Tiskárna	Vnitřní průměr jehly [mm]	Rychlost tisku [mm/s]	Teplota čokolády pro tisk [°C]	Objem nádoby na čokoládu [ml]
Choc Edge Choc Creator V2.0	0,8	7	31	30
3DRAG Choco Extruder set	0,9	-	32 – 33	60
Mmuse Chocolate 3D Printer	0,8	30 – 60	-	-
Wiiibox Sweetin Food 3D Printer	0,6 – 0,84	50	37	-
Choco L3D L3D extruder	0,8	10 – 100	30 – 40	-
Choc Edge ChocALM	1,25	5 – 12	-	-

tab. 3-1 Tiskové parametry tiskáren různých výrobců

Hodnota vnitřního průměru jehly je úzce spojena s výškou jednotlivých vrstev tisku. Průměr jehly všech zkoumaných tiskáren se pohybuje kolem 0,8 mm. Jediná hodnota výrazně se lišící je hodnota tiskárny Choc Edge ChocALM. Tato tiskárna je první prototyp 3D tiskárny čokolády firmy Choc Edge. Tento prototyp detailně popisují studie z let 2010 [21] a 2017 [22], pro účely návrhu moderní tiskové hlavy lze hodnoty tohoto prototypu vynechat z úvah.

Hodnoty teploty pro tavení čokolády se u jednotlivých tiskáren mírně liší. Teplota tavení čokolády závisí na typu a složení čokolády. Konkrétní teplotu pro návrh tiskové hlavy je nutno určit na základě konkrétního výběru použité čokolády.

Po nanesení vrstvy čokolády je třeba další vrstvu nanášet po ztuhnutí vrstvy předešlé. Příliš velká rychlost tisku může vést ke zhroucení modelu. Větších rychlostí lze dosáhnout umělým chlazením modelu. Sylvester Bin Mantihal ve své disertační práci [23] navrhl chladicí bed (deska na které probíhá tisk). Jedná se o uzavřený tepelný výměník. Studená voda je vháněna pod desku vodním čerpadlem.

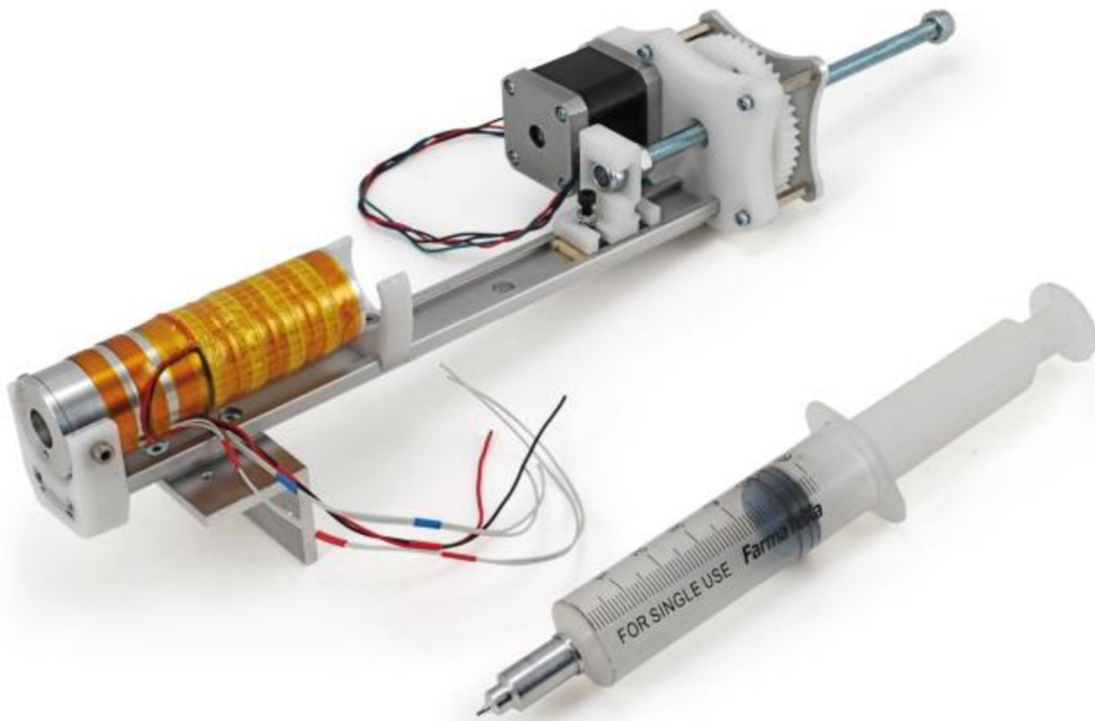


obr. 3-3 Sylvester Bin Mantihal – chladicí bed [23]

V hodnotách rychlost tisku se jednotlivé tiskárny významně liší. Rychlost tisku závisí na mnoha faktorech, hlavně pak na rychlosti tuhnutí čokolády.

Zásobník na čokoládu, sestávající se z injekční stříkačky, tiskárny Choc Creator V2.0 Plus má objem 30 ml. Plní se ručně a před tiskem je vložen do tiskárny. Podle FAQ sekce Choc Edge 30 ml zásobník pojme 60 rozpuštěných čokoládových čoček, což vystačí na tisk jednoho 3D modelu.

Zásobník extrudéru 3DRAG má objem 60 ml. Tento zásobník je plastová injekční stříkačka firmy FarmaTexa.



obr. 3-4 Extrudér 3DRAG – zásobník na čokoládu [6]

3D tiskárny lze dále rozdělit dle pohybu součástí tiskárny po osách v kartézských souřadnicích.

U tiskárny s extrudérem 3DRAG se tisková hlava pohybuje v horizontální rovině v souřadnicích x a y a vertikální souřadnici z zařizuje bed, který se po jednotlivých vrstvách pohybuje směrem dolů.

U tiskárny ChocoL3D zařizuje všechny tři souřadnice tisková hlava.

3.2 Cíl práce

Cílem práce je koncepční a konstrukční návrh tiskové hlavy pro 3D tisk čokolády.

Ke splnění cíle je nutné provést kritickou rešerši současného stavu poznání v oblasti 3D tisku čokolády. Na základě poznatků získaných z této rešerše je nutný návrh variant konstrukčního řešení tiskové hlavy a provedení potřebných technických výpočtů. Dále je důležité vytvoření 3D modelu, koncepčního a konstrukčního návrhu a výkresu sestavy. Dalším cílem je návrh elektrického zapojení navržené konstrukční varianty a návrh zapojení řídicího systému.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Důležitým faktorem 3D tisku jsou vlastnosti tisknutého materiálu. Materiál musí být pro tisk dostatečně tekutý, ale musí dostatečně rychle tvrdnout, aby se výsledný vytisknutý model nezhroutil. Stejně jako u 3D tisku polymerů je nutné čokoládu nejprve roztavit a rychlost tisku upravit tak, aby vytištěná vrstva stihla ztvrdnout před nanesením další vrstvy.

Míru tekutosti a tím i rychlost tisku lze významně ovlivnit teplotou roztavené čokolády. Tato teplota je nezanedbatelně ovlivněna průměrem samotné trysky.

Všechny tyto faktory významně ovlivňují vlastnosti tisknutého materiálu. Jejich finální vliv lze ale vyvážit správně zvolenou rychlostí tisku, jak naznačují výrazně rozdílné hodnoty rychlosti tisku v tabulce tab.3.1 v kapitole 3.1.2 Parametry procesu.

Většina tiskáren zkoumaných řešerši volila kvalitní temperovanou čokoládu. Nejčastější konkrétní značkou byla čokoláda Callebaut Recipe N° 811. Společnost Callebaut navíc provozuje Mona Lisa 3D Studio, které má zkušenosti se 3D tiskem čokolády. Lze tedy konstatovat, že výběr čokolády Callebaut zaručí správný materiál pro tisk.



obr. 4-1 Callebaut – čokoládové čochky [24]

Objem zásobníku na čokoládu bylo možné dohledat u tiskáren Choc Creator V2.0 (30 ml) a Choco extruder 3DRAG (60 ml). Choc Edge popisuje objem 30 ml jako dostatečný pro jeden model. Z důvodu jednoduché dostupnosti a implementace je pro účel návrhu tiskárny použita kartuše s ručním pístem luer lock 60 ml. Tato kartuše má dostatečný objem a výstup vystředěný na rozdíl od většiny injekčních stříkaček. Kartuše je vyrobena z polypropylenu, který lze použít pro horkovodní potrubí a nádoby do mikrovlnné trouby. Měkne až při 140 – 150°C.



obr. 4-2 HotAir.cz – Kartuše s ručním pístem [25]

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Páteří tiskové hlavy je hliníkový lišta. Jedná se o běžnou hliníkovou lištu se třemi předvrtanými otvory. Hliníková lišta byla vybrána z důvodu přiměřené pevnosti při zachování nízké hmotnosti a jednoduchosti úprav (předvrtání děr pro úchytné šrouby).

Většina tiskáren či extrudérů zkoumaných v rešerši volila jako nádobu na čokoládu injekční stříkačku. Nebylo tomu tak ale v případě tiskárny Michaela Lawse. Michael na youtube kanále Teaching Tech upravuje běžnou 3D tiskárnu pro tisk Nutelly. Jako nádobu použil stříkačku pro míchání oleje [26]. Po jeho vzoru byla zvolena kartuše s ručním pístem luer lock 60 ml. Kartuše je určena k ručnímu dávkování pájecích plastů, tavidel, olejů a tmelů. Je však vyrobena z polypropylenu, který je možné použít na potraviny, a vydrží vysoké teploty (teplota měknutí materiálu 140 – 150 °C, teplota tavení 160 – 170 °C). Polypropylen je běžný materiál pro výrobu misek na potraviny a je vhodný do mikrovlnné trouby díky své tepelné odolnosti. Tuto kartuši lze také použít opakovaně, což je vlastnost, ve které oproti běžným injekčním stříkačkám vyniká. Do kartuše je zasazena nerezová jehla vnitřního průměru 0,9 mm a délky 12,7 mm.

Píst kartuše je vyjmut a nahrazen v této práci navrženým plastovým pístem, který je našroubován na výsuvné rameno krokového motoru.

Pohyb pístu pro řízení výtoku roztavené čokolády je také řešen různými způsoby. Nejčastěji je použit krokový motor a přes ozubené soukolí je předán točivý moment šnekovému závit, který následně pohybuje pístem ve svislé ose.



obr. 5-1 MarVtec Chocolate Extruder – usazení motoru [27]

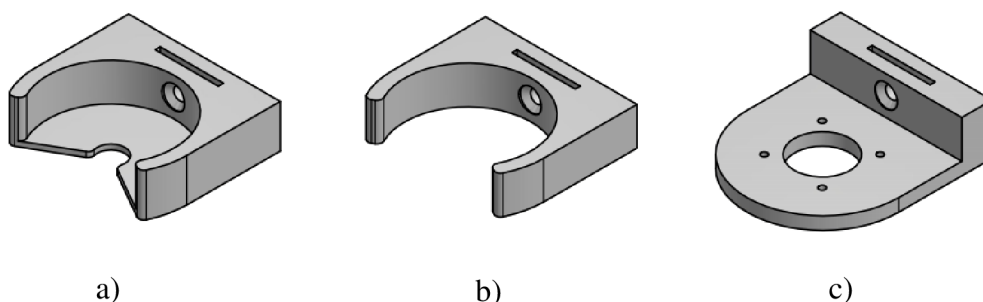
Pro tuto práci byl vybrán krokový motor (aktuátor) NEMA 11 v provedení captive. Tento typ brzděného motoru brání samovolnému otočení šroubu a díky navrženému plastovému úchytu je možné jej upevnit v ose kartuše a pístu bez potřeby použití převodového soukolí.



obr. 5-2 NEMA krokový motor – Captive provedení [28]

Bc. Vojtěch Růžička ve své diplomové práci [29] experimentálně zjišťuje sílu potřebnou pro vytlačování čokolády a dospívá k výsledku 39,2 N. Pro návrh tiskové hlavy je proto zvolen motor NEMA 11 objednávací kód 9, který značí jmenovitou sílu 50 N [30]. Motor je uchycen čtyřmi šrouby M2,5 do úchytu. K bezpečnému uchycení krokového motoru i kartuše s čokoládou ke hliníkové liště byly navrženy tři plastové úchyty.

Úchyty byly navrženy tak, aby bylo možné vydělat nadobu s vodní lázní a se stříkačkou v horizontálním směru. Tím je umožněna co neblíže pozice krokového motoru ke stříkačce. Krokový motor NEMA v provedení captive má totiž největší možné vytažení ramene kolem 63 mm.

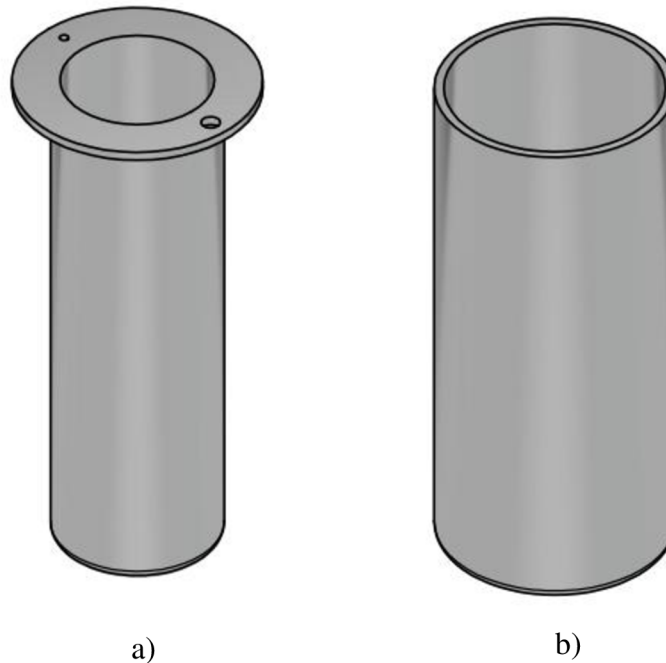


obr. 5-3 Navržené úchyty – a) úchyt spodní b) úchyt střední c) úchyt spodní

Pro pohon a řízení motoru byl vybrán systém s řídicí jednotkou Ezi-STEP [31]. Řídicí jednotka umožňuje pulzní/parametrické řízení poziční tabulkou nebo programovatelné řízení sériovým rozhraním RS-485.

Existuje více způsobů, jak roztavit čokoládu. Čokoláda je však náchylná na připalování. Extrudér 3DRAG tento problém řeší vložením stříkačky do hliníkového válce, který je ohříván odporovým drátem a tento válec je obalen kaptonovou fólií, která díky svým tepelným izolačním vlastnostem udržuje teplo uvnitř. Choco L3D extruder disponuje otevřenou nádobou na čokoládu rovněž ohřívanou odporovým drátem. Nevýhodou těchto řešení je nutnost přesného ovládání ohřevu a vysoké riziko připalování čokolády.

S přihlédnutím na tyto nevýhody odporového ohřívání nádoby s přímým dotykem s čokoládou byl vytvořen návrh na ohřev čokolády vodní lázní. Byla navržena hliníková nádoba skládající se ze dvou částí. Tyto části (vnější a vnitřní nádoba s vodní lázní) jsou slepeny dvoušlůžkovým lepidlem na hliník ve spodní části. Mezi těmito částmi vznikne prostor pro vodu. Nádoba má ve vrchní části dva otvory, jeden o průměru 2 mm pro možnost doplnění vody a druhý o průměru 4 mm pro topnou patronu.



obr. 5-4 Navržená nádoba – a) vnitřní část nádoby b) vnější část nádoby

Teplota tání páté krystalické fáze čokolády se pohybuje kolem 34°C. Použitá topná patrona je zvolena na základě ideálně malých rozměrů při dostatečném topném výkonu. Topná patrona firmy Hotset dosahuje teploty až 275 °C, rozložení výkonu 20W/cm² a IP67 stupně krytí. Součástí topné patrony je i termostat typu J [32].

Pro regulaci teploty byl vybrán jednoduchý a kompaktní regulátor do panelu CAL MAXVU 16. Tento regulátor disponuje univerzálním vstupem pro všechny běžně používané termočlánky a má přednastavené programy řízení pro termočlánek typu J [33].

6 ZÁVĚR

Práce se věnuje studiu 3D tiskáren čokolády a návrhu tiskové hlavy pro 3D tisk čokolády. Byla provedena rešerše současné nabídky profesionálních tiskáren čokolády i rozšiřujících součástí pro klasickou 3D tiskárnu PLA. Z obou kategorií byly prozkoumány rozdílné přístupy k problematice tavení čokolády, vytlačování čokolády i k samotnému tisku. Na základě informací získaných z této rešerše byl vypracován návrh tiskové hlavy jako rozšíření portálového manipulátoru. Zvláštní pozornost byla věnována problematice tavení čokolády.

Z provedené rešerše je jasné, že 3D tisk čokolády je v počátečních stádiích rozvoje a tento obor se stále rozvíjí. Spousta tiskáren, hlavně vyměnitelných extrudérů pro běžné 3D tiskárny, vyžadují velkou přesnost v regulaci teploty ohřívané čokolády a vznikají tak problémy s přehříváním čokolády.

V práci je představen návrh tiskové hlavy 3D tiskárny čokolády s využitím poznatků, úspěšných i méně úspěšných řešení dostupných tiskáren a extrudérů. Návrh se snaží vylepšit zavedené postupy či naznačit rozdílné přístupy hlavně k problematice tavení čokolády, pohybu pístu pro vytlačení čokolády a výběru materiálu v přímém kontaktu s čokoládou.

Byl vytvořen model tiskové hlavy ze kterého byl vytvořen výkres sestavy. Sestava je složena jak z kupovaných dílů, tak z dílů navržených přesně pro daný účel. Byla navržena nádoba s kontinuálně vyhřívanou vodní lázní kvůli omezení připalování čokolády, a bylo vybráno vhodné topné těleso a regulátor teploty. Z kartuše pro čokoládu byl vyjmut píst a byl navržen vhodnější píst pro prostředí se zvýšenou teplotou a pro jednodušší upnutí do sestavy krokového motoru. Dále byl vybrán krokový motor s řídicí jednotkou s potřebnou silou pro průběžné vytlačování čokolády a s vhodnějším umístěním bez potřeby ozubeného soukolí. Pro uchycení motoru i kartuše byly navrženy úchyty pro upnutí na hliníkovou lištu.

Možné navazující práce by se měly zabývat například samotným připevněním tiskové hlavy na rameno portálového manipulátoru či samotnými experimenty s rychlostí a kvalitou tisku. V této práci není rozebráno přesnější nastavení teplotního regulátoru a driveru krokového motoru, protože dané parametry úzce souvisí na mnoha parametrech, které lze získat téměř výhradně při samotném použití tiskové hlavy a experimentálním tisku. Pro různé druhy čokolády, teplotu okolí, chlazení podložky pod tiskem a nastavení výplně výsledného modelu je nutné použít jiné nastavení regulace teploty i rychlost krokového motoru.

Mezi rozšiřující studie by jistě měly patřit rešerše a návrhy na 3D odlišných potravinářských materiálů jako například sušenkového těsta, marmelády či Nutelly. Další možností je rozšíření tiskové hlavy o další zásobník na čokoládu a tím přidání možnosti vícebarevného tisku.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GOLDBERG, Dana. History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30). *Autodesk Redshift* [online]. New York City, 2018 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>
- [2] MOLITCH-HOU, Michael. The State of Food 3D Printing, Part 1: Beginnings. *3DR HOLDINGS* [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://3dprint.com/261879/the-state-of-food-3d-printing-part-1-beginnings/>
- [3] CHUNG, Marilyn, Evan MALONE, Michael TOLLEY, Andrew CHEPAITIS a Hod LIPSON. Object Augmentation for the Visually Impaired Using RP. *19th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*. New York, 2008, **2008**.
- [4] About Choc Edge. *Choc Edge* [online]. Devon, UK [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <http://chocedge.com/about.html#about>
- [5] CHERNYSHOV, Pavel. ChocoL3D. *Chocolate kit* [online]. Ukraine, Kharkiv [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://chocol3d.com/product/l3d-extruder-kit/>
- [6] Choco Extruder set 3DRAG - in kit. *3d maker store* [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.3dmaker.systems/en/accessories/145-choco-extruder-set-3drag-in-kit.html>
- [7] Choc Creator V2.0 Plus. *Choc Edge* [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <http://chocedge.com/buy/ccv3-landing-page.html>
- [8] *Choc Edge* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <http://chocedge.com/>
- [9] Wiibox Sweetin 3D Food Printer. *Wiibox* [online]. Nanjing, China [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.wiibox.com/3d-printer-wiibox-sweetin.php>
- [10] YANG, Mingyu. Science of tempering chocolate. *Youtube video* [online]. 2021 [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <https://youtu.be/JH5aoNrCKrA>
- [11] Science of chocolate phases: HarvardX. *Youtube video* [online]. 2017 [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: https://youtu.be/jEAhRgbo__Q
- [12] 3D Chocolate Printing Guide. *Choc Edge* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <http://chocedge.com/faq.html>
- [13] Recipe N° 811. *Callebaut* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.callebaut.com/en-OC/chocolate-cocoa-nuts/811nv/811>
- [14] Recipe for Chocolate for 3D Chocolate Printing. *ZMorph Knowledge Base* [online]. 2019 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://support.zmorph3d.com/hc/en-us/articles/115001405165-Recipe-for-Chocolate-for-3D-Chocolate-Printing>
- [15] Chocolate 3D Printer Manual. *Mmuse user manual* [online]. [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/1yjEG8T-L89HLs5Cp17U7dGJCUAS4PsB7/view>
- [16] SÖRENSEN, Simon. 3D Printer Makes the Perfect Chocolate Layer. *Youtube video* [online]. 2018 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=oRBxuDV52gs>

- [17] Complete 3D Chocolate Printing Guide. *Choc Edge* [online]. Devon, UK [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <http://chocedge.com/documents/3D%20Chocolate%20Printing%20Guide%20201701102.pdf>
- [18] Mmuse - New Touchscreen Chocolate 3D Printer. *3D Printers Online Retail Store Limited* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.3dprintersonlinestore.com/mmuse-touch-screen-chocolate-3d-printer>
- [19] Wiiibox Sweetin 3D Food Printer Parameters. *Wiiibox* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.wiiibox.com/3d-printer-wiiibox-sweetin.php?act=para>
- [20] ChocoL3D manual. *ChocoL3D* [online]. Ukraine [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://chocol3d.com/wp-content/uploads/2019/01/ChocoL3D-manual.pdf>
- [21] HAO, L., S. MELLOR, O. SEAMAN, J. HENDERSON, N. SEWELL a M. SLOAN. Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*. 2010, **5**(2), 57-64. ISSN 1745-2759. Dostupné z: doi:10.1080/17452751003753212
- [22] LANARO, M., D. FORRESTAL, S. SCHEURER, D. SLINGER, S. LIAO, S. POWELL a M. WOODRUFF. 3D printing complex chocolate objects: Platform design, optimization and evaluation. *Journal of Food Engineering*. 2017, **215**, 13-22. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.06.029
- [23] MANTIHAL, Sylvester Bin. *3D food printing: assessing the printability of dark chocolate*. Brisbane, Australia, 2019. Disertační práce. The University of Queensland. Vedoucí práce Bhesh Bhandari, Sangeeta Prakash.
- [24] Bitter chocolate Callebaut. *Kitchenette shop* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <https://www.kitchenetteshop.eu/bitter-chocolate-callebaut-54-5-2-5-kg>
- [25] Kartuše s ručním pístem luer lock 60ml. *HotAir.cz* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: https://www.hotair.cz/detail/davkovace-tekutych-pripravku/kartuse-s-rucnim-pistem/kartuse-s-rucnim-pistem-luer-lock-60ml.html?gmc&gclid=Cj0KCQjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8A6vch7mJtFD21ogWmRC9FF--wN3cpww45RmVZfbmmSzXKgv0BIKQAaAgfwEALw_wcB
- [26] LAWS, Michael. 3D printing Nutella with a DIY paste extruder - XChange on Ender 3. *Youtube video* [online]. 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=E6TGv0fRg-w>
- [27] MARVTEC. Chocolate 3D printer Chocolate Extruder. In: *Thingiverse* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:3511736>
- [28] NEMA 11 CAPTIVE LINEAR ACTUATOR. In: *DINGS' MOTION USA* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <https://dingsmotionusa.com/store/nema-11-captive-linear-actuator>
- [29] RŮŽIČKA, Vojtěch. *Návrh konstrukce 3D tiskárny pro uplatnění v oblasti gastronomie*. Liberec, 2016. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Petr Zelený, Ph.D.
- [30] Krokový aktuátor - NEMA 11. *Servo-drive.cz* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: https://www.servo-drive.cz/krokove_aktuary_vysokorychlostni_vysocepresne_nema11.php
- [31] Krokové motory Ezi-STEP s řídicí jednotkou. *Servo-pohony.cz* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <http://www.servo-pohony.cz/krokove-motory/>

- [32] Topná patrona HHP Ø 4,0 mm. *Hotset.cz* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <https://hotset.cz/produkt/topna-patrona-hhp-o-40-mm/>
- [33] Regulátor teploty do panelu CAL MAXVU 16. *PROFESS, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: https://www.profess.cz/cs/pci/produkty/regulacni_tehnika/kompaktni_tehplotni_regulatory/regulator-teploty-do-panelu

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

<i>FDM</i>	Fused deposition modelling, Technologie tvorby modelu pomocí tenkého vlákna materiálu, který je vytlačován přes tiskovou hlavu.
<i>SLA</i>	Stereolithography, Technologie tvorby modelu pomocí fotoreaktivní pryskyřice a světla o určité vlnové délce.
<i>CAD</i>	Computer-aided design, software pro modelování objektů.
<i>STL</i>	Standard Triangle Language, Tento formát 3D modelu popisuje pouze geometrii objektu bez jakýchkoliv jiných atributů.
<i>G-kód</i>	Určuje dráhu nástroje v prostoru kartézských souřadnic.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

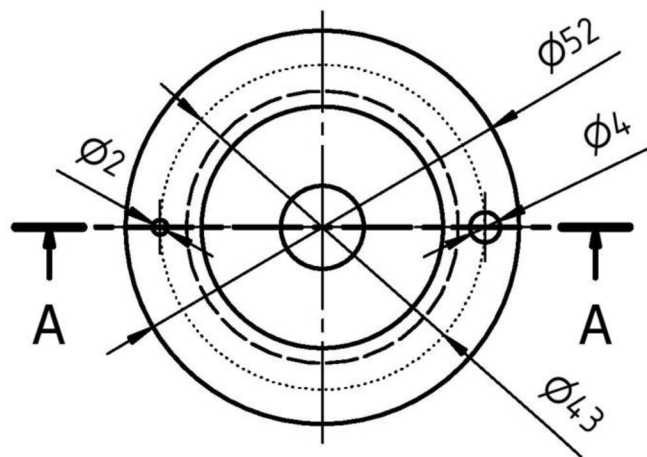
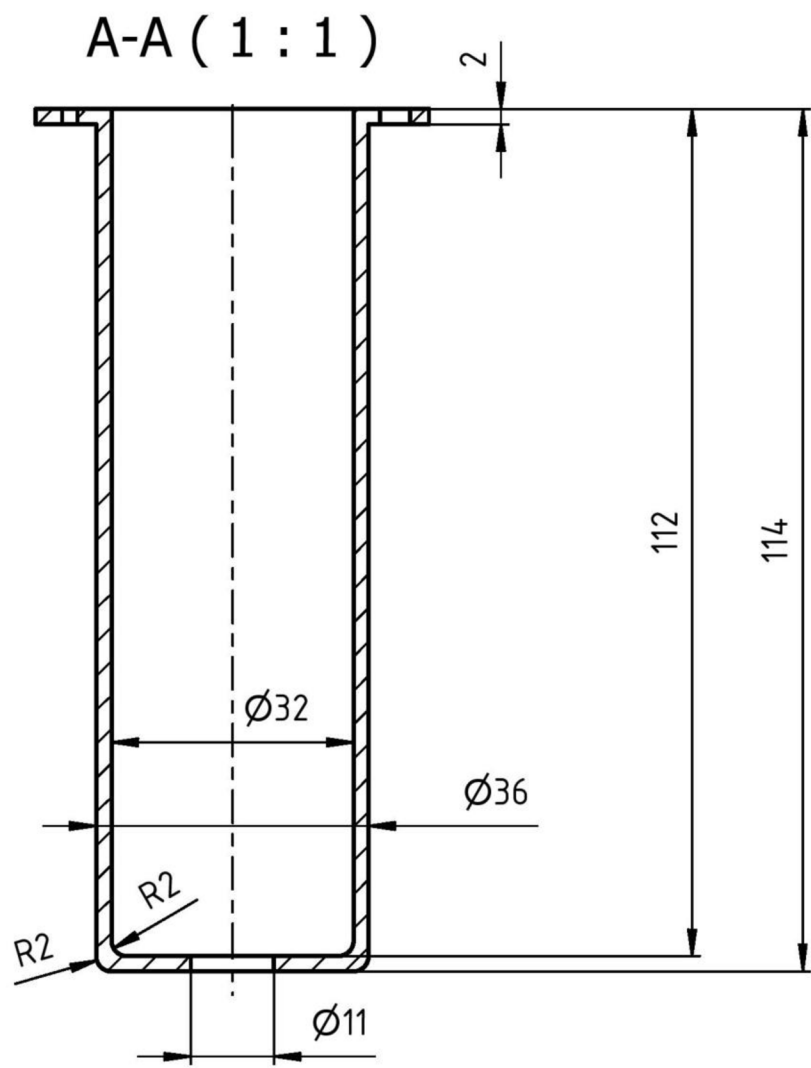
obr. 2-1	Fab@Home – Model 1 [3].....	11
obr. 2-2	Chocolate kit – ChocoL3D [5]	12
obr. 2-3	Chocolate kit – Choco3DRAG [6].....	13
obr. 2-4	Choc Edge – Choc Creator V2.0 Plus [7]	14
obr. 2-5	Choc Edge – Postup FDM tisku [8]	15
obr. 2-6	Wiiibox Sweetin – food 3D printer [9].....	16
obr. 3-1	HarvardX – Science of chocolate phases [11]	17
obr. 3-2	Callebaut – Recipe N° 811 [13].....	18
obr. 3-3	Sylvester Bin Mantihal – chladicí bed [23].....	20
obr. 3-4	Extrudér 3DRAG – zásobník na čokoládu [6].....	21
obr. 4-1	Callebaut – čokoládové čočky [24].....	23
obr. 4-2	HotAir.cz – Kartuše s ručním pístem [25]	24
obr. 5-1	MarVtec Chocolate Extruder – usazení motoru [27]	25
obr. 5-2	NEMA krokový motor – Captive provedení [28]	26
obr. 5-3	Navržené úchyty – a) úchyt spodní b) úchyt střední c) úchyt spodní.....	26
obr. 5-4	Navržená nádoba – a) vnitřní část nádoby b) vnitřní část nádoby	27



10 SEZNAM TABULEK

tab. 3-1	Tiskové parametry tiskáren různých výrobců.....	19
----------	---	----

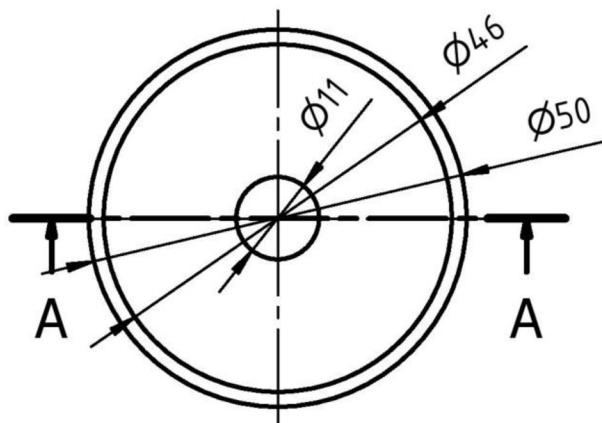
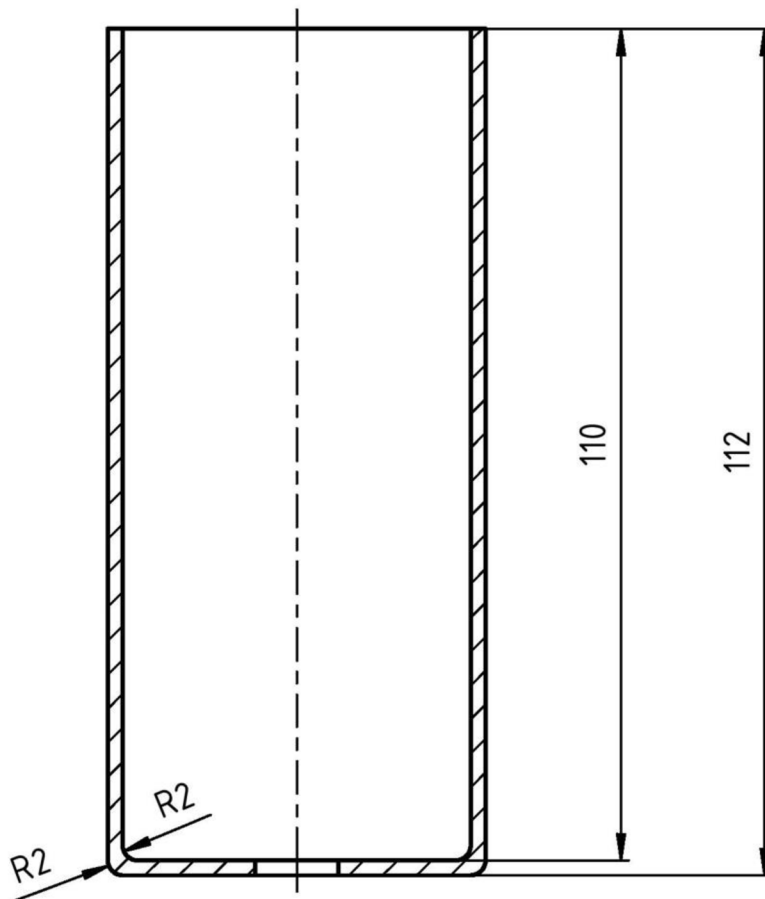
11 SEZNAM PŘÍLOH


1. Výkres součásti	4-V2-2021-01	Nádoba s vodní lázní vnitřní	36
2. Výkres součásti	4-V2-2021-02	Nádoba s vodní lázní vnější	37
3. Výkres součásti	4-V2-2021-03	Úchyt spodní	38
4. Výkres součásti	4-V2-2021-04	Úchyt střední	39
5. Výkres součásti	4-V2-2021-05	Úchyt horní	40
6. Výkres součásti	4-V2-2021-06	Hliníková lišta	41
7. Výkres součásti	4-V2-2021-07	Píst	42
8. Výkres soustavy	S3-2021-00	Tisková hlava	43
9. 3D Model sestavy	Tisková hlava.iam	Tisková hlava.zip	

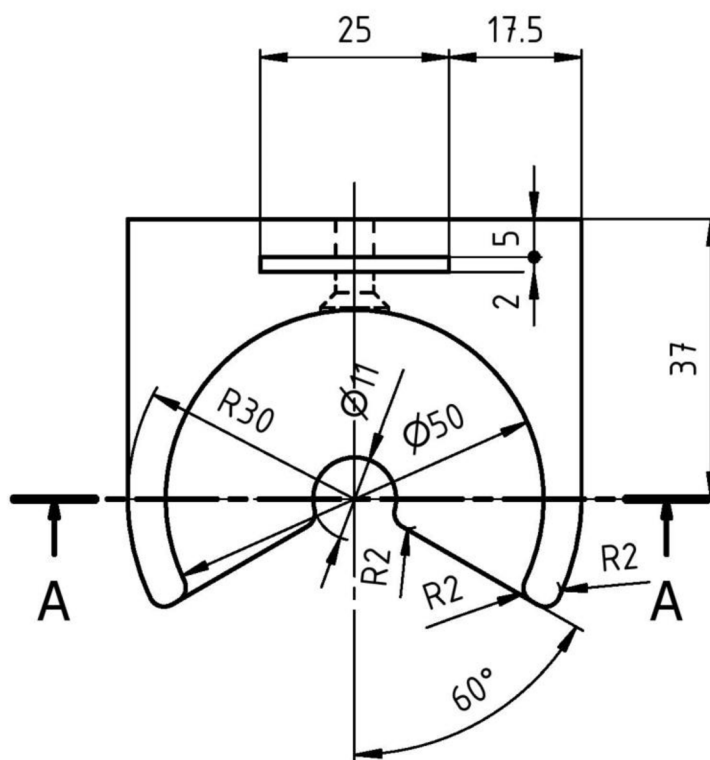
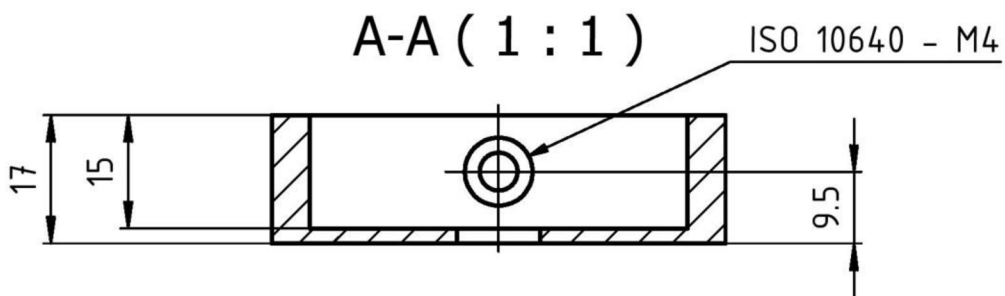




Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál Aluminium	Polotovar	Hmotnost N/A	Datum 12.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:1
			NÁDOBA S V. LÁZNÍ VNITŘNÍ VÝKRES SOUČÁSTI			

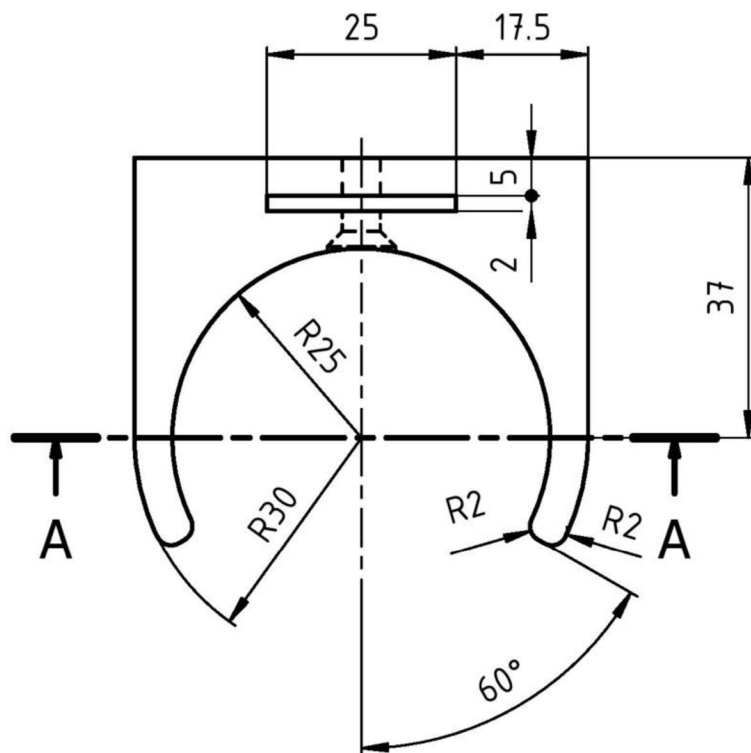
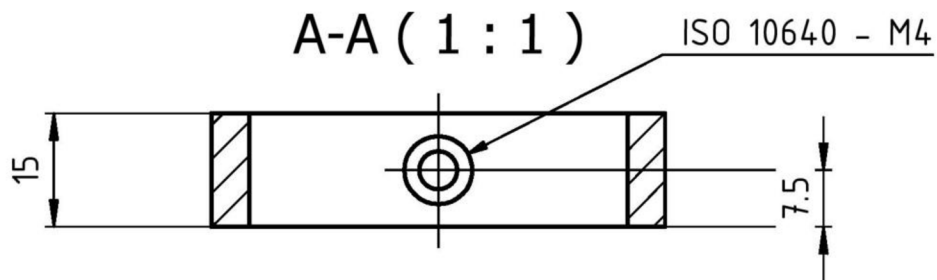
A-A (1 : 1)





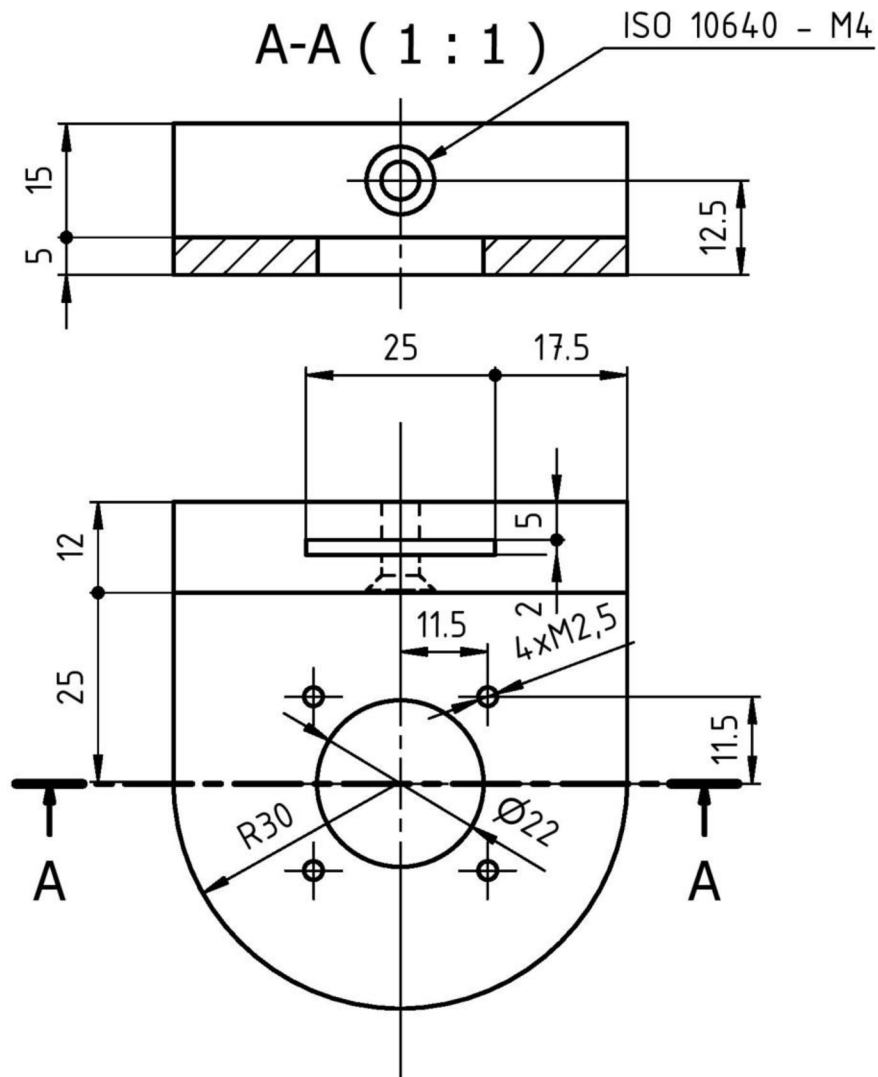
Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál Aluminium	Polotovár	Hmotnost N/A	Datum 12.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:1
			NÁDOBA S V. LÁZNÍ VNĚJŠÍ VÝKRES SOUČÁSTI			





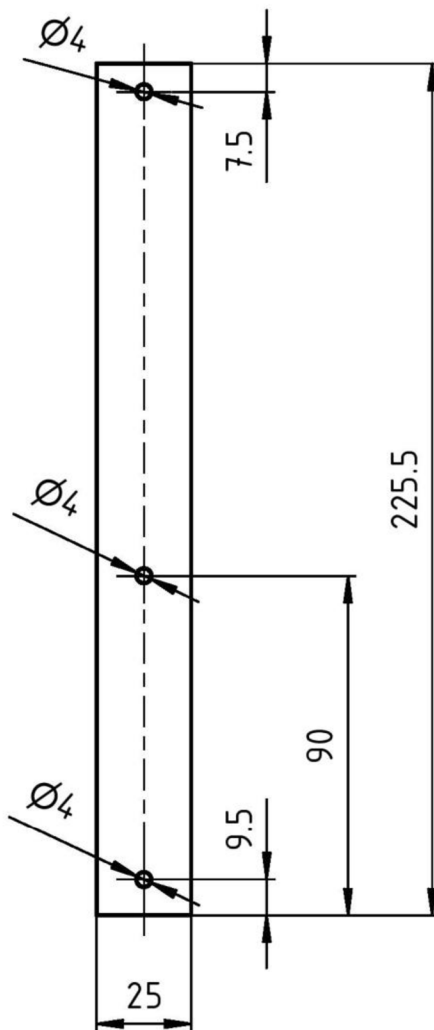
Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál ABS plastic	Polotovar	Hmotnost N/A	Datum 12.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:1
			<h2>ÚCHYT SPODNÍ</h2> <p>VÝKRES SOUČÁSTI</p>			
Číslo výkresu 4-V2-2021-03				Formát A4	List 1/1	





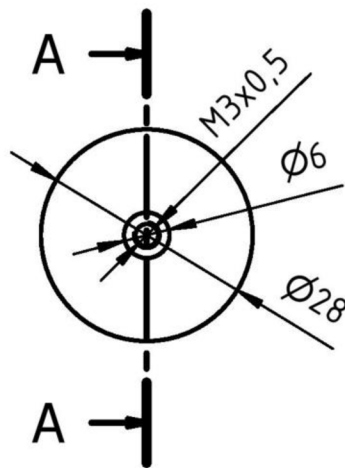
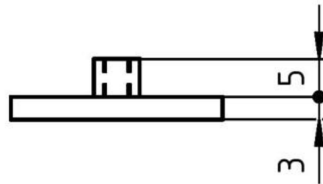
Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál ABS plastic	Polotovár	Hmotnost N/A	Datum 12.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:1
			<h2>ÚCHYT STŘEDNÍ</h2> <p>VÝKRES SOUČÁSTI</p>			



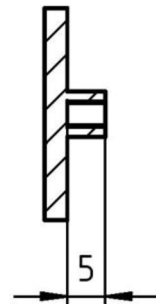
Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál ABS plastic	Polotovar	Hmotnost N/A	Datum 12.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:1
			<h2>ÚCHYT HORNÍ</h2> <p>VÝKRES SOUČÁSTI</p>			





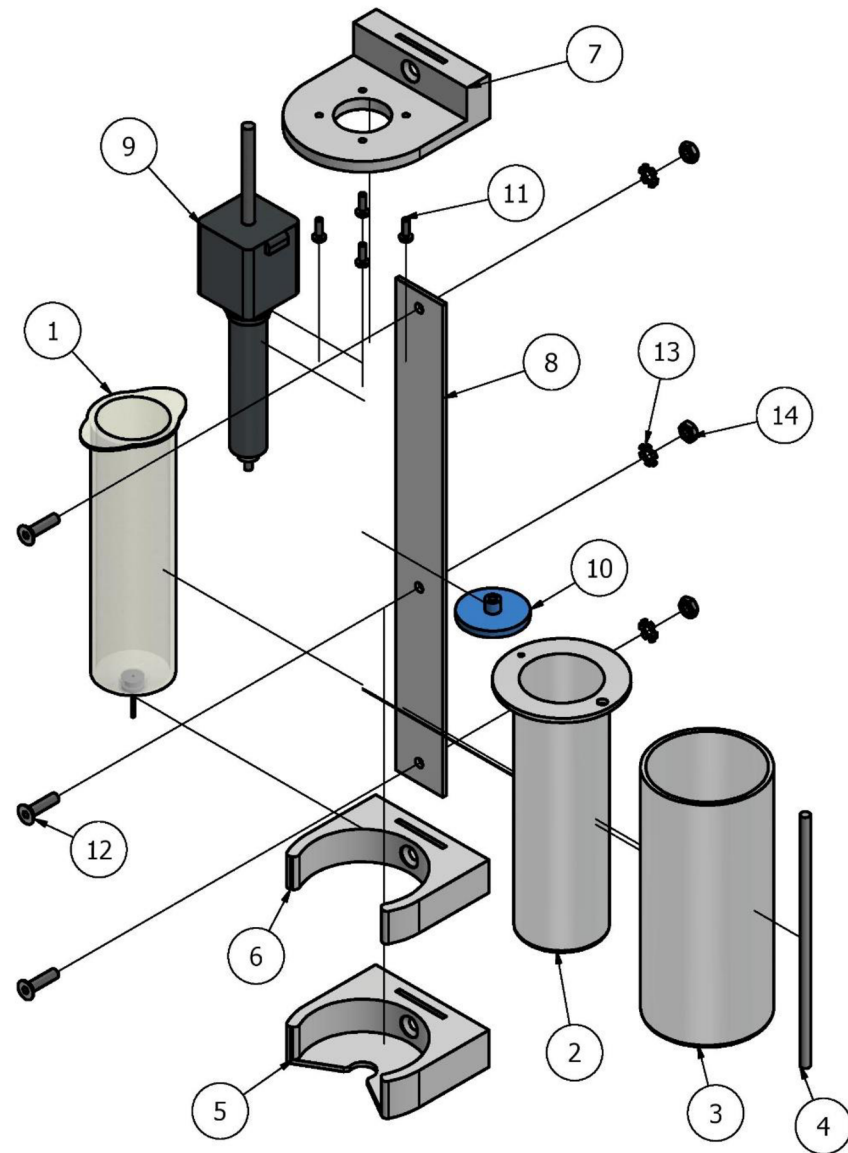
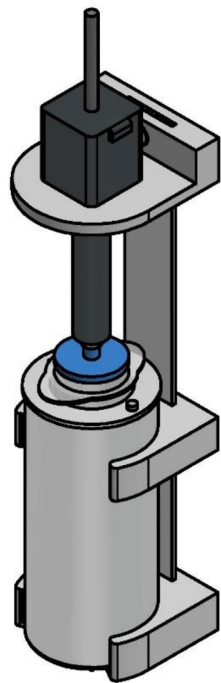
Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál Aluminium	Polotovar	Hmotnost N/A	Datum 12.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:2
			<h2>HLINÍKOVÁ LIŠTA</h2> <p>VÝKRES SOUČÁSTI</p>			



A-A (1 : 1)



Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál ABS plastic	Polotovár	Hmotnost N/A	Datum 13.08.2021
 FAKULTA ústav výrobních strojů, STROJNÍHO systémů INŽENÝRSTVÍ a robotiky			Promítání 	Tolerance ISO 8015	Přesnost ISO 2768	Měřítko 1:1
			PÍST VÝKRES SOUČÁSTI			



Kusovník

Č. položky	Množství	Název - Označení	Výkres - Norma
1	1	Kartuše s ručním pístem	hotair.cz číslo produktu: 102333
2	1	Nádoba s vodní lázní vnitřní	Výkres součásti 4-V2-2021-01
3	1	Nádoba s vodní lázní vnější	Výkres součásti 4-V2-2021-02
4	1	Topná patrona	hotset.cz hotrod HHP Ø4x115
5	1	Úchyt spodní	Výkres součásti 4-V2-2021-03
6	1	Úchyt střední	Výkres součásti 4-V2-2021-04
7	1	Úchyt horní	Výkres součásti 4-V2-2021-05
8	1	Hliníková lišta	Výkres součásti 4-V2-2021-06
9	1	Krokový motor NEMA 11	servo-drive.cz NEMA11-SS-CA obj. kód 9
10	1	Píst	Výkres součásti 4-V2-2021-07
11	4	Šroub metrický	AS 1427 - M2.5 x 8
12	3	Šroub se záпустnou hlavou	ISO 10642 - M4 x 16
13	3	Vnější zubová pojistná podložka	IFI 532 - 4 Typ B
14	3	Matice šestihranná	ISO 4032 - M4

Autor O. VALENTA	Zkontroloval	Schválil	Materiál Promítání	Polotovar Tolerance ISO 8015	Hmotnost N/A Přesnost ISO 2768	Datum 12.08.2021 Měřítka 1:2
			TISKOVÁ HLAVA VÝKRES SESTAVY			
Číslo výkresu S3-2021-00			Formát A3	List 1/1		