



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

VZDÁLENÁ KONTROLA 3D TISKÁRNY

REMOTE CONTROL OF 3D PRINTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Kajzr

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

BRNO 2018



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Miroslav Kajzr

ID: 146033

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Vzdálená kontrola 3D tiskárny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodou FDM 3D tisku plastových materiálů a prostudujte vady 3D tisku, které jsou nahodilé a nedají se odstranit změnou procesních parametrů. Vytvořte přehled nejběžnějších závad tisknutého modelu a možností jak je odstranit. Vytvořte přehled používaných materiálů a jejich procesních parametrů pro tisk. Navrhněte systém vzdáleného připojení a monitoringu 3D tiskárny.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Podstatou tejto práce je zhrnúť poznatky o 3D tlači, predovšetkým pri FDM technológií. Vytvorit' prehľad používaných materiálov tlače FDM procesom, určiť ich výhody a nevýhody, technické parametre a použiteľnosť. Ďalším zámerom práce je preskúmať kvalitu tlače a jej problémy, pri vybraných materiáloch určiť typy povrchových úprav. Obsahom je aj vzdialená kontrola a monitorovanie priebehu 3D tlače pomocou mikropočítača Raspberry Pi a tlačového serveru Octoprint.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tlač, FDM, filament, RepRap, Raspberry Pi, Octoprint

ABSTRACT

The essence of this work is to summarize the knowledge about 3D printing, especially with FDM technologies. Create an overview of used FDM printing materials, identify their advantages and disadvantages, technical parameters and usability. Another purpose of the thesis is to examine the print quality and its problems and specify types of surface finishes for selected materials. The content also includes remote control and monitoring of the 3D print process using the Raspberry Pi microcomputer and the print server named Octoprint.

KEYWORDS

3D print, FDM, filament, RepRap, Raspberry Pi, Octoprint

KAJZR, M. *Vzdálená kontrola 3D tiskárny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Vyroubal, Ph.D..Petr Vyroubal, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Vzdálená kontrola 3D tiskárny som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku 40/2009 Sb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem môjmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Petr Vyroubal, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	iv
Úvod	8
1 Technológie 3D tlače	9
1.1 Aditívna výroba	9
1.2 Rozdelenie	10
1.3 FDM.....	11
1.4 Tlač s multi-extrúderom (multi-extruder printing)	12
2 Materiály pre 3D tlač	14
2.1 Technické špecifikácie pre FDM.....	14
2.2 ABS.....	15
2.3 PLA.....	15
2.4 PP.....	15
2.5 PET	15
2.6 TPE	16
2.7 BVOH.....	16
2.8 Plnivá v materiáloch	16
2.1 ABS vs PLA.....	17
3 Prehľad častých väd 3D tlače	20
4 Povrchové úpravy objektov	26
4.1 Pieskovanie/brúsenie povrchu	26
4.2 Tryskanie, pieskovanie	26
4.3 Naparovanie a namáčanie	27
4.4 Nátery, farebné sprejovanie	27
5 Vzdialená kontrola 3d tlače	29
5.1 Internet vecí	29

5.2	Pripojenie mikropočítača k 3D tlačiarňi	30
6	Praktická časť	32
6.1	Elektronika 3D tlačiarne	32
6.1.1	Arduino Mega 2560	32
6.1.2	RAMPS 1.4.....	33
6.1.3	Driver krokových motorov	34
6.1.4	Endstop snímače	35
6.1.5	G- kód	36
6.1.6	Raspberry Pi.....	37
6.2	Meranie spotreby energie Raspbery Pi 3B+	40
6.3	OctoPrint3D	42
6.3.1	Kamera a streaming	45
6.4	Vzdialená kontrola 3D tlačiarne (mimo LAN).....	46
6.5	Detektor prítomnosti filamentu.....	49
6.6	Odstraňovač prachu	50
6.7	3D Modeling a tlač	50
7	Záver	52
	Literatúra	54
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	57
	Zoznam obrázkov	59
	Zoznam tabuliek	60
	Výkresy mechanických dielov	61
	Zoznam súčiastok pre mechanické diely	68

ÚVOD

Trojrozmerná tlač alebo 3D tlač je technológia, ktorá umožňuje vytvárať skutočné predmety z 3D výkresov. Jej použitie je neobmedzené. Od začiatku 80. rokov 20. storočia, kedy si mohli dovoliť 3D tlačiarne len veľké spoločnosti a priemyselné odvetvia, sa veci veľmi zmenili. Na počiatku sa táto technológia využívala na výrobu rýchlo a lacno vyrobených prototypov. V súčasnosti trh s 3D tlačou prekvitá novými produktami, ktoré ponúkajú rozmanité možnosti použitia 3D tlače a to nie len v priemyselnej oblasti ale aj v domácnostiach alebo školstve, kde sú žiaci a študenti schopný lepšie pochopiť, čo znamená výroba. Modelovanie fyzických predmetov umožňuje reprodukovat' modely a návrhy, predovšetkým priblížiť sa viac k odborným poznatkom.

Okrem prototypovania vo výrobe, vzdelávania možno technológiu 3D tlače využiť aj na zjednodušenie každodennej práce a života. V súčasnosti majú umelci, dizajnéri a architekti skvelú príležitosť vidieť svoj projekt v rukách bez zložitej tvorby modelu a možnosti vidieť návrh nie len virtuálne. To platí aj pre zubných technikov, lekárov, farmaceutov, ale i iné odvetvia a oblasti, či už výrobného taktiež výzkumného charakteru. Domáce potreby, náradie, náhradné diely a hračky môžu byť terčom domácich kutilov, keďže predkreslené 3D modely sú pohodlne dostupné na stiahnutie.

Táto diplomová práca bude istý súhrn poznatkov, ktoré majú za účel zisku vedomosti ohľadne témy 3D tlače a síce technológie FDM. U danej technológie preskúmať najpoužívanejšie materiály, ich vlastnosti a technické špecifikácie. Práca sa venuje aj ich povrchovým úpravám a vadám vzniknutým počas tlače.

V praktickej časti sa práca zaoberá vzdialenej kontrole a ovládaníu 3D tlačiarne, pomocou mikropočítača Raspberry Pi s pripojenou kamerou, cez tlačový server Octoprint. Zapojenie a prevádzka je v práci zaznamenaná a nadobúda akýsi charakter návodu na spozajzdenie vzdialenej kontroly 3D tlačiarne či už v domácom, alebo školskom prostredí.

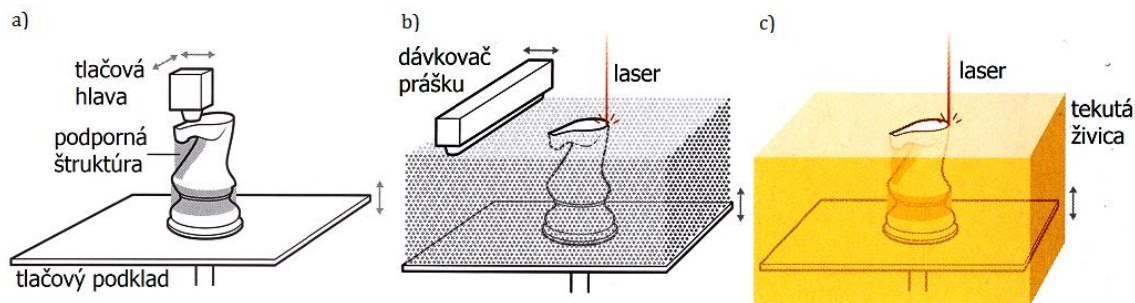
1 TECHNOLOGIE 3D TLAČE

Jedná sa o princípy trojrozmerného vytvárania objektov. V súčasnej dobe sa experimentuje s využívaním rôznych druhov materiálov a techník, no v podstate ide o aditívny spôsob výroby, teda postupné pridávanie používaného materiálu na modelovanie. Nasledovné spôsoby vytvárania objektov, sú práve najčastejšie používané.

1.1 Aditívna výroba

Termín označujúci rôzne technológie výroby priestorových objektov na 3D tlačiarňach, ktoré vychádzajú z rovnakého základného princípu, t.j. predmet vytvárajú pridávaním jednej vrstvy materiálu na druhú.

Každá z metód, ktoré sa líšia cenou, rýchlosťou, presnosťou a použitými materiálmi, má svoje výhody a nevýhody. Aj keď v posledných rokoch zaznamenala aditívna výroba nesmierny pokrok, stále existuje obrovská a pravdepodobne neprekonateľná priepasť medzi tým čo sa dá vyrobiť na sofistikovaných komerčných 3D tlačiarňach, a medzi tým, čo si môžete vyrobiť na domácich tlačiarňach. [14]



Obr. 1.1 a) Nanášanie taveniny b) Laserové spekanie c) Stereolitografia[14]

Obrázok popisuje 3 metódy aditívnej výroby:

- Plastové vlákno sa privádza do tlačiarne, tam sa roztaví a nanáša vo vrstvách, ktoré postupne tuhnú. Tento proces je vhodný pre kancelárie, čo z neho robí ideálnu technológiu pre stolové spotrebné tlačiarne.
- Nanesie sa jemný prášok (kovový alebo plastový) a nad ním sa pohybuje laser, ktorý ho selektívne zapečie do spodnej vrstvy. To umožňuje použiť širokú paletu materiálov.

- c) Fotocitlivá tekutá živica je osvietená laserom alebo UV svetlom, ktoré ju vytvrdí. Tento proces je rýchly a môže vytvoriť tvary s veľmi vysokým rozlíšením. Výsledkom sú ale predmety s obmedzenou materiálovou pevnosťou.[14]

1.2 Rozdelenie

FDM (Fused deposition modeling)

Najbežnejšia a najpoužívanejšia technológia. Jej obširnejšia charakteristika je detailizovaná v nasledujúcej kapitole vid' 1.2 FDM

SLS (Selective Laser Sintering)

Zmes materiálov vo forme prášku (plast, kov či sklo) je vystavený laserovým lúčom a tým natavovaná. Spekanie vysoko výkonným laserovým lúčom vyžaduje presné pracovné teploty, po schladení výrobku čistenie od prebytočného prášku. Taviaci prášok slúži aj ako nosná konštrukcia pri spekaní, čo umožňuje tvorbu zložitejších konštrukcií. Technológia zabezpečuje vysokú presnosť, no energetickú náročnosť a nákladnosť. [1]

SLA (Stereolithography)

Princíp tkvie v známej technológii stereolitografie. Najstaršia a veľmi efektívna a presná metóda výroby prototypov. Tvorba objektu prebieha po vrstvách. Pomocou UV laserového lúču, smerovaného v osách X a Y sa vykresluje a vytvrdzuje hladina fotopolyméru. Po takto dokončenej vrstve sa platforma ponorí v ose Z a nasleduje opätovné vytvrdzovanie ďalšej vrstvy. V postprodukcii je nutné množstvo objektov čistiť a vytvrdzovať. Proces vytvrdzovania spočíva vo vystavení objektu intenzívnemu svetlu v uzavretej komore. Pre bežných používateľov je to cenovo nedostupná technológia. [1]

DLP (Digital Light Processing)

Podobný proces ako stereolitografia, ktorá tiež pracuje s fotopolymérmi. Na rozdiel u stereolitografie, technológia DLP používa UV projekcia modelového rezu. [1]

EBM (Electron beam melting)

Výstavba modelov pomocou tavenia kovového prášku (zliatiny titánu) vo vrstvách lúčom elektrónov vo vysokom vákuu. Výhodou tejto technológie je presnosť a vynikajúce technické vlastnosti vytlačených objektov. Vyhodenie technológie je ale veľmi nákladné. [1]

LOM (Laminated object manufacturing)

Technológia používa vrstvy papiera potiahnutého lepiacou vrstvou, plastové alebo kovové lamináty, ktoré sú tavené za tepla a tlaku a tvarované počítačom riadeným laserom alebo nožom. Toto je niekedy sprevádzané ďalším obrábaním a vŕtaním.

Vytvára veľmi presné modely s kvalitným povrchom a náklady na jej obstaranie nie sú príliš vysoké. Táto technológia sa využíva najmä v architektúre a geografii. [1]

BJ (Binder Jetting)

Tento typ 3D tlače používa dva materiály: materiál na báze prášku (často sadra) a spojivo. Zvyčajne sa spojivo vytlača v kvapalnej forme z tlačovej hlavy na tenkú vrstvu prášku čím sa zlepie a vytvorí finálny výrobok. Spojivá majú často farebný charakter, čo vytvorí rôznofarebný výrobok. [1]

Material Jetting

Termoplastický materiál (vosk) je vytlačený tlačovými hlavami. Dva stavebné materiály (modelovací a podporný vosk) s rôznou teplotou tavenia. Podporný sa odstráni nahriatím modelu na určitú teplotu v kvapaline, kde sa roztaví a odplaví nosný materiál. [1]

1.3 FDM

Táto technológia bola vyvinutá S. Scottom Crumpom v neskorých 80-tych rokoch a začiatkom roka 1992 bola predstavená spoločnosťou Stratasys Inc. Koncom toho roku sa začal predaj samotných 3D tlačiarňí s touto technológiou. [2] Po vypršaní platnosti patentu na túto technológiu existuje v súčasnosti medzinárodný komunitný projekt 3D tlačiarne s uvedenou technológiou na princípe otvoreného hardvéru. RepRap (replicating rapid prototyper) má schopnosť sebareplikácie a vďaka celkovej otvorenosti a dostupnosti potrebnej dokumentácie na výrobu samotnej tlačiarne, sa stáva cenovo dostupnejšou.[3]

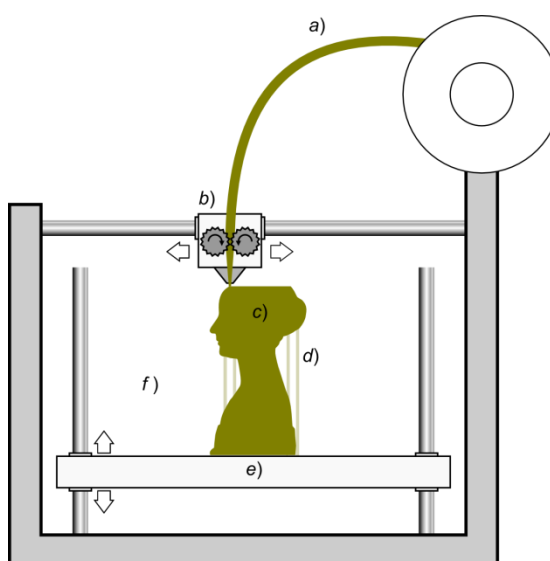
Tri etapy a princíp technológie FDM:

Predprodukcia (predvýroba) – Obsahuje, ako pri každej technológii výroby 3D tlačou, samotné prevedenie objektu do 3D CAD súboru a jeho export do tzv. .stl/.obj formátu. Potrebny softvér tak vytvorí výpočet trajektórie modelovania, potrebu materiálu a predpokladaný čas[4][5]

Výroba – Princíp metódy je založený na roztavení termoplastického polyméru vo forme vlákna a), ktorý je privedený do extrúderu b), kde sa roztaví a vytlačí cez tlačovú hlavu, čím je zároveň nanesený na flexibilnú podložku e) vrstva na vrstve. Vlákno sa ohrieva do čiastočne kvapalného stavu vďaka teplote extrudéru, ktorá je udržiavaná blízko teploty topenia používaného materiálu. Pretože je teplota okolia podstatne nižšia, materiál tuhne rýchlo. Tlačová hlava sa pohybuje v osách X a Y a presne vytlača a nanáša materiál v tenkých vrstvách na podložku. Po nanesení určenej vrstvy sa hlava posunie smerom nahor v ose Z a pokračuje v nanášaní nasledujúcej. Výsledkom vrstvenia stuhnutého materiálu na predchádzajúcu vrstvu je plastický 3D model c).

Proces FDM vyžaduje použitie podporných štruktúr pre väčšinu modelov s previsnutou geometriou. To znamená použitie ďalšieho, zväčša vo vode rozpustného materiálu, ktorý umožňuje relatívne ľahko odstrániť podporné štruktúry d), akonáhle je objekt hotový. [4][5]

Postprodukcia – Po vymodelovaní je potrebné výrobok upraviť skrz počítačové alebo mechanické aspekty. Hodnotenie presnosti a drsnosti povrchu je nevyhnutné, ak nejde iba o zámerné vizuálne prevedenie. Drsnosť povrchu sa opracuje pilníkom poprípade brúsny papierom. Úpravy zahŕňujú taktiež odlámanie podporných konštrukcií, v niektorých prípadoch rozpustením vo vode. [4][5]



Obr. 1.2 Schéma 3D tlačiarne s technológiou FDM[6]

Jedná sa o najrozšírenejšiu progresívnu technológiu so širokou škálou aplikácií. Výhodou FDM je jej jednoduchosť, čistota procesu, cenová dostupnosť a rozsiahle množstvo materiálov na tvorbu 3D modelov ktoré majú mechanicky a enviromentálne stály charakter. Metóda sa používa najmä na výrobu jednotlivých dielov, no je možné vyrobiť aj nerozoberateľné pohyblivé spojenie dvoch dielov. FDM nájde uplatnenie predovšetkým pre výrobu funkčných prototypov z plastových materiálov s mechanickými vlastnosťami, ktoré sa blížia k reálnemu dielu, taktiež pri výrobe predlôh a pohľadových vzoriek. Doba tlače dielu trvá rádovo od niekoľko jednotiek až desiatok hodín, avšak je časovo závislá na veľkosti a zložitosti tvaru tlačeneho objektu.[4][5]

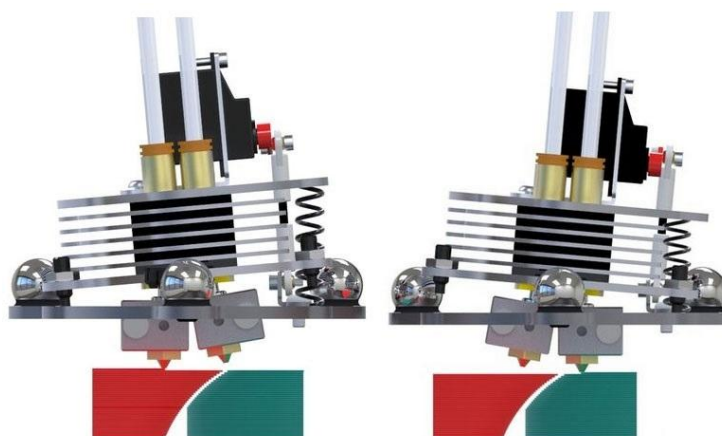
1.4 Tlač s multi-extrúderom (multi-extruder printing)

3D tlač s jedným extrúderom (tlačovou hlavou) je najbežnejší spôsob prevádzania tlače. Zvýšenou popularitou 3D tlače nastal dopyt po zložitejších konštrukciách samotných tlačiarňí, najmä možnosť kombinovať materiály v priebehu tlače.

Použitie duálnych extrúderov je najčastejšia metóda modelovania viacerými tlačovými hlavami. Použitie dvoch alebo viacerých tlačových hláv umožňuje tlačiarňi mať pripojených niekoľko vlákien a pripravených na používanie. Nepretržitá tlač následne šetrí celkový čas procesu tlače. Existuje mnoho spôsobov, akým je možno využívať dvojité extrúdery. Najčastejšie sa používa na oddelenie materiálu na tlač a nosného materiálu. V istých prípadoch je možné použiť špeciálne rozpustné vlákno podporného materiálu na redukciu nepohodlných a časovo náročných prác pri odstraňovaní nosného materiálu.[7]

Ďalším zaujímavejším spôsobom, ako používať dvojité extrúdery, je vytváranie viacfarebných objektov. Automatické prepínanie dvoch/troch filamentov rôznej farby, umožňuje výrobcovi tvoriť objekty v rozmanitých farebných variáciách a to bez toho, aby musel fyzicky meniť vlákno pri každej zmene farby. V tomto prípade je možné aj tzv. gradientného efektu, vrstvením dvoch odlišne farebných filamentov.[7]

V inom prípade, je možnosť viacerých extrúderov využívaná v ich synchronizovanom tlačení, pričom sa tlačia viaceré rovnaké objekty zároveň.



Obr.1.3 Použitie dvoch extrúderov[8]

RepRap tlačiarne umožňujú užívateľom meniť širokú škálu procesných parametrov ako napr. rýchlosť pohybu trysky, teplota podložky, teplota trysky, súčiniteľ prietoku materiálu tryskou atď. Preto výhodou týchto a podobných zariadení je to, že umožňujú dôkladné testovanie spomínanej technológie. Naopak nevýhodou je pomerne zdĺhavý proces experimentálneho zisťovania optimálnych hodnôt technologických parametrov. Ďalšou podstatnou nevýhodou väčšiny týchto zariadení je absencia vyhrievanej komory, preto teplota pracovného priestoru je určená teplotou okolitého prostredia.[19]

2 MATERIÁLY PRE 3D TLAČ

Pri materiáloch pre 3D tlač rozlišujeme ich použitie pre daný výrobok. To zahŕňa ich mechanické vlastnosti, optické vlastnosti, toxicitu, uskladnenie a radu technických parametrov, ktorými je možné selektovať ten správny materiál. V nasledujúca kapitola obsahuje prehľad najpoužívanejších materiálov pre FDM. V tabuľke č.1. sú zahrnuté technické parametre používaných filamentov. Materiály sú dostupné v dvoch priemeroch a to 1,75 mm a 3 mm. Niekedy tlačiarne nepodporujú vybranú hrúbku filamentu, je preto nutné skontrolovať špecifikácie výrobcu tlačiarne, či daný rozmer podporuje.

Pri výbere filamentu je dôležité zohľadniť požadované vlastnosti na materiál, čiže vytvoriť si prehľad činností a účelov, ktoré bude daný výtlačok vykonávať. Trh ponúka široké spektrum materiálov v rôznych farebných škálach a ich vzájomných kombinácií a zlúčenín, čo umožňuje presný výber typu filamentu pre danú funkciu vytlačeného objektu. Okrem požiadavok na vlastnosti materiálu sa výber stretáva s ďalšími dôležitými požiadavkami a to jeho kompatibilita s 3D tlačiarňou, ktorá má taktiež svoje špecifické parametre. Výrobcov filamentov je veľké množstvo a nie každý jeho typ je schopný byť vytlačený na akejkol'vek 3D tlačiarňu. Napríklad určité filamenty vyžadujú prítomnosť vyhrievanej podložky pričom niektoré tlačiarne ju nemusia nutne obsahovať.

2.1 Technické špecifikácie pre FDM

- Prevádzkový čas –záleží od veľkosti objektu
- Štandardná presnosť - $\pm 0.15\%$
- Minimálna hrúbka steny - 1 mm
- Hrúbka vrstvy - 0.18 mm a 0.25 mm
- Priemer filamentu – 1,75 mm a 3 mm
- Priemer trysky – 0,25 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm (štandard)
- Maximálne rozmery objektu – neobmedzené, pretože komponenty môžu byť zložené z niekoľkých častí [9]

2.2 ABS

Je to polymér vyrábaný z ropy, vynikajúce mechanické vlastnosti a nízke náklady na výrobu. Vo všeobecnosti je to však pevný a mierne ohybný plast s pomerne vysokou teplotou topenia. Vďaka svojim dobrým mechanickým vlastnostiam má široké využitie, hlavne pri mechanicky namáhaných súčiastkach. Je odolný voči vlhkosti, kyselinám a olejom. ABS natural (bez farbiva) má mliečnu špinavo bielu farbu ale je dostupný tiež v rôznych odtieňoch. Ľahko sa rozpúšťa v acetóne, ktorý môže slúžiť tiež ako lepidlo pri spájaní častí alebo pri povrchovej úprave a leštení modelu. Nevýhoda ABS je vysoký stupeň zmrštenia počas chladenia, kompenzované vyhrievaním pracovnej plošiny.[10,11]

2.3 PLA

Je to prírodný polymér na bázi škrobu a náklady naň sú relatívne malé. Je plne rozložiteľný, tým pádom je ekologicky prijateľnejší ako ABS. Modely z PLA nie sú určené na funkčné použitie skor ako dizajnové modely, hračky a pod.. Okrem praktických priemyselných využití sa uvádza výroba obalov pre potravinárske výrobky, nádoby na lieky, chirurgické vlákna. Pridaním farby vzniká široká škála odtieňov. Má horšie mechanické vlastnosti ako ABS a síce horšia ohybnosť a nižšia teplota topenia, ktorá prispieva k nízkej spotrebe energie. Pôsobenie vo vysokých teplotách okolia môže spôsobiť zmenu jeho tvaru. Hotové modely majú pekný lesklý povrch. [10,11]

2.4 PP

Jeden z najpoužívanejších plastov používaných v priemysle, vysoko kvalitný polypropylénový filament. Má veľmi dobré mechanické vlastnosti, odolný voči rade chemikálií a prírodným rozpúšťadlám, pevný v ťahu, kvalitný výsledný povrch. Je veľmi ľahký a priesvitný, húževnatý. Používa sa v textilnom a potravinárskom priemysle zväčša ako obalový materiál, na výrobu krabičiek pre lieky, automobilový priemysel, mechanické diely, prototypovanie, hračky a pod.[12]

2.5 PET

Polyetyléntereftalátový materiál pre 3D tlač. Vysoko priehľadný, relatívne bez zápachu. Odolný voči vonkajším podmienkam. Použitie v potravinárstve na obaly na potraviny, nápoje a iné kvapaliny. Primárne aplikácie pre FDM sú koncepčné mechanické modely, medicínske modely, nádoby na jedlo, priehľadné objekty. [12]

2.6 TPE

Termoplastický elastomer vznikol kombináciou polymérov s termoplastickými a gumovými vlastnosťami. Termoplastický polyuretán patrí medzi termoplastické elastoméry (TPE), niekedy tiež nazývané ako termoplastické kaučuky, ktoré sa vyznačujú svojou veľkou pružnosťou. Pri pôsobení vonkajšej sily sa teda výrazne deformuje a potom znovu zaujmú pôvodný tvar. TPU je jemný, mäkký, elastický, odolný a silný a odolný materiál. Použitie je bežné ako v automobilovom priemysle, tak aj v zdravotníctve, na výrobu elektrických nástrojov alebo na výrobu ochranných obalov na mobilné telefóny a tablety. Je netoxický a schopný rozkladu. V závislosti od použitých prímiesí veľmi dobre odoláva olejom a tukom, ale nie je vhodné vystavovať pôsobeniu rozpúšťadiel a kyselín. Nie je vhodný na použitie v potravinárstve. Odolný voči olejom, masnotám, a rozpúšťadlám. Jeho hlavnými aplikáciami sú ohybné objekty ako držiaky, podrážky do topánok, hadice, izolácie, náramky, lopty, kolesá. [12]

2.7 BVOH

BVOH je Butenediol vinyl alcohol copolymer pre 3D tlač technológií. Je vysoko rozpustný vo vode, ktorú možno ako odpadovú vodu po rozpustení likvidovať do bežnej kanalizácie. Je citlivý na svetlo a UV žiarenie. Vyniká rýchlosťou tavenia, kvalitné adhéziou a vynikajúce štruktúrou vrstiev. Je využívaný ako podporný materiál pre 3D tlač FDM technológií špeciálne pre tvarovo zložité diely. [12]

2.8 Plnivá v materiáloch

Ide o tuhé látky, ktoré sa najčastejšie pridávajú do polymérov bez akejkoľvek chemickej reakcie s nimi. Zostávajú inertné, ale do výslednej zmesi pridávajú požadované mechanické alebo iné vlastnosti. Účelom pridávania plnív môže byť napríklad zmena hustoty materiálu, vystuženie, zvýšená odolnosť proti oderu a zlepšené tepelné vlastnosti, vizuálne vlastnosti. Plnivo môže byť akýkoľvek malý materiál, ktorý je chemicky inertný k hlavnému materiálu a dodáva požadované vlastnosti.[22]

Drevenné plnivá sú zmesou recyklovaného dreva s polymérom, ktorý drevenný prášok spojuje. Kompozit má podobnú teplotnú odolnosť ako materiál PLA. Teplota tlače sa pohybuje medzi 175°C až 250°C. Pri vyšších teplotách tlače, je výsledný povrch tmavší. Výsledný model vyzerá veľmi podobne ako by bol vyrobený z dreva. Podiel dreveného prášku býva obvykle 40%. [23]

Uhlíkové plnivá sa používajú pre zmenu mechanických vlastností výsledného modelu. Kombinácia PLA plastu s uhlíkovým vláknom dodá filamentu vyššiu tuhosť a odolnosť voči ohybu. Takto plnený materiál nevyžaduje vyhrievanú podstavu ako

bežný PLA plast. Nevýhoda je v tomto prípade jeho zvýšená krehkosť.[23]

Plnivá na bázi kriedy teda zmiešaním kriedového prášku s termoplastom sa dá dosiahnuť veľmi zaujímavej textúry povrchu modelu a stane sa drsným. Povrch pripomína vzhľad keramiky.[23]

2.1 ABS vs PLA



Obr. 2.1 Vytlačený objekt - PLA vľavo, ABS vpravo[28]

V nasledujúcej tabuľke je možné vidieť dôležité odlišnosti medzi PLA a ABS.

Tab. 1 Prehľad rozdielov PLA a ABS[26]

Materiál	PLA	ABS
Sila	Decentná sila	Nadpriemerná sila
Flexibilita	Krehká	Stredne flexibilná
Odolnosť voči nárazu	Nie	Áno
Odolnosť voči teplu	Nie	Áno
UV/ H ₂ O	Rozklad po čase	Rozklad po čase
Biodegradabilný	Áno	Nie
Recyklovateľný	Áno	Áno
Rezanie, nátery, pieskovanie	Áno	Áno
Povrchová úprava acetónom	Nie	Áno
Výpary	Takmer žiadne	Intenzívne
Absorbcia vlhkosti	Áno	Áno
Vyhrievaná podložka	Voliteľná	Potrebná

Tab. 2 Prehľad procesných parametrov pre používané materiály[12],[24],[25]

-	PLA	ABS	PET	TPE	BVOH	PP
Tolerancia [mm]	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05
Teplota mäknutia [°C]	168	N/A	214	N/A	92	170
Teplota skleneného prechodu [°C]	58	104	70	N/A	68	115
Hustota [g/cm ³]	1,24	1,05	1,34	1,09	1,14	0,89
Rýchlosť toku taveniny (21,2N)	6 g/10min (190°C)	43 g/10min (210 °C)	N/A	45 g/10min (230 °C)	7,5 g/10min (210 °C)	20 g/10min
Medza pevnosti v ťahu	63 MPa	40 MPa	50 MPa	14 Mpa	45 Mpa	14 MPa
Modul pružnosti v ťahu	2800 MPa	2000 MPa	1800 MPa	N/A	N/A	N/A
Medza pevnosti v ohybe	115 MPa	76 MPa	74 MPa	N/A	71M	14 MPa
Modul pružnosti v ohybe	3100 MPa	2200 MPa	MPa	MPa	2900 MPa	350 MPa
Pevnosť v ťahu [MPa]	63	47	70	14	45	14
Predĺženie v ťahu [%]	4	30	9	900	9	>200
Odporúčaná teplota extrúzie [°C]	180 - 230	210 - 250	210 - 240	210 - 240	200 - 220	220 - 240
Odporúčaná teplota podložky [°C]	20 - 60	80 - 110	50 - 75	60	60	60 - 80
Rýchlosť tlače [mm/s]	30 - 50	30 - 60	30 - 40	(30 - 50)	30 - 40	30 - 40


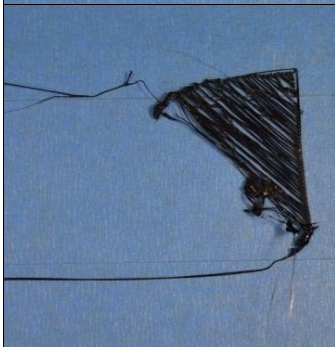
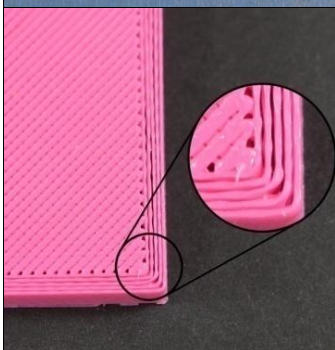
Tab. 3 Porovnanie filamentov[10][11][12]

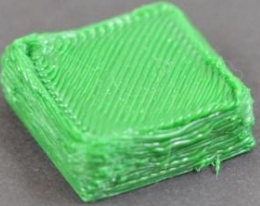
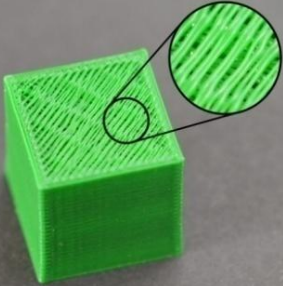
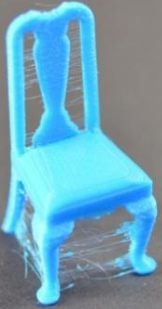
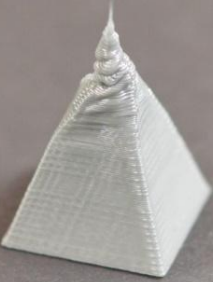
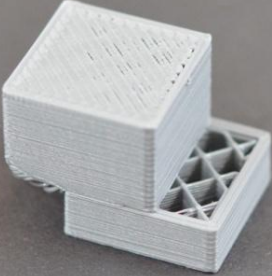
	Kľúčové vlastnosti	Aplikácia	Farebné variácie
ABS Akrylonitrilbutadiénst yrén	Vysoká tuhosť, vysoký lesk, stredná nárazová sila, odolnosť voči masnotám, veľká použiteľnosť výtlačku, silný zápach počas tlače	Prototypovanie, funkčné modelovanie pre stavebníctvo, elektrotechnický a automobilový priemysel atď. krytie zariadení	Čierna, biela, modrá, červená, zelená, transparentná, strieborná
PLA Polymliečna kyselina	Biopolymér získaný z rastlín. Široké spektrum použiteľnosti po vytlačení. bez zápachu.	Koncepčné modelovanie pre balenie potravín, zdravotníckych / hygienických výrobkov, puzdier; školstvo	Čierna, biela, modrá, červená, zelená, transparentná, strieborná
PET Polyetylénte-refalát	Vysoký úroveň optickej transparentnosti, relatívne bez zápachu, dobrá odolnosť voči klimatickým faktorom	Koncepčné modelovanie pre mechanické časti, medicínu, potravinové obaly, transparentné objekty	Transparentná
TPE (PRIMALLOY) Termoplastický elastomer	Veľmi flexibilné. Odolný voči olejom, masnotám, oderu a rozpúšťadlám. Dobré zachovanie tvaru.	Modelovanie flexibilných prvkov - ohybné objekty ako držiaky, podrážky do topánok, hadice, izolácie, náramky, lopty, kolesá.	Čierna, biela
PP Polypropy-lén	Jedna z najbežnejšie používaných plastov v priemysle. obré mechanické vlastnosti tuhosti a pevnosti v ťahu. Dobrá povrchová úprava. Odolné voči kyselinám, zásadám a organickým rozpúšťadlám. Veľmi ľahký. Dobrá transparentnosť.	Funkčné modelovanie: technické produkty, automobilový priemysel, strojárstvo, prototypy, hračky, závesy a pánty	Transparentná
BVOH Butene-diol Vinyl Alcohol Copolymer	Vodorozpustný nosný materiál, výborné vrstvenie tlačeného materiálu, emulgátor, prilnavosť, výborný v kombinácii s ABS, PLA, PET, citlivé na svetlo a UV žiarenie	Podporný materiál pre filamentey - tlačové projekty s prevismi alebo zložitými predmetmi	Biela


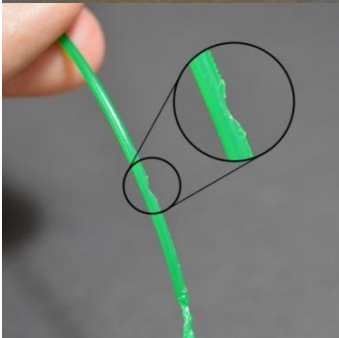
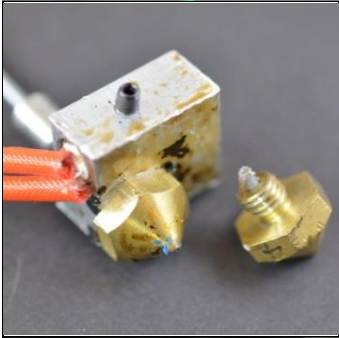
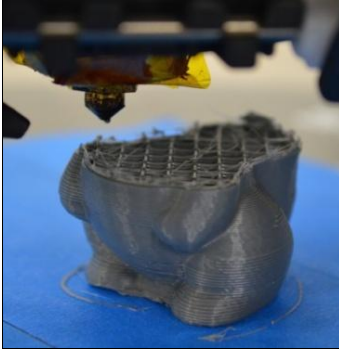
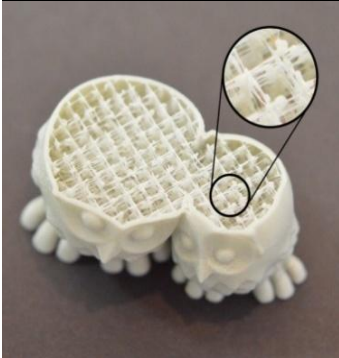
3 PREHLAD ČASTÝCH VÁD 3D TLAČE

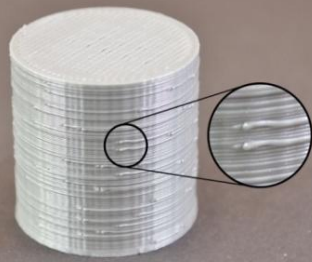
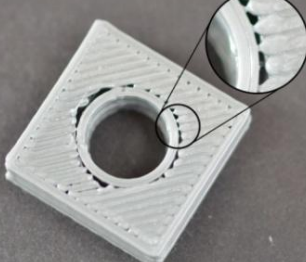
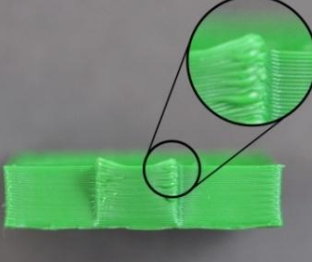
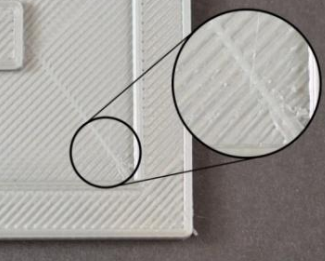
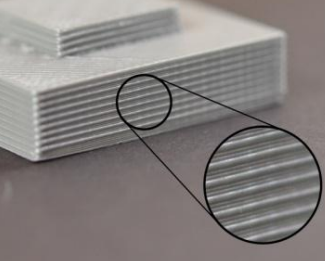
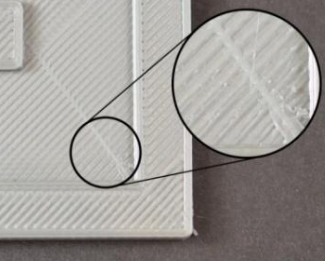
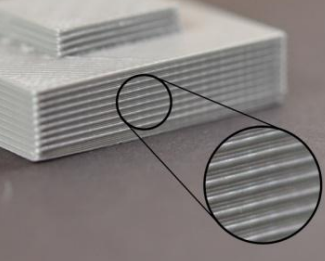
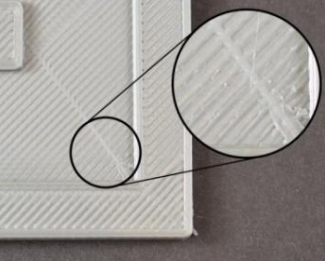
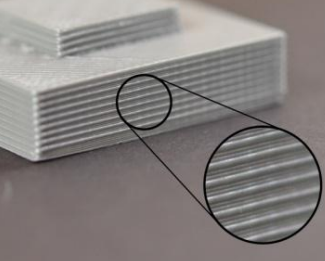
V tejto sekcii sú zahrnuté najčastejšie vyskytujúce sa vady a chyby tlače. K obrázkom chýb sú priradené možné príčiny ich vzniku a nápovedy k ich odstráneniu.

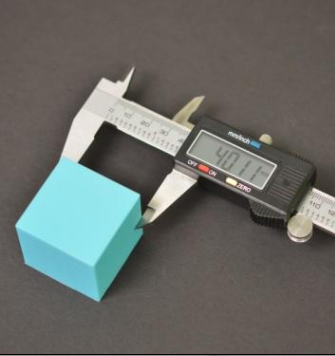
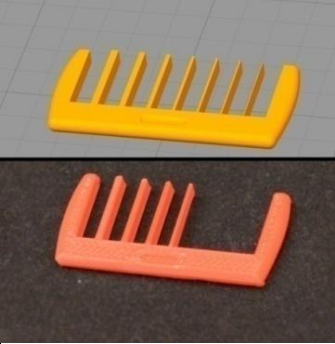
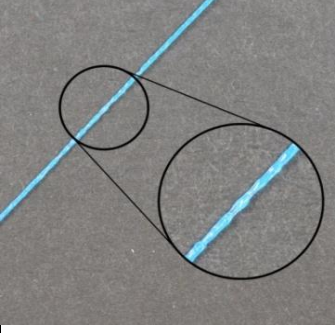


Tab. 4 Vady 3D tlače, príčiny vzniku a spôsoby odstránenia väd[13]

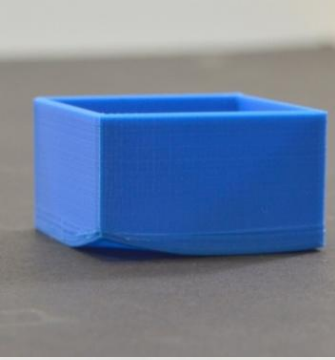

Názorná ukážka vady	Názov vady tlače	
	Príčiny vzniku	Spôsob/nápoveda k odstráneniu
	Chýbajúca extrúzia na začiatku tlače	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Nepripravený plast v extrúderi b. Tryska príliš priblížená k podložke c. Hnacie koleso neposúva filament d. Upchatý extrúder 	<ul style="list-style-type: none"> a. Pretlačte filament cez extrúder pred začiatkom tlače b. Nastavte väčšiu výšku tlače prvej vrstvy c. Ručne posunte filament do extrúdera za hnacie koleso d. Vyčistite extrúder
	Nepriľepená prvá vrstva tlače na podložku	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Podložka nie je vyrovnaná b. Tryska tlačí ďaleko od podložky c. Prvá vrstva sa tlačí príliš rýchlo d. Zlé nastavenie teplôt a chladenia e. Vhodný materiál podložky 	<ul style="list-style-type: none"> a. Vycentrujte podložku b. Nastavte menšiu výšku tlače prvej vrstvy c. Spomalte rýchlosť tlače d. Nastavenie teplôt e. Zmena podložky
	Chybná extrúzia - nedostatok tlačeneho materiálu	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Chybne zvolený priemer filamentu b. Zle nastavená hodnota toku extrúzie 	<ul style="list-style-type: none"> a. Zmente typ filamentu b. Zvýšenie toku extrúzie

	Chybná extrúzia – prebytok tlačeneho materiálu	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Chybné zvolený priemer filamentu b. Zle nastavená hodnota toku extrúzie 	<ul style="list-style-type: none"> a. Zmente typ filamentu b. Zníženie toku extrúzie
	Otvory a medzery v horných vrstvách	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Nedostatok horných pevných vrstiev b. Percentuálny podiel výplne je príliš nízky c. vid. Chybná extrúzia - nedostatok tlačeneho materiálu 	<ul style="list-style-type: none"> a. Nastavte väčšiu hrúbku vrchných vrstiev b. Zvýšte hustotu výplne
	Pretekánie plastu	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Vysoká teplota extrúzie b. Rýchlosť pohybu tlačovej hlavy 	<ul style="list-style-type: none"> a. Zvolte nižšiu teplotu extrúzie b. Zvýšte rýchlosť pohybu tlačovej hlavy c. Nastavenie vyššej retrakčnej vzdialenosti d. Nastavenie vyššej retrakčnej rýchlosti
	Prehrievanie	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Nedostatočné chladenie b. Tlač pod veľmi vysokou teplotou c. Vysoká rýchlosť tlače 	<ul style="list-style-type: none"> a. Zvýšte otáčky chladiaceho ventilátora b. Znížte teplotu extrúzie c. Znížte rýchlosť tlače
	Posuv tlačenej vrstvy	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Vysoká rýchlosť pohybu tlačovej hlavy b. Mechanické problémy a príčiny c. Elektrické problémy a príčiny 	<ul style="list-style-type: none"> a. Znížte rýchlosť pohybu tl. Hlavy b. Rovnosť podložky, krokové motorčeky, remene ozub. kolies,... c. Prívod motorov, ...

	Separácia a rozdelenie vrstiev	
	Poškriabaný filament	
	Zanesený extrúder	
	Zastavená extrúzia v priebehu tlače	
	Slabá výplň	
<ul style="list-style-type: none"> a. Príliš veľká výška/hrúbka vrstvy b. Nízka teplota tlače 	<ul style="list-style-type: none"> c. Zmenšite hrúbku tlačných vrstiev d. Zvýšte teplotu extrúzie 	
<ul style="list-style-type: none"> a. Agresívne retrakčné nastavenia b. Príliš veľká rýchlosť tlače c. Upchatý extrúder 	<ul style="list-style-type: none"> a. Zmena retrakčných nastavení b. Znížte rýchlosť tlače c. Vyberte filament a vyčistite extrúder 	
<ul style="list-style-type: none"> a. Pretlačte filament cez extrúder pred začiatkom tlače b. Nastavte väčšiu výšku tlače prvej vrstvy 	<ul style="list-style-type: none"> a. Pretlačte filament cez extrúder pred začiatkom tlače b. Vytiahnite filament z extrúdera a vyčistite trysku 	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Ručné zatlačenie filamentu do extrúdera b. Vytiahnutie vlákna, kontrola a následné vloženie vlákna c. Vyčistenie trysky 	
<ul style="list-style-type: none"> a. Príliš vysoká rýchlosť tlače b. Nevyhovujúci vzor výplne c. Malá šírka vrstvy výplne 	<ul style="list-style-type: none"> a. Spomalte rýchlosť tlače b. Zmena vzoru výplne c. Zväčšite hrúbku výplne 	

	Nežiadúce kvapky	
	Medzery medzi výplňou a vonkajšou vrstvou	
	a. Príliš rýchla tlač	a. Spomalte rýchlosť tlače b. Nastavenie prekrytia vonkajšej vrstvy výplňou
	Zvlnené/pokryvené rohy	
	a. Extrúzia príliš veľa plastu b. Nekonzistentná extrúzia c. Nepresný PID regulátor teploty d. Mechanické problémy tlačiarne	a. Problém s prehrievaním b. Znížte teplotu extrúzie
	Jazvy na povrchu	
	Riadky po stranách objektu	
	a. Extrúzia príliš veľa plastu	a. Znížte hodnotu extrúzie b. Nastavenie zdvihu tlačovej hlavy pri presuve na nové miesto na vyššiu hodnotu
	a. Nekonzistentná extrúzia b. Nepresný PID regulátor teploty c. Mechanické problémy tlačiarne	a. Kontrola kvality filamentu b. Kalibrácia PID regulátora c. Rovnosť podložky, krokové motorčeky, remene ozub. kolies,...

	Rozmerová presnosť	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Prvá vrstva je po vytlačení plastu väčších rozmerov b. Chyba extrúdera 	<ul style="list-style-type: none"> a. Zmena v nastavení prvej vrstvy (tlač prvej vrstvy sa nastavuje samostatne) b. Kalibrácia extrúdera a. Brúsenie v postprocesse
	Nevytlačené malé objekty	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Návrh obsahuje veľmi tenké vrstvy b. Tryska nedokáže vytlačiť tak malú vrstvu 	<ul style="list-style-type: none"> a. Redizajn 3D modelu na hrubšie vrstvy b. Inštalácia trysky s menším priemerom
	Nekonzistentná extrúzia	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Filament sa zasekáva alebo zamotáva b. Zanesený extrúder c. Nekvalitný filament d. Mechanické problémy extrúdera 	<ul style="list-style-type: none"> a. Kontrola polohy filamentu, prístupnosť pre extrúder b. Vyčistite extrúder c. Výmena filamentu d. Skontrolujte stav posuvného kolieska
	Vibračné defekty	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Príliš rýchla tlač b. Mechanické problémy c. Chybná akcelerácia firmwareu 	<ul style="list-style-type: none"> a. Nastavte menšiu rýchlosť tlače b. Rovnosť podložky, krokové motorčeky, remene ozub. kolies,... c. Obráťte sa na výrobcu tlačiarne
	Medzery medzi tenkými stenami	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Nastavenie manuálnej extrúzie 	<ul style="list-style-type: none"> a. Nastavenie väčšej hrúbky stien b. Nastavenie vyplňovania tenkých stien

	Deformácie	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Nízka teplota podložky b. Nízka teplota okolia 	<ul style="list-style-type: none"> a. Vyhrievaná podložka b. Použitie vyhrievaného krytu, zníženie otáčok/vypnutie ventilátora c. Tlač predvrstvy s pretŕčajúcim okrajom (odstráni sa po skončení procesu tlače)
	Nežiadúci povrch zo spodnej strany objektu	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Príliš veľká hrúbka tlačenej vrstvy 	<ul style="list-style-type: none"> a. Nastavenie menšej hrúbky tlačenej vrstvy b. Použitie vertikálnych podporných štruktúr c. Použitie dvoch extrúderov na odplaviteľný podporný materiál

4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY OBJEKTOV

Povrchové úpravy sú súčasťou postprocesu. Nie sú nevyhnutné, no v niektorých prípadoch požadujeme nielen vizuálne krajší povrch tlačenej objektu ale aj jednoliatosť a jemnosť. Nasledujúce metódy povrchových úprav môžeme použiť pre rôzne použité typy materiálov no musíme zohľadňovať ich materiálové vlastnosti, či už pri výbere metód alebo spôsob prevádzania danej metódy.

4.1 Pieskovanie/brúsenie povrchu

Pieskovanie alebo brúsenie je najbežnejší spôsob, ako vyhladiť povrch vytlačeného objektu. Jeho postup je nasledovný:

- Odstránenie prebytočného materiálu
- Odstránenie podporného materiálu
- Vyčistenie rohov a hrany objektu
- Ručné brúsenie hrubým brúsnyim papierom (80) za sucha
- Ručné brúsenie postupným zjemňovaním brúsneho papiera za sucha
- Ručné leštenie pomocou veľmi jemného brúsneho papiera za mokra[18]

Po každej fáze brúsenia je nutné čistený object zbaviť obrúseného plastu a prachu a skontrolovať jeho rovnomerný povrch. Pri brúsení ručnou brúskou, treba voliť menší stupeň vibrácií kvoli nežiadúcemu prehriatiu PLA plastu, kvoli jeho nižšej teplote mäknutia.[18]

4.2 Tryskanie, pieskovanie

Tryskanie alebo tiež pieskovanie je druhou najpoužívanjšou metódou povrchovej úpravy. Pre tryskanie je možné využívať ako piesok, tak aj broky. Oproti brúseniu je rýchlejšou variantou, môžu sa tryskať aj docela malé objekty. Jediným obmedzením pre veľkosť upravovaných častí sú vnútorné rozmery komory, v ktorých je tryskanie vykonávaná. Výsledkom je tryskání je hladký a matný povrch.[20]

4.3 Naparovanie a namáčanie

Princípom naparovanie a máčanie je expozícia upravovaného dielca v látke, ktorá rozpustí materiál modelu a následným stekáním sa vyhladí nerovnosti.

Naparovanie dielov sa vykonáva v uzatvárateľnom priestore (komore), ktorý je naplnený acetonovými parami. Dielec vystavený tomuto prostrediu sa v povrchových vrstvách začne rozpúšťať, pôsobením gravitačnej sily tento rozpustený plast začne stekať a zlievať povrch upravovaného dielca do hladkej vrstvy. Umiestnenie do komory je možné opakovať až do dosiahnutia požadovanej kvality povrchu. Po vybratí z komory sa z povrchu upravovaného dielca začne odparovať acetón. V prvých hodinách po expozícii je povrchová vrstva stále mäkká a poddajná. Po 3 hodinách od expozície je možné s upravovanými dielcami opatrne manipulovať (je nutné ich nezaťažovať, pretože povrch nie je stále vytvrdený, tým pádom by mohlo dôjsť k deformácii dielca). Maximálna tvrdosti je dosiahnuté cca 2 dni od expozície, kedy sa už z upravovaných dielcov neodparuje acetón.[20]



Obr. 4.1 Povrchová úprava acetónovým naparovaním[27]

Rozpustnosti ABS v acetóne je mimo iného využívané k opravám poškodených dielcov, ktoré je nutné napríklad zlepiť späť k sebe, alebo na lepenie rozmerných súčiastok, ktoré nemožno na použité tlačiarne vytlačiť naraz. Princípom lepenie je vytvorenie roztoku ABS plastu v acetóne. Následne je tento roztok aplikovaný na miesta lepenie a lepené súčasti sú k sebe pritlačené. Akonáhle je acetón odparený sú lepené súčasti pevne spojené.[21]

4.4 Nátery, farebné sprejovanie

Táto povrchová úprava ak je človek inžinier, architekt, produktový dizajnér vytvárajúci koncepčné modely, návrhár alebo scénograf, výtvarník alebo pedagóg, ktorí chcú do 3D tlačových aktivít začleniť trochu viac kreativity, maľovanie modelov môže

byť skvelým riešením.

Má tieto fáze:

- Pieskovanie/brúsenie
- Odstránenie masnôt a nečistôt
- Striekanie 2-3 vrstiev základného náteru/farby
- Sušenie modelu (40 min)
- Striekanie farby
- Sušenie modelu
- Lakovanie[18]

5 VZDIALENÁ KONTROLA 3D TLAČE

Jednou z nežiadúcich vlastností dlho trvajúcich projektov a úloh pri používaní 3D tlačiarne je jej priliehavá obsluha a častý dozor nad konajúcim sa procesom, či všetko prebieha v poriadku. Vývoj systému 3D tlače je teda progresívne vylepšovaný požiadavkou netráviť nad procesom toľko času. Možnosť diaľkového ovládania tlačiarne má veľký význam nie len v danej sfére ale aj akákoľvek obsluha zariadení či už v domácnosti (termostaty a pod.) ale aj v rôznych druhoch priemyslu.

Pomocou 3D tlače sme tak schopný zvládať celý proces 3D tlače na diaľku. Nie len vizuálna kontrola, ale pozastavenie, zrušenie, obnova práce tlačiarne, nastavenie procesných parametrov, rezanie modelov.stl formátu a ich následné posielanie vo forme G-kódu na ľubovoľnú tlačiareň za pomoci počítača, mobilného zariadenia či tabletu.

Riešením takejto situácie spočíva vo vytvorení tlačového servera, ktorý umožní vzdialené pripojenie odkiaľkoľvek, kde je možnosť pripojenia k internetu.

Ďalším zámerom vzdialenej kontroly 3D tlačiarne je odstránenie stolného počítača alebo notebooku od procesu, čím dosiahneme zníženie nákladovosti systému, a toto zariadenie je schopné využiť svoj plný výkon na iné funkcie. Pripojenie mikropočítača o nižšej cene a výkonnosti k 3D tlačiarne má na svedomí jeho praktickejšie využitie pre konkrétne činnosti.

5.1 Internet vecí

Internet vecí (Internet of Things, skratka IoT) je prepojenie jednotlivých zariadení prostredníctvom internetu bez aktívnej účasti človeka. Systém, v ktorom môžu byť rôzne objekty riadené na diaľku a tiež spolu navzájom interagovať. Zariadenia môžu byť napríklad automobily, domáce spotrebiče, nositeľné doplnky alebo rôzne senzory a čidlá, ktoré si spolu vymieňajú informácie alebo spolupracujú. Internet vecí je umožnený okrem iného vďaka miniaturizácii, znižovanie spotreby a ceny čipov a bezdrôtových technológií, ktoré sa tak môžu zaoberať bez veľkej batérie a komunikujú spolu s veľmi malou spotrebou.[16]

Spolupracujúce robotizované automobily, ktoré dokážu predísť dopravnej nehode alebo zápchu sú jedným z najčastejších príkladov využitia internetu vecí. Príkladom tých najmenších zariadení sú čipy v náramkoch pacientov, ktorí sledujú ich zdravotný stav, elektronické cenovky na tovar alebo inteligentné zásuvky komunikujúce cez

mobilný telefón. Veľké prínosy sa očakávajú vo zdokonalenie techniky výrobných strojov a zariadení, ktorá vďaka zdokonalenej komunikácii, meranie, meracím prístrojov a záznamom fungovanie umožnia lepšie monitorovanie a odhalenie poruchy. Z technického pohľadu spolu zariadenia môžu komunikovať rôznymi spôsobmi - najčastejšie je využitie bezdrôtovej siete Wifi, GSM siete, nízkoenergetické Bluetooth, NFC alebo RFID. [16] [35]



Obr. 5.1 Diagram internetu vecí[36]

Priemysel 4.0 či štvrtá priemyselná revolúcia je označenie pre súčasný trend digitalizácie, s ňou súvisiace automatizácie výroby a zmien na trhu práce, ktoré so sebou prinesie. Základné vízie tzv. Štvrtej priemyselnej revolúcie sa objavili v roku 2011. Podľa tejto myšlienky vzniknú "chytivé továrne", ktoré budú využívať kybernetickej-fyzikálne systémy. Tie prevezmú opakujúce sa a jednoduché činnosti, ktoré dovtedy vykonávali ľudia.[15]

Na českom i medzinárodnom trhu sa v poslednej dobe objavuje rad informácií od veľkých i stredných firiem, ktoré investujú do nových technológií v spojení s IIoT a tým súvisiace automatizáciou v rámci iniciatívy Priemysel 4.0. Najčastejšie typy používaných projektov používaných v odbornej praxi:

- Pripojenie výrobných zariadení a získanie dát – takmer 80% firiem používa IoT na získavanie dát
- Monitoring technologickej infraštruktúry – prehľad o stave, predikcia, predchádzanie výpadkom, údržba[35]

5.2 Pripojenie mikropočítača k 3D tlačiarňi

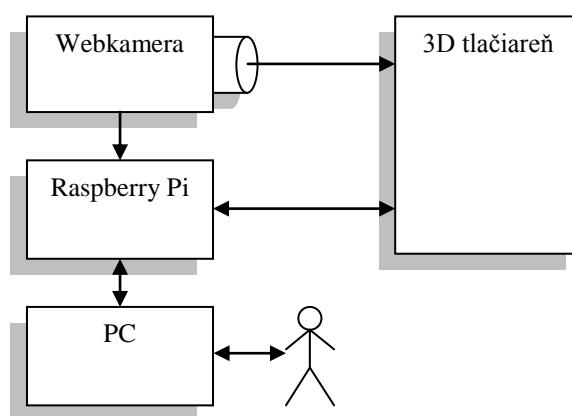
Na pripojenie webkamery na sledovanie procesu tlače nám slúži mikropočítač Raspberry Pi, ktorý pripojí 3D tlačiareň pomocou USB portu do počítačovej siete a za pomoci bezplatnej platformy OctoPrint, ktorá sa cez počítač nahrá do Raspberry Pi.

Raspberry Pi sa stala pomerne užitočným nástrojom pri vytváraní projektov, ktoré zahŕňajú 3D tlač. V súčasnosti sa doteraz predalo takmer 3 milióny dosiek Raspberry Pi

a každý deň s ním dizajnéri, inžinieri a študenti prichádzajú s ešte jedinečnými spôsobmi použitia tohto počítača s jednou doskou o veľkosti kreditnej kartoy. S cenou len 1000 Kč za zariadenie, Raspberry Pi je ideálny pre tých, ktorí obľubujú vytváranie elektroniky od základov.

Raspberry Pi nahradzuje desktopový počítač a zabezpečuje jednoduché odosielanie G-kódov do vopred pripravenej tlačiarne a pôsobí ako jednoduché používateľské rozhranie na zobrazenie a ovládanie procesu tlače. Raspberry Pi v skutočnosti ovláda každú časť tlačiarne, až na krokové motory, ohrievače a snímače teploty a iné prídavné prvky.

OctoPrint a jeho rada doplnkov zabezpečia zisk štatistík o tlači, spotrebe materiálu, zastavenie, či spustenie procesu, sledovanie priebehu tlače cez webkameru a iné. Na ovládanie na diaľku bude stačiť akékoľvek zariadenie s webovým prehliadačom - napríklad aj mobil alebo tablet.[17]



Obr.5.2 Bloková schéma zapojenia Raspberry Pi a 3D tlačiarne

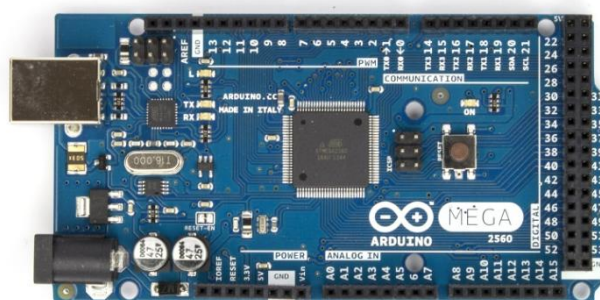
6 PRAKTICKÁ ČASŤ

6.1 Elektronika 3D tlačiarne

Správne elektronické a mechanické fungovanie tlačiarne zabezpečuje jej hardware i software. Každý tvorca a obsluhovateľ RepRap tlačiarne má na výber z niekoľkých typov zariadení a softvérov na jej zostrojenie. Množstvo variácií umožňuje prispôbenie finálneho diela. To si však vyžaduje neodkladný rozbor používaných produktov pre ich kompatibilitu, výkonnosť, vlastnosti, podmienky na používanie a v neposlednom rade výslednú cenu. Počas diplomovej práce boli zvolené zariadenia, postupy a spôsoby práce zohľadnené skrz zaužívané informácie z iných fakultných prác a výzkumov, komunitného projektu RepRap, či odporúčania výrobcov. Elektronika 3D tlačiarne sa skladá z jednotlivých blokov, popísaných podrobnejšie v nasledujúcich kapitolách.

6.1.1 Arduino Mega 2560

Jeden z jeho hlavných častí je mikrokontrolér Arduino Mega 2560 ktorý ovláda chod všetkých elektronických prvkov tlačiarne a komunikuje s počítačom cez USB rozhranie. Za pomoci mikroprocesoru riadi pohyb krokových motorov, extrúdera, reguláciu teplôt, atď. Jadro tohoto modulu je mikroprocesor Atmega2560. Obsahuje 54vstupno/výstupných digitálnych pinov a 14 z nich môže byť použitých na PWM moduláciu. Ďalej obsahuje 16 analógových výstupov, 16 kryštálový oscilátor, USB konektor, napájací konektor, ICSP konektor a tlačidlo RESET, pozri obr. 6.1.



Obr. 6.1 Arduino Mega 2560[29]

Môže byť napájané USB konektorom alebo externým napájacím zdrojom. Pri pripojení batérie, je možné kontakty pripojiť na piny Vin a GND. Doska sa napája rozsahom 6 až 20 V. Pri napájaní menším napätím ako 7 V, je možné, že 5 V pin bude dodávať menšie napätie a doska sa stane nestabilnou. Naopak pri vyššom použitom

napájanie ako je 12 V, sa regulator napätia môže prehriať a to môže zapríčiniť poškodenie dosky. [30]

Do Arduina Mega 2560 je nutné nainštalovať softvér, tzv. firmware, ktorý riadi funkcie zariadenia s procesorom vďaka ktorému funguje tlačiareň. Licencia tohoto softvéru je open-source, čiže voľne stiahnuteľný z internetu a je šíriteľný. Tento firmware je potrebné pred inštaláciou konfigurovať. Spočíva to v nastavení používaného typu elektroniky, teplotných senzorov, rozmiery tlačiarne. Následne je možné nahráť firmvér do dosky Arduino.

Okrem pohybu krokových motorov, teplôt podložky a extrúdera obsluhuje taktiež LCD display, SD kartu a pripojené periférie. Pomocou pripájaných periférií a ich kombinácii je možné s mikropočítačom vytvárať rôzne typy nielen kontrolných funkcií. Aplikujú sa pripojením priamo na dosku Arduina. Hlavné rozdelenie periférií pripájaných k počítaču Arduino sa deli na vstupné a výstupné, ktorým možno priradiť nasledujúce prvky.

Vstupné – čidlá a senzory, ovládacie prvky, prietokové merače, merače teploty, tlaku, vlhkosti, vstupné klávesnice, myši, gamepady, GPS, atď...

Výstupné – krokové motory s driverom, LED diódy, LED displaye, reproduktory, kamery a ďalšie

Taktiež nájdeme aj bezdrátové a vstupno/výstupné periférie ako napríklad hodiny reálneho času, ethernet LAN modul, čítačka SD/microSD kariet, Wifi dialkový spínač, atď...

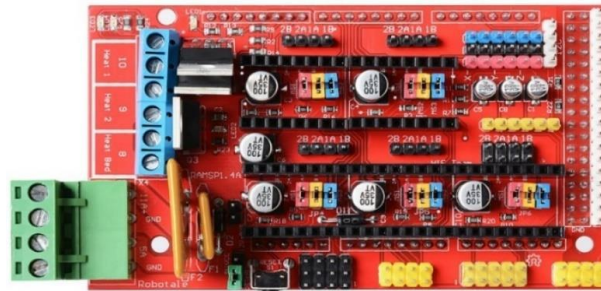
6.1.2 RAMPS 1.4

RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) je v kombinácii s Arduino Mega 2560 a piatimi ovládačmi krokových motorov, pravdepodobne najpoužívanejší typ elektroniky pre RepRap tlačiarne, vid' obrázok 6.2. Rozhranie RAMPS s výkonným Arduinom Mega 2560 sú vysoko kompatibilné a je možné s nimi rozširovať funkčnosť modulu. Modul má konektory pre krokové motory, riadiacu elektroniku pre extruder, vymeniteľné diely, a možnosť vylepšenia a rozšírenia.

Vlastnosti RAMPS 1.4:

- Určený na ovládanie 3 osového karteziánskeho zariadenia a extruder, schopnosť napojiť dva Z motory na jeden driver
- Rozšíriteľný na ovládanie iných periférií
- Disponuje 3 MOSFET-mi na topné teleso resp. chladenie a 3 obvody na teplotné senzory. Všetky MOSFETy sú z dôvodu všestrannosti pripojené na PWM piny.
- Komunikácia s PC cez USB (typ B)

- Poistený na 5 A pre dodatočnú bezpečnosť a ochranu komponentov, pozlátené konektory určené na 3 A, riadenie výhrevnej podložky poistené na 11 A
- Pololu driver pripájané externe, môžu byť v prípade upgrade alebo poškodenia vymenené
- I²C a SPI piny k dispozícii pre budúce rozšírenia[31][32]

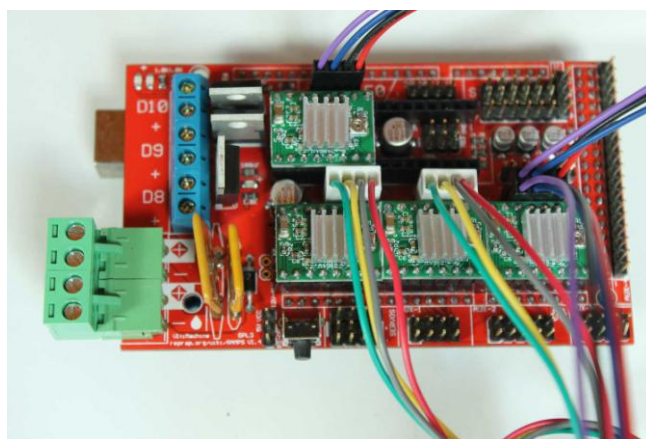


Obr. 6.2 Modul RAMPS 1.4[33]

V Arduinu je nahraný prekladač G-kódu, ktorý sa používa v CNC strojoch. G-kód obsahuje inštrukcie o pohybe extrúdera v jednotlivých osiach, jeho rýchlosti, nastavenia teplotných profilov a mnoho ďalších. G-kód sa získa pomocou dvoch softvérov. V prvom modelovacom softvéri vytvoríme 3D model, ktorý sa uloží do súboru, ktorý je schopný otvoriť program nazývaný ako slicer (STL súbor, ktorý je uvedený v nasledujúcej kapitole). Slicer je program, ktorý je schopný spracovať informácie o 3D modele. 3D model sa rozreže do niekoľkých vrstiev, podľa nastavení. Vytvorené vrstvy je možné upravovať podľa parametrov materiálu, nastaviť vnútorné plnenie a mnoho ďalších možností. Následne sa jednotlivé vrstvy premenia do G-kódu, ktorý je už spracovateľný pre 3D tlačiareň. Teraz sa nastupuje na rad Arduino, ktorý rozumie G-kódu a je schopný spracovať jednotlivé po sebe nasledujúce pokyny. Podľa kódu nastavuje Arduino teplotný extrudér, otáčanie krokových motorov a ďalšie úkony, ktoré postupne vytvárajú 3D model.

6.1.3 Driver krokových motorov

Krokové motory sú špeciálne typy synchronných motorov, sú významné pre ich nespojitý pohyb. Ich špecifické vlastnosti sú vysoká presnosť pohybu a jeho opakovateľnosť. Nevýhoda týchto motorov je ich nutné samostatné ovládanie pomocou prídavných hardvérových častí elektroniky 3D tlačiarne. O ich pohyb sa starajú drivery krokových motorov. Jedná sa o štyri hardvérové mini dosky, ktoré su pripojené priamo na RAMPS modul. Tieto čipy poskytujú okrem regulácie dodávanú energiu krokovým motorom ktorú počítač Arduino nedokáže poskytnúť. To je dôvod ich samostatnosti.



Obr. 6.3 Drivery na module RAMPS

Základom driveru je integrovaný obvod A4989 - driver pre dvoch MOSFETové H-mosty s Translator pre mikrokroky navrhnutý pre riadenie širokého spektra výkonových bipolárnych dvojfázových krokových motorov (30 W až 500 W). Napájanie je poskytované prostredníctvom externých N-MOSFETových tranzistorov, ktoré sú napájané zo zdroja v rozsahu 12 V až 50 V. Integrovaný obvod obsahuje dva sínusové digitálne analógové prevodníky, ktoré generujú referenčné napätie pre dva oddelené PWM prúdové regulátory. PWM prúdové regulátory poskytujú reguláciu prúdu pre dva externé výkonové MOSFETové H-mosty. Krokovanie motora je ovládané dvoma vodičmi a smer vlastným rozhraním, ktoré kompletne riadi mikrokroky v rôznom rozlíšení - celý, polovičná, štvrtinový a šestnástinový krok. Regulátor je schopný pracovať v troch rozkladových módoch - pomalý, kombinovaný a rýchly, ktorých výsledkom je zníženie počuteľného hluku reprodukoványm krokovými motormi, zvýšenie presnosti a zníženie výkonových strát. Translator je kľúčom k jednoduchému implementovaniu integrovaného obvodu. Integrovaný obvod je jednoduchý, nepracuje s vysokofrekvenčnými ovládacími linkami, nepotrebuje zložité ovládanie, vďaka čomu odpadá komplexné ovládanie mikrokontrolérom.[39]

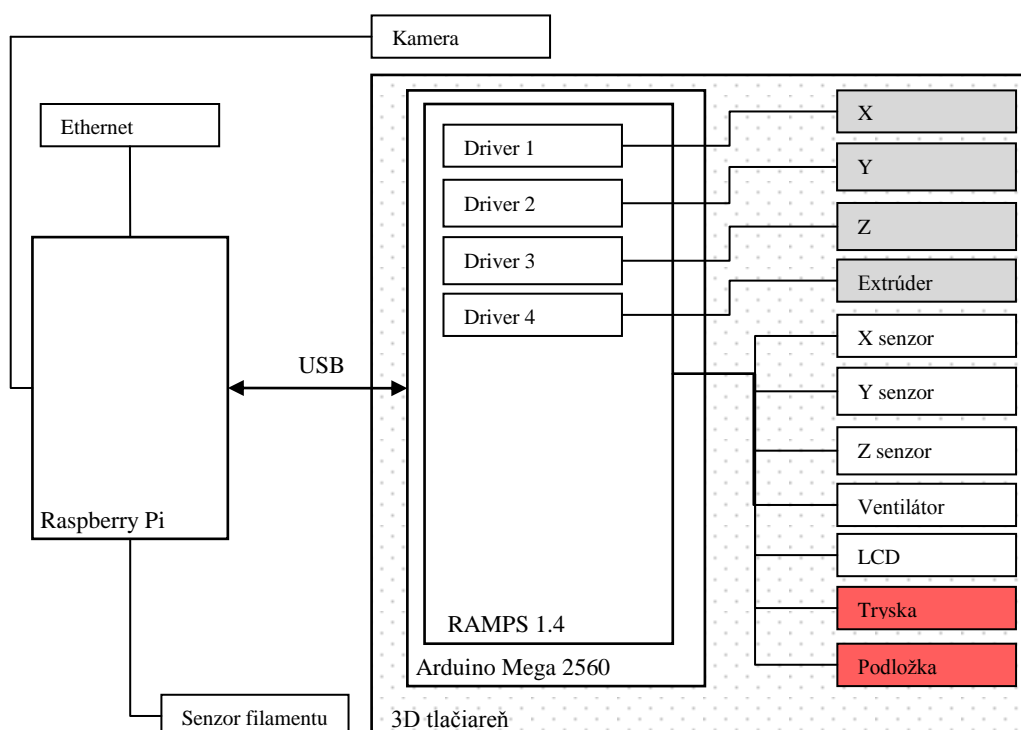
6.1.4 Endstop snímače

Mechanické spínače sú menej komplikované pri realizácii a lacnejšie než optické koncové spínače, pretože nevyžadujú dosku s obvodmi a používajú iba 2 drôty na pripojenie spínača. Pull up a pull down rezistory môžu byť umiestnené blízko hlavnej dosky snímača. Môžete použiť kontaktné spínače a mechanické spínače bez kontaktu (obvykle magneticky ovládané). Reedové spínače sa používajú ako senzory v domácich poplachových systémoch na detekciu otvorených okien a dverí. Všetky osi karteziánskych RepRap zariadení vyžadujú prítomnosť koncových spínačov, tzv. endstopov ako referenciu k ich pohybu. Vždy pred štartom výkonu práce musia pohyblivé prvky presunúť svoju polohu do východiskového bodu karteziánskeho súradnicového systému, od ktorého sa budú pohyby v jednotlivých osiach odvíjať.

Endstopy zároveň vymedzujú predpokladané hranice pracovnej zóny, ich zopnutie zamedzí ďalší pohyb konštrukčných prvkov v danom smere, čo chráni zariadenie pred poškodením vlastných komponentov. Každá osa musí disponovať minimálne jedným endstopom na registrovanie minima.



Obr. 6.4 Endstopy: mechanický (vľavo), optický (v strede) indukčná sonda (vpravo)[31]



Obr 6.5 Bloková schéma zapojenia hardvéru 3D tlačiarne

6.1.5 G- kód

G- kód je programovací jazyk bežne používaný v CNC obrábacích strojoch a prekladač tohto kódu je nahraný práve v Arduinu. V G-kóde sú uložené pokyny, ktoré zabezpečujú smer pohybu extrudéra, rýchlosť jeho pohybu, reguláciu teploty atď. Po vytvorení 3D modelu, ktorý má byť na tlačiarňi vyrobený, tento model uložíme do potrebného formátu STL, aby bolo možné jeho otvorenie v programe nazvanom Slicer. Program tento model spracuje a pomocou matematických operácií rozloží na jednotlivé vrstvy v zóne Z. Po konverzii jednotlivých vrstiev do G-kódu, s ktorým už Arduino pracuje.

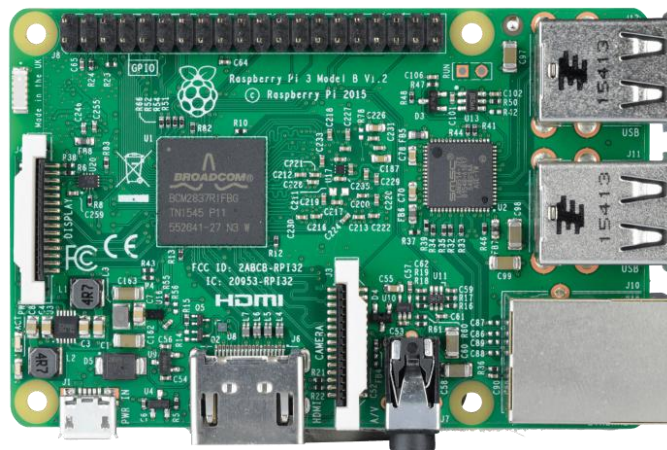
Výsledný G-kód je zložený z jednotlivých pokynov po sebe nasledujúcich, ktoré Arduino postupne spracováva a riadi celkový chod 3D tlačiarne, pre vytvorenie výsledného 3D modelu.[32]

Príklad G-kódu:

- G0 X10 Y10 Z10 - Pohyb bez extrúzie. Presun na pozíciu [10; 10; 10]
- G1 X10 Y10 E0.3 - Pracovný pohyb. Prejde na pozíciu [10; 10] a vytlačí 0,3 mm filamentu.

6.1.6 Raspberry Pi

Raspberry Pi je mikropočítač, ktorý v našom prípade nahrádza počítač, potrebný pri 3D tlačiarni. Na obrázku č.6.3 je zobrazený Raspberry Pi 3 model B+. Jedná sa o jednoduchý počítač, ktorý je realizovaný na jednej doske, má rozmery približne ako platebná karta. Vznikol za účelom použitia počítačovej techniky, ktorá by nebola drahá a na danom zariadení realizovať vyučovanie v oblasti informačných technológií. O vývoj sa postarala britská nadácia Raspberry Pi Foundation.



Obr. 6.6 Raspberry Pi [34]

Technické parametre Raspberry Pi:

- SoC Broadcom BCM2837
- CPU ARM Cortex-A53, 1,2 GHz,
- GPU Broadcom VideoCore IV, 1080p30 H.264/MPEG- AVC
- SDRAM 1GB zdieľaná s GPU
- 17x GPIO
- 4x USB 2.0
- HDMI, 1920x1200
- 3,5 mm jack

- Ethernet 100 Mbit/s
- MicroSDHC slot
- 85060 mm x 56,5 mm
- 45 g

Pre úložisko, napríklad pre operačný systém, je pripravený microSD slot a je dôležité si overiť vopred kompatibilitu s daným výrobným typom počítača.

Raspberry Pi je napájané microUSB portom so vstupným napätím +5,1 V. Výrobca odporúča pre dané zariadenie napájací adaptér, s postačujúcim maximálnym prúdom 2,5 A. Výrobca uvádza, že hodnoty odoberajúceho prúdu pri type Raspberry Pi 3 B+ sa pohybujú okolo 700 mA max, s pripojenými perifériami. Maximálny možný prúd má hranicu 1A. V prípade, že je potrebné pripojiť USB zariadenie so súčtom odoberanej energie nad maximálny možný výkon, je potrebné dané zariadenie napájať samostatným externým USB portom. Výkonnostné požiadavky počítača sa zvyšujú pripojením rôznych rozhraní. GPIO piny dokážu spoločne spotrebovať max 50mA, individuálne jeden pin iba 16mA. HDMI port používa 50mA, modul pre kameru vyžaduje až 250mA. Klávesnica a myš dokáže spotrebovať i viac ako 100mA. Preto vyberáme napájací zdroj Raspberry Pi, s prihliadnutím na jeho funkciu a pripájané zariadenia.

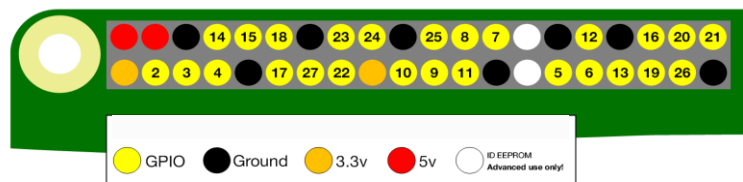
Medzi najpoužívanejšie operačné systémy, používajúce sa v tomto počítači patria unixové NOOBS a Raspbian. Pomocou nich sa dajú príkazovým riadkom inštalovať rôzne softvéry a programovať. V prípade použitia Raspberry Pi iba na vzdialenú kontrolu 3D tlačiarne, takýto systém nie je potrebný. V tomto prípade sa softvér Octopi nahráva priamo na microSD úložisko.

Všeobecne sa odporúča po nainštalovaní operačného systému vykonať aktualizácia, pretože nainštalovaná verzia nemusí byť zákonite najnovšia stabilná. Často môže stará verzia systému alebo firmvéru spôsobovať problémy pri inštalácii nových pluginov, programovaní pinov, prvkov či konfigurácii kvôli jej dovedy neodstráneným chybám. Aktualizácia máva charakter zvýšenej zabezpečenia, napr. použitím internetového protokolu HAProxy . Pre aktualizáciu musí byť Raspberry Pi pripojené k internetu. Po prihlásení do počítača terminálového je nutné zadať príkazy:

```
sudo apt-get update //aktualizuje zoznam dostupných balíčkov
sudo apt-get upgrade //nainštaluje novšie verzie balíkov
sudo reboot //reštart systému
```

Napájanie Raspberry Pi sa realizuje prostredníctvom bežným microUSB konektorom s privedeným napätím 5 V.

Užitočná funkcia Raspberry Pi je súbor GPIO, vstupno/výstupných portov konektoru, ktoré je možno ovládať programom. Jednotlivé piny ovládame pomocou log 0 (LOW) alebo log 1 (HIGH). Piny nastavujeme na vstup (IN) alebo výstup (OUT).



Obr. 6.7 Rozloženie GPIO pinov[37]

Ich značenie má dve podoby a to fyzické poradie všetkých pinov (rozloženie pinov na doske) dostupné na stránke výrobcu a priame značenie podľa typu (podľa výstupu pinov z procesora), teda 2x 5 V a 2x 3,3V napájanie, 8x zemniace pin a BCM značenie programovateľných pinov ako je na obrázku 6.4.

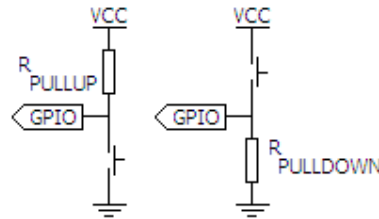
Programovanie GPIO vývodov má široké využitie. Môžeme vytvárať obvody a následne ovládať ich funkciu pomocou kódovania v jazyku Python.

Je potreba uviesť jednoduchý príklad zdrojového kódu pre rozblikanie LED diódy, ktorá je zapojená spoločne s odporom medzi pin 7 a niektorý z pinov GND. Dôležité je, aby nebol prekročený maximálny prúd Raspberry (teda 16 mA na pin a celkový prúd pri použití viacerých pinov by nemal prekročiť 50 mA), ale ani maximálny prúd diódy (mohlo by dôjsť k poškodeniu Raspberry, poprípade LED). Zdrojový kód vkladáme do príkazového riadku nasledovne:

```
import RPi.GPIO as GPIO          //pridá knižnicu pre ovládanie pinov
import time                      //knižnica, kt. umožní pozastaviť skript
GPIO.setmode (GPIO.BOARD)       //zvolené číslovanie pinov
GPIO.setup (7, GPIO.OUT)        //nastavenie pinu 7 ako výstupný pin
while True:                      //tvytvoření nekonečnéj slučky
    GPIO.output (7, True)        //logická 1 na pinu 7
    time.sleep (0.5)            //pozastavenie skriptu na 0.5 sekundy
    GPIO.output (7, False)      //logická 0 na pinu 7
    time.sleep (0.5)
```

Pripojenie tlačidla k Raspberry je málinko zložitejšie ako pripojenie výstupu. Tlačidlo sa zapája podľa zvolenie rezistora (pull-up alebo pull-down rezistor). Ak zvolíte pull-down rezistor, zapojte tlačidlo medzi pin so stabilizovaným napätím 3,3 V (napríklad pin 1) a pin, ktorý ste zvolili pre čítanie hodnoty. V prípade použitia pull-up rezistora sa tlačidlo zapojí medzi pin GND (napríklad pin 6) a pin zvolený pre čítanie hodnoty (pin 11). Rozdiel je zároveň tiež v logickej hodnote pri načítaní. Ak použijete pull-down rezistor, po stlačení tlačidla sa načíta logická 1. V opačnom prípade (pri použití pull-up rezistora) sa pri stlačení tlačidla načíta logická 0. Namiesto rezistorov

integrovaných v Raspberry Pi je možné použiť nasledujúce zapojenie s použitím vlastných rezistorov.[38]



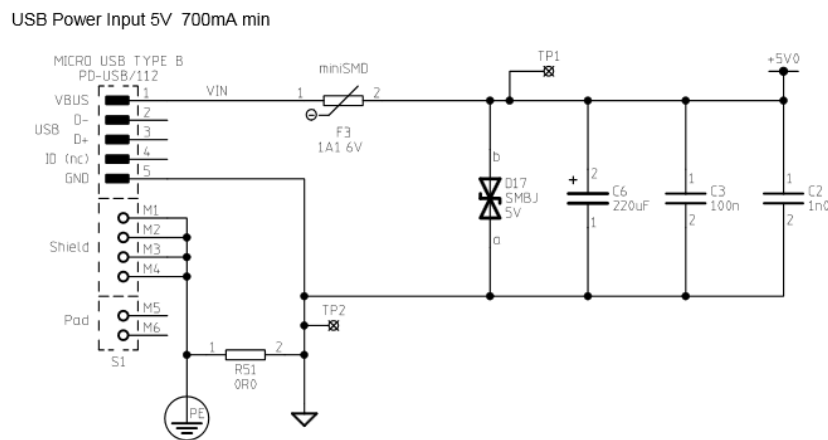
Obr. 6.8 Pull up, Pull down zapojenie

Príklad načítania hodnoty pomocou tlačítka. Pri stlačení tlačidla sa do konzoly vypíše Zapnuté. Pre načítanie hodnoty som zvolil pull-down rezistor a pin číslo 11 (BCM 17). Pre výstup som zvolil pin 7.

```
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode (GPIO.BOARD)
GPIO.setup (7, GPIO.OUT)
GPIO.setup (11, GPIO.IN, GPIO.PUD_DOWN)
while True: vstup = GPIO.input (11) //pomenovanie vst. pinu
    if vstup == True: //podmienka-ak je tlačítko zopnuté
        print ("Zapnute") //vpísať do konzoly Zapnuté
        GPIO.output (7, True)
    else: //ak nebola podmienka splnená, pokračuje
        print ("Vypnute") //vpísať do konzoly Vypnuté
        GPIO.output (7, False) //nastavenie log 0 na pine 7
```

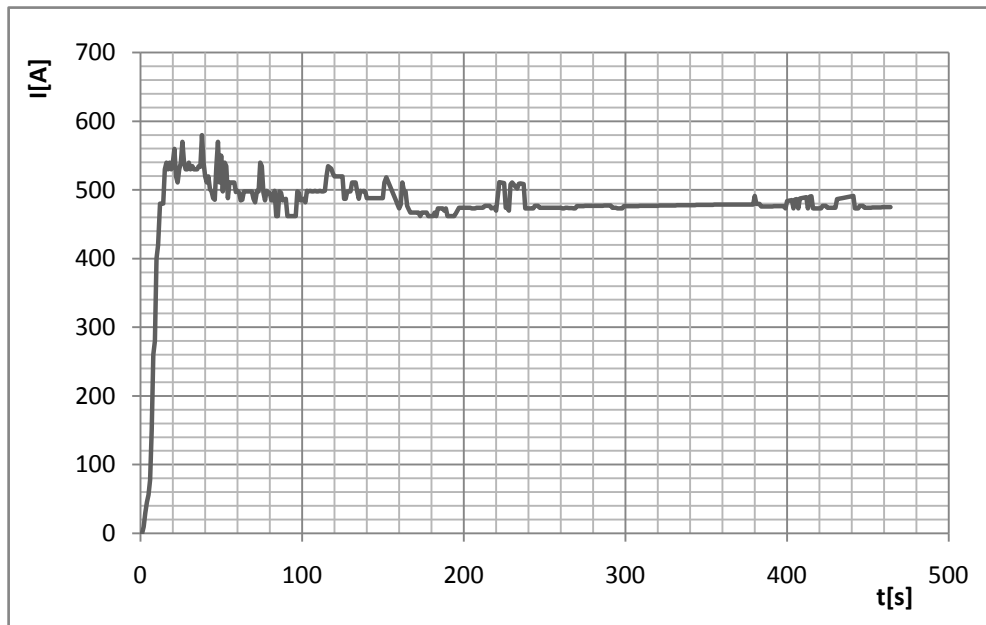
6.2 Meranie spotreby energie Raspberry Pi 3B+

Pred samotným meraním, sa je nutné informovať o rozložení pinov microUSB portu, ktorým je mikropočítač napájaný. V schéme napájania je vidieť, že je privedené napätie na prvý pin(1) konektora vid' obrázok 6.6.



Obr. 6.9 Schéma napájania Raspberry Pi – microUSB/B

Meranie elektrickej spotreby mikropočítača sa prevádza osciloskopom pripojeným k PC. Na vstup osciloskopu sa pripája microUSB pin s fyzickým poradím č.1 a uzemnenie sa pripája na pin konektoru č.5. Namerané hodnoty boli exportované do PC a následne vynesené do grafu, vid' obrázok 6.10.



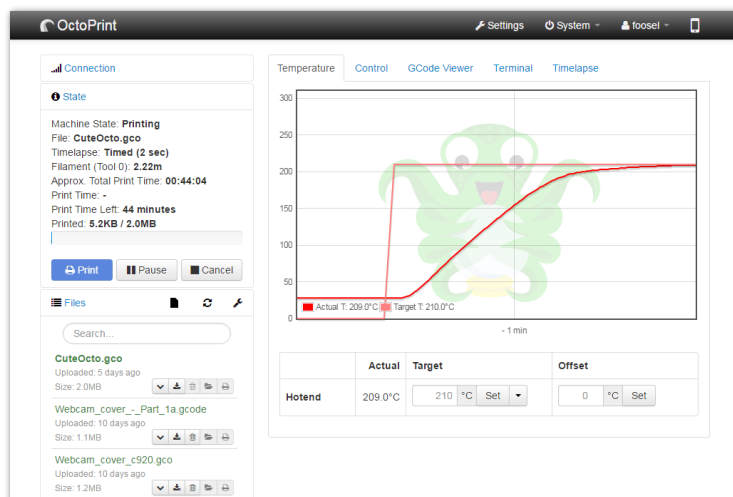
Obr. 6.10 Grafické zobrazenie odberu prúdu Raspberry Pi 3B+

Napájacie napätie Raspberry Pi je 5,1V. Meranie odoberajúceho prúdu bolo merané po dobu cca 8 minút. Prihlásenie do serveru Octoprint bolo vykonané po cca 2 minútach od zapnutia mikropočítača. Veľkosť odoberajúceho prúdu Raspberry Pi bolo ustálené na 490mA. Namerané hodnoty použité po 2 minútach bežania zariadenia boli spriemerované a bola vypočítaná priemerná spotreba ktorá má veľkosť 2,6W. V porovnaní s desktopovým počítačom (120W) s obrazovkou (150W) o priemernej spotrebe 270W, ktorý danú 3D tlačiareň obsluhuje, je spotreba Raspberry Pi výrazne energeticky výhodnejšie riešenie.

Odoberajúci prúd bol nameraný taktiež po 5 hodinách bežania serveru Octopi a jeho hodnoty boli zvýšené na ustálených 520mA, čo je spôsobené tepelnými stratami zariadenia ktoré sa dajú kompenzovať použitím ventilátorového chladenia umiestnením na krabičku Raspberry Pi.

6.3 OctoPrint3D

Táto bezplatná platforma slúži na ovládanie 3D tlačiarňí na diaľku cez webové rozhranie pomocou softvéru Octopi, ktorý je vyvíjaný nemeckou programátorkou GinouHäußge. Táto kapitola vysvetľuje, ako spojazdniť daný spôsob ovládania.



Obr. 6.11 Prostredie Octoprintu

Octoprint je jednoduchý a obsahuje množstvo užitočných schopností, ktorými ovládame a sledujeme priebeh tlače ako okamžitá spätná väzba priebehu tlače, monitorovanie a nastavovanie procesných parametrov, pozastavenie a spustenie procesu tlače, atď. Softvér taktiež obsahuje množstvo pluginov, ktoré časom pribúdajú. Ich inštalácia je veľmi jednoduchá, pretože sú priamo integrované do aplikácie cez nastavenia vo webovom rozhraní.

Potrebné súčasti k Octoprintu:

- MicroSD karta (min 4GB pamäť)
- Softvér Octopi – Octopi image
- Mikropočítač Raspberry Pi
- USB napájanie pre Raspberry Pi
- Raspberry Pi Camera (nevyžaduje sa)

V texte nižšie sú uvedené podporované typy zariadení, softvérov a spôsobov inštalácie, overené a taktiež odporúčané výrobcom.

Postup uvedenia OctoPrintu do prevádzky:

1. Nahratie image softvéru Octopi na SD kartu
2. Konfigurácia Wifi pripojenia
3. Vloženie karty do Raspberry Pi

4. Vyhľadanie zariadenia v lokálnej sieti a pripojenie
5. Zmena hesla (príp. mena) zariadenia v lokálnej sieti
6. Spustenie Octopi cez webový prehliadač

Základom OctoPrintu je softvér Octopi ktorý je dostupný k stiahnutiu na stránke <https://octopi.octoprint.org/> kde sú k dispozícii overené stabilné verzie no predsa staršie verzie programu alebo taktiež najnovšie beta verzie vo fázi vývoja. Takto stiahnutý softvér je schopné obdržať vo forme image súboru. Krokom č.1 pre Octoprint je vytvorenie bootovaciej microSD kartu. Nahrávanie image súboru na microSD prevádzame v programe Win32DiskImager. Nahrávanie zaberie cca 4 minúty.

Ďalším krokom (č.2) je potreba zaistiť pripojenie k internetu prostredníctvom Wifi. Nastavenie internetového pripojenia sa koná v konfiguračnom súbore „*octopi-wpa-supPLICANT.txt*“ktorý je obsahom softvéru Octopi umiestnený na bootovacej microSD karte. Je odporúčané otvárať konfiguračný súbor v overenom editore zdrojových kódov o ktorý sa v tejto situácii jedná. V opačnom prípade by tak mohlo dojsť k nekompatibilným formátom kódu a pripojenie by nemuselo fungovať. Editor zdrojového kódu volíme Notepad++.

Po otvorení konfiguračného súboru máme na výber z troch Wifi zabezpečení (Nezabezpečená sieť, WEP, WPA/WPA2personal), ktoré musí súhlasiť so zabezpečením lokálnej siete, do ktorej sa pripájame. Každý typ je v konfiguračnom súbore dostatočne popísaný a je jednoducho editovateľný. Ku príkladu, bežné internetové zabezpečeniedomácností typu WPA/WPA2personal vyžaduje k pripojeniu názov Wifi siete (SSID) a heslo. V konfiguračnom súbore vyhľadáme dané zabezpečenie, ktorého zdrojový kód je potreba aktivovať odstránením mriežky pred každého riadku dotyčného kódu a v zdrojovom kóde pripojenia vyplniť identifikačné údaje lokálneho Wifi pripojenia, ako je zobrazené na kóde nižšie.

```
## WPA/WPA2 secured
    network={
    ssid="SSID"
    psk="password"
    }
```

V našom prípade ide o zložitejšie zabezpečenie, ktoré sa v konfiguračnom súbore nenachádza. Jedná sa o univerzitné zabezpečenie tzv. WPA2 enterprise kde autentizácia užívateľov spočíva v ich osobitných prihlasovacích údajov. V skratke, na bežné WPA2 osobné zabezpečenie je heslo pre všetkých užívateľov Wifi siete totožné, avšak u WPA2 enterprise má každý užívateľ siete svoje prihlasovacie údaje, tzv.login a heslo. Teda na prihlásenie do školskej siete eduroam, bolo potrebné vytvoriť zdrojový kód pre tento typ zabezpečenia nachádzajúci sa nižšie.

```

## Eduroam network - enterprise secured
network={
    ssid="eduroam"                //nazov siete
    scan_ssid=1
    key_mgmt=WPA-EAP
    eap=PEAP
    identity="146033@vutbr.cz"    //osobny login
    password="ejbe79"            //heslo (VUT pin)
    phase1="peaplabel=0"
    phase2="auth=MSCHAPV2"
}

```

Ďalším krokom (č.3) je vloženie bootovacej microSD karty do mikropočítača Raspberry Pi. Je to mikropočítač na ktorom beží celý systém ovládania tlačie. Výrobca uvádza porporu zariadení Raspberry Pi A, B, A+, B+, B2, 3, Zero and Zero W. Taktiež mieni nekompatibilitu softvéru Octopi s Raspberry Pi 3+. V našom prípade bol zvolený Raspberry Pi 3 model B. Po vložení microSD karty môžeme zapnúť Raspberry Pi s napájaním ktorý sa automaticky po zapnutí pripojí do lokálnej siete prostredníctvom Wifi.

Následne je potreba nájsť dané zariadenie tj. Jeho IP adresu v lokálnej sieti. To je možné vykonať rôznymi cestami. Jednou z nich, je pomocou pripojenia cez iný počítač na rovnakej sieti a po otvorení zložky *Sieť (Network)* sa nám zobrazí medzi pripojenými zariadeniami náš odcoprint. Po rozkliknutí sa dostaneme do webového rozhrania s programom Octopi kde nájdeme jeho IP adresu vo vyhľadávacej kolonke. Pre následné nastavenia volíme program *PuTTY*. Po otvorení programu vložíme nájdenu IP adresu do kolonky *Host Name (or IP address)* a dáme otvoriť. Týmto sme sa vzdialene pripojili k nášmu zariadeniu ktorý môžeme ovládať. Po otvorení sa nám zobrazí okno kde zariadenie požaduje vstupný login a heslo čo je možné vidieť na obrázku č.6.12. Prednastavené alebo továrenské údaje pre Octoprint sú login: pi, heslo: raspberry.

```

pi@octopi: ~
Using username "pi".
pi@10.0.0.17's password:

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon May 23 01:10:28 2016 from unknown
pi@octopi:~$ /etc/init.d/xrdp status
ã xrdp.service - LSB: Start xrdp and sesman daemons
   Loaded: loaded (/etc/init.d/xrdp)
   Active: active (running) since Mon 2016-05-23 00:41:56 UTC; 7h ago
   Process: 592 ExecStart=/etc/init.d/xrdp start (code=exited, status=0/SUCCESS)
   CGroup: /system.slice/xrdp.service
           ãã620 /usr/sbin/xrdp
           ãã622 /usr/sbin/xrdp-sesman
           ãã667 /usr/sbin/xrdp-sessvc 673 672
           ãã672 xterm -class UXTerm -title uxterm -u8
           ãã673 Xvnc :10 -geometry 1680x1050 -depth 24 -rfbauth /home/pi/.vnc...
           ãã675 xrdp-chansrv
           ãã691 /usr/bin/ssh-agent x-terminal-emulator
           ãã697 bash
pi@octopi:~$ █

```

Obr. 6.12 Prostredie PuTTY

Po zadání máme plnú kontrolu nad naším zariadením. Do konzoly vpišeme príkaz *sudo raspi-config* a potvrdíme enterom. Dostávame sa do konfiguračného rozhrania kde volíme úkon *Change user password Expand filesystem* a potvrdíme. Týmto sme umožnili prístup softvéru Octopi ku celej pamäti microSD karty. Následne potvrdíme reštart zariadenia. Ďalším príkazom je *passwd* ktorým si zmeníme heslo zariadenia na nové.

V prípade, že sa lokálny Wifi router nachádza vo väčšej vzdialenosti od 3D tlačiarne, sa odporúča pripojiť mikropočítač Raspberry Pi pomocou sieťového kábla (UTP RJ-45). Predchádzame tak vzniknutým výpadkom signálu a zabezpečujeme spoľahlivejší a rýchlejší prenos dát a video obraz bez odozvy, ktorý vzniká pri bezdrátovom pripojení. Taktiež je pripojenie jednoduchšie skrz konfiguračné nastavenia, a síce Raspberry Pi nevyžaduje informácie o lokálnej sieti, ako názov siete a heslo, do ktorej sa pripája. Po prepojení káblom, je zariadenie automaticky v lokálnej sieti.

Týmto máme Octopi pripravený na použitie. Otvárame cez webový prehliadač vložení IP adresy zariadenia prípadne názvom hostiteľa, ktorý môžeme prispôsobiť cez konfiguračné rozhranie príkazom *sudo raspi-config*, vo formáte *hostname.local*.

Pri prvotnom otvorení SW Octopi cez webový prehliadač, sme vyzvaný k vytvoreniu loginu slúžiacemu k prihlásení do softvéru pre daného užívateľa. Týmto loginom sa prihlasuje užívateľ pri každom spustení Octopi. Login slúži ako prístup k SW a jeho plnú kontrolu nad tlačiarňou. Po nastavení loginu je možné overiť funkčnosť Octopi prepojením mikropočítača Raspberry Pi s 3D tlačiarňou pomocou USB kábla. Po zapojení spustíme prepojenie pomocou tlačítka „Connect“ (Pripojiť) v sekcii „Connection“, ktoré trvá niekoľko sekúnd. Funkčnosť pripojenia je možné overiť v sekcii „Control“ na úvodnej obrazovke softvéru, kde kliknutím na tlačítko v tvare domčeka presunie podložku 3D tlačiarne do polohy začiatku súradnicového systému.

6.3.1 Kamera a streaming

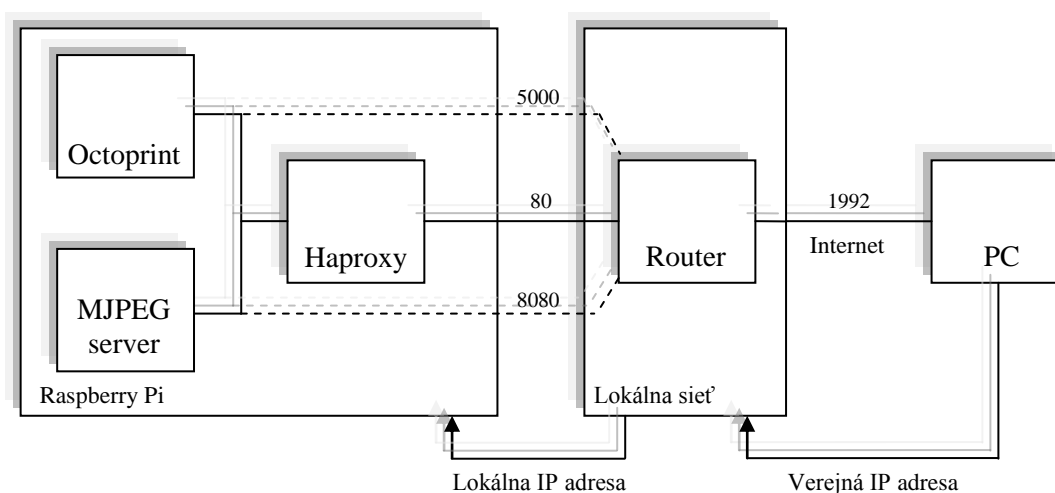
Živý prenos procesu tlače dodáva vzdialenej kontrole ďalší zmysel. Celý proces tlače je možné sledovať pomocou kamery, pripojenej k mikropočítaču Raspberry Pi. Je to akási nadstavba Octoprintu bez ktorého ale systém dokáže bežať. Rozlišujeme dva typy používaných kamier. Najčastejšie je používaná Raspberry Pi Kamera, ktorá sa pripojuje pomocou CSI konektoru, Flex káblom (v balení 15 cm) priamo na dosku mikropočítača, čiže je zariadenie jednoducho rozpoznané. Flexo kábel by mal byť pevne zasunutý do konektora, aby nedošlo k ohýbaniu pri príliš náročnom uhlí. Iná varianta je propojenie USB kamery, ktorá je zložitejšia na konfiguráciu. Po zapojení kamery je možné sledovať video prenos v sekcii „Control“, na úvodnej obrazovke softvéru Octopi.

6.4 Vzdialená kontrola 3D tlačiarne (mimo LAN)

V niektorých prípadoch je potreba ovládania 3D tlačiarne z inej, vzdialenej siete prostredníctvom internetu. Dosiahnuť sa to dá použitím verejnej IP adresy a verejného portu. Predovšetkým si treba uvedomiť pár základných informácií okolo konfigurácii routera, Každé zariadenie pripojené do lokálnej siete je zaevidované svojou lokálnou IP adresou. Napríklad Raspberry Pi sa po pripojení do lokálnej siete automaticky prideli IP adresa *192.168.1.2*, identifikujúca zariadenie iba v danej sieti. Toto zariadenie používa vlastné porty (napr. Port 80, port 22, port 21, port 5000,...) a každé zariadenie používa rovnaký rozsah portov (zariadenie 1 používa port 80, zariadenie 2 používa tiež port 80).

Port v sieťových protokoloch je číslo, ktoré je spolu s IP adresou súčasťou identifikátora konca spojenia a slúži na priradenie spojenia konkrétnej službe. Zdrojový a cieľový identifikátor konca spojenia je tiež obsiahnutý v hlavičke paketu. Medzi protokoly využívajúce porty patria TCP, UDP a SCTP. V TCP aj UDP je port 16-bitové celé číslo bez znamienka, teda v rozsahu 0 až 65 535.[40]

Číslo portu v rámci jedného počítača je zvyčajne zviazané (bind) s bežiacim procesom, ktorý dáta na tomto porte (t. j. pakety s týmto identifikátorom) prijíma alebo vysiela. Mnohé sieťové služby používajú pevne určený port. Zoznam známych portov sa nachádza na väčšine systémov v `/etc/services` (Unixové systémy), `\system32\drivers\etc\services` (Windows NT, XP). Tieto zariadenia sú zo vzdialenej siete nedostupné/neviditeľné, pretože nemajú pridelenú verejnú adresu, no router áno. Napr. *82.24.543.539*. Router používa aj jeho vlastné porty (port 80, port 20,...) ktoré nesúvisia so zariadením v danej sieti (napríklad Raspberry Pi), ale sú spojené iba s daným routerom tj. evidujeme rozdiel medzi portom rovnakého čísla pre router a naše zariadenie.



Obr. 6.13 Bloková schéma vzdialeného ovládania Raspberry Pi

V prípade, ak sa chceme pripojiť na zariadenie zo vzdialenej siete, je potreba konfigurovať router – požiadavka na router, o prístup k tomuto zariadeniu. Zjednodušene, keďže je router jediný, kto pozná vaše zariadenie, je nutné prideliť danému zariadeniu koncovú IP adresu viditeľnú z vonkajšej siete na porte XX ku pripojeniu na server (Octopi), ktorý je na tomto porte spustený.

Následne je potrebné konfigurácia presmerovania portov (Port forwarding). Presmerovanie portov je v informatike metóda smerovania portov z jedného sieťového uzla na druhý. Typickým použitím je umožnenie vonkajšiemu užívateľovi pripojiť sa na port na súkromnej adrese v lokálnej sieti prostredníctvom smerovača, ktorý podporuje technológiu prekladu sieťových adries.[40]

Čiže nutné je priradenie verejného portu nášho zariadenia (napríklad port 1992) s IP adresou *192.168.1.20* (v našom prípade Raspberry Pi) na jeho lokálny port 80. To znamená, že pri pripojení z internetu *82.24.543.539:1997* je rovnaké ako pripojenie k *192.168.1.20:80* z lokálnej siete.

Výber vlastného verejného portu je takmer neobmedzené, zvyčajne sa nastavujú hodnoty portov v rozmedzí od 1000 do 10 000. Niekedy sa rozsah možných používaných portov uvádza na rozhraní routera, tým poskytovateľ siete určuje používať porty napríklad od hranice 10 000.

Prvým krokom je pripojenie k routeru. Aby sme sa k nemu pripojili, je treba poznať jeho IP adresu napríklad pomocou príkazu *ipconfig*. Je to konzolová aplikácia, ktorá zobrazuje všetky aktuálne konfigurácie siete. IP adresu routera zistím krokom *run -> cmd -> ipconfig* potvrdíme a po otvorení všetkých konfigurácii siete sa adresa routera zobrazí ako *Default Gateway*. Po nájdení adresy routera, otvoríme internetový prehliadač a do vyhľadávacej kolonky vpišeme jej hodnoty. Takto sa pripojíme k routeru, ktorý následne vyžiada login a heslo, obdržané pri kúpe zariadenia od poskytovateľa pripojenia k internetu.

Po prihlásení do rozhrania routera vyhladáme naše zariadenie (Raspberry Pi) a pridelíme mu statickú IP adresu cez DHCP.

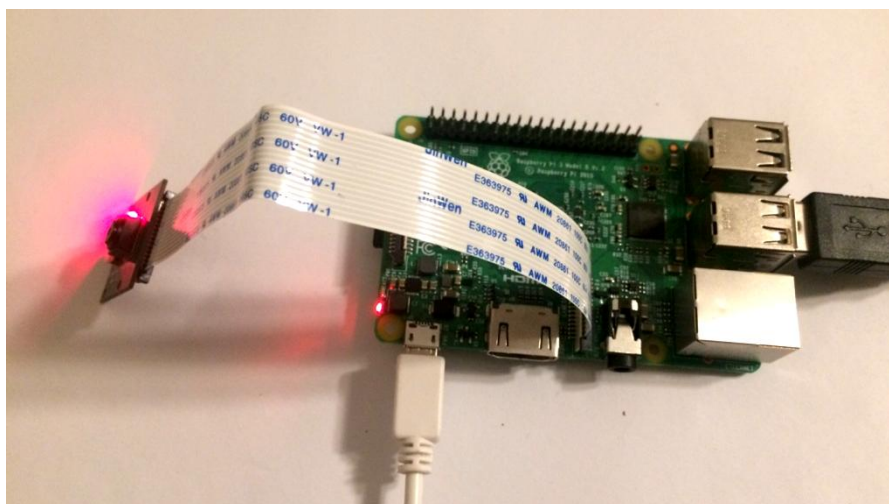
DHCP teda Dynamic Host Configuration Protocol je súbor zásad, ktoré využívajú komunikačné zariadenia (počítač, router alebo sieťový adaptér), umožňujúci zariadeniu vyžiadať si a získať IP adresu od servera, ktorý má zoznam adries voľných na použitie.[42]

Postup pridelenia statickej (verejnej) adresy routerom: *Advanced setup -> LAN Setup* a zaškrtneme políčko *Use Router as DHCP Server* čím spustíme DHCP na routeri. Po spustení pridáme do kolonky *Address Reservation* tlačítkom *+Add* a vyberieme známu IP adresu Raspberry Pi z tabuľky pripojených zariadení v lokálnej sieti, označenú *hostname* nastavenom pri jeho konfigurácii a potvrdíme príkazovým tlačítkom *+Add*.

Posledným krokom je nutné prideliť zariadeniu hodnotu verejného portu. Server Octoprint je dostupný lokálne z portu 5000 a server MJPEG (video streaming) je dostupný lokálne z portu 8080 a oboje na porte 80, ak Octoprint obsahuje HAproxy. Ten bude chrániť každú požiadavku odoslanú do OctoPrint s povinnou autentifikáciou (login a heslo), inak sa spojenie preruší. Port pridelíme *Advanced setup* -> *Port Forwarding/Port Triggering* -> *Service Name* (čím zvolíme typ služby, ktorá na danom porte beží) a vyberieme *HTTP*.

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) je protokol na prenos html dokumentov medzi servermi a klientmi služby WWW. Pôsobí ako primárna metóda prepravy informácií na world wide webe. Pôvodný účel bol poskytovať prostriedky na publikáciu a získavanie HTML stránok.

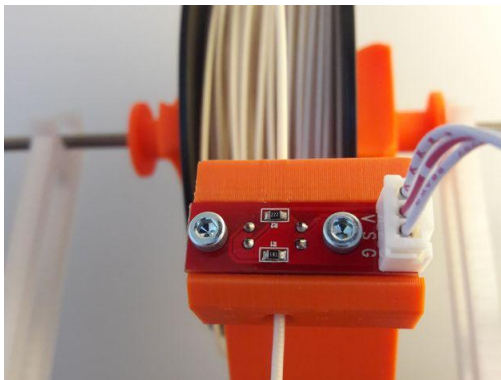
Po zvolení typu služby, vyberieme tlačítkom *+Add IP* adresu zariadenia Raspberry Pi a pridelíme mu name zvolené číslo verejného portu (1992) vid' obrázok 6.2. Týmto sme umožnili prístup k zariadeniu Raspberry Pi odkiaľkoľvek kde je pripojenie k internet. K pripojeniu do serveru Octoprint je požadovaný formát vkladania IP adresy do webového prehliadača v tvare IP adresa:verejný port (*192.168.1.20:1992*).



Obr. 6.14 Raspberry Pi s pripojenou kamerou

6.5 Detektor prítomnosti filamentu

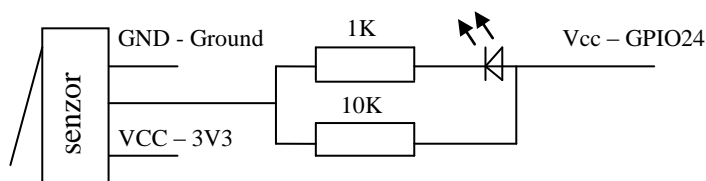
Velmi užitočný je aj detektor, ktorý vás upozorní na pominuté vlákno. Táto funkcia umožní automatické prerušenie tlače, čím sa vyhneme zbytočnému chodu 3D tlačiarne. Po jeho doplnení pokračuje v mieste, kde bola tlač prerušená a nedošlo k znehodnoteniu vytlačeného objektu.



Obr. 6.15 Detektor prítomnosti filamentu

Existujú rôzne typy snímačov, ktoré môžete použiť, vrátane optických snímačov, kedy sa senzor filamentu nedotýka avšak nastavenie bude zložitejšie. Detektor používa 3V napájaný mechanický koncový spínač s dvoma polohami a LED indikáciou.

Senzor pripojíme na dosku Raspberry Pi na zvolený pin. Volíme piny fyzickým číslom 17 (3V3 Power), 20 (Ground) a 18 (BCM 24) pretože pin 17 je napájanie, pin 20 je zemnenie a pin 18 je programovateľný pin mikropočítača kde pripájame výstup senzora a nachádza sa hneď vedľa, viď obrázok 6.16.



Obr. 6.16 Zapojenie senzora s Raspberry Pi

Senzor prítomnosti filamentu je možné pripojiť priamo na modul RAMPS no jednoduchšou voľbou je pripravený plugin obsahujúci Octoprint. Inštalácia sa prevádza vo webovom rozhraní softvéru Octoprint nasledovne:

OctoPrint Settings -> Plugin Manager ->...from the Plugin Repository -> Filament Sensor Reloaded -> Install

Po nainštalovaní reštartujeme systém. Nasledovne v *OctoPrint Settings -> Filament Sensor Reloaded*, zavedieme pripojený pin do inštalovaného pluginu. Pri

zadávaní čísla pinu je treba skontrolovať, nižšie zvolený pin mód, ktorý musí sedieť s číslom pinu. V našom prípade volíme BCM mód a číslo pinu 24. Ďalej je možné nastaviť časovú odozvu vypnutia tlačie po odpojení filamentu (volíme 400 ms). V kolonke *Switch Type* volíme *Normally Open* čím nastavíme správny chod tlačie pri zopnutom snímači. Nastavenie uložíme tlačítkom *Save*.

Ak snímač zaznamená neprítomnosť filamentu tlačiareň zastaví tlač (vypne vyhrievanie trysky), odsunie trysku ďalej od horúcej podložky a upozorní zvukom. Po vložení filamentu tlačiareň vyzve k možnému pokračovaniu tlačie v mieste, kde skončila po prerušení.

6.6 Odstraňovač prachu

Prítomnosť prachu na filamente sa môže podpísať na kvalite tlačie, predovšetkým upchaním trysky alebo nepresným posuvom filamentu ozubeným kolieskom krokového motoru extrúdera do trysky. Toto zariadenie je malá krabička vnútram vyplnená ideálne polyuretánovou penou s malou hustotou, cez ktorú vedieme filament a zachytáva v malej hubke prach pred vstupom do extrúdera. Umiestňuje sa na filament ideálne tesne pred tlačovú hlavu. V niektorých prípadoch napríklad pri použití bowdenovej hadičky pre filament sa môže ľahko naolejovať časť špongie na namazanie filamentu, čo redukuje trenie filamentu extrúderom a uvoľňuje tak motor extrúdera od napätia. Odstraňovač prachu bol vymodelovaný v programe Solidworks, vytlačený na 3D tlačiarňi a následne bola vložená špongia. Zariadenie bolo navrhované pre filament hrúbky 3.0 mm, no na priemere filamentu nezáleží.

6.7 3D Modeling a tlač

Raspberry Pi ani kamera v balení od výrobcu neobsahuje krytie, preto boli tieto súčasti vymodelované v softvéri Solidworks vid' obrázok 6.17.

Je to profesionálny strojársky 3D CAD systém, na tvorbu, návrh výrobkov a modelov. Ponúka objemové i plošné modelovanie, prácu s neobmedzene rozsiahlymi zostavami a automatické generovanie technických výkresov, ktoré boli vytvorené pre modely súčasti krytia mikropočítača Raspberry Pi, kamery, prachový filter a nachádzajú sa na konci práce. Vymodelované súčasti sú konvertované z formátu .sldprt, čo je štandardná prípona 3D súčastí v Solidworks, do dátového formátu .stl (Standard Triangulation Language), ktorý rozdeľuje model do veľmi tenkých vrstiev pozdĺž osi X a Y. Vrstvy sú "ukladané" na seba v smere osi Z.



Obr. 6.16 Render modelu krabičky pre Raspberry Pi

Následne boli tieto diely vytlačené na tlačiarni Prusa i3 MK2.

7 ZÁVER

Zámerom tejto práce bolo oboznámiť sa FDM technológiou 3D tlače. Práca zahŕňa poznatky o materiáloch používaných pri tejto technológií tvorbe 3D objektov. Najčastejšie používané plasty sú ABS a PLA, ktoré sa navzájom pretekajú a nemajú víťaza. Voľba materiálu prinalieha danému použitiu hotového výtlačku a požiadavkam na jeho vlastnosti. Osobne ma najviac lákajú materiály recyklovateľné, ekologické ako je práve PLA.

Témou tejto diplomovej práce bola taktiež kvalita tlače a s ňou spojené jej vady v priebehu procesu, ktorých je veľké množstvo a často sa nedajú predvídať. Celý proces ovplyvňuje rada faktorov, a na každý treba dbať spoľahlivo. Stavba tlačiarne, neporušený filament, správne nastavené hodnoty procesu tlače, ako hrúbka vrstvy, rýchlosť tlače, teplota podložky, teplota extrúdera, a mnoho ďalších parametrov. Kládie sa dôraz rovnako aj na samotný návrh dielu. Zlepšovanie kvality procesu tlače je zložité, opakovateľnosťou procesu sa výsledok tlače postupne zlepši.

Pri tlači väčšieho komponentu, poprípade ak process trvá mnoho hodín môže nastať nepriaznivá situácia a síce technológ opustí priestor s tlačiarňou na dlhší čas, kedy chod tlače komponentu môže schybiť a vytvoriť tak miesto dielu veľký nepoužiteľný chuchvalec filamentu. Pre tento prípad je možné pripojiť webkameru cez naprogramovaný mikropočítač Raspberry Pi a sledovať tak celý process na diaľku cez PC alebo smartfón. Taktiež je možné na diaľku ovládať chod procesu, či už zapnúť, vypnúť alebo pozastaviť a spustiť. S Raspberry Pi a tlačovým serverom Octoprint je obsluha 3D tlačiarne výhodnejšia ako pri používanom desktopovom počítači. Účelom použitia je jak predchádzanie problémom a ich odstraňovaní ale aj šetrnosť času, práce, miesta, elektrickej spotreby a.i. Predchádzame tým jak vyhodenenému materiálu, tak možno zachránenému výrobku, ktorý možno očistiť, dotlačiť zvyšok a spolu zlepíť.

Raspbery Pi je programovateľný vďaka jeho vstupno/výstupným GPIO pinom. Pripájaním rôznych periférií môžeme zlepšovať proces tlače. V tejto práci bol vytvorený senzor prítomnosti filamentu, pripojený na GPIO piny, ktorý urýchli a zjednodušuje výmenu filamentu zároveň zastaví proces tlače a po vložení filamentu zabezpečí pokračovanie v tlači.

Praktická časť práce obsahuje aj akýsi návod k uvedeniu Octoprintu do prevádzky s náležitými požiadavkami. Taktiež vysvetľuje spôsob pripojenia do serveru Octoprint zo vzdialenej, nie lokálnej siete pomocou smerovania portov a verejnej IP adresy zariadenia Raspberry Pi. Technológ je tak schopný ovládania a monitoringu 3D tlačiarne odkiaľkoľvek, kde sa pripojí na internet.

Spotreba elektrickej energie Raspberry Pi bola nameraná odoberaným prúdom a následne vypočítaná s výsledkom 2,6W priemernej hodnoty počas 8 minútovej prevádzky. Oproti desktopovému počítaču je jeho spotreba cca 100-krát menšia, čo je energeticky výhodnejšie.

V poslednej časti práce boli vytvorené 3D modely krabičiek pre Raspberry Pi, kamery a odstranovača prachu v programe Solidworks a následne boli z nich vytvorené technické výkresy obsiahnuté v prílohe práce. Tieto súčasti boli exportované do formátu .stl a následne vytlačené.

LITERATÚRA

- [1] LOCKER, Anatol. 9 Basic Types of 3D Printers: 3D Printing Technology Guide. *ALL3DP* [online]. 2017 [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>
- [2] Chee Kai Chua; Kah Fai Leong, Chu Sing Lim (2003). *Rapid Prototyping*. World Scientific. p. 124. ISBN 9789812381170.
- [3] Rundle, Guy (2014). *A Revolution in the Making*. Affirm Press. ISBN 9781922213303.
- [4] Boschetto, A.; Bottini, L.: Accuracy prediction in fused deposition modeling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, ročník 73, 2014: s.913-928
- [5] Technológia 3D tlače. *MiRe* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://mire.sk/technologie-3d-tlace/>
- [6] Scopigno R., Cignoni P., Pietroni N., Callieri M., Dellepiane M. (2017). "Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey". *Computer Graphics Forum* **36** (1): 6–21. DOI:10.1111/cgf.12781
- [7] FLYNT, Joseph. Benefits of Dual Extruder Printers. *3DINSIDER* [online]. 2017 [cit. 2017-12-1]. Dostupné z: <http://3dinsider.com/dual-extruder-printing/>
- [8] SHER, Davide. SpiderBot Aiming to Extrude Perfect Double Filament Webs. *3D Printing Industry* [online]. 2014 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/spiderbot-aiming-extrude-perfect-double-filament-webs-32626/>
- [9] Fused Deposition Modeling: Technical Specifications for FDM. *Materialise* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/fused-deposition-modeling>
- [10] Čo je potrebné vedieť o plaste typu ABS, PLA? *XYZprint* [online]. 2017 [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.xyzprint.eu/aktuality/co-je-potrebne-vediet-o-plaste-typu-ABS-PLA.html>
- [11] Rozdiel medzi ABS a PLA. *TVAROCH* [online]. 2013 [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://tvaroch.sk/blog/rozdiel-medzi-abs-pla/>
- [12] 3D filament Product Specifications: Verbatim Corporation. Prospects.
- [13] Print Quality Troubleshooting Guide. *Simplify3D Software* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: [13] <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/#very-small-features-not-being-printed>
- [14] 3D tlač (aditívna výroba :). *ENCYKLOPÉDIA POZNANIA* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/5181/3d-tlac-aditivna-vyroba>

- [15] HOLANOVÁ, Tereza. Nová průmyslová revoluce. Nezaspěte nástup Práce 4.0. *Aktuálně.cz* [online]. 2015-07-29 [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/nova-prumyslova-revoluce-nezaspete-nastup-prace-40/r~97fa2490353311e593f4002590604f2e/>
- [16] KORBEL, Petr. Průmyslová revoluce 4.0: Za 10 let se továrny budou řídit samy a produktivita vzroste o třetinu. *Hospodářské noviny* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://byznys.ihned.cz/c1-64009970-prumyslova-revoluce-4-0-za-10-let-se-tovarny-budou-ridit-samy-a-produktivita-vzroste-o-tretinu>
- [17] VÍT, Tomáš. *Jak na dálku ovládat stolní 3D tiskárnu a kontrolovat postup tisku pomocí (infra)kamery?* [online]. 2015 [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/tip-jak-na-dalku-ovladat-stolni-3d-tiskarnu-a-kontrolovat-postup-tisku-pomoci-infrakamery/>
- [18] *Post Processing Techniques: Taking Ideas Beyond the Build Plate* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <https://www.makerbot.com/post-processing/>
- [19] PIŠTEK, P. *3D FDM tiskárna Rebel II a parametry tisku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 78 s. 12 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
- [20] SVĚTLÍK, David. *Povrchová úprava ABS součástí po 3D FDM tisku*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 68 s. 6 příloh. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
- [21] ABS Glue: Weld, Cast, Texture, and More!. 2015. *ProtoParadigm - Building the Foundation for Better Prints* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.protoparadigm.com/news-updates/abs-glue-weld-cast-texture-and-more/>
- [22] Filler Materials: Fillers. In: *Reprap.org* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/FillerMaterials>
- [23] HELLEBRAND, Martin. *Recyklace plastů pro potřeby 3D tisku*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
- [24] 3DXTECH. *Tech Data: Technical Data Sheet* [online]. [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://www.3dxtech.com/technical-data/>
- [25] *PLA and ABS Strength Data: MakerBot*. 347 334 6800. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=591b0be3dc332dbf3620fcdc&asSetKey=AS%3A494648244137984%401494944739534>
- [26] ROHRINGER, Sean. PLA vs ABS: Filaments for 3D Printing Explained & Compared: Filament Shootout. *All3DP* [online]. 2017 [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>
- [27] SINK, Andrew. Building an Acetone Vapor Bath for Smoothing 3D-Printed Parts. *SINKHACKS* [online]. 2014 [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <http://sinkhacks.com/building-acetone-vapor-bath-smoothing-3d-printed-parts/>

- [28] SHALEEN. 3D Printing Filaments: What Options Do You Have?: Where it all began...ABS & PLA. *Inkjetwholesale* [online]. 2016 [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <http://blog.inkjetwholesale.com.au/3d-printing/3d-printing-filaments-options/>
- [29] <https://www.sharebot.it/index.php/product/scheda-arduino-mega-2560-rev-3/?lang=en>
- [30] Arduino MEGA 2560 & Genuino MEGA 2560. Arduino.cc [online]. 2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [31] GERJÁK, R. *Návrh a konstrukce CNC routeru pro DPS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.
- [32] LOKAJÍČEK, L. *Řízení 3D tiskárny pomocí mikropočítače Raspberry Pi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Vyroubal.
- [33] Prusa i3 Geeetech – Firmware (RAMPS 1.4 / GT2560). DomoticX Knowledge Center [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://domoticx.com/prusa-i3-geeetechfirmware-ramps-1-4-gt2560/>
- [34] Techdata: Raspberry Pi Foundation Raspberry Pi 3 B: Raspberry Pi Foundation. *OpenWrt/LEDE* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://openwrt.org/toh/hwdata/raspberrypifoundation/raspberrypifoundation_raspberrypi_3_b
- [35] VRBA, Pavel. Průmyslový internet věcí už není jen chiméra. *Roklen 24* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://roklen24.cz/a/SCK9F/prumyslovy-internet-veci-uz-neni-jen-chimera>
- [36] Internet Of Things. *RoboMQ* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.robomq.io/solutions/IOT.html>
- [37] GPIO: Documentation. *Raspberry Pi Foundation* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>
- [38] JUDYTKA, Antonín. Raspberry Pi – vstup/výstup GPIO. *LinuxEXPRES* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.linuxexpres.cz/hardware/raspberry-pi-vstup-vystup-gpio>
- [39] Allegro MicroSystem: A4989: Dual Full-Bridge MOSFET Driver with Microstepping Translator. *Allegro* [online]. 2015 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.allegromicro.com/en/Products/Motor-Driver-And-Interface-ICs/Bipolar-Stepper-Motor-Drivers/A4989.aspx>
- [40] Michelle Cotton; Lars Eggert et al. [cit. 2018-05-15]. *Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Procedures for the Management of the Service Name and Transport Protocol Port Number Registry*. IETF. doi:10.17487/RFC6335. BCP 165. RFC 6335. Retrieved 2014-04-01
- [41] Lemon, Ted; Droms, Ralph. *The DHCP handbook*. Indianapolis: SAMS, 2003. ISBN 0-672-32327-3.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

3D	3 Dimensional, 3 Dimenzionálny
FDM	Fused deposition modeling
SLS	Selective Laser Sintering
SLA	Stereolytography, Stereolitofgrafia
DLP	Digital Light Processing
EBM	Electron beam melting
LOM	Laminated object manufacturing
BJ	Binder Jetting,
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren, Akrylonitrilbutadiénstyren
PLA	Polylactic acid, Kyselina polyaktická
PP	Polypropylén
PET	Polyetyléntereftalát
TPE	Thermoplastic elastomer, Termoplastický kaučuk
BVOH	Butenediol vinyl alcohol
UV	Ultrafialové žiarenie
t.j.	To jest
IN	Input
OUT	Output
LAN	Local Area Connection
IP	Internet Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
UDP	User Datagram Protocol
HTTP	The Hypertext Transfer Protocol
TCP	Transmission Control Protocol

SSID	Service Set Identifier
WPA	Wi-Fi Protected Acces
WEP	Wired Equivalent Privacy
GPIO	General-purpose input/output
USB	Universal Serial Bus
LED	Light-Emitting Diode
BCM	Broadcom pin number
GND	Ground
WWW	World Wide Web
MJPEG	Motion Joint Photographic Experts Group

ZOZNAM OBRÁZKOV

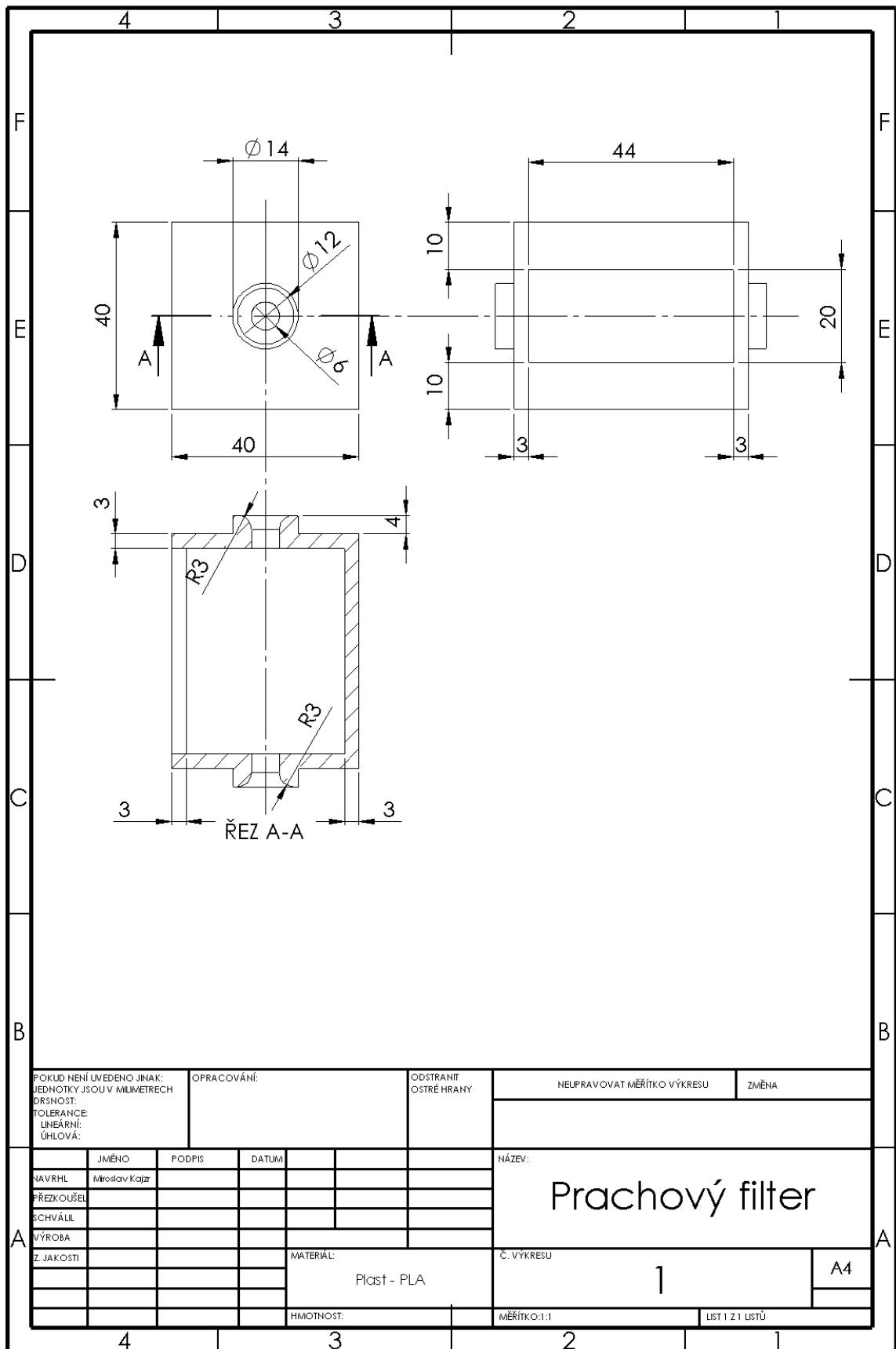
Obr. 1.1 a) Nanášanie taveniny b) Laserové spekanie c) Stereolitografia[14]	9
Obr. 1.2 Schéma 3D tlačiarne s technológiou FDM[6]	12
Obr. 1.3 Použitie dvoch extrúderov[8]	13
Obr. 2.1 Vytlačený objekt - PLA vľavo, ABS vpravo[28]	17
Obr. 4.1 Povrchová úprava acetónovým naparovaním[27]	27
Obr. 5.1 Diagram internetu vecí[36].....	30
Obr. 5.2 Bloková schéma zapojenia Raspberry Pi a 3D tlačiarne	31
Obr. 6.1 Arduino Mega 2560[29]	32
Obr. 6.2 Modul RAMPS 1.4[33]	34
Obr. 6.3 Drivery na module RAMPS	35
Obr. 6.4 Endstopy: mechanický (vľavo), optický (v strede) indukčná sonda (vpravo)[31]	36
Obr 6.5 Bloková schéma zapojenia hardvéru 3D tlačiarne	36
Obr. 6.6 Raspberry Pi [34].....	37
Obr. 6.7 Rozloženie GPIO pinov[37]	39
Obr. 6.8 Pull up, Pull down zapojenie	40
Obr. 6.9 Schéma napájania Raspberry Pi – microUSB/B.....	40
Obr. 6.10 Grafické zobrazenie odberu prúdu Raspberry Pi 3B+.....	41
Obr. 6.11 Prostredie Octoprintu.....	42
Obr. 6.12 Prostredie PuTTY	44
Obr. 6.13 Bloková schéma vzdialeného ovládania Raspberry Pi	46
Obr. 6.14 Raspberry Pi s pripojenou kamerou.....	48
Obr. 6.15 Detektor prítomnosti filamentu	49
Obr. 6.17 Render modelu krabičky pre Raspberry Pi.....	51

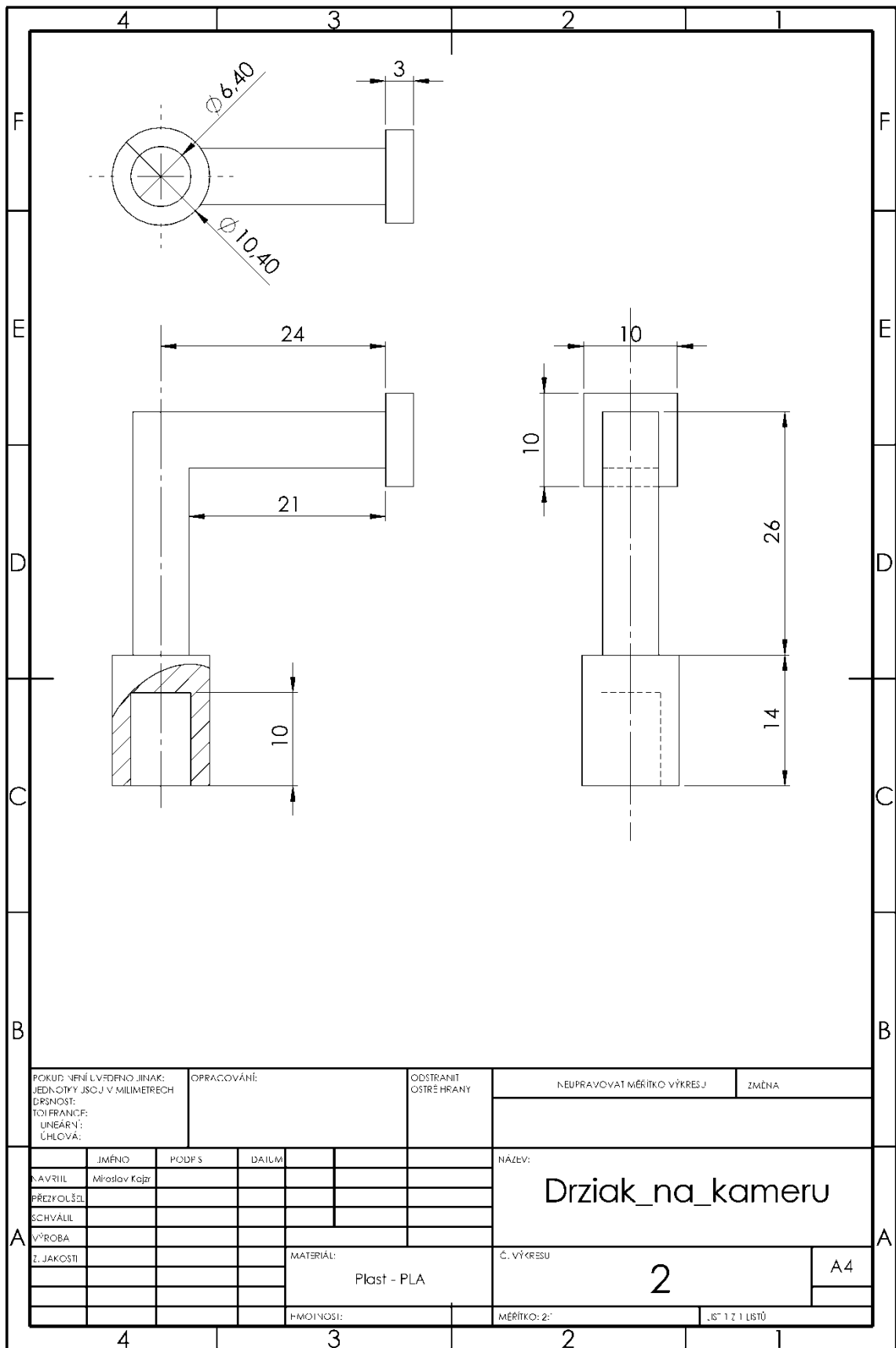
ZOZNAM TABULIEK

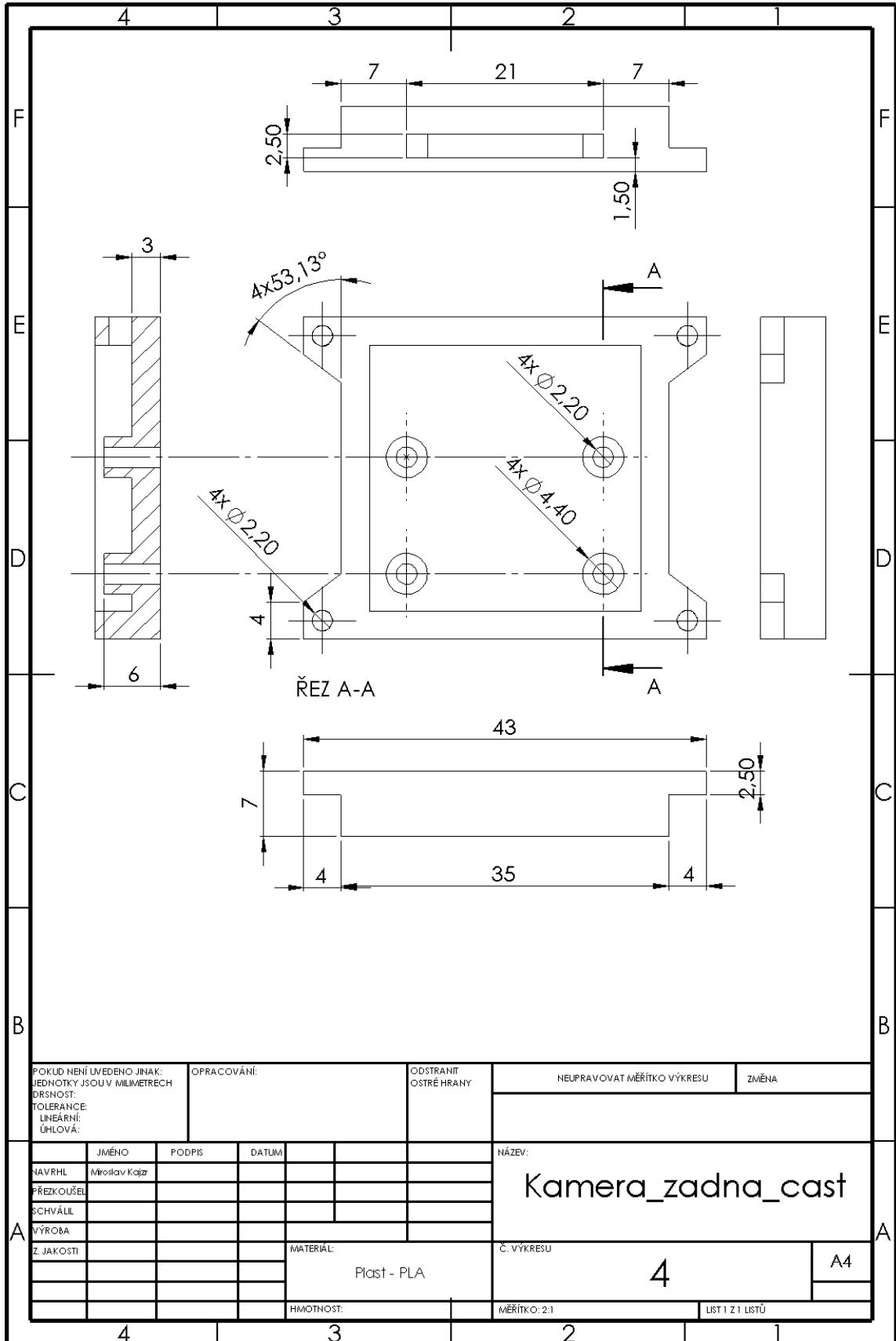
Tab. 1	Prehľad rozdielov PLA a ABS[26]	17
Tab. 2	Prehľad procesných parametrov pre používané materiály[12],[24],[25]	18
Tab. 3	Porovnanie filamentov[10][11][12]	19
Tab. 4	Vady 3D tlače, príčiny vzniku a spôsoby odstránenia väd[13]	20

VÝKRESY MECHANICKÝCH DIELOV

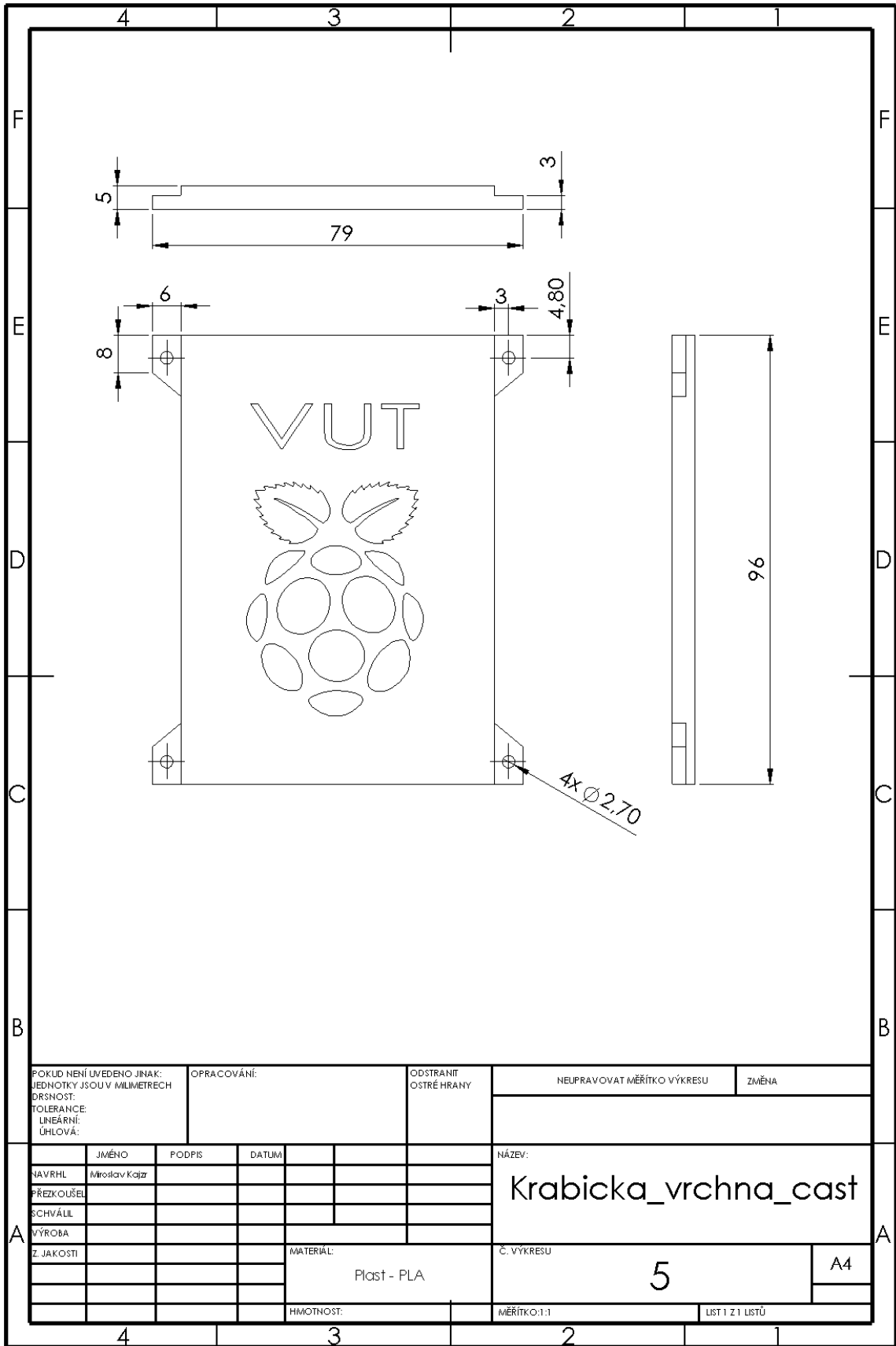
Prachový filter	62
Držiak na kameru	63
Predná časť kamery	61
Zadná časť kamery	65
Vrchná časť krabičky	66
Spodná časť krabičky	67
Zoznam súčiastok pre mechanické diely	68







POKUD NEJÍ UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH		OPRACOVÁNÍ:		ODSTRANIT OSTŘE HRANY		NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU		ZMĚNA	
DŘSNOST:									
TOLERANCE:									
LINEÁRNÍ:									
ÚHLOVÁ:									
		JMÉNO		PODPIS		DATUM		NÁZEV:	
NAVRHL		Miroslav Kajzr						Kamera_zadna_cast	
PŘEZKOUSEL									
SCHVÁLIL									
VÝROBA									
Z. JAKOSTI						MATERIÁL:		C. VÝKRESU	
						Plast - PLA		4	
								A4	
						HMOTNOST:		MĚŘÍTKO: 2:1	
								LIST 1 Z 1 LISTŮ	



POKUD NEJÍ UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH				OPRACOVÁNÍ:		ODSTRANIT OSTRÉ HRANY		NEUPRAVOVAT MĚŘITKO VÝKRESU		ZMĚNA	
DRSNOST: TOLEŘANCE: LINEÁRNÍ: ÚHLOVÁ:											
JMÉNO		PODPIS		DATUM				NÁZEV:			
NAVRHL		Miroslav Kajzr						Krabicka_vrchna_cast			
PŘEZKOUSEL											
SCHVÁLIL											
VÝROBA											
Z. JAKOSTI						MATERIÁL:		C. VÝKRESU		A4	
						Plast - PLA		5			
						HMOTNOST:		MĚŘITKO:1:1		LIST 1 Z 1 LISTŮ	

ZOZNAM SÚČIASTOK PRE MECHANICKÉ DIELY

Súčiastka	Typ	Počet kusov
Šrób	M2x14	8
Šrób	M2x10	8
Matica	M2	16