

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Využití 3D tisku k vytvoření prototypové sestavy
Use of 3D Printing to Produce Prototype Assembly

Student:

Mgr. Monika Divišová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Mgr. Monika Divišová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 10 Technologický management
Téma: **Využití 3D tisku k vytvoření prototypové sestavy**
Use of 3D Printing to Produce Prototype Assembly

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Možnosti technologie 3D tisku.
3. Rozbor a představení prototypové sestavy.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení tisku sestavy.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GIBSON, I, D ROSEN a B STUCKER. *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*. New York: Springer, c2010, xxii, 459 p. ISBN 1441911200.
[2] Virta, Mikael. *The Capabilities of the Fused Deposition Modeling Machine Ultimakes and its Adjusting for the Bio-medical Research Purposes*. Master of Science Thesis. Examiner: Minna Kellomäko. 2013. 107 p. Faculty of Engineering Sciences. Tampere University of Technology.
[3] Internetové zdroje www.3d-tisk.cz, www.3dhubs.com, <http://www.thingiverse.com>, aj.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**


Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Mgr. Monika Divišová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bušín 142

Poděkování:

V první řadě chci poděkovat panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, velkou vstřícnost a ochotu při vypracování této diplomové práce. Dále také děkuji svojí rodině za podporu při studiu.

Anotace diplomové práce

DIVIŠOVÁ, M. *Využití 3D tisku k vytvoření prototypové sestavy: diplomová práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, Vedoucí práce: Kratochvíl. J.

Předkládaná diplomová práce se skládá ze dvou částí. První část se zabývá teoretiky jednou z nejčastěji používaných technologií 3D tisku, Fused Deposition Modeling (FDM) technologií a materiály, které se v současné době při této technologii používají k výrobě 3D modelů.

Druhou, praktickou část tvoří proces vzniku 3D modelů na 3D tiskárně Cube3, která je brána jako domácí tiskárna. Pomocí tiskárny byly vytištěny jednotlivé díly 3D sestavy stojanu na ruční vrtačku.

Anotation of bachelor thesis

DIVIŠOVÁ, M. *Use of 3D Printing to Produce Prototype Assembly: thesis.* Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering Department of machining, assembly and engineering metrology, 2017 Supervisor: Kratochvil. J.

The present thesis consists of two parts. The first part deals theorists one of the most commonly used 3D printing technology, Fused Deposition Modeling (FDM) technology and materials, which are currently at the technology used to produce 3D models.

The second part forming process of creating 3D models on the 3D printer Cube3, which is seen as a home printer. Using the printer printed the parts 3D assembly stand on a small hand drill.

Obsah

VŠB – Technická univerzita Ostrava	1
Anotace diplomové práce	7
Anotation of bachelor thesis	7
Seznam použitých zkratk a symbolů	10
1 Úvod	11
2 Teoretický rozbor aditivní technologie 3D tisku	12
3 Fused Deposition Modeling (FDM)	15
3.1 Proces 3D tisku	16
4 3D tiskárny pro Fused Deposition Modeling (FDM)	18
4.1 Kartézská tiskárna	18
4.2 Delta tiskárna	19
4.3 Polar tiskárna	19
4.4 Scara tiskárna	20
5 Tiskový materiál pro FDM tiskárny	21
5.1 Druhy materiálu pro tisk modelu	22
5.1.1 ABS (Akrylonitril Butaien Styren)	22
5.1.2 PLA (Poly Lactic Acid)	23
5.1.3 PC (polykarbonát)	24
5.1.4 TPE (termoplastický elastomer)	24
5.1.5 Nylon	24
5.2 Porovnání materiálů	25
5.2.1 Charakteristika jednotlivých termoplastů	26
5.3 Materiál pro tvorbu podpor	30
5.3.1 PVA (polyvinylacetát)	30
5.3.2 LAY-CLOUD	31
5.3.3 HIGH-T-LAY	32
5.3.4 Ethyl-LAY	32

5.3.5	HydroFill	33
6	Praktický tisk na 3D tiskárnách pomocí FDM technologie	34
6.1	Tištěná sestava prototypu.....	34
6.2	Popis prototypové sestavy určené k tisku	34
7	Výroba modelu součásti	35
7.1	Převod modelu do STL formátu	35
8	Popis tiskárny Cube3 pro 3D tisk.....	38
8.1	Materiál pro tisk.....	39
8.2	Pomůcky k tisku.....	40
8.3	Příprava tisku	40
8.4	Program Cube Print	41
8.5	Tisk 3D modelu	43
9	Technicko – ekonomické zhodnocení	46
9.1	Parametry tiskárny 3D tiskárny Cube3	46
9.2	Náklady na výrobu FDM sestavy	47
9.2.1	Výpočet ceny výroby dílů na 3D tiskárně CUBE3	47
10	Diskuze.....	52
11	Závěr	53
	Seznam použité literatury:.....	55
	Seznam obrázků:	59
	Seznam grafů:.....	60
	Seznam příloh:.....	61

Seznam použitých zkratk a symbolů

3D	Trojrozměrný
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
SLA-1	StereoLitographic apparatus number 1
RP	Rapid Prototyping
SLA	Stereolitografie
LOM	Laminated Object Manufacturing
SLS	Selective Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
ABS	Akrylonitril-Butadien-Styren
PLA	Poly lactic acid - kyselina polymléčná
PVA	Polyvinylacetát
PC	Polykarbonát
TPE	Termoplastický elastomer
PVA	Polyvinylacetát
SLDPRT	Formát souboru v programu SolidWorks
STL	Standard triangulace Language - formát souboru
ZPR	ZPrint CAD - formát souboru
ObjDF	Objet Digital Format - formát souboru
Obr. č.	Obrázek číslo

1 Úvod

V dnešní společnosti se dostávají do podvědomí různé metody 3D tisku, zvyšuje se jejich popularita. Vytvářejí se stále nové studie, které slouží pro další vývoj 3D tisku a vývoj používaných materiálů k tisku. Postupem času se 3D tisk stává skvělým pomocníkem v mnoha oblastech. Uvedená technologie 3D tisku se dostává do různých oblastí, kde je možné ji využít. Je možné ji využít v oblasti průmyslu, výzkumu, lékařství, vzdělávání.

Předmětem této diplomové práce je teoretické i praktické zpracování problematiky výroby 3D modelů pomocí technologie 3D tisku, která se nazývá Fused Deposition Modeling. V teoretické části se také zabývá popisem používaných materiálů při zmíněné technologii. Ve druhé, praktické části najdeme popis 3D tiskárny, která používá FDM technologii. Je zde popsán postup tisku jednotlivých dílů, ze kterých je následně sestavena sestava prototypového stojanu.

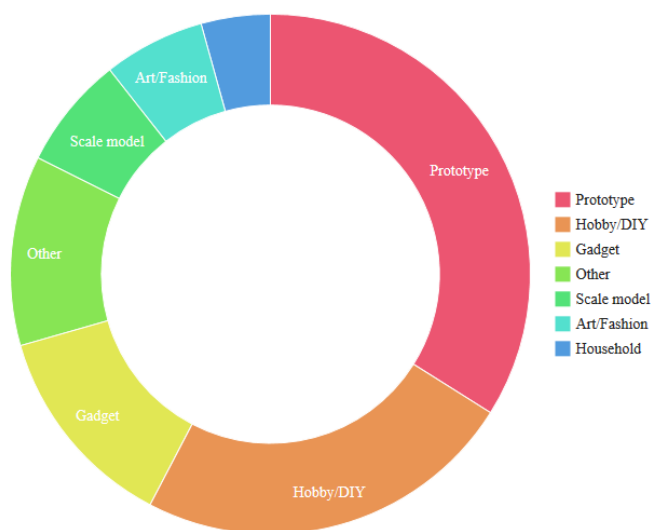
3D tiskárny patří mezi moderní zařízení, které se používají k výrobě konstrukčních 3D modelů. Vytisknuté modely jednak usnadňují výrobu prototypů nebo jsou sami už funkčně použitelné. V dnešní době lze předpokládat, že využití 3D tiskáren bude stále častější. Jde o prostorový tisk, pomocí kterého můžeme vyrobit 3D model podle předlohy, která se vytvoří pomocí CAD systému, 3D scanneru. Pomocí počítačového programu je 3D model rozdělen na tenké horizontální vrstvy a poslán na 3D tiskárnu k tisku. Tiskárna postupně nanáší zvolený materiál vrstvu po vrstvě až do konečné podoby materiálu. Délka samotného tisku trvá podle tvaru modelu od několika minut až po několik hodin a úspora času je důvodem, proč má 3D tisk budoucnost. I když je vytvořeno mnoho 3D tiskáren, mnoho druhů materiálu pro 3D tisk, stále pokračuje vývoj a vznikají nové studie.[1]

2 Teoretický rozbor aditivní technologie 3D tisku

Když přijde na 3D tisk, jsme svědky obrovské vlny rozvoje, ať už jde o technologie 3D tisku nebo při inovativním využívání tiskového materiálu. 3D tisk se v dnešní době považuje za velký technologický posun od založení internetu. Často je spojován s pojmem třetí průmyslové revoluce. Označuje se podle výroby trojrozměrných modelů.

Vývoj 3D tisku začíná v 80. letech, který technologicky navazuje na klasické „papírové“ tiskárny. Jako zakladatel 3D tisku je považován Charles Hull, který stojí za zrodem současné podoby trojrozměrného tisku. V této době se začíná zabývat zkoumáním tekutých polymerů, které vede až ke vzniku 3D modelu. V roce 1986 se nechal tuto technologii patentovat a nazval ji „Stereolitografie“. Charles Hull ve spolupráci s 3D Systems společně vytvořili funkční prototyp. Šlo o první skutečný prototyp 3D tiskárny, nazvaný SLA-1 (StereoLitographic apparatus number 1). Tato první 3D tiskárna nenabízela takovou kvalitu a přesnost při tisku modelů jako současné tiskárny. I navzdory nedostatkům dokázala tiskárna vytvořit vysoce komplexní modely. Tak jako ve světě zobrazovacích technologií i pro průmyslové designéry se stala tato technologie možností zhmotnit svoje představy a nápady. Stala obrovským milníkem své doby.

Od vynálezu stereolitografie uplynulo už skoro třicet let. Za tu dobu prošel 3D tisk velkým vývojem. Našel své uplatnění nejen ve výrobě prototypů, ale i v dalších odvětvích, jak můžeme vidět v Grafu 1. Různorodost oborů podpořilo další vývoj nových technologických postupů při 3D tisku.[2]



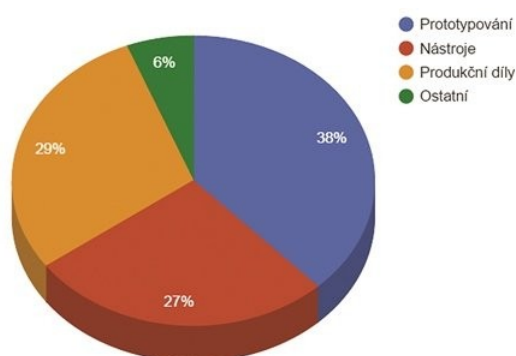
Graf 1- Populární kategorie 3D tisku [47]

Rapid Prototyping jsou označovány technologie, které výrobek vytváří neklasickými postupy, nejčastěji vrstveným aditivním procesem. Jde o skupinu technologií pro rychlou výrobu dílů. Ty jsou funkční a svými vlastnostmi se podobají konečnému výrobku, který mohou dokonce i nahradit. Při tomto způsobem výroby se materiál z polotovaru neodebírá, jako při obrábění, s cílem získat konečný tvar výrobku, ani se nepřidává materiál najednou. Konečného tvaru výrobku se získá nanášením jednotlivých vrstev. Dnes tato technologie proniká do celé řady odvětví.

Prototyp je vzorový výrobek, který přebírá některé charakteristiky sériově vyráběného výrobku. Je vyroben náhradní technologií, z náhradního materiálu. Jejich společnou předností je rychlost, s jakou dokážou vyrobit prototyp. Prototyp je pak zapotřebí vyzkoušet dříve, než se rozhodneme o jeho výrobě. Také slouží k posouzení jeho funkčnosti a dá se využít k prezentaci. 3D tisk je výhodný k výrobě prototypů, umožní nám rychlou výrobu prototypů rovnou z digitálního modelu.

Náhradní technologie bývají ale mnohem dražší, než technologie výroby sériového dílu. Z toho důvodu se nejdříve vytvoří zkušební např. zmenšený nebo zvětšený model, až následně přistoupíme k výrobě funkčního prototypu. 3D tisk je jednou z forem Rapid Prototyping. 3D tiskárny je možné využívat k vytváření nových modelů různých tvarů – prototypů, které mohou být zmenšené, zvětšené a zároveň i funkční. 3D tiskárny umožňují vytisknout různé díly, dají prototypům jejich prvotní podobu.

Takto vyrobené prototypy ale nejsou vždy vhodné k většímu zatížení. Převážně slouží k představě o vzhledu prvního, nového výrobku. Ne každá technologie pro 3D tisk ale umožní vytvořit přesné a odolné díly, které jsou určeny pro funkční testy nebo dokonce pro výrobu konečného produktu. Je však možné mluvit o přímé výrobě součástí prototypu. Z toho důvodu jsou tyto technologie označovány anglickým názvem rapid prototyping.[3] [4] [5]



Graf 2 - Využití 3D tisku ve firmách [48]

O 3D tisku můžeme mluvit jako o podskupině rapid prototypingu. Přímou z 3D modelu vytvořeného na počítači provedeme nastavení tisku a samotný tisk prototypu. Tento tisk je stejně jednoduchý jako běžný tisk z počítače na papír. 3D tiskárny jsou zařízení, které nám umožňují vyrábět reálné třírozměrné modely, které jsme si předem vytvořili pomocí zvoleného CAD (Computer Aided Design) programu.

Obecný princip zařízení spočívá ve vytvoření digitálního 3D modelu prototypu, rozložení tohoto modelu do tenkých vrstev (0,08 – 0,33 mm) a opětovné složení těchto vrstev do hmotného 3D modelu pomocí 3D tisku. Rychlost tisku a spotřeba zvoleného materiálu pro tisk je ovlivněna složitostí a velikostí modelu, potřebnou kvalitou tisku, vnitřní výplní modelu a použitím pomocných podpěr. Vytvoření 3D modelu na 3D tiskárně je proces, kdy se tiskne trojrozměrný model.

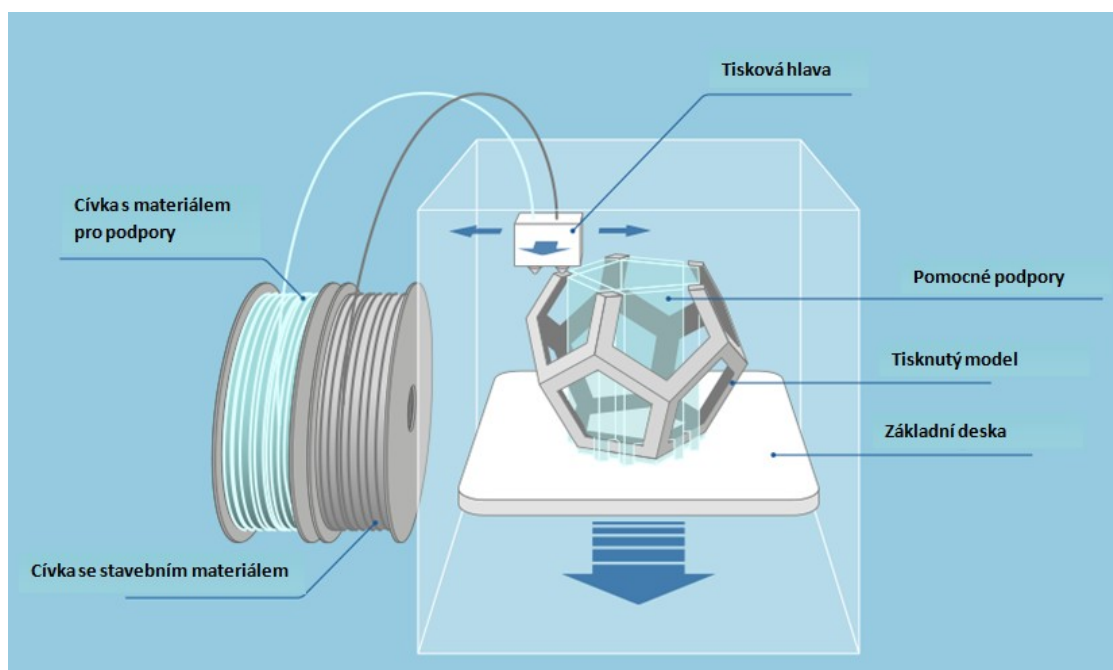
3D tiskárny používají pro vytvoření trojrozměrných modelů z různého materiálu, jako je plast, vosk, kov. Postupem času se vyvinuly i některé další technologie pro výrobu 3D modelu. Nejčastěji se setkáváme s technologiemi, které jsou vždy založeny na principu aditivní metody výroby. Toho se může dosáhnout pomocí několika různých metod, jako například: FDM, SLA, LOM, SLS. [6] [7]

3 Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM je jedna z technologií 3D tisku. Technologie tisku je popsána v samotném názvu, ze kterých je složena tato zkratka:

- **FUSED** – tavený
- **DEPOSITION** – uložení
- **MODELING** – modelování

Fused Deposition Modeling je rozšířená aditivní výrobní technologie (Obr. č. 1), běžně používaná v rychlém prototypovém průmyslu. Patří mezi nejlevnější, moderní technologie pro systém 3D tisku, který byl vyvinut v Eden Prairie v Minnesotě. Existují pro to tři důvody – je to jednoduché, je to levné na fungování a modely jsou pevné. Tato technologie velmi napomohla 3D tiskárnám aby pronikly jak do malých firem, tak i k domácím uživatelům. Umožňuje produkci prototypových dílů jak v jednotkách kusů, tak i v desítkách kusů. Technologie FDM je vhodná pro výrobu prototypových částí, které se blíží reálnému modelu.



Obr. č. 1 - Fused Deposition Modeling (FDM) [46]

Jde o aditivní proces, který má vyprodukovat dokončený prototyp. Metoda FDM zahrnuje vytlačování plastového materiálu skrze vyhřívanou tryskou. Tiskárny pro tuto

technologii používají převážně jednu tiskovou hlavu, ale mohou jich mít i více. Mohou tak tisknout vícebarevný model.

FDM systém vytváří prototyp vrstvu po vrstvě v přesných drahách nástroje do požadovaného tvaru, který je přepočítán z CAD souboru. Podle tvaru modelu je možné použít pro podporu stejný materiál, který je určený pro tisk 3D modelu nebo odlišný materiál, který má jinou strukturu. Jakmile je model dokončen, je odstraněn model ze základní desky, pomocný materiál se odlomí nebo obmyje pryč. 3D model je vytištěn a produkt je dodáván k zákazníkovi.

Během tisku se zvolený materiál odvíjí z cívky, pomocí motorku je materiál dodáván do vytlačovací trysky v tiskové hlavě. Tryska je předehřátá pomocí odporového ohříváče, aby udržela plast rozehtátý těsně nad jeho teplotu tání. Tryska se pohybuje svisle v ose Z a vodorovně s osou X a osou Y. Místo trysky se může pohybovat pracovní deska.

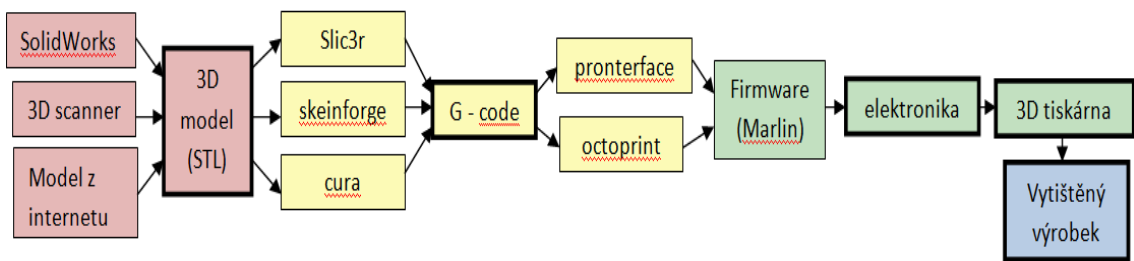
FDM technologie dává vhodné řešení pro rapid prototyping a rychlou výrobu, výrobu dílů, které jsou jak přesné a trvanlivé. Volba materiálu zahrnuje možnosti, které jsou použitelné pro různá průmyslová odvětví, včetně leteckého průmyslu, strojírenství. Je třeba volit vhodný materiál. Plastové prototypy vytvořené pomocí této metody okamžitě ztvrdnou. Rychlý rozvoj FDM prototypů výrazně snižuje čas výroby a umožňuje mnohem vyšší návratnost investic.

Ačkoli je většinou uvedená technologie spojována s nejčastěji používaným materiálem ABS, v tiskárnách lze také použít jiné materiály, jako jsou transparentní ABS, polykarbonát, polyphenylsulfone (PPSF / PPSU), nebo ultem (polyetherimid) a další. [8] [9] [10] [11] [12]

3.1 Proces 3D tisku

Proces tisku je možné rozdělit do čtyř etap:

1. Modelování - CAD, vytvoření 3D modelu .stl (červená)
2. Výroba – CAM, generování G – kódu (žlutá)
3. Interní procesy v 3D tiskárně (elektronika) (zelená)
4. Vytištěný výrobek (modrá)



Graf 3 - Proces tisku 3D modelu [13]

Jak je možné vidět ve schématu výrobního procesu 3D tisku v Grafu 3, tak v každé etapě 3D tisku je dostupných více programů. Výčet ale není zdaleka úplný. V praktické části této diplomové práce je popsán konkrétní výrobní proces 3D tisku. [13]

4 3D tiskárny pro Fused Deposition Modeling (FDM)

3D tiskárny, které využívají uvedenou technologii, patří mezi jedny z nejrozšířenějších. Najdeme mezi nimi hodně druhů, vyvíjí se i jejich vzhled.

4.1 Kartézská tiskárna

Nejběžnější ovládání používané u 3D tiskáren je na třech lineárních osách, které mají základ v kartézském souřadnicovém systému, najdeme u spotřebitelských 3D tiskáren. Kartézské 3D tiskárny jsou pojmenované po trojrozměrném souřadnicovém systému - X, Y a Z-osa - který se používá k určení, kde a jak se pohybovat ve třech rozměrech. Jde o klasické uspořádání se třemi osami na sebe kolmými. Každou osu ovládá nezávislý pohon. Tisková hlava je usazena na osu X a osu Y, kde se může pohybovat ve čtyřech směrech. Základna pro tisk se pohybuje pouze v ose Z. Pohyb každé osy je nezávislý na pohybu ostatních os.

Nicméně existují rozdíly, kdy místo pohybu tiskové hlavy v ose X, Y, jedna z těchto os mění pohyb tiskové základny. Jedná se o mechanicky jednodušší konstrukce, které jsou jednodušší na údržbu, ale rychlost tisku je pomalejší.

Většina tiskáren má čtvercový tvaru. Typ těchto tiskáren jsou použity v praktické části této práce. [14] [52]



Obr. č. 2 - Kartézská 3D tiskárna

4.2 Delta tiskárna

Další typ 3D tiskárny, o který roste zájem, se nazývá Delta. Jde o tiskárny, které mají pohyb vyřešený pomocí tří ramen, které nesvírají pravé úhly. Ramena jsou na konci spojena tiskovou hlavou, kterou ovládají v trojúhelníkové konfiguraci. Ramena pracují v rozsahu 120° .

Tyto tiskárny mají velký tiskový prostor a jsou navrženy pro větší rychlost tisku, ale jsou také vyšší. Geometrie dělá tuto 3D tiskárnu těžší na sestavení a kalibraci. Pro výpočet pohybu jednotlivých ramen je zapotřebí speciální software. Pohyb tiskové hlavy v prostoru je komplexně závislý na pohybu tří motorů.[14] [52]



Obr. č. 3 - 3D tiskárny typu Delta [14]

4.3 Polar tiskárna

Jde o 3D Polar tiskárny, které jsou postavené na používání polárního souřadnicového systému. Je to podobné jako u kartézského systému, sady souřadnic popisují body na kruhové mřížce, spíše než čtverec.



Obr. č. 4 - 3D tiskárny typu Polar [14]

Zpravidla se využívají osy pro pohyb tiskové hlavy, která se může pohybovat nahoru, dolů, doleva a doprava a rotační pohyb desky. Tento systém je jednodušší na sestavení, ale je horší na ovládání. Velkou výhodou polární 3D tiskárny je, že může fungovat pouze se dvěma krokovými motory. [14] [52]

4.4 Scara tiskárna

3D tiskárny typu Scara používají pro ovládání pohybu tiskové hlavy dvě robotická ramena nebo jedno rameno se dvěma klouby. Jde o velmi přesný systém s malým půdorysem, pohybuje se podobně jako průmyslový robot na montážní lince.

Tiskárny jsou poměrně jednoduché pro sestavení, vyžadují poměrně málo dílů ke konstrukci. [14] [52]



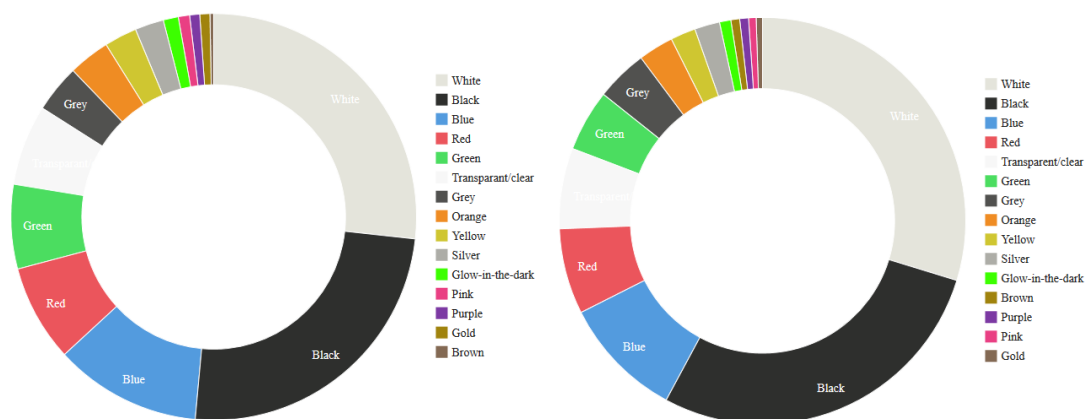
Obr. č. 5 - 3D tiskárna typu Scara [14]

5 Tiskový materiál pro FDM tiskárny

Při konkrétním použití aditivní technologie 3D tisku se používá určitý typ materiálu. Vhodnost daného materiálu je určený typem modelu tiskárny a 3D modelem, který chceme tisknout. Zároveň u každého materiálu pro 3D tisk rozlišujeme doporučené parametry tavné teploty, tiskové rychlosti a posuvu materiálu. Je třeba vždy brát uváděné údaje jako orientační.

Materiály, které se dají použít pro zvolené 3D tiskárny a které podporují, jsou dva. Jde o materiál ABS nebo PLA, mezi kterými si můžeme vybrat. [15]

Okamžité zakládání tavného vlákna je nyní snadnější než výměna inkoustové kazety. Nová technologie zabraňující ucpání a vlhku odolné zásobníky umožňují dlouhodobější skladování, delší využití materiálu a výrazně zlepšují kvalitu 3D tisku. 3D tiskárna v závislosti na založené kazetě automaticky rozpozná druh materiálu, takže odpadá nové nastavování tiskárny. Kazety se snadno zakládají a skladují a současně chrání životnost a kvalitu materiálu. Předem nastavené tiskové trysky a automatické vyrovnávání polohy tiskové desky pro 70 mikronové rozlišení zajišťují bezvadnou kvalitu tisku v každém okamžiku. [16]



Graf 4 - Barvy materiálu použité při 3D tisku v roce 2015, 2016 [49] [50]

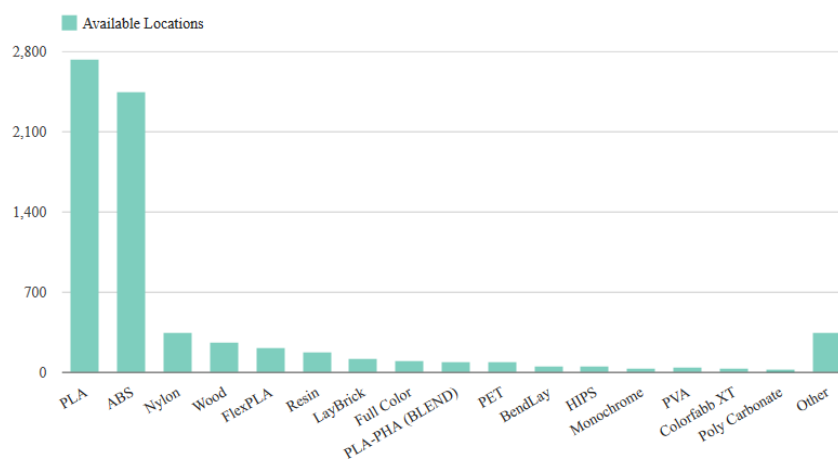
Pro FDM technologii je nabízena široká škála plastových materiálů různých barev. Mezi nejčastěji používané barvy dlouhodobě patří černá a bílá (Graf 4), špatně si nevedou ani odstíny šedé či čirá. Jak uvádí statistická data komunitní služby 3D Hubs, informace o nejoblíbenějších barvách pocházejí ze skutečných zakázek, které si zadali zákazníci využívající více než 23 tisíc tiskáren ve 150 zemích světa.[17]

Aby se tiskové struny daly dobře použít při tisku, musí se také správně skladovat. Materiály pro 3D tisk přirozeně absorbují vzdušnou vlhkost a zhoršují se tím jejich

vlastnosti. 3D tisk s navlhým materiálem vede k fatálním pohledovým i strukturním chybám výtisku, už během průchodu horkou tryskou v takovém případě můžete zaslechnout syčivý či praskavý zvuk. Podívejme se proto na jednoduchý způsob, jak tiskovou strunu udržet hezky v suchu.[18]

5.1 Druhy materiálu pro tisk modelu

Pro vytisknutí 3D modelů se postupně využívá mnoho různých materiálů. Některé slouží jako materiál pro tisk samotného modelu, některé se používají jako pomocné podpěry pro zachování tvaru modelu. Jak dokládá Graf 5, materiály PLA a ABS tvoří nejvíce dostupný a často používaný materiál pro tištěné 3D modely vytvořené FDM technologií.



Graf 5 - Materiálová dostupnost [51]

5.1.1 ABS (Akrylonitril Butaien Styren)

ABS, neboli Akrylonitril-Butadien-Styren je běžný termoplastický materiál. Je jedním z nejčastěji používaných materiálů pro 3D tisk, méně křehký a odolný vůči mechanickému poškození. Také je odolný vůči kyselinám, louhům, uhlovodíkům, olejům, tukům. Jde o zdravotně nezávadný materiál, odolný vůči vysokým i nízkým teplotám. Nevýhodou tohoto materiálu je, že při ochlazování může docházet k narušení povrchu materiálu.

Velkou výhodou je nízká závislost na přesném nastavení tiskové hlavy 3D tiskárny a odolnost 3D modelů.

Tento materiál je dodáván na špulce ve formě drátu, který má různé barvy. Tisková teplota je kolem 230 - 250 °C, záleží na výrobci struny. Lze ho zpracovávat do teploty 280°C. Smrštění se pak pohybuje mezi 0,3-0,7 %. Materiál se dá snadno opracovávat pomocí dokončovacích obráběcích technik. Malé modely je třeba tisknout na základní mřížku, aby se i menší objekty neodtrhávaly od tiskového stolu, u velkých modelů zvolíme vhodnou základní stranu, kterou začneme tisk.

Materiál ABS lze doporučit jako materiál pro zkušební výtisky 3D modelů. Pro své vlastnosti je využívaným technickým plastem pro výrobu mnoha produktů od domácích potřeb, hraček, přístrojů, sportovních potřeb až po díly v automobilovém průmyslu.[19] [20] [21]

5.1.2 PLA (Poly Lactic Acid)

PLA (Poly Lactic Acid - kyselina polylactonová) je nejuniverzálnějším tiskovým materiálem, jedním ze dvou nejčastěji používaných materiálů pro 3D tiskárny. PLA je termoplastický polyester. Při zahřátí roztaje, při ochlazení ztuhne, je bez zápachu a nevyžaduje vyhřívání základní desky u 3D tiskáren. Je to vhodný materiál pro tisk velkých objektů. Zachovává si svoji pružnost, tvrdost a odolnost jako jiné plasty, má výbornou rozměrovou stabilitu. Materiál je vyroben z obnovitelných zdrojů (bramborový nebo kukuřičný škrob, cukrová třtina). Jde o bio-materiál, zdravotně nezávadný, který je možné ekologicky likvidovat. PLA plast je jedním z ekologických materiálů, které jsou k dispozici pro 3D tiskárny, je šetrný k životnímu prostředí. Pro 3D tisk je tento materiál dodáván ve formě drátu (Ø 1,75 - 3 mm). Doporučená teplota pro tisk je 190 – 210 °C.

Nevýhodou tohoto materiálu je, že ve vlhkém prostředí pohlcuje vlhkost, což se na povrchu modelu projevuje bublinami. Vytisknutý model je ale pevný a vrstvy jsou kvalitně spojené. Model vytisknutý z tohoto materiálu lze opracovávat ručními způsoby pro dokončení tvaru.

PLA je snadno a rychle zpracovatelný, výrobky z něj jsou méně odolné vůči vyšším teplotám, protože začínají měknout (při 60°C). Přes to materiál dobře drží i při nižších teplotách a vytisknutým modelům dává dostatečnou pevnost. I přes to jde o poměrně křehký materiál a jeho opracování po dotištění je mnohem horší.

Tento materiál je dodáván v neprůhledných i průhledných variantách a v různých barevných odstínech. Jde o univerzální materiál pro všechny typy výtisků, u zvolené 3D tiskárny nevyžaduje použití vyhřívání podložky pro lepší přilnutí k tiskové podložce. Při

tavení materiálu se produkuje vůni připomínající smažení rostlinného oleje. Vytisknuté modely jsou méně náchylné k deformacím, a mají vyšší lesk.[22] [23] [24]

5.1.3 PC (polykarbonát)

Další materiál z termoplastů, který se zařazuje mezi možné tiskové materiály je polykarbonát (PC). Tisknutí modelu z tohoto materiálu, pomocí FDM technologie umožňuje vytvářet pevné díly. Jde o unikátní stabilní materiál, který má vynikající mechanické vlastnosti (vysoká pevnost v tahu a v ohybu). Zachovává si ohebnost i v chladu. Jde o materiál, který má také dobrou tepelnou odolnost a je odolný proti nárazům. Převážně je využíván pro tisk prototypů. Jde o nejtvrší materiál, který se v současnosti používá pro 3D tisk. Jeho nevýhodou je vysoký bod teploty tavení, až 270 °C, což prodlužuje dobu samotného tisku.

Jde o materiál, který má vynikající UV stabilitu, kterou lze ještě dále zvyšovat s pomocí UV stabilizátorů. Modely z PC je možné plnit skelnými vlákny, což umožňuje další zvyšování pevnosti materiálu.[25] [26]

5.1.4 TPE (termoplastický elastomer)

TPE je flexibilní plast (termoplastický elastomer), nazývaný také termoplastický kaučuk, který lze zpracovávat pomocí termoplastických technologií. Termoplastické elastomery (TPE) jsou směsi vyrobené z tvrdých termoplastických polymerů v kombinaci s měkkým gumovým materiálem a obsahujícím přísady, například olej nebo plnivo.

Materiál je vhodný pro tisk pružných součástí, jako jsou například těsnění, pružný obal na mobil. TPE se tiskne velmi snadno, podobně jako PLA materiál. Vhodným nastavením výšky vrstvy a množstvím výplně můžete velmi snadno měnit pružnost výtisku. Nejčastěji teplota nastavená na trysce tiskárny se pohybuje mezi 200°C - 240°C.

TPE je měkký a pružný materiál. Při 3D tisku lze tento materiál využít v případě, že výsledný produkt musí být pevný a pružný zároveň.[27] [28]

5.1.5 Nylon

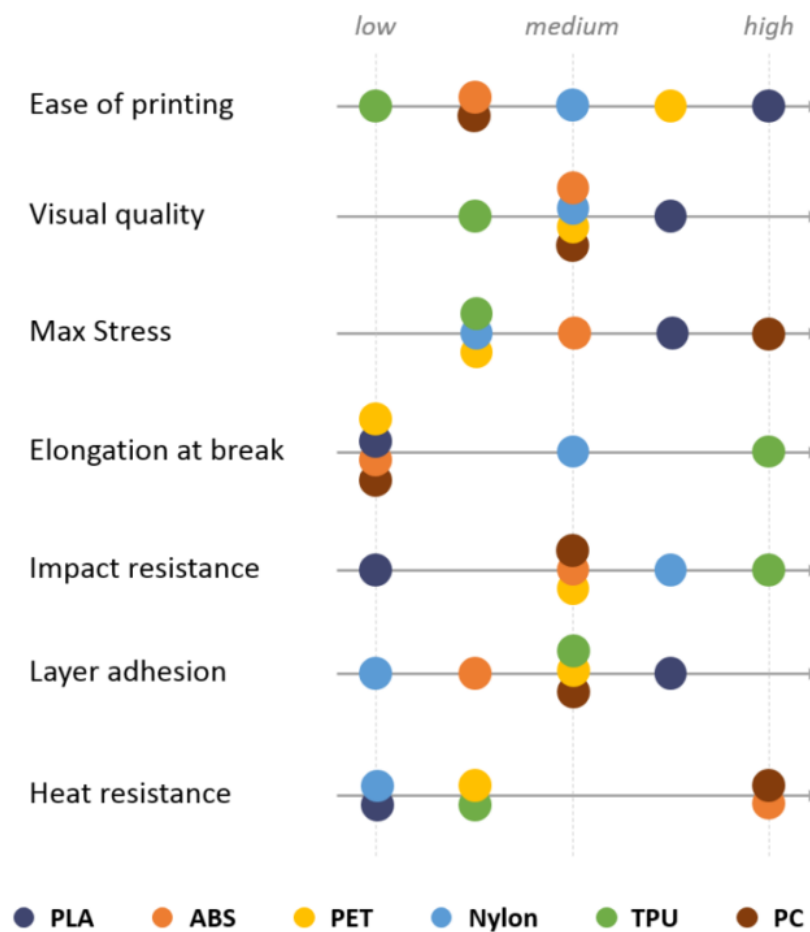
Nylon je neuvěřitelně silný, odolný a všestranný 3D tiskový materiál. Tento materiál je velice porézni a hodně nasákvavý. Je velmi citlivý na vlhkost, rychle absorbuje vodu ze

vzduchu. Pro dosažený úspěšný 3D tisk je vyžadováno bezprostředně před tiskem sušení vlákna. Jestliže není materiál dostatečně suchý, v průběhu tisku se vytvářejí v modelu vzduchové bubliny. Vytisknuté nylonové modely vynikají velkou pevností a tuhostí. Tisk je velice náročný a je může se navýšit i cena samotného tisku modelu.[29][30]

5.2 Porovnání materiálů

Výše uvedené materiály, PLA, ABS, PET, Nylon, TPU (flexibilní) a PC, které se používají pro 3D tisk je možné porovnat. Ne všechny vlastnosti lze podchytit. Je možné porovnat snadnost 3D tisku, kvalitu vzhledu, tepelnou odolnost, maximální velikost zatížení, soudržnost jednotlivých vrstev tisku, rázovou odolnost, mezní protažení.

Každý zařazený materiál je hodnocen z jednotlivých kritérií od 1 (= low) do 5 (= high) (Graf 6). Materiály jsou hodnoceny při tisku FDM metodou.



Graf 6 - Porovnání základních materiálů pro 3D tisk [31]

5.2.1 Charakteristika jednotlivých termoplastů

Výběr správného typu materiálu pro 3D tisk je stále složitější. Na trhu 3D tisku se stále vyvíjí zcela nové materiály. Mezi dva často používané materiály patří PLA a ABS. Ale nové produkty stávají stále populárnější. V této kapitole jsou porovnány materiály, které dnes existují na trhu: PLA, ABS, PET, Nylon, TPU (flexibilní) a PC.

Volba materiálu opravdu záleží na tom, co chce uživatel na 3D tiskárně tisknout. V následujících grafech jsou zobrazena hlavní kritéria, která napomohou tomu, jaký materiál pro 3D tisk zvolit. Tyto hlavní kritéria jsou:

Jednoduchost tisku: jak snadno se s materiálem tiskne: přilnavost k základní podložce, maximální rychlost tisku, počet chybných výtisků, snadnost vložení a výměna plastu v tiskárně.

Vizuální kvalita tisku: jak vypadá vytištěný 3D model.

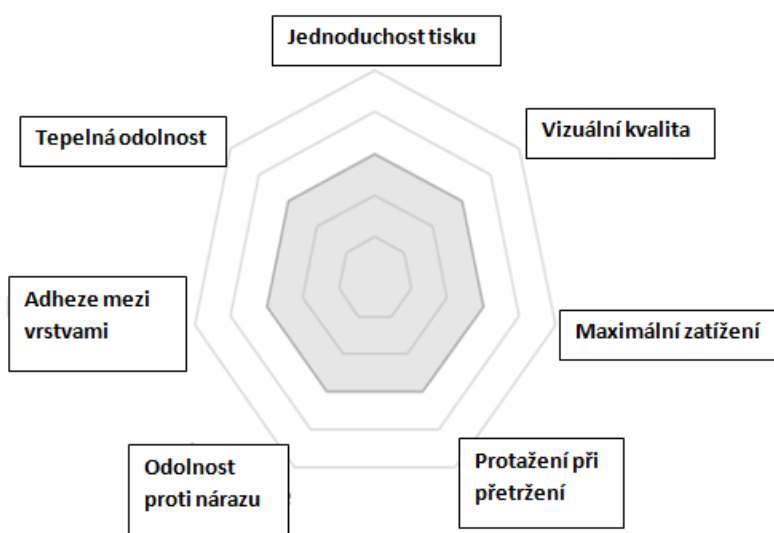
Maximální zatížení: maximální napětí v tahu, které může model podstoupit.

Protažení při přetržení: maximální délka protažení modelu při přetržení.

Odolnost proti nárazu: energie potřebná pro rozbití modelu s náhlým dopadem.

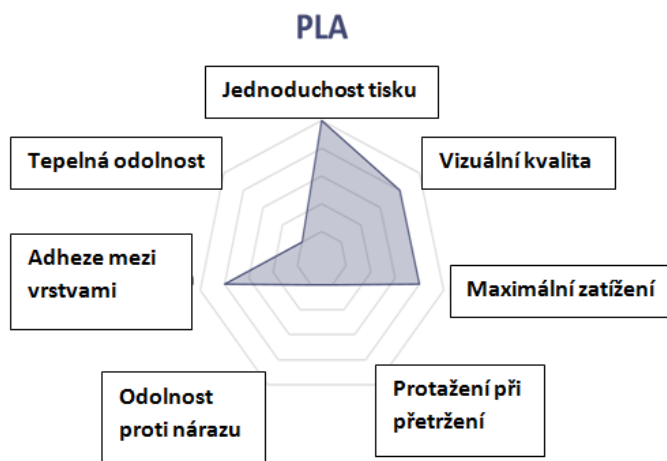
Adhezní mezi vrstvami (isotropy): jak velká je adheze mezi vrstvami materiálu.

Teplotná odolnost: maximální teplota, které model odolá před měknutím a deformací.



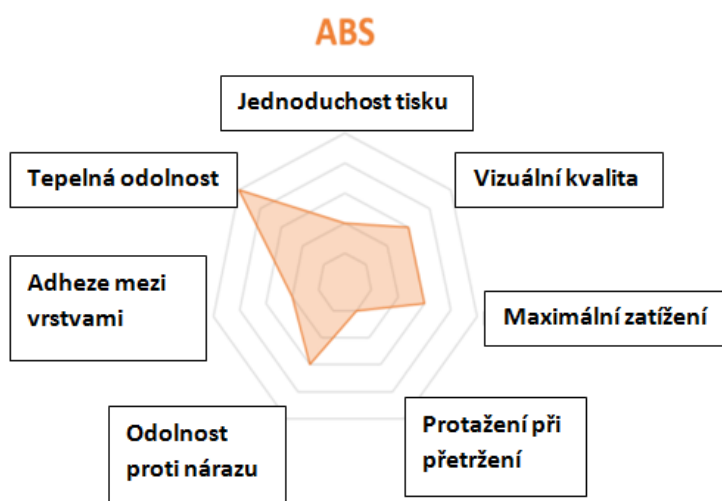
Graf 7 - Obecná kritéria pro volbu materiálu [31]

PLA je materiál velmi pevný a poměrně silný, ale křehký, biologicky odbouratelný, bez zápachu, je vhodný pro jednoduchý tisk, z materiálu jsou kvalitní a přesné výtisky, má dobrou odolnost vůči UV záření, nízkou odolnost proti vlhkosti. Tisk je velmi jednoduchý a rychlý. Model je možné opracovat po vytištění brusným papírem a snadno lepit.



Graf 8 - Kriteria PLA materiálu [31]

ABS má vyšší houževnatost, tepelnou odolnost, vysokou pevnost a trvanlivost. Při chlazení se zmenšuje objem modelu, má dobrou odolnost proti otěru, na UV záření je citlivý. Během tisku se vytvářejí vysoké emise zplodin, proto je tisk modelu složitější. Po vytištění modelu je možné použít páry s acetonem pro vytvoření lesklého povrchu, nebo využít brusný papír na vyhlazení modelu.



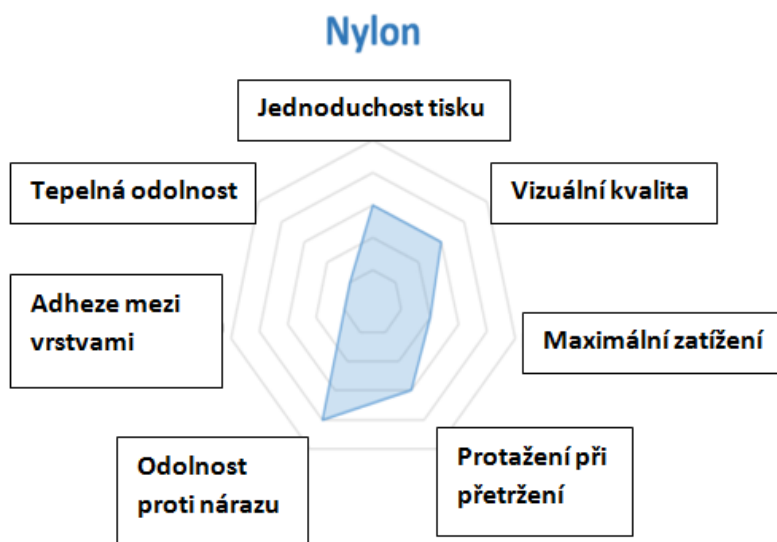
Graf 9 - Kriteria ABS materiálu [31]

PET je mírně měkčí polymer, má vysokou pevnost a pružnost, bezpečný pro potraviny, vysokou odolnost proti vlhkosti, je odolný vůči chemikáliím, recyklovatelný, dobře odolný proti otěru. Při chladnutí se málo smršťuje, může být zpracován brusným papírem, lze ho lepit.



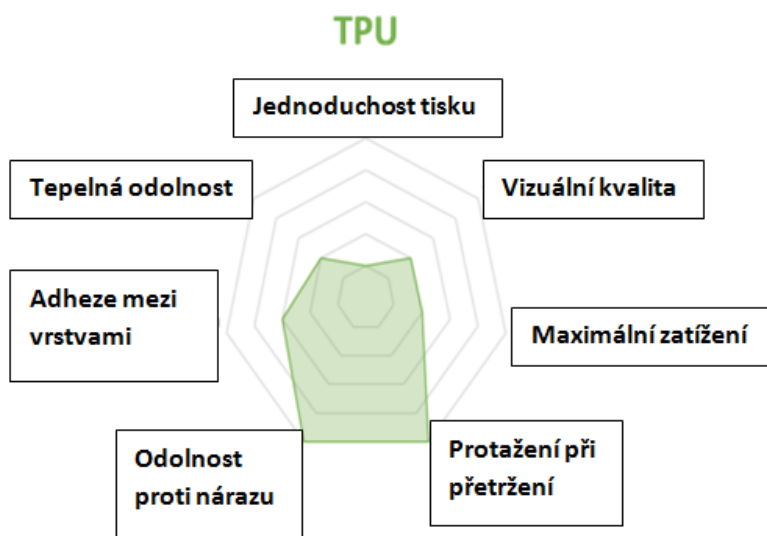
Graf 10 - Kritéria PET materiálu [31]

Nylon má velmi dobré mechanické vlastnosti, je měkký, má vyšší pružnost a nejlepší odolnost vůči nárazu, problémem může být přilnavost vrstev a nízká odolnost proti vlhkosti. Tisk modelu je velmi obtížný a pomalý.



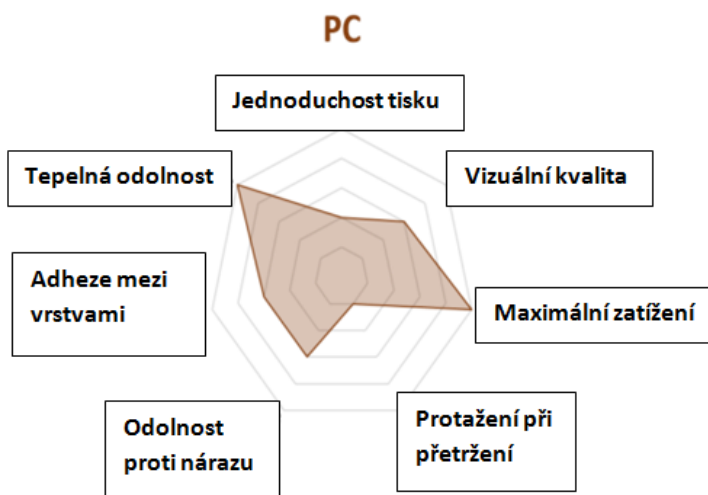
Graf 11 - Kritéria materiálu Nylon [31]

TPU je ohebný, flexibilní, pružný materiál, odolný proti oděru i proti nárazům, dobře odolný vůči olejům a tukům, špatně se lepí.



Graf 12 - Kritéria materiálu TPU [31]

PC je nejtvrdší materiál ze všech, je velmi tuhý, může být zajímavou alternativou k ABS materiálu, protože má podobné vlastnosti. Je snadno upravitelný broušením. Nevýhodou materiálu je citliví na UV, má delší doba měknutí, tisk s tímto materiálem je složitější a pomalý.



Graf 13 - Kritéria materiálu PC [31]

Výběr správného polymeru je rozhodující pro získání správné vlastnosti pro 3D tištěné modely, zejména v případě, že se jedná o funkční část. Můžeme najít ten správný materiál v závislosti na vlastnostech, které jsou zapotřebí pro tištěný model. Avšak podstatná jsou také informace, které poskytují dodavatelé jednotlivých materiálů.[31] [32] [33]

5.3 Materiál pro tvorbu podpor

Pro vytváření podpor lze použít stejný materiál, kterým je tištěn model. Pokud se používá 3D tiskárna, která má dvě tiskové hlavy, může se použít jiný, vhodný materiál tomu určený. Jedná se o vodou odplavitelný materiál, voda je nejlepší rozpouštědlo kolem. Tento materiál zajistí, že podpora je vždy dokonale odstranitelná bez poškození modelu.

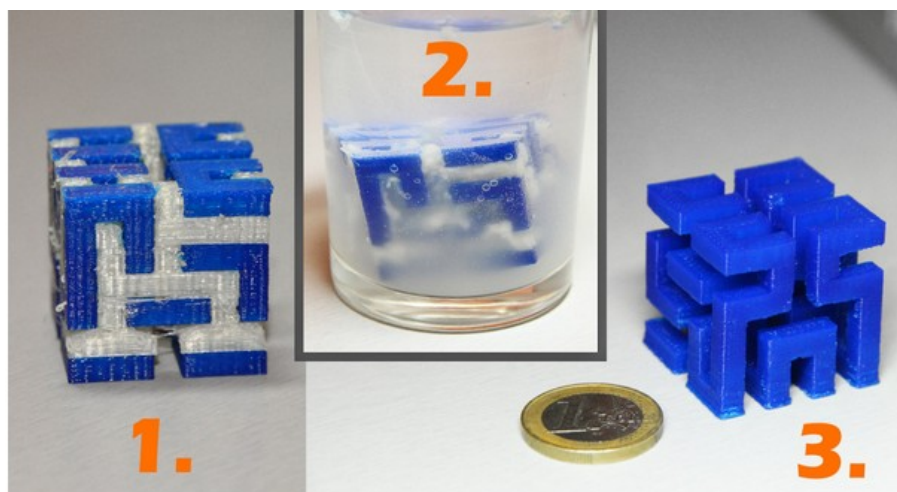
Můžeme mluvit o čtyřech úžasných nových podpůrných materiálech. Tyto podpůrné materiály byly vytvořeny jako alternativy k PVA a skutečně otevírají možnosti pro další 3D tištěné materiály.

5.3.1 PVA (polyvinylacetát)

Jde o nový tiskový materiál, který má vysokou pevnost tvaru a kterému můžeme využít v dvou-hlavové 3D tiskárně. Jedna tisková hlava vytiskne 3D model z PLA a druhá tiskne podpůrných konstrukcí. PVA umožňuje tisknout velmi obtížné objekty, které by nebylo možné tisknout bez podpor. PVA materiál je vyroben z polymeru, ideální pro tvoření podpůrných opěr, které je možné následně rozpustit ve vodě. PVA je bez zápachu a netoxický a odolný i vůči olejům, tukům a rozpouštědlům.

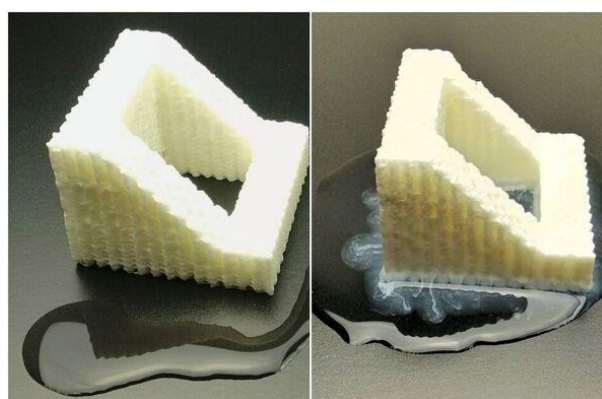
PVA (polyvinylacetát) je součástí široce používaného typu lepidla, stejně jako lepicích tyčinek nebo lepidlo na dřevo. Je to netoxický, nejedovatý a biologicky odbouratelný, rozpustný ve vodě materiál. Budeme-li chtít urychlit čas rozpouštění, můžeme k tomu použít teplou vodu. Má velmi dobrou přilnavost k PLA materiálu, což umožňuje přesný tisk modelů.

Je velmi důležité, aby PVA materiál byl uskladňován v uzavíratelném skladovacím sáčku. PVA absorbuje velké množství vody, což má za následek sníženou kvalitu materiálu. Během tisku se PVA materiál se nesmí přehřívat, jinak materiál degraduje, a může to pak vést k vytváření hrudek, které mohou ucpat trysku.



Obr. č. 6 - Použití PVA materiálu při tisku podpěr a jejich odstranění [34]

Výrobce doporučuje nastavit teplotu trysky pro tisk na ~ 230 °C. Ve chvíli, kdy se materiál nepoužívá pro tisk podpěr má být zachovaná udržovací teplota pro tiskovou hlavu 170 °C. Pro dobrou přilnavost k základové desce je doporučeno její vyhřátí na 50 - 60 °C. Materiál je také velmi teplotně stabilní a snadno rozpouští ve vodě.[34] [35] [36] [37]

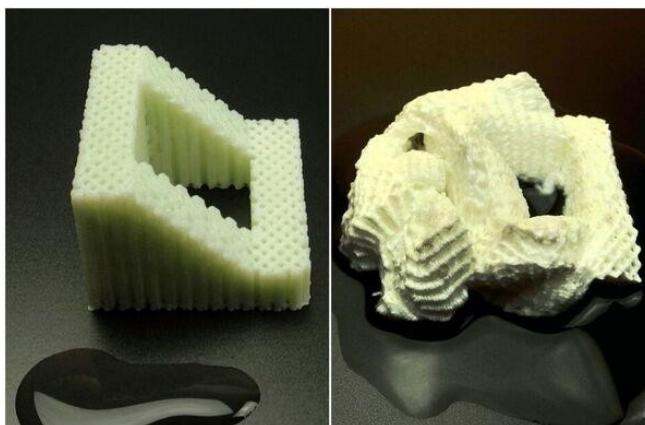


Obr. č. 7 - Kapalina působící na PVA materiál [35]

5.3.2 LAY-CLOUD

LAY-CLOUD je jedním z prvních podpurných vláken. Je to materiál, který se tiskne při zhruba ~ 240 °C a má nejlepší polyuretanovou přilnavost. Rozpouští se ve vodě, proto je velmi snadno odstranitelný. Stačí ponořit vytištěný model do vody a LAY-CLOUD odpadne v zataženém zbytku.

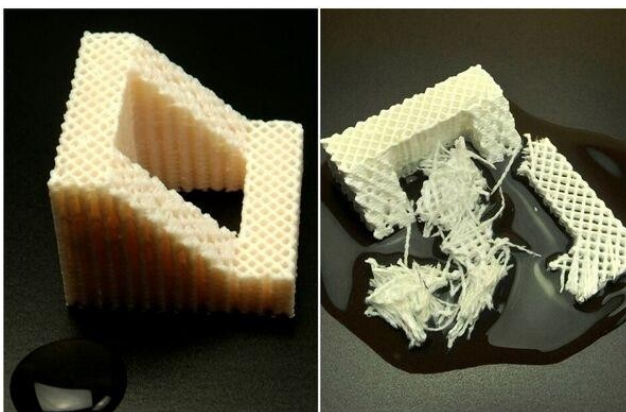
Je speciálně navržen pro použití s pružnými vlákny, jako NinjaFlex a TPU.[35]



Obr. č. 8 - Kapalina působící na LAY-CLOUD materiál [35]

5.3.3 HIGH-T-LAY

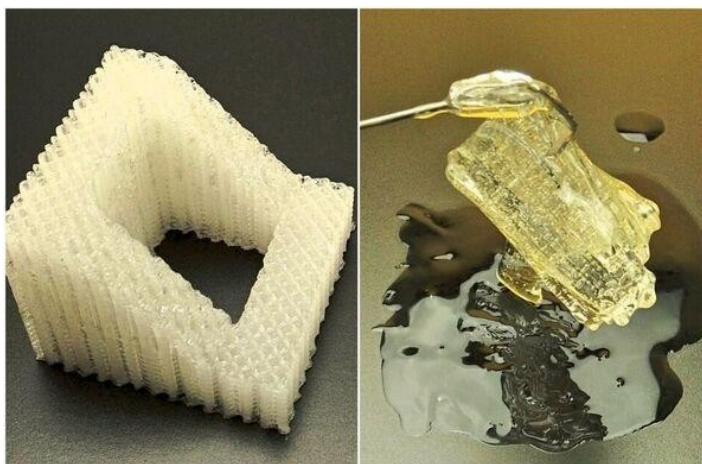
Je vlákno, které je náhradou za HIPS a páchnoucí limonen. Tiskne kolem 240 °C a dokonale přilne na ABS, POM, PC, PLA a dalších běžných materiálech. HIGH-T-LAY se rozpouští ve vodě rychle a zbytek může být odstraněn pomocí štětce.[35]



Obr. č. 9 - Kapalina působící na HIGH-T-LAY materiál [35]

5.3.4 Ethyl-LAY

Jde o čtvrtý materiál, který se liší od všech předchozích jedním důležitým rozdílem: rozpouští se v alkoholu (lihu). To je výhodné pro tištěné předměty, které nesmí přijít do styku s vodou. Je ideální pro projekty, které se týkají citlivých bio tisků. Teplota při tisku je doporučena na 165°C. Stejně jako u dalších tří rozpustných vláken, je to ideální volba pro ty neobvyklé projekty, které vyžadují velmi specifické vlastnosti 3D tisku.[35]



Obr. č. 10 - Kapalina působící na ETHY-LAY materiál [35]

5.3.5 HydroFill

HydroFill je rozpustný ve vodě, vysoce efektivní omyvatelný nosný materiál, silně se váže s ABS a PLA plasty. Pro tisk tohoto materiálu se používá zahřátí na stejnou teplotu jako hlavní tiskový materiál (190 až 240° C). Po opláchnutí vodou se rozpustí do hodiny. Na rozpuštění nejsou zapotřebí žádná rozpouštědla či žíravé produkty.[35]

6 Praktický tisk na 3D tiskárnách pomocí FDM technologie

6.1 Tištěná sestava prototypu

Na 3D tiskárně je možné tisknout jednotlivé díly, které se po dokončovací úpravě mohou smontovat dohromady a vytvořit tak 3D sestavu.

Podnětem pro tvorbu 3D modelu byly modely na portálu Thingivers, kde modeláři sdílejí své modely pro 3D tisk. Tištěný model stojánku na příruční vrtačku je prototypem.

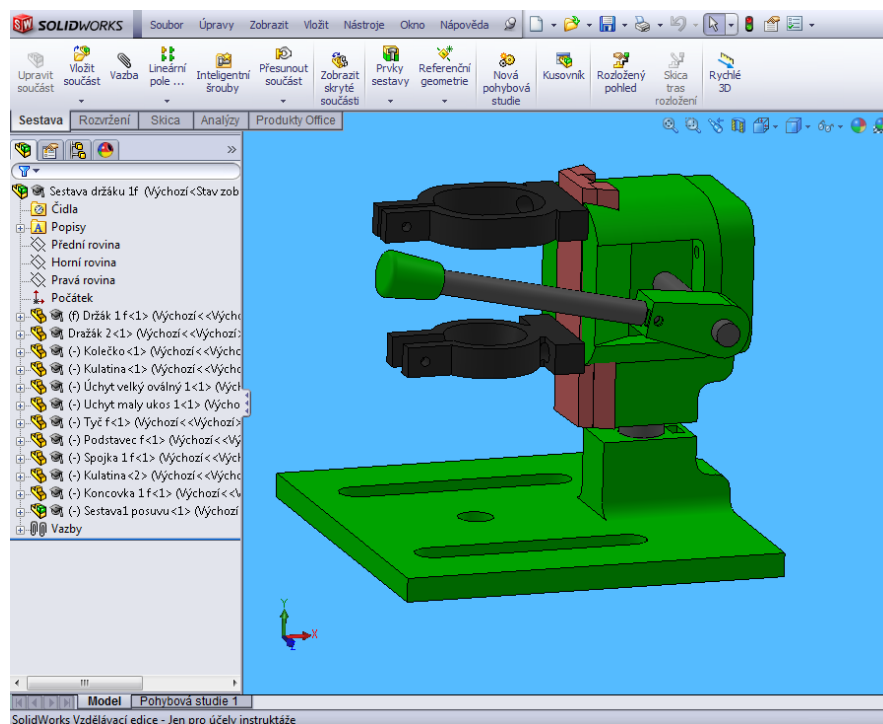
6.2 Popis prototypové sestavy určené k tisku

Prototyp stojánku je vytvořen pro ruční minivrtačku, která slouží pro vyvrtání malých průměru děr na plošných spojích. Byl navržen tak, aby mohl být vyroben na konvenčních a CNC obráběcích strojích. Všechny díly byly tištěny na jedné 3D tiskárně Cube3, vyrobeny z materiálu PLA. Protože jsou jednotlivé díly různě tvarované, bylo použito stejného materiálu i na pomocné podpěry.

Sestava byla navržena z dílů Držáku 1, Držáku 2, Kolečka, Posuvu s Lištami pravou a levou, Spojky a Koncovky, Malého a Velkého úchytu na vrtačku a Podstavce. Jednotlivé díly byly navrženy v programu SolidWorks 2012, jsou vyobrazeny v přílohách B až L. Jednotlivé díly jsou okótovány pouze základními kótami: délka, šířka a výška. Pro spojení dílů Podstavec a Držák 1 a dílů Kolečko, Držák 2 a Spojka byla použita kulatina. Aby sestava Stojanu držela celá dohromady a byla funkční, byly použity šrouby s válcovou hlavou a maticky.

7 Výroba modelu součástí

Pro tisk jednotlivých dílů bylo zapotřebí vytvořit odpovídající 3D modely s využitím dostupného softwarového programu. SolidWorks je jedním z konstrukčních programů pro tvorbu modelů a technické dokumentace.



Obr. č. 11 - SolidWorks 2012, sestava modelu stojánek

Pro tuto diplomovou práci byla vytvořena sestava stojánek v programu SolidWorks 2012 (Obr. č. 11). Postupně byly vytvořeny jednotlivé díly, ze kterých byl vytvořen model sestavy stojánek.

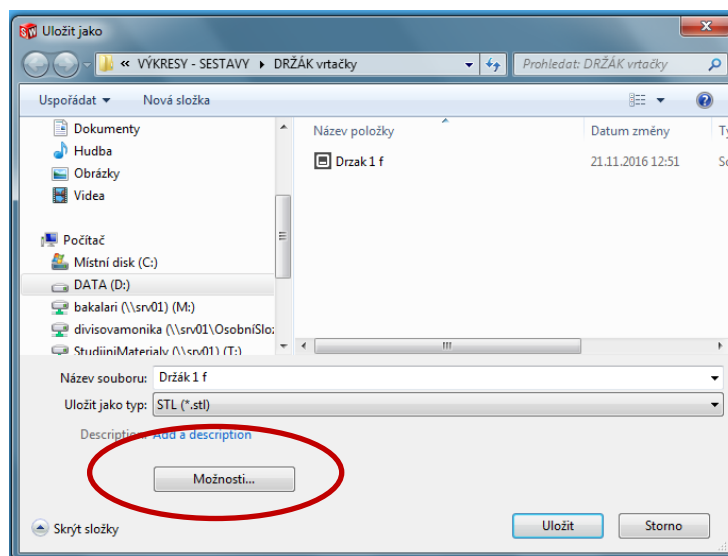
Abychom vytvořili jednotlivé modely součástí, nejprve je u každého dílu vytvořena skica a posléze je pomocí prvků vytvořen samotný 3D model. Ten je uložen jako SLDPRT formát.

7.1 Převod modelu do STL formátu

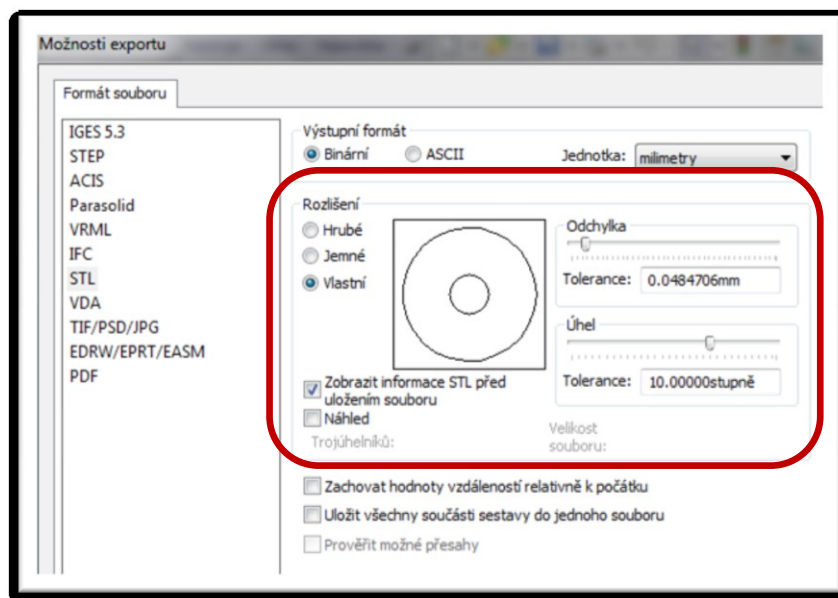
Jakmile jsou hotové jednotlivé 3D modely v programu SolidWorks a jsou uloženy pod konkrétním názvem. Pak následuje vygenerování modelu a uložení do STL formátu souboru. Lze tak učinit pomocí příkazu ULOŽIT JAKO.

U programu verze 2012 je nabídka MOŽNOSTI (Obr. č. 12), kde lze nastavit ROZLIŠENÍ (Obr. č. 13) – hrubé, jemné a vlastní. Vlastní volba vám umožňuje nadefinovat rozlišení podle potřeby. Nastavení ODCHYLKY a ÚHLU ovlivňuje přesnost mozaiky modelu. Nižší hodnoty generují soubor s vyšší přesností malých detailů.

Můžeme tak nastavit možnosti před uložením souboru do STL formátu, připravit tak soubor na 3D tisk a nastavit přesnost STL modelu. Modely byly uloženy pod stejným názvem do souboru s příponou STL.

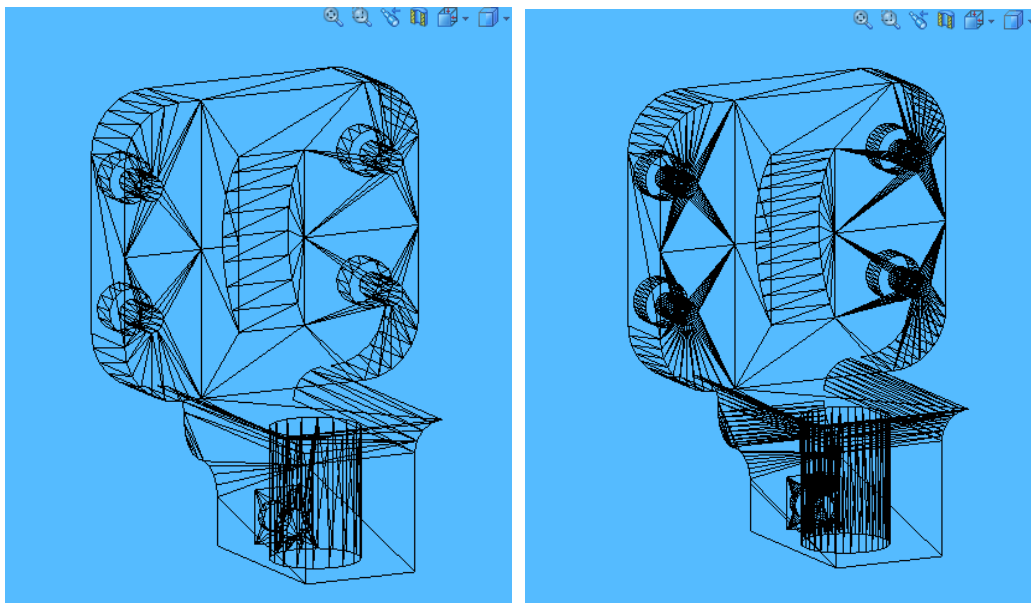


Obr. č. 12 - SolidWorks 2012, Uložit jako STL formát



Obr. č. 13 - SolidWorks 2012, Možnosti exportu

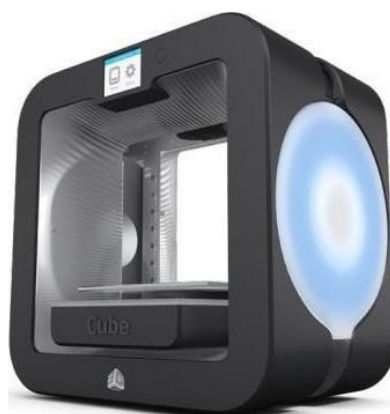
Po dokončení výpočtu SolidWorks informuje o počtu trojúhelníků a velikosti souboru.
Po kontrole pokračujte tlačítkem *Ano*.



Obr. č. 14 - SolidWorks 2012, Možnosti exportu - hrubé a jemné rozlišení

8 Popis tiskárny Cube3 pro 3D tisk

3D tiskárna Cube3 nabízí plně uzavřené provedení, je prakticky jediným zařízením, které nabízí dvě trysky. S dvojbarevným tiskem, možností volby z 23 tiskových barev recyklovatelného plastu ABS a biologicky rozložitelného PLA materiálu. Dají se snadno vyměňovat a kombinovat mezi sebou. Materiál je v uzavřené cartridge chráněn před dopady stárnutí způsobené přirozeným prostředím. Můžeme tisknout dvěma barvami stejného nebo i různého materiálu. Když budeme požadovat na tištění složitějšího modelu materiál ABS, pomocí druhé trysky, kde bude materiál PLA, můžeme vytvořit podpěry, které odstraníme pomocí hydroxidu sodného. Samotný model můžeme podle potřeby na počítači zmenšit, zvětšit, pootočit. Model můžeme tisknout s rozlišením vrstev 0,075 a 0,2 mm. Následně už stačí jen bezdrátově odeslat zvolený model přímo ke své Cube3 tiskárně k přímému tisku a sledovat, jak se tiskne.



Obr. č. 15 - Cube3 [40]

Velikost tiskové plochy pro zvolený model je 152,5 x 152,5 x 152,5 mm. Na tiskárně je umístěn barevný dotykový displej, který nabízí nastavení a konfiguraci tiskárny, její snadné ovládání a kontrolu probíhajícího samotného tisku. Tiskárna spolupracuje jak s počítačem, který má OS Windows, tak i s aplikací Cubify pro OS a Android. Bezdrátové připojení, přednastavení trysky a automatické vyrovnání tiskové podložky se dává provést bez námahy a s 3D tiskem zkušenosti pokaždé. Při použití uvedené tiskárny je možné ušetřit čas rychlým nastavením prostřednictvím barevného dotykového displeje. Pro samotný přenos dat z počítače do tiskárny lze využít bezdrátový tisk, který je dvakrát rychlejší než u jiných 3D tiskáren. Tisk na zmíněné tiskárně je plně automatický.



Obr. č. 16 - Zakládání cartridge do tiskárny [16]

Okamžité zakládání nového materiálu je nyní mnohem snadnější. 3D tiskárna v závislosti na založené kazetě dokáže automaticky rozpoznat, jaký je vložen materiál, jakou má barvu. Načte veškeré charakteristické údaje materiálu a interně provede veškerá nastavení. Odpadá tak nové nastavování tiskárny. Předem nastavené tiskové trysky a automatické vyrovnávání polohy tiskové desky zajišťují okamžitou kvalitu tisku. Následně stačí nastavit vlastnosti tisku a můžeme tisknout.[38] [39] [40]

8.1 Materiál pro tisk

Pro tisk jednotlivých modelů byl použit materiál PLA, různých barev. Pro tiskárnu Cube3 se používá uzavřený systém tiskového materiálu v cartridge (Obr. č. 17), která obsahuje 0,5 kg materiálu. Materiál je v uzavřeném systému chráněn před dopady stárnutí, které může způsobovat přirozené prostředí.



Obr. č. 17 - Tisková kazeta s ABS a s PLA strunou [44]

Po vložení cartridge do tiskárny (Obr. č. 16) si tiskárna Cube3 načte všechny charakteristické údaje materiálu a sama provede veškerá nastavení. Obsluha tiskárny je automaticky upozorněna na chyby, které mohou způsobit potíže při tisku.[41]

8.2 Pomůcky k tisku

Všechny pomůcky jsou dodávány společně s 3D tiskárnou nebo je lze dokoupit. Pro lepší přilnavost tištěného modelu k tiskové ploše je používáno speciální 3D lepidlo - 3D Glue, které zabrání deformaci tištěného modelu během tisku. Tenkou vrstvou lepidla je rozetřena v místě tisku 3D modelu, které jsme si zvolili na tiskové ploše.

Po ukončení tisku samotný 3D model odstraníme z tiskové plochy pomocí modelářského zalamovacího nože nebo špachtle. Lepidlo, které nám zůstane zaschnuté na základní desce, odstraníme pomocí teplé vody.



Obr. č. 18 - 3D lepidlo - Cube Gen3 [39]

8.3 Příprava tisku

Postup přípravy modelu pro 3D tisk je snadný. Model vytvořený v programu SolidWorks uložíme do formátu STL a ten poté uložit do databáze tištěných modelů v programu Cube Print, který je součástí dodávky s 3D tiskárnou Cube.

Než se začne tisknout 3D model, je zapotřebí před zahájením tisku provést několik následujících úkonů. Po zapnutí tiskárny můžeme provést korekci polohy tiskových hlav vůči tiskové ploše. Příkaz k tomuto kroku zadáváme na dotykovém displeji tiskárny.

Dále pak musíme zkontrolovat, zda je plocha pro tisk čistá a nejsou na ní pozůstatky předešlého tisku. Lepidlo z předchozího tisku odstraníme opláchnutím desky tekoucí, vlažnou vodou. Základní deska jde snadno vyndat a z tiskárny a zandat na své místo v tiskárně, protože je upevněna na třech magnetech.

Pro tisk je použita barevná struna z materiálu PLA, o průměru 1,75 mm. Vlákno pro Cube3 je umístěno v uzavřených kazetách, které detekují typ a množství materiálu v kazetě, která vyzve tiskárnu, aby odpovídajícím způsobem upravila nastavení tisku. Po všech kontrolách je možné přistoupit k nastavení programu pro 3D tisk.

Na rozdíl od jiných 3D tiskáren Cube3 pracuje s vlastním softwarový program. Program Cube Print je uživatelsky snadný a nenáročný software. Uživatel rychle ovládne nastavení programu a připraví model pro tisk. I tento program umožňuje sledovat průběh tisku jednotlivých vrstev během tisku.

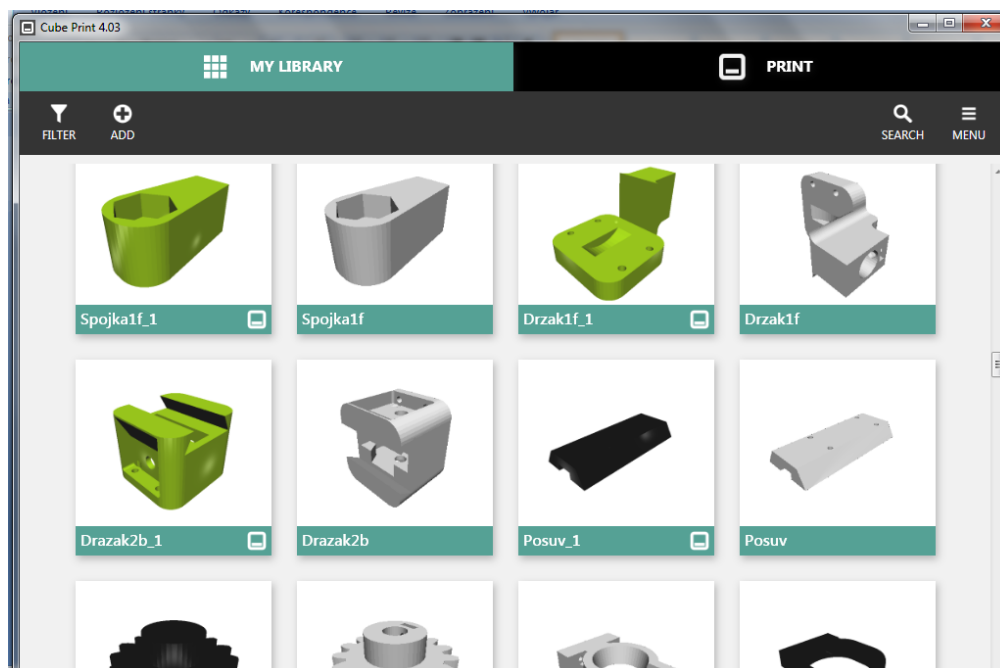
Tloušťku vrstvy lze nastavit v programu před příkazem tisku na 0,07 mm pro nejjemnější, nebo na 0,2 mm pro nejrychlejší, ale hrubý tisk. Žádné jiné možnosti nastavení v programu nejsou.

Pro úsporu materiálu a odlehčení modelu je možné si zvolit stupeň výplně modelu od 0 do 100 %. Tato volba také ovlivňuje délku tisku i množství použitého materiálu pro tisk.[42]

8.4 Program Cube Print

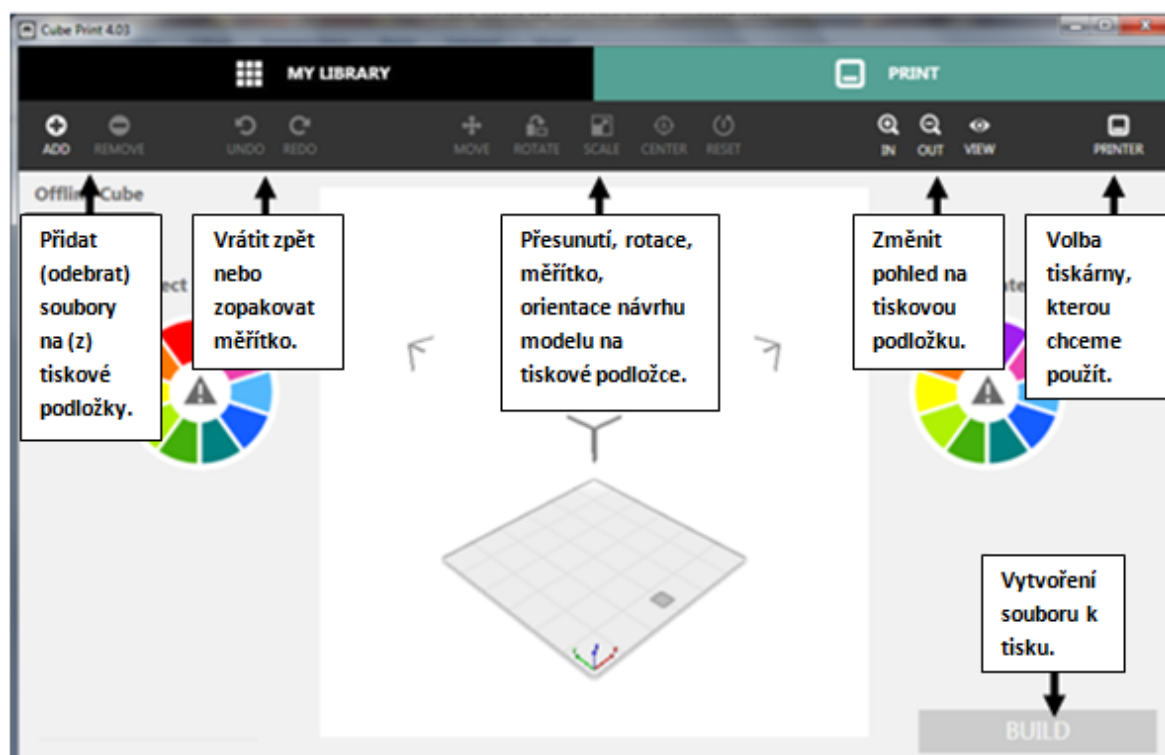
Software Cube Print dodaný s tiskárnou je snadno použitelný program. Jedná se o program, který se dělí na dvě části. Část obsahuje knihovnu modelů uložených v STL formátu připravených na tisk a druhou část pro samotnou přípravu tisku modelu a jeho poslání do tiskárny přes wi-fi připojení.

Po spuštění programu se otevře úvodní okno (Obr. č. 19), ve kterém nalezneme uložené 3D modely připravené na tisk. Po vybrání a potvrzení zvoleného modelu přejdeme v programu do oblasti přípravy tisku (Obr. č. 20). Na základní liště jsou ikony pro vložení či odebrání modelu, který chceme tisknout. Další ikony umožňují krok zpět či zopakovat předchozí krok. Další ikony nám umožňují změnit pohled na model, který je umístěný na tiskové ploše. Lištu pak uzavírá ikona pro volbu tiskárny, kterou můžeme použít.

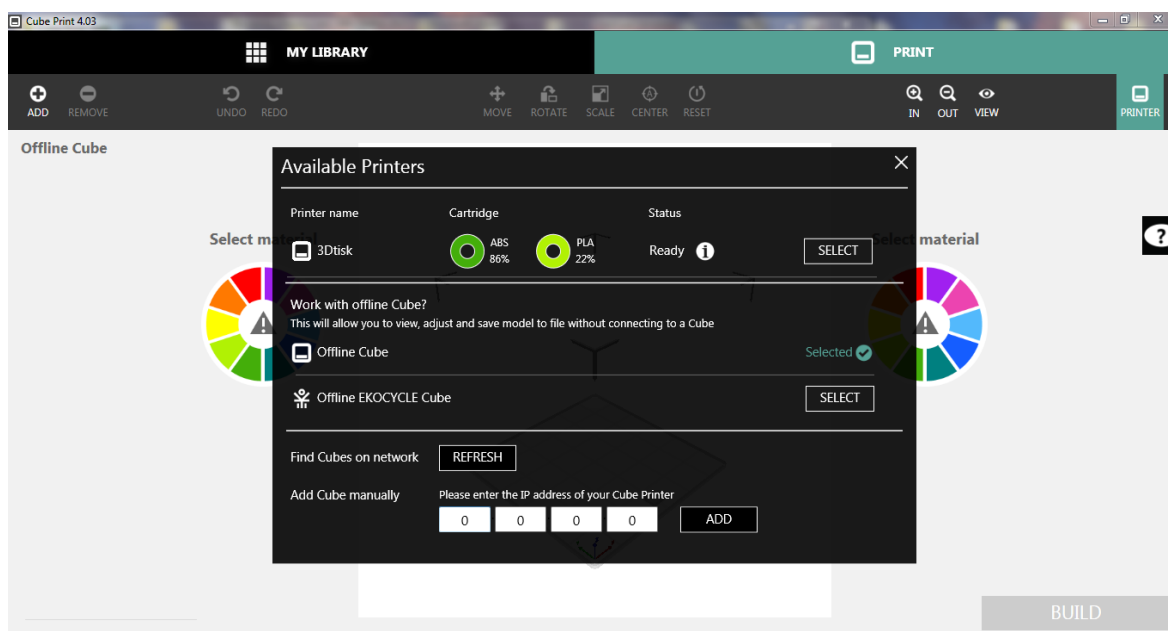


Obr. č. 19 - Úvodní okno programu Cube Print – knihovna modelů

Program umožňuje vložit jeden i více modelů najednou, otáčet je a přesouvat je po tiskové ploše. Také umožňuje změnit velikost modelu a pak hned vidět na ploše programu jeho skutečnou velikost pro vytisknutí. Dále program umožňuje na záložce pro tisk zvolit nastavení materiálu, výšky nanášené vrstvy, nastavení hustoty výplně modelu a naplnění vzorku modelu. K tomu nám slouží panely pro nastavení tiskového souboru (Obr. č. 20).



Obr. č. 20 - Úvodní okno programu Cube Print – tisk



Obr. č. 21 - Připojení tiskárny k počítači

Po provedení volby nastavení dochází po potvrzení k přenesení tiskového souboru do tiskárny.

8.5 Tisk 3D modelu

Poté, co software Cube Print převede návrh modelu do formátu .cube3, lze model poslat bezdrátově přes wi-fi počítače přenést do tiskárny k samotnému tisku. Tisk zvoleného modelu je na tiskárně zahájen potvrzením tisku na dotykovém displeji tiskárny (Obr. č. 22).

Po spuštění tisku se v programu Cube Print dojde k připojení k tiskárně a k přijetí souboru pro tisk modelu. Samotné ovládání tisku probíhá pouze na tiskárně a tiskárna nepotřebuje připojení k počítači, má svůj vlastní software. Po kliknutí na ikonu PRINT (Obr. č. 22) se objeví vybídnutí k nanesení pomocného lepidla. Jakmile dojde k provedení, opět potvrdíme tento krok na dotykovém displeji a dochází k přehřevu trysky. Následuje samotný tisk modelu.

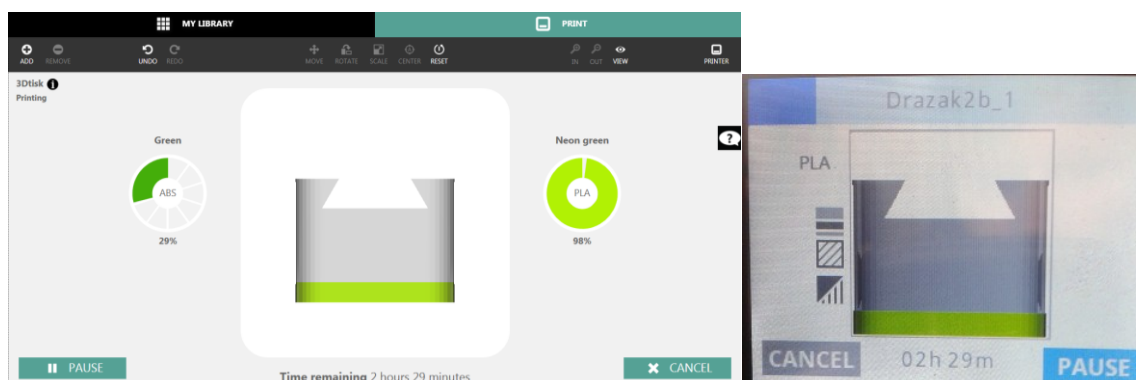
Na dotykovém displeji tiskárny se zobrazí boční pohled na zjednodušený tvar modelu a jeho tištění po vrstvách. Na dotykovém displeji se zobrazí název souboru, používaný materiál pro model, navolená výplň a přibližný čas pro tisk (Obr. č. 23). Pokud je stále aktivní připojení počítače, tisk se zobrazí také na displeji počítače, ze kterého se přenášel

soubor modelu. Během probíhajícího tisku se na displejích ukáže orientační čas do ukončení tisku a procentuální vyjádření již vytištěného modelu.



Obr. č. 22 - Dotykový displej na tiskárně – tisk, výběr systému [43]

Tisková hlava najíždí na místo, kde začíná tisknout model vytvářením základny modelu na tiskové podložce. Po vytištění tenké základny následuje tisk bočních stran a zvolené výplně modelu vrstvu po vrstvě až do dokončení celého modelu. Pokud jsou v modelu vytvořeny průchozí díry, můžou se použít tiskové podpory pro lepší tisk tvaru.

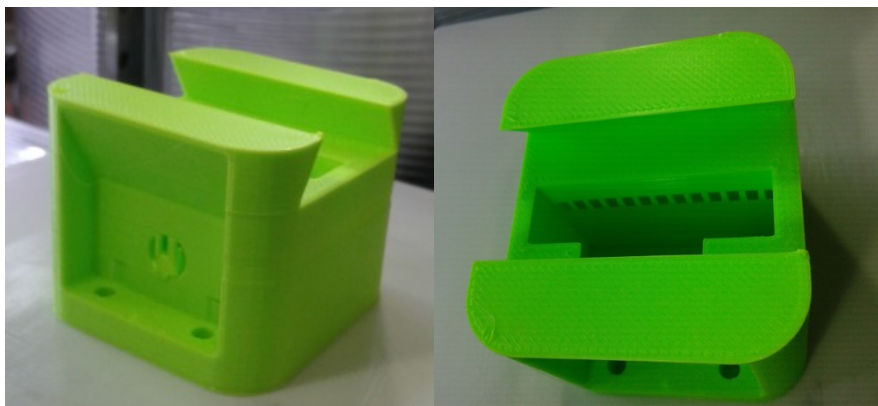


Obr. č. 23 - Průběhu 3D tisku Držáku 2 v programu a na dotykovém displeji na 3D tiskárně

Pro tisk všech dílů stojanu bylo použito standardní postavení a tiskové prostředí. V omezené volbě, zvolena tisková vrstva 0,2 mm, silná hustota výplně, se vzorem diamantové výplně (Obr. č. 26), nelze navolit teplotu tiskové hlavy, která je nastavena automaticky. Během 3D tisku se nemusíme o nic starat, protože 3D tiskárna celý proces tisku provede automaticky podle nastavení k tisku. Tiskárna nemusí být po dobu tisku

připojena k počítači, ale i tak můžeme na počítači sledovat, jak se model vrstvu po vrstvě tiskne (Obr. č. 23). Také se ukazuje přibližná délka probíhajícího tisku.

V okamžiku vytištění poslední vrstvy modelu, tisková hlava odjíždí od vytištěného 3D modelu do bezpečné vzdálenosti a probíhá proces ochlazování trysek. Pak je možné dokončený model sundat od základní podložky a pomocí tekoucí vody z něho odstranit zbytky lepidla.[43]



Obr. č. 24 - Vytištěný model Držáku na tiskárně Cube3

9 Technicko – ekonomické zhodnocení

Pro technicko-ekonomické zhodnocení jsem si vybrala tisk na 3D tiskárně Cube3. Tato práce se nejdříve zaměří na porovnání obou tiskáren po technické i ekonomické stránce, tedy hlavně na pořizovací cenu a cenu následného provozu.

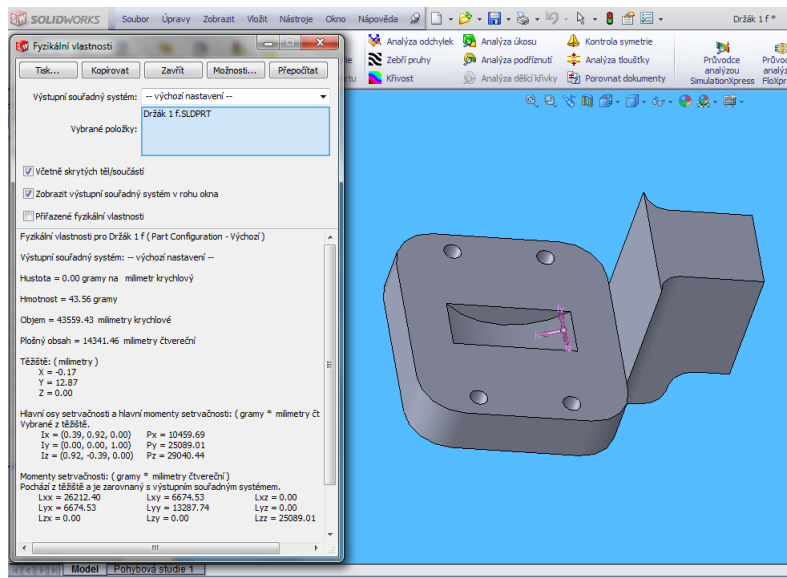
Technicko-ekonomické zhodnocení je založeno na osobně získaných údajích.

9.1 Parametry tiskárny 3D tiskárny Cube3

Velikost tiskové plochy:	152,5 mm x 152,5 mm x 152,5 mm
Rozlišení tisku vrstvy:	70 mikronů (0,07 mm), 200 mikronů v rychlém režimu (0,2 mm)
Možnosti připojení:	Wi-fi, Windows, iOS, Android Drátově: USB kabelem, USB flash disc (v balení)
Počet trysek:	2
Průměr trysky	1,75 mm
Tiskový materiál:	ABS, PLA
Rozlišení tisku:	0,1 mm
Hmotnost:	7,7 kg
Vnější rozměry:	335 (š) x 338 (h) x 280 (v) mm
Dotykový displej:	ANO
Auto kalibrace:	ANO
Vnitřní osvětlení:	ANO
Vyhřívaná podložka:	NE
Používaná technologie	FDM [43]
Cena:	35 030 Kč [41]
Cena materiálu PLA (0,5 kg)	1110 - 1603 Kč
Cena materiálu ABS (0,5 kg)	1124 - 1603 Kč [44]

9.2 Náklady na výrobu FDM sestavy

V této kapitole budou zhodnoceny náklady na výrobu prototypu sestavy stojanu na konkrétní typ příruční vrtačku technologií FDM. Pro výpočty a porovnání ceny byly použity všechny díly sestavy. Pro výpočty bylo využito softwaru pro výrobu 3D modelu, kde je možné zjistit fyzikální vlastnosti modelu (Obr. č. 25). Do nákladů na tisk byly zahrnuty ceny materiálu, vycházející z množství spotřebovaného materiálu a výrobní čas jednotlivých dílů.



Obr. č. 25 - Fyzikální vlastnosti modelu držáku

Náklady na tisk byly vypočítány pomocí následujících vzorečků:

$$C_M = PLA * M \quad (9.1)$$

PLA – cena PLA plastu [Kč]

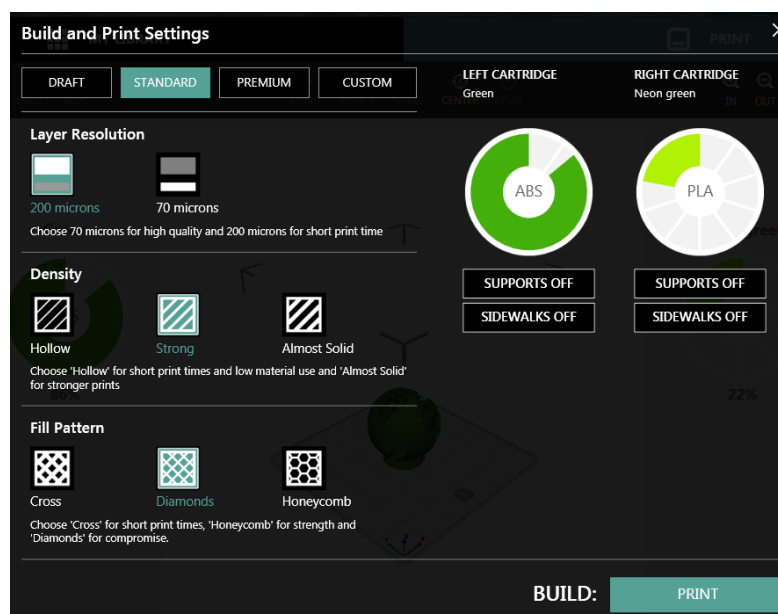
M – hmotnost modelu [g]

9.2.1 Výpočet ceny výroby dílů na 3D tiskárně CUBE3

Modely uložené do formátu .stl a otevřené v programu pro tisk byly tištěny na Cube3 tiskárně pomocí standardního nastavení (Obr. č. 26). U většiny modelů byly použity podpory pro zachování lepšího tvaru děr, různých osazení, drážek.

Abychom u tisku pomocí tiskárny Cube3 mohli zjistit množství použité tiskové struny na jednotlivé modely, můžeme využít program pro ovládání tiskárny Cube3. Je možné

z něho vysledovat procentuální vyjádření úbytku materiálu z použité tiskové cartridge. Protože jde o méně přesnou metodu, pro výpočet bylo použito převážení vytištěných modelů dílů a zjištění tak jejich hmotnosti. Méně přesná je, že kontrolujeme procentuální úbytek materiálu během tisku jednotlivých modelů, který je zobrazován v programu. Druhou, přesnější možností je zjištění hmotnosti vytištěného modelu. Tuto metodu jsem využila pro stanovení ceny materiálu u jednotlivých modelů.



Obr. č. 26 - Panel pro vytvoření a nastavení tiskového souboru

Objemová hustota PLA materiálu: 1.25 g/cm^3 (1250 kg/m^3) [45]

Materiál PLA silný 1.75 mm: : ~ 166 metrů délka materiálu v cartridge

Prodejní cena 500 g PLA: 1561Kč [44]

Délka materiálu: 1m = 3g

Cena materiálu PLA pro 3D tisk: $9,40 \text{ Kč/cm}^3$

Cena hodinové sazby pro obsluhu 3D tisku: 180 Kč/hod.

Držák 1

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 38 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 2 hod 32 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 38 = 357 \text{ Kč}$

Držák 2

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 42 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 3 hod 32 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 42 = 395$ Kč

Kolečko

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 10 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 1 hod 16 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 10 = 94$ Kč

Posuv - vnitřní díl

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 8 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 49 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 8 = 75$ Kč

Posuv – hrany pravá, levá

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 6 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 36 min

Cena PLA materiálu modelu: $(9,40 * 20) * 2 = 112$ Kč

Úchyt malý

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 10 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 1 hod 5 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 10 = 94$ Kč

Úchyt velký

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 10 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 1 hod 23 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 10 = 94$ Kč

Podstavec

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 90 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 4 hod 30 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 90 = 846$ Kč

Spojka

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 4 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 0 hod 36 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 4 = 37$ Kč

Koncovka

Nastavení tisku: standard

Hmotnost modelu: 3 g

Přibližný čas 3D tisku modelu: 0 hod 26 min

Cena PLA materiálu modelu: $9,40 * 3 = 28$ Kč

Sestava stojanu

Celková hmotnost sestavy: 227 g

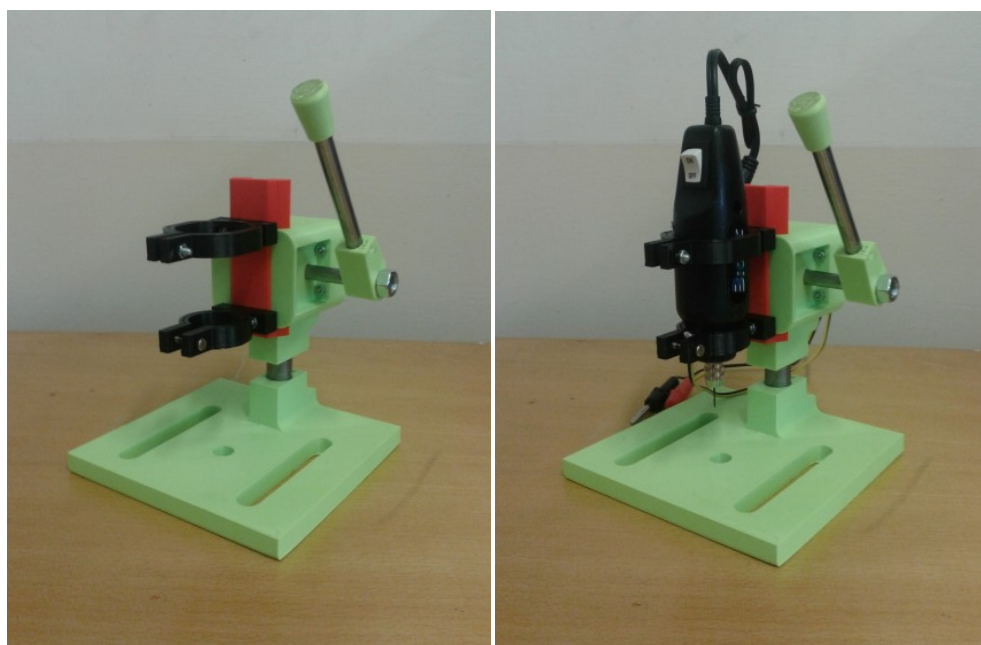
Celkový čas tisku sestavy: 16 hod 45 min

Celková cena použitého materiálu: 2 132 Kč

Na tiskárně Cube3 je cena sestavy z PLA materiálu 2 132 Kč/ks.

Je však zapotřebí vzít do úvahy, že do výpočtu nebyly zahrnuty všechny aspekty, jako je cena provozu tiskárny, cena za 3D konstrukci modelu, cena za obsluhu 3D tiskárny. Pokud by byly tyto částky připočteny k celkové ceně materiálu, byla by cena modelu vyšší. Stanovení jednotné ceny modelu je složité. Rozmezí ovlivňuje nejen použitý tištěný materiál, ale i množství materiálu, počet tištěného modelu, složitost modelu, délka samotného času tisku.

Rozdíl na ceně také ovlivňuje spotřeba materiálu, podle toho, jaká se použije výplň modelu. Tím je také ovlivněna časová náročnost tisku stejného modelu. Opakovaný tisk stejného modelu tak může trvat i několikrát déle. Také obsluha 3D tiskárny, která je nucena měnit tiskové podmínky může ovlivnit samotnou cenu a kvalitu tisku. Je zapotřebí si uvědomit, zda je důležitá cena, nebo rychlost a kvalita tisku.



Obr. č. 27 - Vytisknutý, sestavený 3D model stojanu

10 Diskuze

U modelů, které jsou vytvářeny pomocí 3D tiskárny, záleží nejen na tvaru, ale velkou roli hraje i jejich samotný vzhled. Jde například o modely, které se používají k prezentaci výrobků. U těchto modelů je pak na vzhled kladen velký důraz. U jiných modelů je zase kladen důraz na funkčnost, protože jsou použity do sestav jako součástky.

Kladnou vlastností u 3D tiskárny Cube3 je množství tiskových trysek a barevnost tisku 3D modelu. To vše je ještě umocněno snadnou výměnou tiskového materiálu, vkládáním nové cartridge. Postupným seznamováním se s tiskárnou zjišťujeme odlišnost od jiných tiskáren, které jsou ve stejné cenové skupině. Hodnoty výsledných časů, které jsou zapotřebí pro vytvoření modelu, ukazují, že pro vyhotovení modelů je 3D tiskárna Cube3 dostatečně rychlá. Povrch modelů je kvalitní, hladký, je ovlivněný výškou nanášené vrstvy. Výhodou této tiskárny je integrované rozhraní wi-fi, kdy lze vypnout počítač s knihovnou modelů a nechat tisknout zadaný model. Nevýhodou je, když chceme tiskárnu umístit, kde wi-fi není zavedené. Pak je třeba využít jinou možnost pro tisk.

Nevýhodou 3D tiskárny Cube3 je, že čas potřebný pro tisk modelu se zobrazí až na dotykovém displeji při zahájení samotného tisku. Další negativní funkcí 3D tiskárny Cube3 je, že údaj o množství spotřebovaného materiálu pro model není nikde vyobrazen a zapsán. To, že jsme spotřebovali materiál na nějaký 3D tištěný model zjistíme až při dalším tisku, kdy je v programu zapsáno procentuální množství materiálu v zásobníku, ale ani toto číselné vyjádření není přesné. Toto zobrazení je ale výhodou, když potřebujeme tisknout další model, získáme pomocí programu informaci, zda je v zásobníku dostatek materiálu pro nastavený tisk. Negativní vlastností pro 3D tiskárnu Cube3 je zvýšení ceny modelu, z důvodu dražších cen zásobníků pro materiál. Menší rozměr tiskové desky je také nevýhodou, mohou se tak tisknout menší a zmenšené modely.

Použitá technologie 3D tisku umožňuje kvalitní výrobu 3D modelů pro sestavení prototypové sestavy. Tiskárna Cube3 je určena těm, kteří mají rádi nekomplikované, jednoduché ovládání a používání.

11 Závěr

Cílem diplomové práce bylo bližší seznámení se s nejčastěji používanou aditivní technologií, detailně byla popsána technologie FDM, na jaké bázi funguje. Jedná se o technologii, která má svou pozici v oblasti vývoje a tvoření prototypů. Nachází uplatnění v různých odvětvích průmyslu, lékařství, vzdělávání.

Při zpracování této práce bylo čerpáno z dostupných internetových zdrojů. Na základě shromážděných informací zde byl zpracován přehled 3D tiskáren používajících uvedenou technologii a přehled používaných materiálů pro FDM technologii, a jakých materiálů se v současné době využívá k dosažení tisků modelů. Hlavním cílem bylo sepsání postupu výroby prototypu stojanu a jeho vytištění pro výukové účely.

Při psaní diplomové práce jsem vyzkoušela reálnou výrobu prototypu 3D sestavy. Přestože se jednalo o jednu sestavu, vytvořenou z několika dílů, měla jsem možnost projít celým procesem vzniku modelu od vytvoření CAD modelů pomocí programu SolidWorks 2012 až po 3D tisk pomocí FDM technologie. Vytvořené modely byly vytištěny z PLA materiálu na „domácí“ tiskárně Cube3. Protože byl stojan vyroben z několika dílů, k jejich sestavení byly použity šroubové spoje a ocelová kulatina na propojení součástek. Sestavený stojan se využije pro upnutí minivrtáčky.

Během tisku i při sestavování stojanu bylo zjištěno, že i na tiskárně Cube3 je možné tisknout přesné modely.

Při zpracování teoretické části mně velmi zaujalo, jak dochází stále k vývoji hlavního i pomocného materiálu, který je možné využít při tisku 3D modelů. Tištěné modely mohou mít různé barvy, různé vlastnosti a kvalitní tvar. Výroba pomocí 3D tisku je ekonomická pro kusovou nebo malosériovou výrobu. To je jeden z důvodů, proč se 3D tisk využívá při výrobě prototypů.

3D tisk je moderním nástrojem pro vývojové a výrobní procesy. Samotný 3D tisk je stále se rozvíjející a zdokonalující nekonvenční technologie. Jelikož se samotná aditivní metoda, typy tiskáren, tak i materiál pro zmíněnou technologii stále velmi rychle vyvíjí, je zde možný prostor pro inovace. 3D tiskárnu na stole v kanceláři budeme brát jako běžný pracovní stroj.

Na základě poznatků a zkušeností, které jsem získal během tisku, se mi úspěšně podařilo vyřešit mechanické problémy a nastavit parametry, tak že byl bez problému vytištěný vzorek, který má správné rozměry, esteticky odpovídá předloze a všechny

nastavitelné přídavky byly snadno odstranitelné. Celý experiment doprovázely i problémy, které byly odstraněny a to je důkaz, že ať má kdokoli vlastnoručně sestavenou či sériovou 3D tiskárnu, vždy se dají problémy vyřešit tak, že je možné vytisknout „ideální“ výrobek podle předlohy. Do budoucích setkání s 3D technologií je tato řešená problematika velice přínosná a lze na těchto zkušenostech dále stavět. Výsledek osobně hodnotím jako úspěšný a může sloužit jako základ pro budoucí projekty na 3D tiskárnách.

Seznam použité literatury:

- [1] 3D tisk [online]. [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>.
- [2] CHLEBO, Martin. *Počátek 3D tisku* [online]. [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/09/pocatek-3d-tisku/>.
- [3] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Wikipedia* [online]. 18. 3. 2007, 27. 1. 2015 [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Prototyp>.
- [4] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Wikipedia* [online]. 1. 5. 2010, 11. 6. 2015 [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping.
- [5] 3D tech: *RAPID PROTOTYPING*. [online]. 2015 [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.3dtech.cz/rapid-prototyping>.
- [6] *3D printer*. [online]. 2006 [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dprinter.html>.
- [7] NELLI, Fabio. *Rapid Prototyping*. [online]. 2014 [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.meccanismocomplesso.org/en/rapid-prototyping/>.
- [8] *3D tisk-metody* [online]. 2013 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>.
- [9] *Extrusion deposition: Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. 2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.additive3d.com/?s=FDM&submit=Search>.
- [10] *FUSED DEPOSITION MODELING* [online]. [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://proto3000.com/rapid-prototyping-solutions-fused-deposition-modeling-fdm.php>.
- [11] CHLEBO, Martin. *Technologie 3D tisku II*. [online]. [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/2237/>.
- [12] *PADT: Fused Deposition Modeling* [online]. [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.padtinc.com/services/rapid-prototyping/fused-deposition-modeling-FDM.html>.
- [13] WINSTON, Amy. *Jak jsem stavěla 3D tiskárnu: konstrukce rámu* [online]. 2014 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/jak-jsem-stavela-3d-tiskarnu-konstrukce-ramu/>.
- [14] *Typy 3D tiskáren: Základní rozdělení* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>
- [15] *Tiskové materiály*. [online]. 2010 [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/rubrika/tiskove-materialy/>.
- [16] *ABC 3D: 3D Systems Cube3 bílá* [online]. 2016 [vid. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.abc3d.cz/50-3d-systems-cube3-bila>.
- [17] VÍT, Tomáš. *Jaké jsou nejoblíbenější barvy pro 3D tisk? 3D-tisk* [online]. 2015 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/nejoblibenejsi-barvy-pro-3d-tisk/>.

- [18] VÍT, Tomáš. Tip: Jak skladovat tiskové materiály, aby nenavlhaly. *3D-tisk* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/nejoblibenejsi-barvy-pro-3d-tisk/>.
- [19] Tiskové materiály: *ABS*. [online]. 2010 [vid. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/abs/>.
- [20] 3D-tisk: *ABS*. [online]. 2014 [vid. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/abs/>.
- [21] *MKF: Popis a vlastnosti „tiskového materiálu“ ABS* [online]. [vid. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://mk-eshop.cz/filamenty-tiskove-materialy/filament-mkf-abs-f175-tmave-modra-tiskova-struna-abs-175-mm-1kg-pro-3d-tiskarnu.html>.
- [22] Tiskové materiály: *PLA*. [online]. 2010 [vid. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/pla/>.
- [23] 3D-tisk: *PLA*. [online]. 2014 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/pla/>.
- [24] *MKF: Popis a vlastnosti „tiskového materiálu“ PLA* [online]. 2016 [vid. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://mk-eshop.cz/filamenty-tiskove-materialy/filament-mkf-pla-f175-stribna-tiskova-struna-pla-175-mm-1kg-pro-3d-tiskarnu.html>.
- [25] *PC (polycarbonate)* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.objet.cz/materialy/fdm-materialy/pc>.
- [26] *MKF: Popis produktu* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://mk-eshop.cz/filamenty-tiskove-materialy/filament-mkf-pc-polykarbonat-f175-natur-transparent-tiskova-struna-pc-175-mm-1kg-pro-3d-tiskarnu.html>.
- [27] *TPE průměr 1,75 mm flexibilní plast pro 3D tisk* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.clexpert.cz/3dtisk/plast/tpe>.
- [28] *MKF: Popis produktu* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://mk-eshop.cz/filamenty-tiskove-materialy/filament-mkf-tpe-u-f175-tmave-zelena-tiskova-struna-tpe-u-175-mm-1kg-pro-3d-tiskarnu.html>.
- [29] *3D tisk – Nylon: 3D tisk z nylonu* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.makerslab.cz/3d-tisk-nylon/>.
- [30] *MKF: Popis produktu* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://mk-eshop.cz/filamenty-tiskove-materialy/filament-mkf-pa-nylon-f175-natur-transparent-tiskova-struna-pa-nylon-175-mm-1kg-pro-3d-tiskarnu.html>.
- [31] *What is the best type of plastic for my 3D printing application?* [online]. 2016 [vid. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://my3dmatter.com/what-is-the-best-type-of-plastic-for-my-3d-printing-application/>.
- [32] *Materiály* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/materialy/>.
- [33] *30 Types of 3D Printer Filament – Guide & Comparison Chart* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>.

- [34] LIEVENDAG, Nick. *3D Printing Filament Guide: ABS vs PLA vs many materials* [online]. 2014 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://nicklievendag.com/filament-guide/>.
- [35] ALEC, By. *Kai Parthy is back with LAY-AWAY series of soluble support filaments for FDM 3D printing* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/articles/20160428-kai-parthy-is-back-with-lay-away-series-of-soluble-support-filaments-for-fdm-3d-printing.html>.
- [36] *FELIX Support Filament* [online]. 2017 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.felixprinters.com/felix-support-filament#product_tabs_description.
- [37] *3D Tisková struna FELIXprinters PVA 1,75mm, 0,25kg, vodou rozpustný materiál (FELIXrobotics)*: *Podrobnosti o produktu* [online]. 2017 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.nc.cz/3d-tiskova-struna-felixprinters-pva-1-75mm-0-25kg-vodou-rozpustny-material-felixrobotics-_d312443.html.
- [38] *3D Systems: Cube 3 Osobní 3D tiskárna* [online]. 2015 [vid. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/cube>.
- [39] *ABC 3D: Cube 3 3D tisk. Skutečný. Snadný.* [online]. 2016 [vid. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://www.abc3d.cz/50-3d-systems-cube3-bila>.
- [40] *3D tiskárna 3D Systems Cube3 černá* [online]. 2017 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: https://www.bscom.cz/3d-tiskarna-3d-systems-cube3-cerna-cube3b_d417180/
- [41] *3D Systems Cube3 bílá: Popis produktu* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/3d-tiskarny-top/cube3>.
- [42] *User manual for 3D Systems Cube 3 Printer (White) 392200* [online]. 2016 [vid. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://www.pdf-manuals.com/3d-systems-cube-3-printer-white-392200-262100-manual#145010>.
- [43] *User manual for 3D Systems Cube 3 Printer (White) 392200* [online]. 2016 [vid. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.pdf-manuals.com/3d-systems-cube-3-printer-white-392200-262100-manual>.
- [44] *3D Systems Cube3 bílá: Materiály a příslušenství* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/3d-tiskarny-top/cube3>.
- [45] *3D tisk: Výpočty* [online]. 2016 [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://3dtisk.sh.cvut.cz/cs/vypocty>.
- [46] *Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. 2016 [vid. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://www.additively.com/en/learn-about/fused-deposition-modeling>.
- [47] *3D Printing Trends November 2015: Popular Print Categories* [online]. 2015 [vid. 2017-02-20]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/trends/2015-november>.
- [48] KOŠTURIÁK, Ján aj. *Inovace 2015, Téma 7: Role technologie 3D tisku v inovačním procesu. MM Průmyslové spektrum: Servis / Vývoj a inovace* [online]. 2015, 2015(9), s. 22

- [vid. 2017-02-20]. ISSN 150935. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/inovace-2015-tema-7-role-technologie-3d-tisku-v-inovacnim-procesu.html>.
- [49] *3D Printing Trends November 2015: Color Distribution* [online]. 2015 [vid. 2017-02-20]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/trends/2015-september>.
- [50] *Color Distribution* [online]. 2016 [vid. 2017-02-20]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/trends/q3-2016>.
- [51] *Trends June: Material Availability* [online]. 2014 [vid. 2017-02-21]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/trends/2014-june>.
- [52] BULENT, Yusuf. *3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara* [online]. 2015 [vid. 2017-02-23]. Dostupné z: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>.

Seznam obrázků:

Obr. č. 1 - Fused Deposition Modeling (FDM) [46].....	15
Obr. č. 2 - Kartézská 3D tiskárna	18
Obr. č. 3 - 3D tiskárny typu Delta [14]	19
Obr. č. 4 - 3D tiskárny typu Polar [14].....	20
Obr. č. 5 - 3D tiskárna typu Scara [14]	20
Obr. č. 6 - Použití PVA materiálu při tisku podpěr a jejich odstranění [34].....	31
Obr. č. 7 - Kapalina působící na PVA materiál [35]	31
Obr. č. 8 - Kapalina působící na LAY-CLOUD materiál [35].....	32
Obr. č. 9 - Kapalina působící na HIGH-T-LAY materiál [35].....	32
Obr. č. 10 - Kapalina působící na ETHY-LAY materiál [35].....	33
Obr. č. 11 - SolidWorks 2012, sestava modelu stojánku	35
Obr. č. 12 - SolidWorks 2012, Uložit jako STL formát.....	36
Obr. č. 13 - SolidWorks 2012, Možnosti exportu	36
Obr. č. 14 - SolidWorks 2012, Možnosti exportu - hrubé a jemné rozlišení	37
Obr. č. 15 - Cube3 [40]	38
Obr. č. 16 - Zakládání cartridge do tiskárny [16].....	39
Obr. č. 17 - Tisková kazeta s ABS a s PLA strunou [44]	39
Obr. č. 18 - 3D lepidlo - Cube Gen3 [39]	40
Obr. č. 19 - Úvodní okno programu Cube Print – knihovna modelů.....	42
Obr. č. 20 - Úvodní okno programu Cube Print – tisk.....	42
Obr. č. 21 - Připojení tiskárny k počítači	43
Obr. č. 22 - Dotykový displej na tiskárně – tisk, výběr systému [43].....	44
Obr. č. 23 - Průběhu 3D tisku Držáku 2 v programu a na dotykovém displeji na 3D tiskárně.....	44
Obr. č. 24 - Vytisknutý model Držáku na tiskárně Cube3	45
Obr. č. 25 - Fyzikální vlastnosti modelu držáku	47
Obr. č. 26 - Panel pro vytvoření a nastavení tiskového souboru.....	48
Obr. č. 27 - Vytisknutý, sestavený 3D model stojanu	51

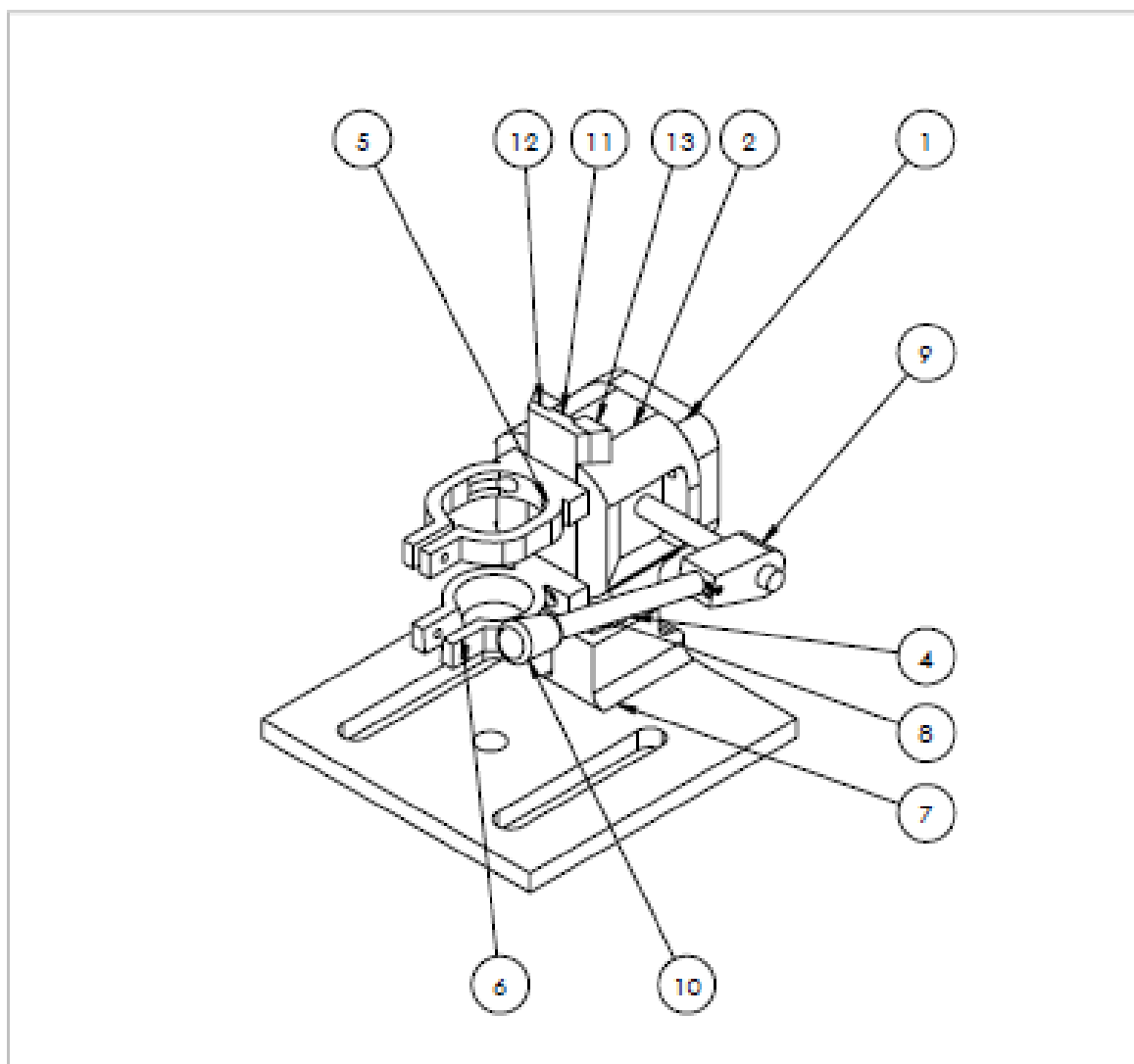
Seznam grafů:

Graf 1- Populární kategorie 3D tisku [47]	12
Graf 2 - Využití 3D tisku ve firmách [48].....	13
Graf 3 - Proces tisku 3D modelu [13]	17
Graf 4 - Barvy materiálu použité při 3D tisku v roce 2015, 2016 [49] [50]	21
Graf 5 - Materiálová dostupnost [51].....	22
Graf 6 - Porovnání základních materiálů pro 3D tisk [31].....	25
Graf 7 - Obecná kritéria pro volbu materiálu [31]	26
Graf 8 - Kritéria PLA materiálu [31]	27
Graf 9 - Kritéria ABS materiálu [31]	27
Graf 10 - Kritéria PET materiálu [31].....	28
Graf 11 - Kritéria materiálu Nylon [31].....	28
Graf 12 - Kritéria materiálu TPU [31]	29
Graf 13 - Kritéria materiálu PC [31]	29

Seznam příloh:

Příloha A – Schematický výkres sestavy STOJAN	62
Příloha B – Schematický výkres dílu: DRŽÁK 1	63
Příloha C – Schematický výkres dílu: DRŽÁK 2	64
Příloha D – Schematický výkres dílu: KOLEČKO.....	65
Příloha E – Schematický výkres dílu: ÚCHYT VELKÝ	66
Příloha F – Schematický výkres dílu: ÚCHYT MALÝ.....	67
Příloha G – Schematický výkres dílu: PODSTAVEC	68
Příloha H – Schematický výkres dílu: SPOJKA	69
Příloha I – Schematický výkres dílu: KONCOVKA	70
Příloha J – Schematický výkres dílu: POSUV VNITŘNÍ DÍL.....	71
Příloha K – Schematický výkres dílu: POSUV LEVÁ LIŠTA.....	72
Příloha L – Schematický výkres dílu: POSUV PRAVÁ LIŠTA	73

Příloha A – Schematický výkres sestavy STOJAN



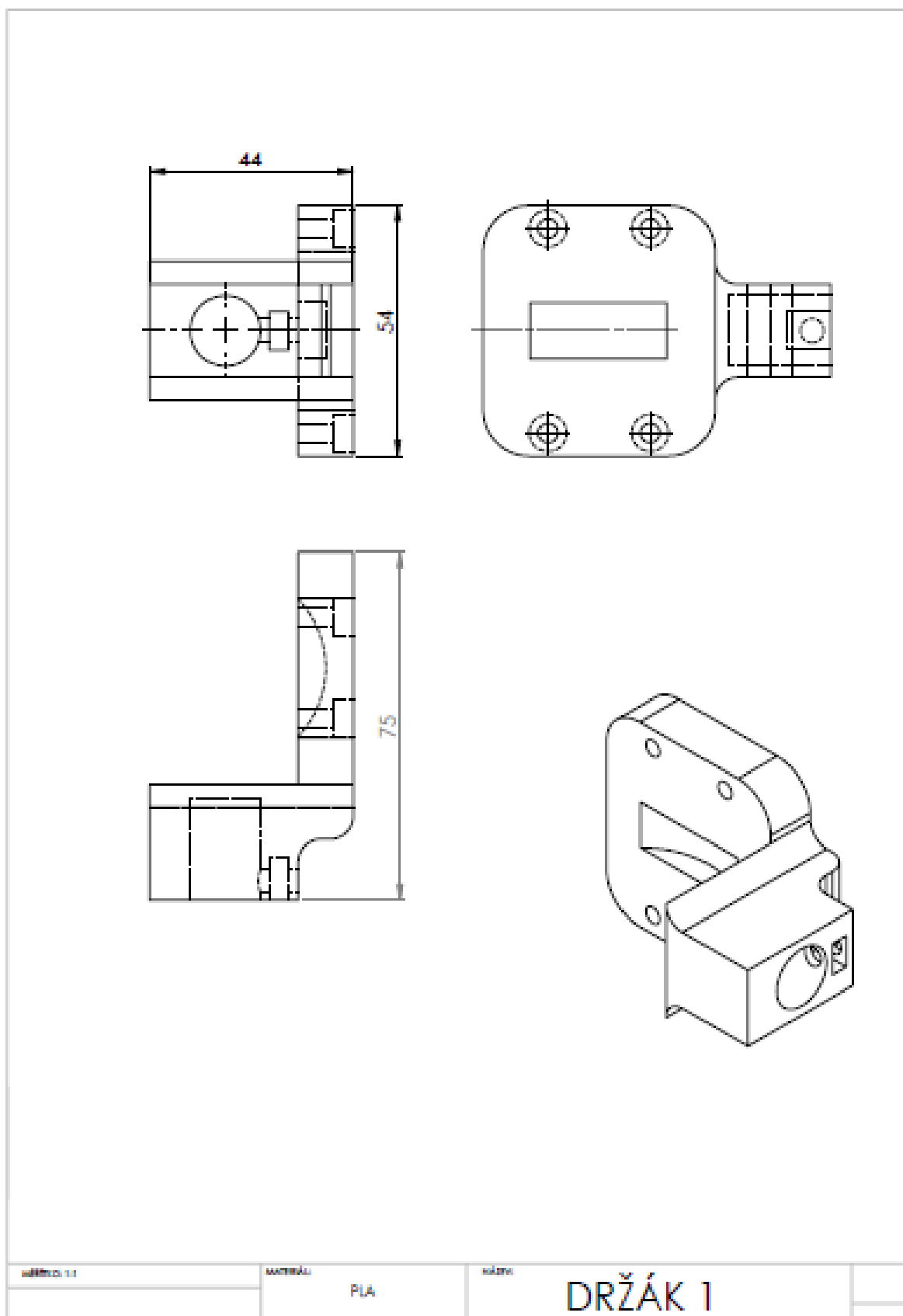
13	POSUV PRAVA LIŠTA		1
12	POSUV LEVÁ LIŠTA		1
11	POSUV VNITŘNÍ DÍL		1
10	KONCOVKA		1
9	SPOJKA		1
8	KULATINA 2	KOV	1
7	PODSTAVEC		1
6	ÚCHYT MALÝ		1
5	ÚCHYT VELKÝ		1
4	KULATINA 1	KOV	2
3	KOLEČKO	VNITŘNÍ DÍL	1
2	DRŽÁK 2		1
1	DRŽÁK 1		1
POZICE	NÁZEV	POPIS	KS.

WITMOR s.r.o.

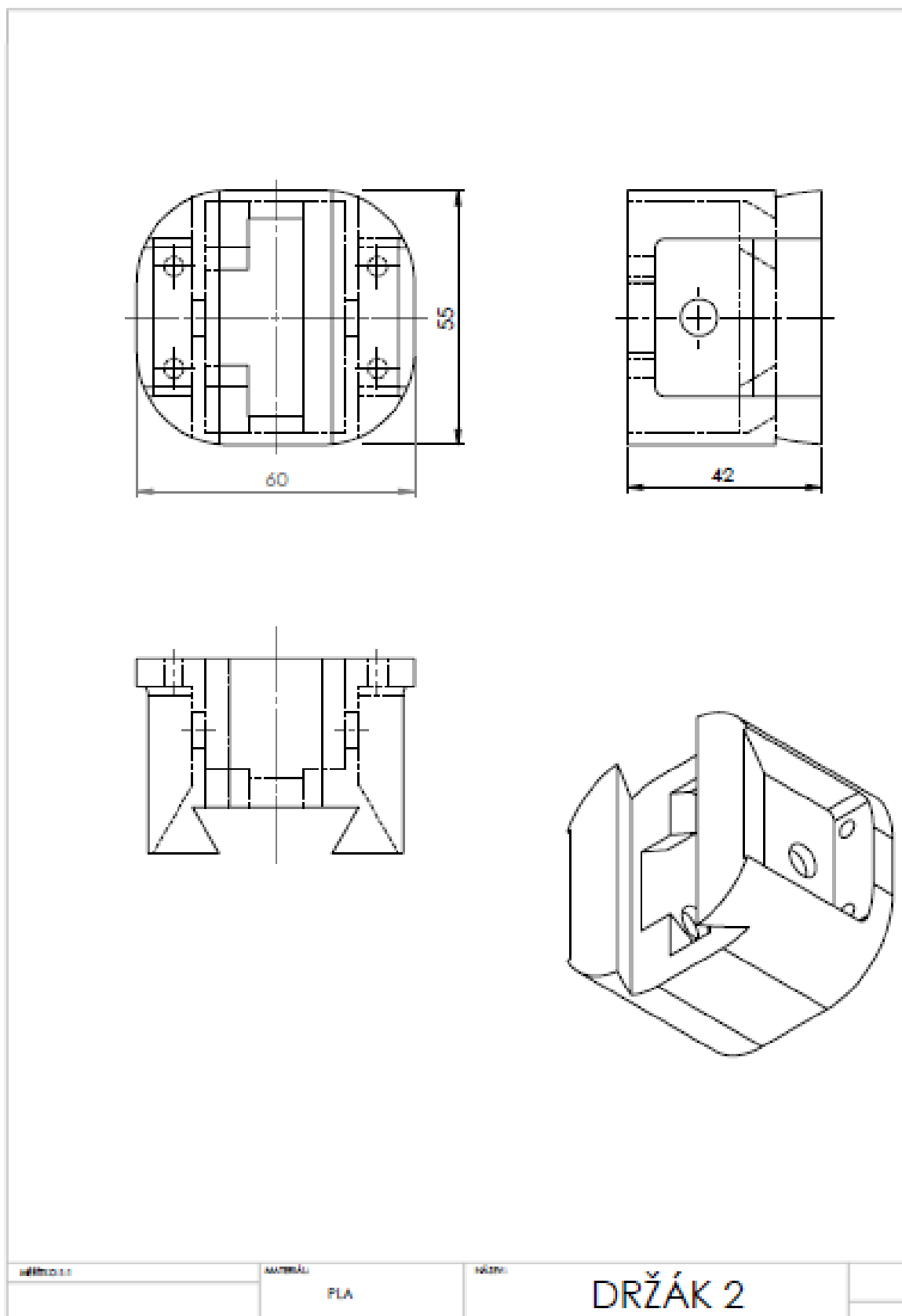
NÁZEV

STOJAN

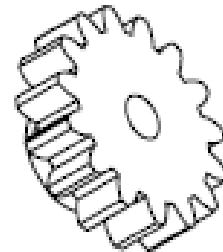
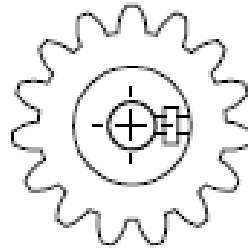
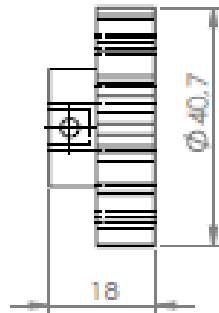
Příloha B – Schematický výkres dílu: DRŽÁK 1



Příloha C – Schematický výkres dílu: DRŽÁK 2

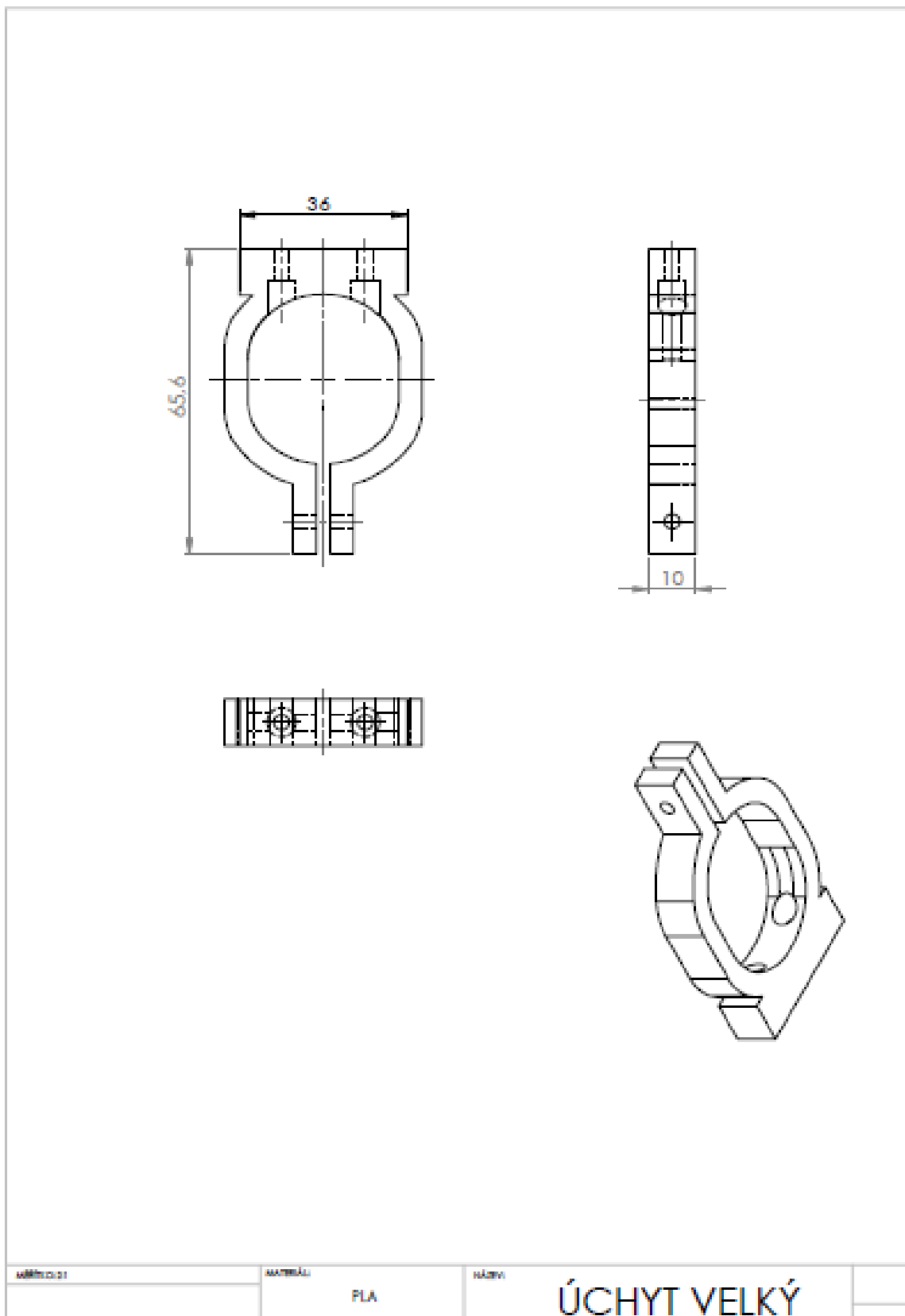


Příloha D – Schematický výkres dílu: KOLEČKO

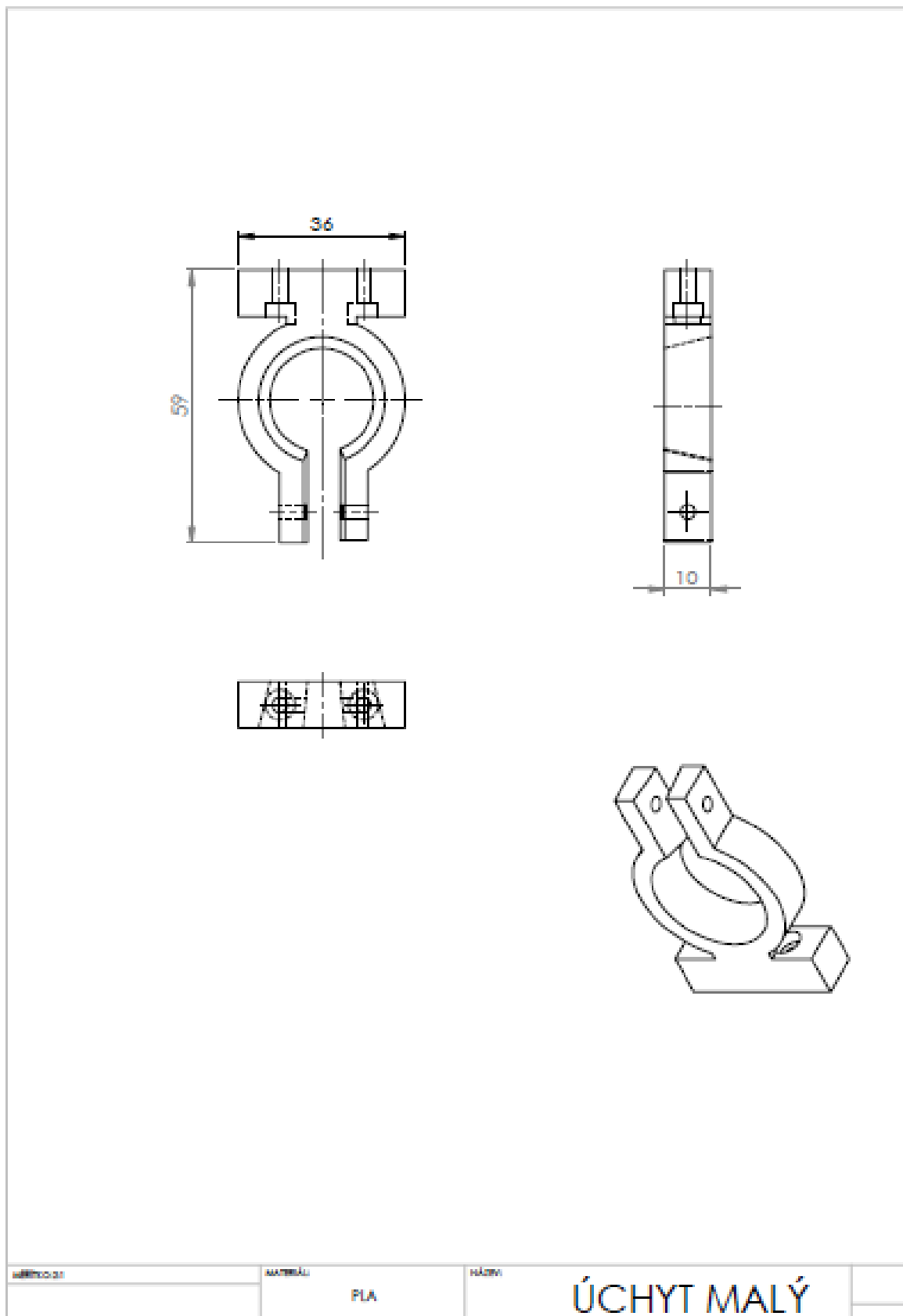


aditocad	skupina	část	KOLEČKO
	PLA		

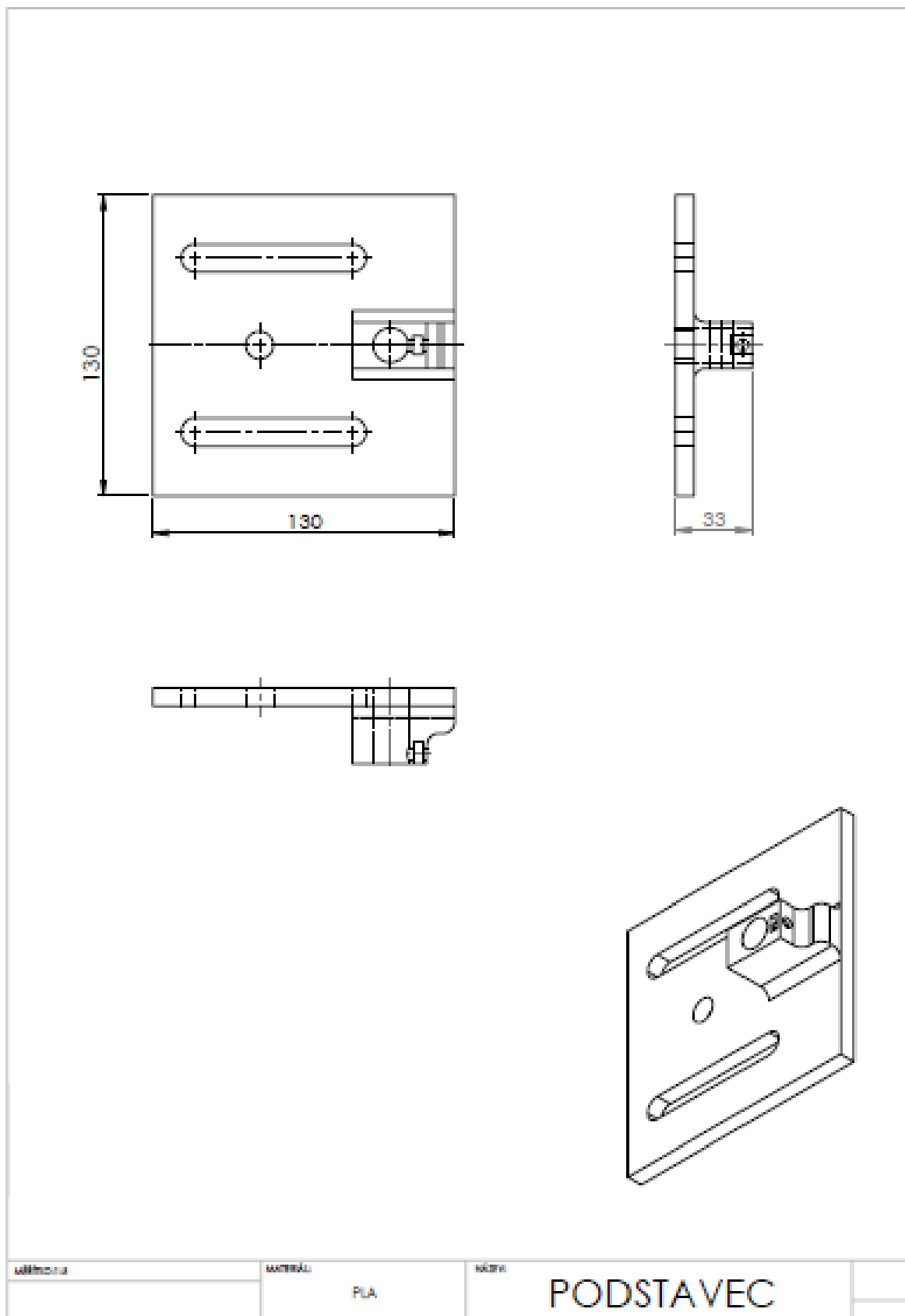
Příloha E – Schematický výkres dílu: ÚCHYT VELKÝ



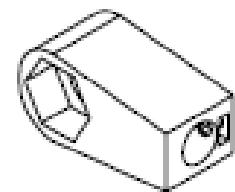
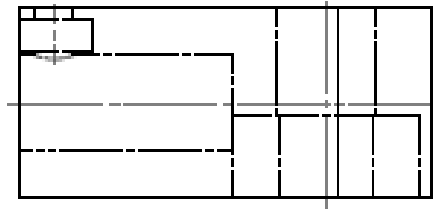
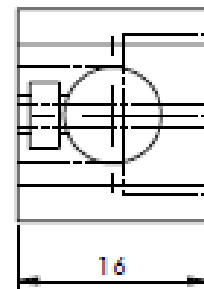
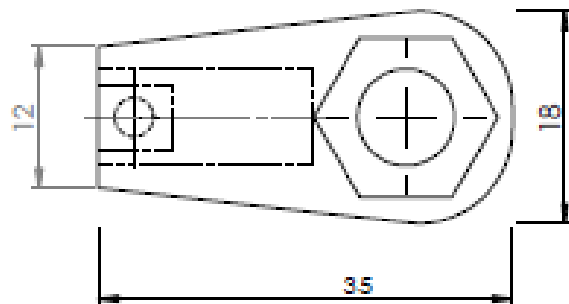
Příloha F – Schematický výkres dílu: ÚCHYT MALÝ



Příloha G – Schematický výkres dílu: PODSTAVEC

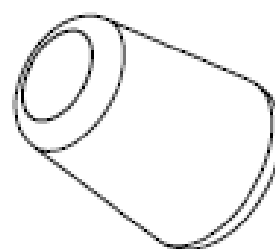
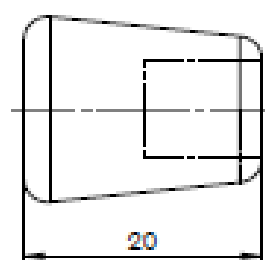
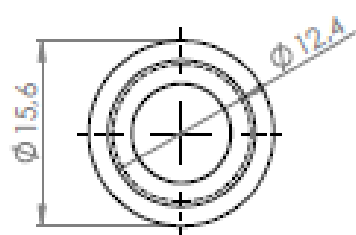


Příloha H – Schematický výkres dílu: SPOJKA



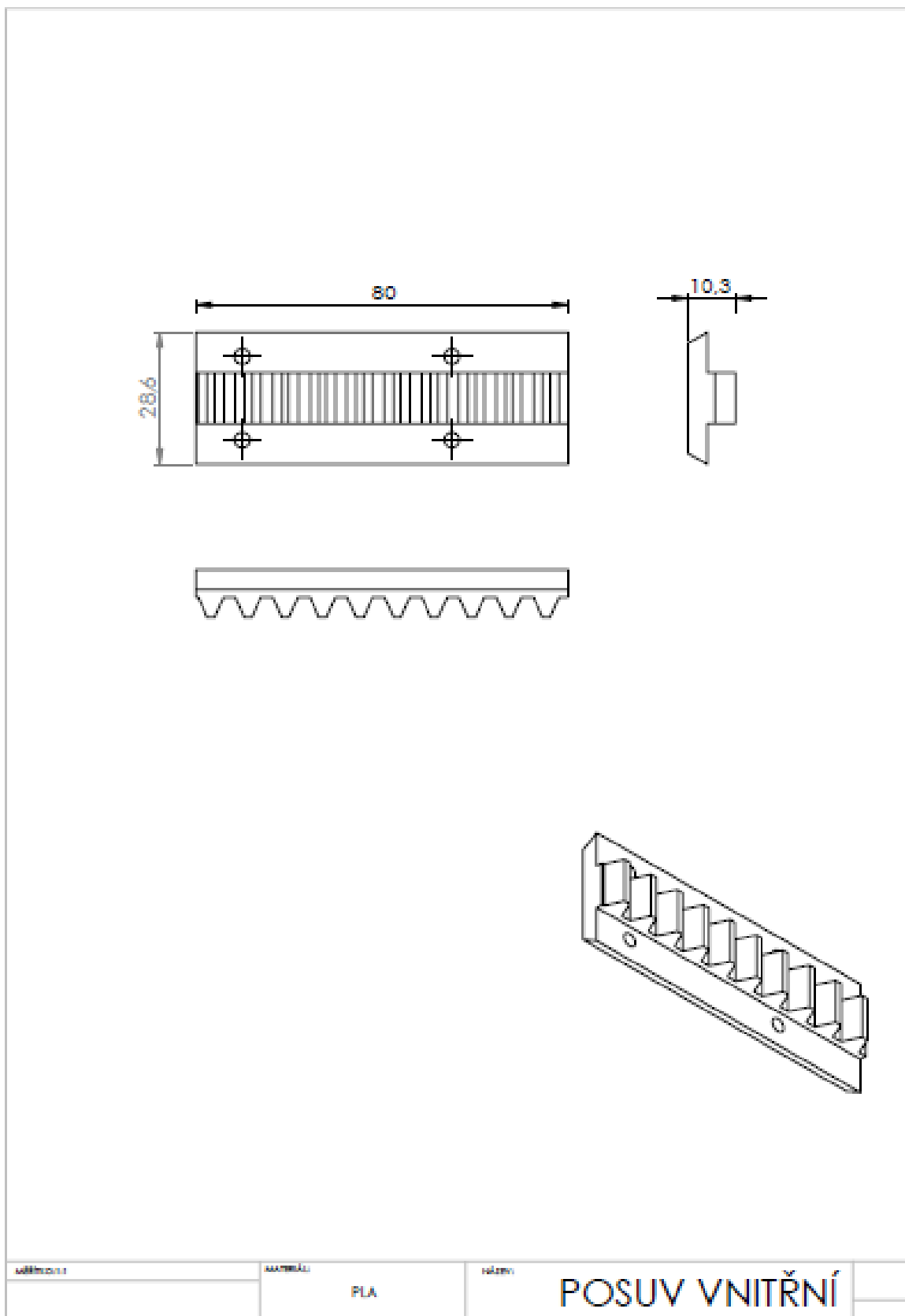
Kód dílu	MATERIÁL	NÁZEV
		SPOJKA

Příloha I – Schematický výkres dílu: KONCOVKA

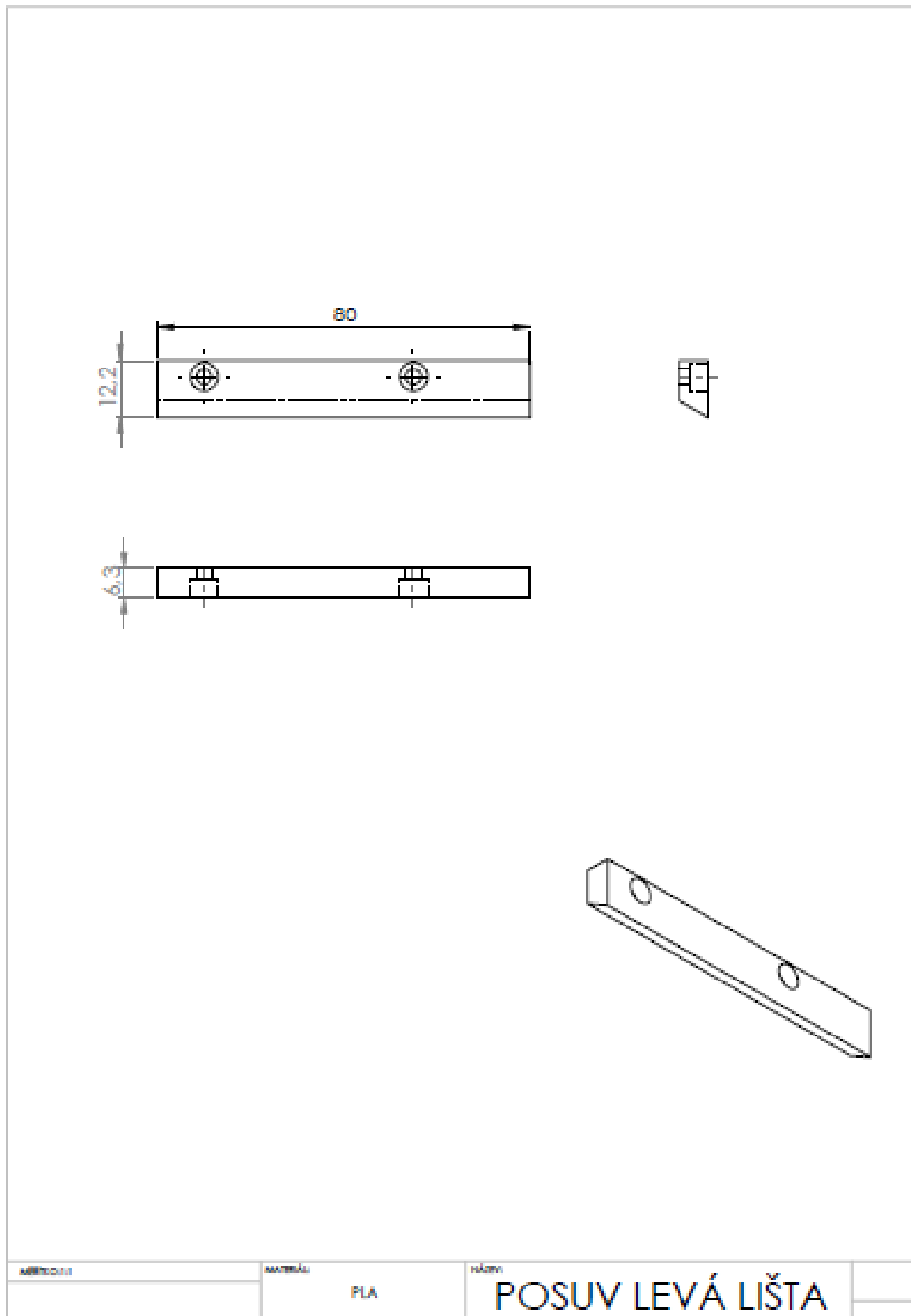


NÁZEV	MATERIÁL	KÓD
	PLA	KONCOVKA

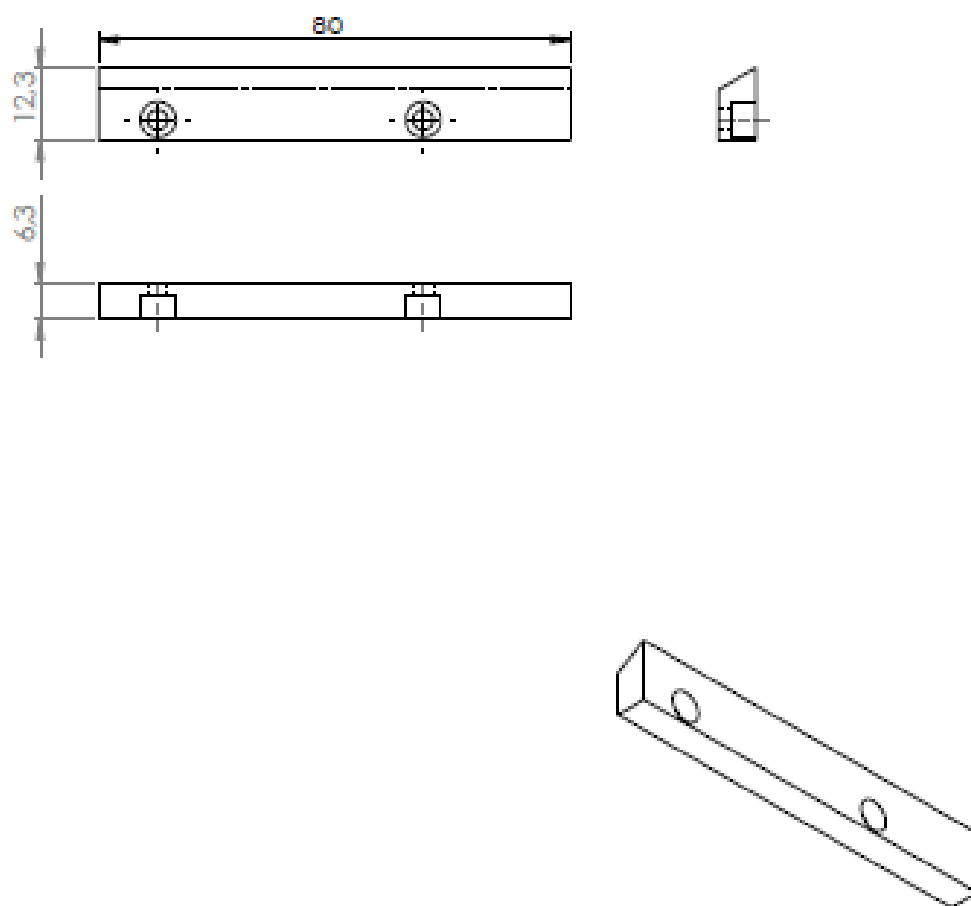
Příloha J – Schematický výkres dílu: POSUV VNITŘNÍ DÍL



Příloha K – Schematický výkres dílu: POSUV LEVÁ LIŠTA



Příloha L – Schematický výkres dílu: POSUV PRAVÁ LIŠTA



název	MATERIÁL	část	
	PLA	POSUV PRAVÁ LIŠTA	