



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SCHRÁNKY NA 3D TISKÁRNĚ

MANUFACTURING OF A SPECIAL BOX USING 3D PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kristýna Grünwaldová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aneta Koppová

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Kristýna Grünwaldová
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Aneta Koppová
Akademický rok:	2020/21

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

Výroba schránky na 3D tiskárně

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

3D tiskárny jsou běžně používány pro výrobu spotřebních předmětů. Jejich provoz má sled etap, kterým se zadané téma zabývá v celém rozsahu.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika výrobku "schránka"
- Vytvoření modelu v SW Inventor
- Příprava dat pro 3D tisk
- Seřízení 3D tiskárny
- Výroba vzorku
- Posouzení vzorku

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

GIBSON, Ian, David W. ROSEN and Brent STUCKER. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2010. p. 459. ISBN 14-419-1120-0.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-80-214-3946-7.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato práce pojednává o výrobě schránky se zamykacím mechanismem technologií 3D tisku. Cílem práce je vyrobení funkčního modelu schránky, který bude použit v únikových hrách. V práci je rozebrán sled etap, které vedou k vytvoření výrobku. Nejdříve bylo třeba zhodnotit a vybrat vhodnou technologii a následně s tím související materiál tisku. Poté byl vytvořen vhodný model v softwaru Inventor podle zadaných vstupních parametrů. Tento 3D model byl dále zpracován do formátu STL a následně byl přes program PrusaSlicer vytvořený G-code pro tiskárnu. Součásti schránky byly vytištěny a sestaveny a byla posouzena jejich funkčnost.

Klíčová slova

3D tisk, schránka, Prusa i3 MK3, PrusaSlicer, Autodesk Inventor Professional, Rapid Prototyping

ABSTRACT

This thesis deals with manufacturing of box with locking mechanism by using technology of 3D print. The aim of this thesis is manufacturing a functional model of the box, what will be used in escape games. The sequence of stages what leads to manufacture the model is descibed in the thesis. First the suitable technology and material for 3D print had to be assessed and selected. Then the model was created in software Inventor according to input parameters. This 3D model was processed to STL formate and then was produced the G-code for a printer from PrusaSlicer programe. Parts of the box were printed and assembled and then the functionality of them was assessed.

Key words

3D print, box, Prusa i3 MK3, PrusaSlicer, Autodesk Inventor Professional, Rapid Prototyping

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GRÜN WALDOVÁ, Kristýna. *Výroba schránky na 3D tiskárně*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129496>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aneta Koppová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba schránky na 3D tiskárně** vypracoval/la samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Kristýna Grünwaldová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto všem, co mi byli nápomocni při tvorbě bakalářské práce i při mém studiu. Poděkování patří hlavně mojí rodině a vedoucí mé bakalářské práce Ing. Anetě Koppové.

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 INSPIRACE PRO VÝROBU SCHRÁNKY	9
1.1 Popis kryptexu.....	9
1.2 Rozdíl mezi kryptexem a vytvářenou schránkou	11
2 ZPŮSOB VÝROBY SCHRÁNKY	12
2.1 Výběr vhodné technologie výroby	12
2.1.1 Výroba schránky obráběním z plného materiálu	12
2.1.2 Výroba schránky odléváním	12
2.1.3 Výroba schránky 3D tiskem	12
2.2 Výběr konkrétní technologie 3D tisku	13
2.2.1 Různé technologie 3D tisku	14
2.2.2 Detailní popis technologie FFF.....	20
2.2.3 Konkrétní použitá tiskárna.....	22
2.3 Materiál pro výrobu schránky	24
2.3.1 Možné materiály tisku	24
2.3.2 Detailní popis vybraného filamentu – PLA	30
3 PŘÍPRAVA ZPRACOVÁNÍ SCHRÁNKY	32
3.1 Změření a designování základních rozměrů	32
3.2 Vytvoření schémat částí schránky.....	33
3.3 Tvorba jednotlivých modelů schránky v programu Inventor.....	36
4 TISK SCHRÁNKY A VYUŽITÍ	44
4.1 Export do STL formátu a úprava v programu PrusaSlicer.....	44
4.2 Zhodnocení vytisknutých součástí	48
4.3 Návrh možných úprav či zlepšení	51
ZÁVĚR	54
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55

ÚVOD

3D tiskárny jsou dnes často využívaným pomocníkem, převážně z důvodu stále se rozvíjejícího Rapid Prototypingu, který využívá nekonvenční způsoby tvorby prototypů. Účelem těchto postupů je co nejvíce zjednodušit a urychlit výrobu modelů, prototypů či jiných jednorázových výrobků, které většinou neslouží jako finální produkt k cílovému účelu.

Většina modelů vytvořená metodami Rapid Prototypingu jsou jen makety, které slouží pouze k propagaci budoucích výrobků (pouze znázorňují, jak bude výsledný výrobek vypadat) - tato metoda je hojně využívána k tvorbě modelů vozidel, budov či jiných maket v různých dalších odvětvích. Další z hojných využití metod 3D tisku se nachází ve výrobě odlévaných výrobků – pomocí 3D tisku lze jednoduše vyrobit model odlitku, podle nějž se následně vytvoří forma, model z 3D tiskárny se poté z formy vyjme a ta se může použít pro odlévání.

Méně časté je použití modelu z 3D tiskárny jako finálního výrobku, jelikož materiály ke 3D tisku a způsoby výroby jsou stále ve vývoji. Většinou proto nejsou natolik kvalitní, aby výsledný výrobek splňoval požadované mechanické vlastnosti, nebo je ona metoda příliš nákladná, než aby se vyplatilo ji více používat. Ne všechny výrobky dnešního světa ale kladou důraz na mechanické vlastnosti, a jeden z nich je také tématem této práce.

Tato práce se zabývá možností využití 3D tisku k výrobě schránky se zamykacím mechanismem. Schránka má sloužit jako pomůcka při vytváření her nejen pro děti (např. na tábory, školy v přírodě, únikové hry apod.), tudíž na její výrobu není třeba požadovat speciální mechanické vlastnosti materiálu. Další z důvodů volby 3D tisku k výrobě schránky je ten, že schránka má složitě tvarované součásti, jejichž výroba by byla při využití jiných metod či materiálů časově i finančně náročnější.

Požadavek k výrobě schránky je možnost uzamčení obyčejného klíče uvnitř schránky. Vytvářené modely je tedy třeba optimalizovat tak, aby vnitřní rozměry schránky byly dostačující k uložení klíče, zároveň aby schránka měla co nejmenší rozměry z důvodu úspory času a materiálu, ale aby stěny výrobku nebyly moc křehké, a nedošlo tak k jejich zničení. Tato práce se zabývá tvorbou originálních 3D modelů součástí schránky v programu Autodesk Inventor 2021, následným zpracováním 3D modelů do formátu vhodného pro tisk v tomtéž programu a vytištění výsledného výrobku na 3D tiskárně.

1 INSPIRACE PRO VÝROBU SCHRÁNKY

Inspirací k výrobě této schránky se stal v poslední době více a více oblíbený kryptex. Jedná se o schránku s důmyslným zamykacím mechanismem, která má za úkol chránit obsah uvnitř. Tato schránka se poprvé dostala na světlo světa v roce 2003, když autor Dan Brown napsal svůj román „The Da Vinci Code“. Ten ještě ve stejném roce přeložil do českého jazyka Zdik Dušek, pod názvem „Šifra mistra Leonarda“, následně v roce 2005 vzniklo také obrazové vydání překladatelky Barbory Michálkové s názvem „Da Vinciho kód“. Tento román se stal v roce 2006 předlohou pro úspěšné filmové zpracování, thriller „Šifra mistra Leonarda“ (v originále „The Da Vinci Code“) režiséra Rona Howarda.

1.1 Popis kryptexu

V českém překladu knihy se můžeme o kryptexu dočíst doslova tento popis:

„Byl to kamenný válec zhruba o rozměrech pouzdra na tenisové míčky, vytesaný z lesklého bílého mramoru. Nejednalo se ovšem o jednoduchý kamenný válec – zdálo se, že ten předmět je složen z mnoha menších částí. Na povrchu bylo pět mramorových kotoučů, vzájemně propojených jemnými mosaznými rámečky. Vypadalo to jako nějaký složitý typ kaleidoskopu. Na obou koncích válce seděly čepičky, také mramorové, které znemožňovaly pohled dovnitř. Vzhledem k tomu, že zevnitř slyšeli šplouchání nějaké tekutiny, předpokládal Langdon, že předmět je dutý. Stejně záhadné jako celý válec byly i rytiny po obvodu jednotlivých kotoučů. Ty Langdona upoutaly jako první. Každý z pěti kotoučů měl na sobě vyrytou stejnou řadu písmen – celou abecedu.“ [1].

Pro lepší představu o kryptexu je třeba nahlédnout do filmového zpracování, podle něhož se nyní vyrábí nespočet replik (viz obr. 1.1).



Obr. 1.1: Replika filmového kryptexu [2]

V knize je dále zmíněno, že do kryptexu se vkládají zprávy psané na papýru. Proto stačí při tomto ‚běžném‘ použití celkem malý vnitřní prostor. Ona tekutina, zmíněná v popisu výše, je ocet, který je v kryptexu umístěn v ampulce blízko papýru. Při pokusu o násilné vniknutí dovnitř kryptexu má ampulka s octem prasknout, a znehodnotit tak zprávu napsanou na papýru.

Podle románu Dana Browna byl kryptex vynálezem slavného Leonarda Da Vinciho, jedná se však o výplod fantazie samotného spisovatele. První fyzický kryptex byl vyroben Justinem Nevinsem v roce 2004 [3], ten se výrobě kryptexů věnuje i nadále (viz obr. 1.2). Od té doby vznikl ale i nespočet dalších možných variací. Kryptex lze nyní najít na trhu také ve variantě uzamykatelného flash disku (obr. 1.3), pokladničky (obr. 1.4) nebo třeba zámku na láhev vína (obr. 1.5).



Obr. 1.2: Kryptexy Justina Nevinse [3]



Obr. 1.3: Kryptex jako flash disk [4]



Obr. 1.4: Kryptex jako pokladnička [5]

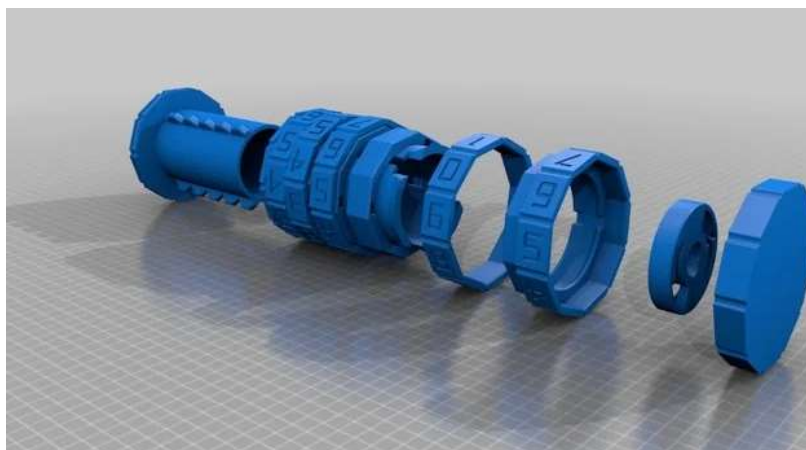


Obr.1.5: Kryptex na láhev vína [5]

1.2 Rozdíl mezi kryptexem a vytvářenou schránkou

Nově vytvářená schránka by měla splňovat jen část z výše uvedených parametrů kryptexu. Schránka nebude obsahovat ampulku s octem, jelikož se dovnitř nebude ukládat papyrus s tajnými informacemi. Účelem schránky je splnit požadovaný vnitřní průměr, s ohledem na co největší snížení nákladů a velikosti tak, aby nedošlo k deformaci stěn schránky během používání.

Zamykací mechanismus schránky bude podobný mechanismu kryptexu. Existuje již několik modelů kryptexu, vytvořených pro 3D tisk, které jsou volně dostupné ke stažení na internetových stránkách. Výsledkem této práce má být schránka, která jim bude podobná, nicméně budou vytvořeny úplně nové modely, které nebudou obsahovat nešvary volně dostupných schránek. Mezi tyto nešvary lze řadit např. příliš tenké stěny některých dílů (viz obr. 1.6, kroužek s číslicemi lze lehce rozmáčknout), součásti, které na sebe přesně nepasují, schránky s hesly pouze v číslicích (také obr. 1.6), takové, které nemají nastavitelný kód, či schránky, které lze rozebrat i bez nastavení hesla.



Obr. 1.6: Model kryptexu dostupný na internetu [6]

Schránka vyráběná v rámci této práce bude mít také o trochu větší vnitřní objem, než většina volně dostupných modelů – požadavek k výrobě schránky je dostatečný vnitřní prostor k uložení klíče (schránka je navrhována k použití v únikových hrách). Ze stejného důvodu je také kladen důraz na co nejmenší celkové rozměry, aby bylo možné schránku dobře schovat před hráči.

Model vytvářený v rámci této práce bude obsahovat několik zásadních změn. Konkrétní popisy dílů zpracovávaného modelu naleznete v kapitole 3 – Příprava zpracování schránky.

2 ZPŮSOB VÝROBY SCHRÁNKY

K tvorbě schránky je třeba nejdříve uvážit některá hlediska, která mohou být rozhodující pro způsob výroby nebo tvorby modelu. Tato hlediska budou rozpracována v následujících podkapitolách spolu s odůvodněním pro konečné rozhodnutí.

2.1 Výběr vhodné technologie výroby

První z rozhodujících úvah k vytvoření schránky je zvážení možností její výroby. Dostupnými způsoby výroby by mohlo být obrábění, odlévání či 3D tisk. Ostatní – většinou sériově využívané – způsoby výroby, jako je lisování či kování, jsou pro takovou jednorázovou výrobu už ze své podstaty nevhodné. Také by se dala použít možnost zakoupení normalizovaných součástí (trubek, plechů apod.), které by se k sobě mohly svařit. Svary by však zabíraly hodně prostoru, což u takto přesného a malého výrobku není žádoucí.

2.1.1 Výroba schránky obráběním z plného materiálu

Ač se schránka může na první pohled jevit jako složení rotačních součástí, není tomu úplně tak. Některé díly mají sice rotační části, nikdy ale není rotační celý díl. Z tohoto důvodu by bylo nemožné díly vyrábět pouze pomocí soustružení. Částečně by bylo možné některé díly osoustružit z plného materiálu, vznikl by tak polotovar pro následné zpracování.

Polotovary vytvořené soustružením by bylo třeba ještě následně obrobit. Vhodnou variantou dalšího postupu se jeví být frézování. Při bližším prozkoumání tvarů součástí však bylo zjištěno, že by bylo třeba různých (a velice přesných) nástrojů, aby bylo možné obrobit požadované plochy (např. gravírování písmen na zamykacích kroužcích). Takové nástroje jsou také nákladnější a výroba by byla náročnější. Tímto způsobem výroby by mimo jiné vzniklo velké množství nevyužitého (odpadního) materiálu, což je cenově nevýhodné.

2.1.2 Výroba schránky odléváním

Další z možných způsobů výroby je odlévání. Pro odlévání by bylo třeba nejdříve vytvořit vhodnou formu na každý z dílů. Jelikož se schránka skládá z pěti různých dílů, bylo by třeba vyrobit pět různých forem pro odlití každé součásti, pokud by byly použity trvalé formy. Při použití jednorázové formy by bylo třeba forem vytvořit třináct.

Formy na odlévání jsou vyráběny za pomoci modelů, které jsou buď obrobené ze dřeva, nebo vytvořené 3D tiskem. Jelikož na schránku není třeba požadovat zvlášť specifické mechanické vlastnosti (kterých by mohlo být docíleno právě odlitím speciálního materiálu), je zbytečné se zabývat vytvořením modelu 3D tiskem a následně ještě tvorbou forem a odléváním. Odlití součástí schránky by také bylo s největší pravděpodobností nedokonalé, jelikož se na jednotlivých dílech nachází drobné detaily, které by se odléváním nemuselo podařit vytvořit.

2.1.3 Výroba schránky 3D tiskem

Tisk schránky na 3D tiskárně se jeví být lepší metodou než předešlé, ať už z časového, nebo i finančního hlediska. Na 3D tiskárně lze vytvářet komplikované detaily, aniž by se tím výroba prodražila nebo prodloužila. Není třeba kupovat zbytečně moc materiálu, jako v případě obrábění, ani speciální frézovací nástroje. Také tato forma výroby nepotřebuje složitou přípravu, jako je třeba při odlévání.

Z předchozích úvah je vidět, že pomocí 3D tisku lze vytvořit za relativně krátký časový úsek požadované součásti, aniž by bylo třeba nakupovat nebo vyrábět speciální nástroje. Součásti schránky nejsou ani moc velké, tudíž nejsou ani speciální nároky na 3D tiskárnu. Jediný specifický požadavek je na materiál tisku.

2.2 Výběr konkrétní technologie 3D tisku

3D tisk je aditivní technologie výroby, to znamená, že oproti obrábění (odebírání materiálu) jsou součásti vyráběny přidáváním materiálu. Modely tvořené touto metodou bývají právě díky této výhodě ve většině případů již vyráběny jako konečný výrobek, který už není třeba nijak dále upravovat nebo opravovat. Pro některé metody nebo materiály tisku je ale vhodné použít další úpravy, v některých případech to může být dokonce nezbytné.

Materiál, z něhož se požadované součásti tisknou, se vrství na sebe, přičemž jednotlivé části vrstev a pak i samotné vrstvy jsou k sobě různými způsoby slepeny. Při této činnosti může být zapotřebí některé vrstvy či jejich části podepřít, tudíž vznikají nadbytečné části modelu. Těmto pomocným částem se říká podpěry, neboť podpírají takové části modelů, které by jinak nebylo možné z fyzikálních důvodů vytisknout. Tyto podpěry je po tisku nutné z modelu odstranit, ať už fyzicky (např. odlomením), nebo chemicky (některé podpěry se tisknou z rozdílných materiálů než samotný model, vytištěný celek se poté ponoří do chemické lázně, ve které se podpěry rozpustí, a požadovaný model se tím očistí).

Dalším možným dodatečným zpracováním mohou být různé úpravy povrchů. Většina povrchů výrobků vzniklých 3D tiskem nemá povrch hladký, ale strukturovaný – tato struktura je dána vždy konkrétní technologií 3D tisku, kdy záleží na způsobu vrstvení. Jednotlivé materiály se po tisku mohou v případě potřeby vyhlazovat přípravky k tomu určenými.

Některé materiály (převážně kovové prášky) umožňují také následné tepelné zpracování výrobku. Při tisku z kovových materiálů je zapotřebí vysoké teploty tisku, přičemž se při tisku objemnějších součástí mohou ve výrobku objevovat nevhodné teplotní rozdíly. Takto mohou vznikat velká napětí uvnitř vytištěného modelu, která však nejsou žádoucí. Z těchto důvodů se v některých případech přistupuje k dalšímu tepelnému zpracování. Z podobného důvodu je také v některých případech přistupováno k tisku při zvýšených teplotách a v ochranné atmosféře.

V dnešní době je tedy možné využít více možností 3D tisku. Každý tisk funguje na jiném principu, z čehož vychází také rozdílné možnosti. Každá metoda má jinou časovou náročnost – některé metody se odvíjejí od časového intervalu na tisk vrstvy (který je u těchto metod vždy stejný na jednu vrstvu), jiné metody časově závisí na velikosti modelu, tloušťce vrstvy nebo na kombinaci předchozích jmenovaných. Ne každá metoda 3D tisku umožňuje tisknout rozmanité materiály – u některých technologií je výčet možných materiálů mnohem kratší než u jiných. Také cenově se pohybují různé metody tisku ve velmi rozdílných hladinách, rozdíly mohou být až několikanásobné – ceny se odvíjí nejen od vybrané technologie, ale také od použitého materiálu a rychlosti daného tisku. Díky těmto rozdílným možnostem bylo třeba porovnat různé technologie 3D tisku a vybrat tu nevhodnější metodu pro výrobu schránky. Ne každá metoda je však běžně dostupná, tudíž bylo třeba zvážit i tyto faktory.

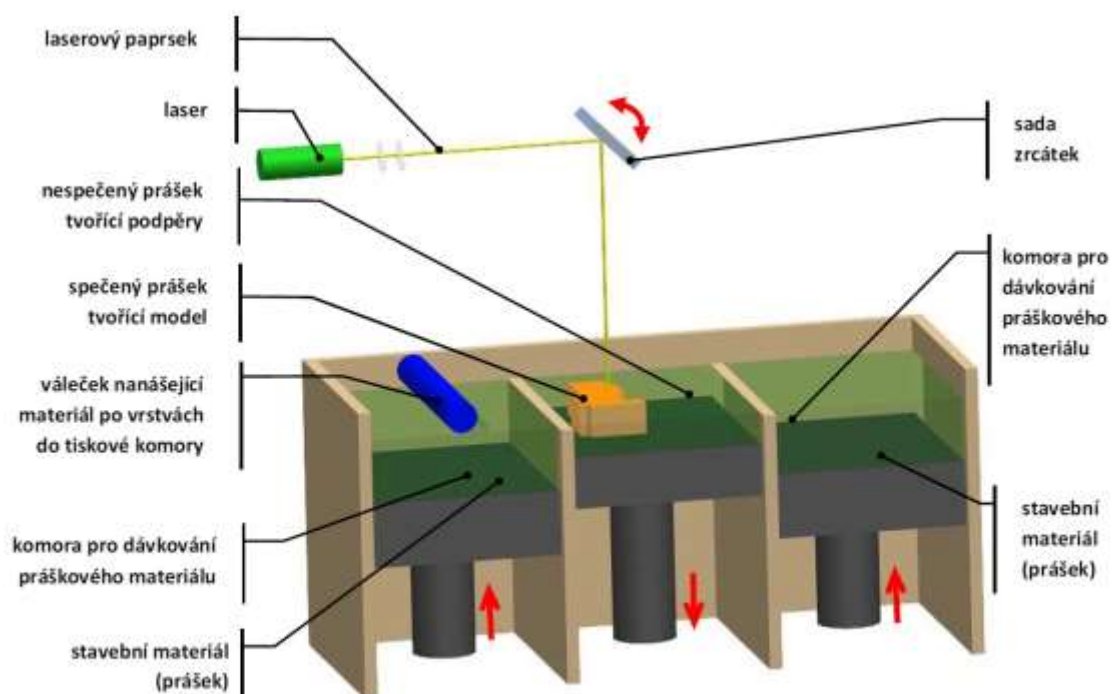
2.2.1 Různé technologie 3D tisku

Všechny technologie 3D tisku fungují na podobném principu, který spočívá v už zmíněném vrstvení materiálu. Rozdíly mezi nimi jsou ale i přesto velké. Technologií 3D tisku je na světě spousta a stále se vyvíjí další a další, proto jsou v této práci vybrány a popsány pouze některé známější a rozšířenější metody.

- SLS / DMLS

Selective Laser Sintering (v překladu „selektivní laserové slinování“) a Direct Metal Laser Sintering (v překladu „přímé laserové slinování kovů“). Obě tyto metody fungují na stejném principu, kterým je laserové spékání práškového materiálu. Tento prášek se nanáší z dávkovací komory pomocí válečku na tiskovou plochu, kde tvoří postupně jednotlivé vrstvy. Pomocí laseru se speče vždy pouze ta oblast, kterou laserový paprsek zasáhne. Zbylý práškový materiál na tiskové ploše zůstává a tvoří tak oporu pro další vrstvy tisku.

V případě SLS se jedná o keramické materiály nebo plasty, u DMLS jsou používány kovové materiály. Rozdílem v těchto metodách je už zmíněný materiál, ale také teplota, která je u metody DMLS několikanásobně vyšší, neboť je třeba tavit kovové materiály. Pro představu, teplota tavení prášku se pohybuje u metody SLS kolem 160-200 °C, u metody DMLS je to až 1510-1600 °C. DMLS tisk se provádí v ochranné atmosféře za použití inertního plynu, výrobek se může také navíc teplotně zpracovávat ke zlepšení vlastností. Schéma metod SLS / DMLS je na obrázku 2.1. [7] [8]

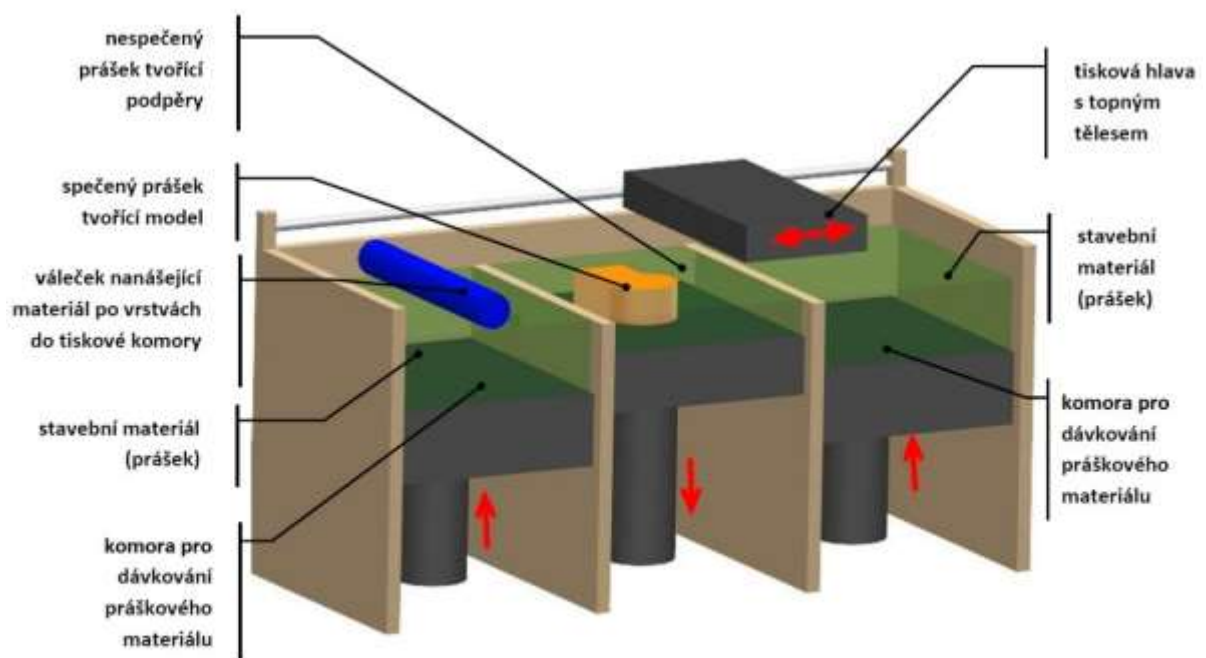


Obr. 2.1: 3D tisk technologií SLS / DMLS [7]

- SHS

Selective Heat Sintering (v překladu „selektivní tepelné slinování“) je ve spoustě věcí velmi podobné předchozí zmiňované metodě. Jediným rozdílem je, že místo použití laserového paprsku je u této metody využívána tisková hlava s topným tělesem. Toto těleso ale neumožňuje tak vysokou teplotu jako laser, tisknout se tak mohou pouze plastové materiály.

Technologie SHS také využívá práškové materiály, které jsou nanášeny válečkem na tiskovou plochu. Následně se tento prášek v požadovaných místech speče pomocí topného tělesa a pokračuje se další vrstvou. Použitý, ale nespečený prášek se dá použít znovu pro výrobu dalších modelů. Schéma metody SHS je na obrázku 2.2. [7]

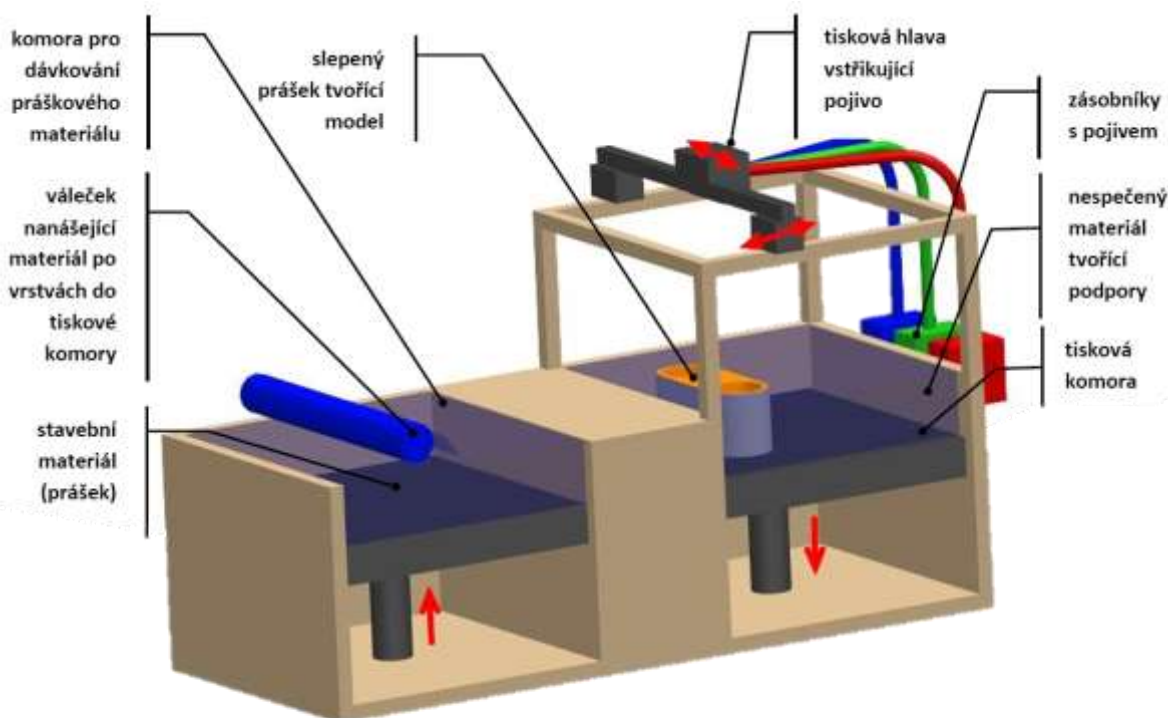


Obr. 2.2: 3D tisk technologií SHS [7]

- BJ

Binder Jetting (v překladu „tryskání pojiva“) je metoda, která také používá k tvorbě modelů práškové materiály. Rozdíl oproti předchozím dvěma metodám je ten, že při využití technologie BJ se tyto materiály netaví, ale je použito navíc tekuté pojivo, které se tryská na vrstvu prášku. Ten pak smícháním s pojivem a následným ztuhnutím drží pohromadě.

Využívané materiály jsou většinou keramické nebo kovové prášky či kompozity, které se opět na tiskovou plochu nanáší válečkem ze zásobníku. Následně přijíždí tryska v tiskové hlavě, která tryská pojivo na požadovaná místa. Pojiva mohou být různá v závislosti na spojovaném materiálu. Nespojený materiál je stejně jako u předchozích metod použit jako podpůrný při tisku dalších vrstev a dá se pak využít k tvorbě dalších modelů. Schéma metody BJ je na obrázku 2.3. [7]

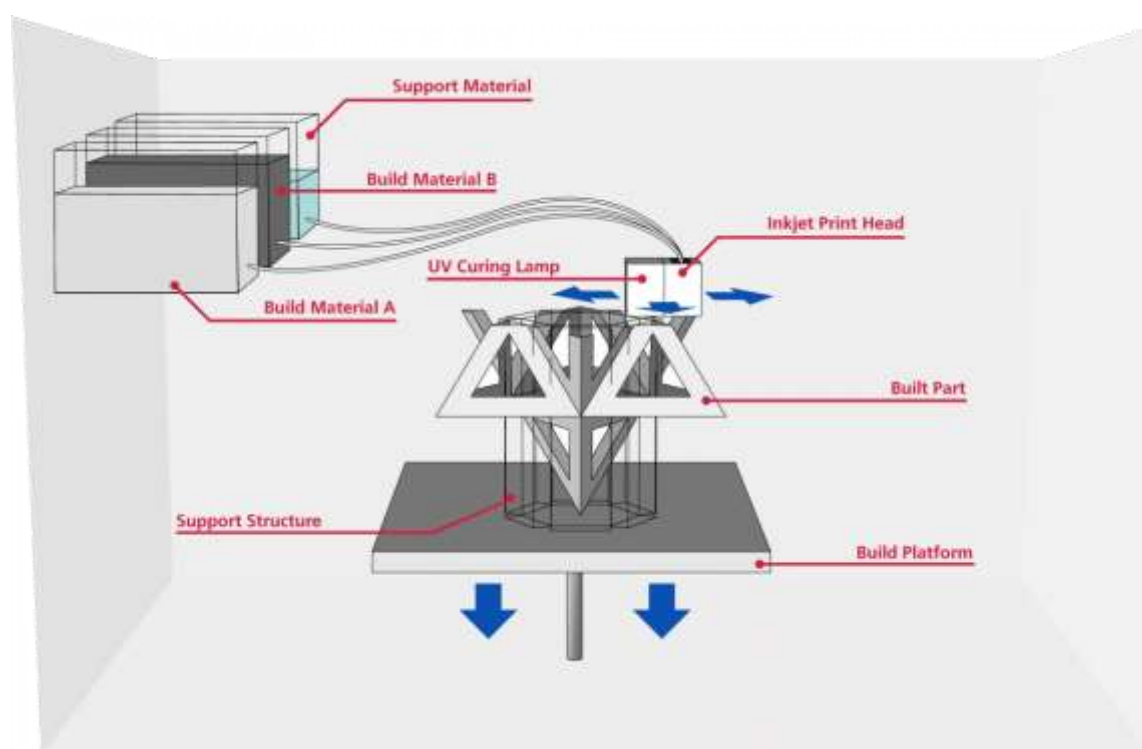


Obr. 2.3: 3D tisk technologií BJ [7]

- MJP

Multijetprintig (v překladu „tisk více tryskami“) je technologie 3D tisku, která využívá fotocitlivých tekutých materiálů. Podobně jako obyčejná 2D tiskárna má tiskovou hlavu s drobnými tryskami, kterými nanáší požadovaný materiál na plochu tisku. Tento materiál je ihned po nanesení vytvrzený pomocí UV lampy a tiskárna pokračuje tiskem další vrstvy.

Výhodou těchto tiskáren (a také odůvodněním jejich názvu) je možnost tisku různými materiály v různých oblastech, tudíž výsledný model může být spojený z několika různých částí, rozdílných např. v barvě či struktuře, ale i s různými fyzikálními či chemickými vlastnostmi. Materiály používané k tomuto tisku jsou např. fotocitlivé plasty či elastomery. Jako podpůrný materiál se u těchto tiskáren používá vosk, modely tedy po vytištění stačí ponořit do teplé lázně, v níž se vosk rozpustí, a tím se součást od podpor zcela očistí. Schéma metody MJP je na obrázku 2.4. [9] [10]



Obr. 2.4: 3D tisk technologií MJP

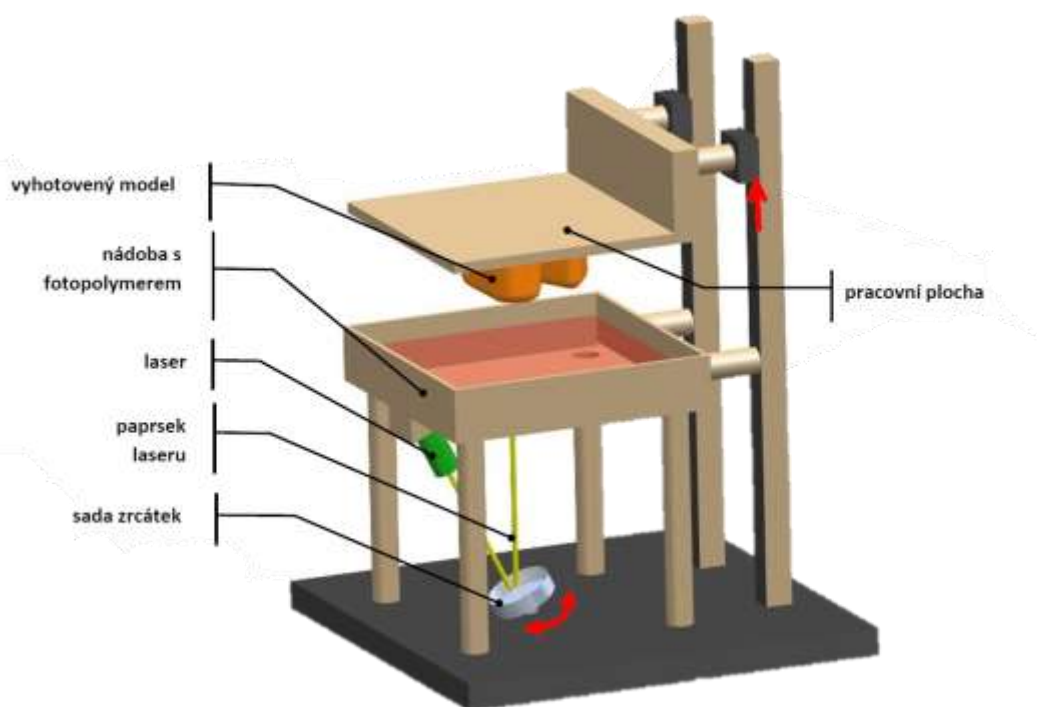
Překlad slovních spojení na obrázku:

- support material – podpůrný materiál
- build material A (B) – stavební materiál A (B)
- UV curing lamp – UV vytvrzovací lampa
- inkjet print head – inkoustová tisková hlava
- built part – tisknutá součást
- support structure – podpůrná struktura
- build platform – stavební plocha

- SLA

Stereolithography Apparatus (v překladu „stereolitografie“) je metoda tisku využívající tekuté fotocitlivé materiály (nejčastěji pryskyřice). Je to jedna z mála technologií, které mohou tisknout modely v opačném směru – tedy odshora dolů. Tato možnost je dána konstrukcí tiskárny. Ta je koncipována tak, že tisková plocha je otočena směrem dolů a ponořena do tekuté pryskyřice. Pryskyřice se pomocí laseru ze spodní strany tiskové plochy přitaví, tisková plocha se posune o tloušťku vrstvy nahoru, čímž odlepí vytištěnou vrstvu ode dna nádoby, a takto se postupně tvoří celý model. Při tisku složitějších součástí je třeba tisknout s pomocí podpor.

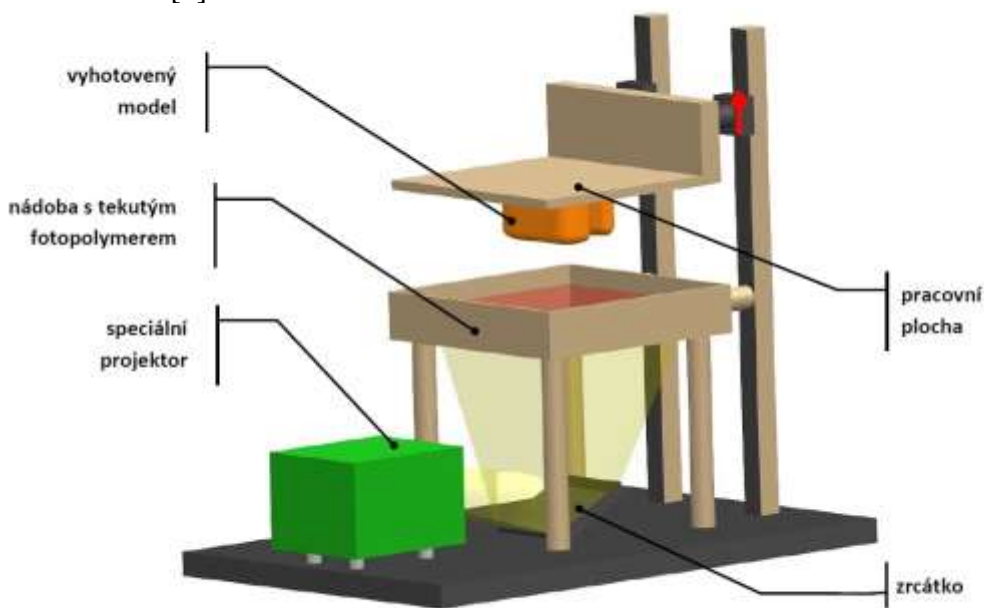
Výhodou tisku metodou SLA jsou velmi kvalitní povrchy tištěných modelů. Tato technologie tisku je jednou z rozšířenějších metod, převážně díky dobrému poměru ceny tisku ku kvalitě vytištěných výrobků. Schéma metody SLA je na obrázku 2.5. [7]



Obr. 2.5: 3D tisk technologií SLA [7]

- DLP

Digital light processing (v překladu „výroba pomocí digitálního světla“) funguje na velice podobném principu, jako tiskárna SLA. Model je také tisknutý ve směru odshora dolů, přičemž se tisková podložka zvedá z nádoby s fotocitlivým tiskovým materiálem. Rozdíl mezi tiskem DLP a SLA je ten, že tiskárny využívající technologii DLP nepoužívají laserový paprsek, ale digitální projektor. Ten je schopný vysvítit pomocí UV záření celý obraz tisknuté plochy najednou v jedné chvíli, čímž několikanásobně urychluje tiskový proces (zejména při tisku několika součástí či při tisku velkých celků). Schéma metody DLP je na obrázku 2.6. [7]

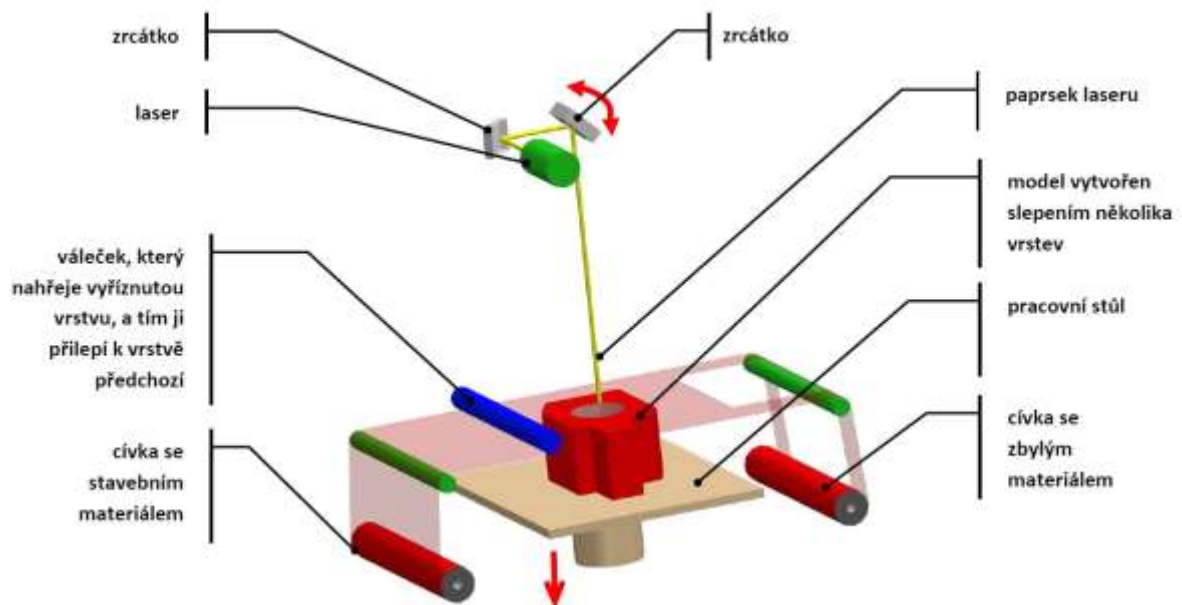


Obr. 2.6: 3D tisk technologií DLP [7]

- LOM

Laminated object manufacturing (v překladu „výroba laminovaných objektů“) je technologie 3D tisku, která k sobě spéká už předpřipravené vrstvy materiálu. Nejčastějšími materiály bývají papírové archy nebo plastové fólie, které se navíjí z jedné cívky na druhou přes tiskovou plochu. Na tiskové ploše se vždy požadovaná část z fólie/archu odřízne pomocí laseru nebo nože a následně se přitaví k předešlé vrstvě. Fólie/arch se po vytištění vrstvy navine na odpadní cívku, čímž se posune o vzdálenost jedné tiskové plochy. Takto se nový materiál dostane na tiskovou plochu a nevyužitý materiál z předchozí vrstvy se uskládňuje na odpadní cívce.

Vzhledem k malé tloušťce jednotlivých fólií je možné tisknout objekty s kvalitním povrchem. Jelikož ale tento způsob tisku neumožňuje tisk jednoduchých podpor, je ve většině případů nutné vytvořené modely dále opracovat. Schéma metody LOM je na obrázku 2.7. [7]



Obr. 2.7: 3D tisk technologií LOM [7]

- FFF

Fused filament fabrication, občas také jako FDM – Fused deposition modeling (v překladu „výroba z taveného vlákna“) je technologie 3D tisku, která je pro svoji kompaktnost jednou z nejznámějších a nejrozšířenějších metod mezi 3D tiskovými nadšenci. Pro jednoduchou dostupnost byla tato metoda zvolena k výrobě schránky pro tuto práci. [7]

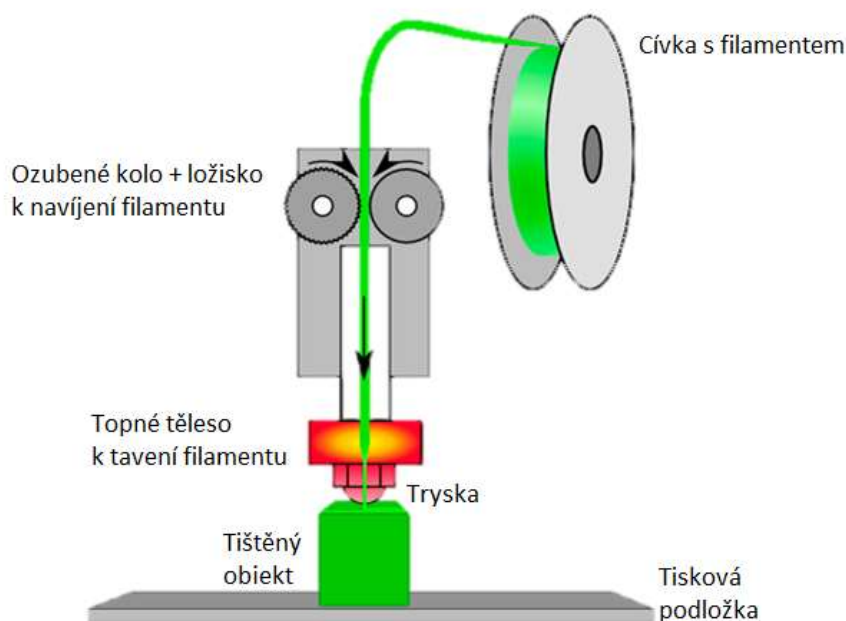
2.2.2 Detailní popis technologie FFF

Samotný název technologie FFF (FDM) částečně prozrazuje, jak tato metoda funguje. K tisku modelů dochází tavením tiskových strun neboli filamentů, které se po řádcích vrství vedle sebe a na sebe. Tyto filameny jsou tisková vlákna, která jsou k dispozici v různých barevných i materiálových variantách. Tisknout technologií FFF se dá nejen plastové výrobky, k dispozici jsou i filameny s obsahem kovů či dřeva. Z jednotlivých materiálů potom vyplývají i vlastnosti výrobků z nich vytištěných. Cívky s filameny jsou na obrázku 2.8.



Obr. 2.8: Filameny na cívkách [11]

Tyto filameny putují do tiskové hlavy neboli extruderu, který si je postupně navíjí. V tiskové hlavě se filameny taví, čímž vzniká tiskový materiál. Ten je pomocí trysky nanášený na tiskovou plochu, kde poté tuhne a tvoří tak výsledný model. Každý filament má svoji specifickou teplotu tavení. Tato teplota musí být nastavena na tiskárně vždy podle hodnot udávaných výrobcem filamentu. Zjednodušený popis tiskové hlavy je na obrázku 2.9.



Obr. 2.9.: Zjednodušené schéma funkce tiskové hlavy (přeloženo do češtiny) [12]

Technologie FFF může využívat nejen různou tloušťku vrstev, ale také různou hustotu výplně modelu – výplně se rozumí vnitřní část tištěných předmětů. Pokud jsou předměty pouze dekorační, či je žádoucí výrobek odlehčit, je vhodné zvolit nižší hustotu výplně. Vyměnitelné trysky některých FFF tiskáren umožňují také různou tloušťku jednotlivých tištěných vláken v závislosti na rozměrech použité trysky – standardní průměry trysek jsou 0,25 mm, 0,4 mm, 0,6 mm a méně často i 1 mm.

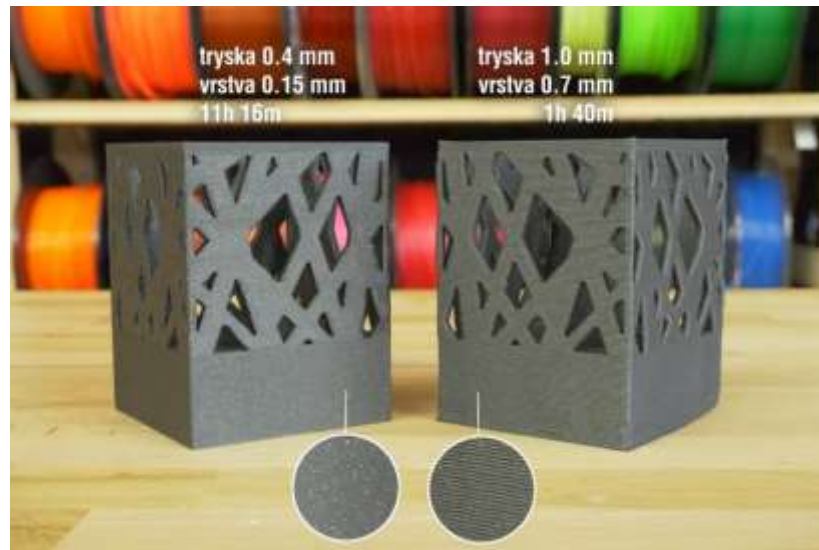
Trysky je vhodné měnit podle rozměrů a účelu využití jednotlivých výrobků, obecně platí, že čím větší tryska a tloušťka vrstvy, tím rychlejší čas, ale méně kvalitní povrch. Je tedy vždy třeba porovnat vhodnost použití větší či menší trysky. Na obr. 2.10, 2.11 a 2.12 je srovnání tisku různými tryskami s různými vrstvami tisku. Obr. 2.10 – nevhodné použití větší trysky, obr. 2.11 – vhodné použití větší trysky (modely jsou téměř bez rozdílu) a obr. 2.12 – viditelný rozdíl kvality tisku (estetické rozdíly), nicméně v případě stojánku na tužky toto nahrazení vůbec nemá vliv na používání výrobku. [13]



Obr. 2.10: Porovnání tisku různými tryskami [13]



Obr. 2.11: Porovnání tisku různými tryskami [13]



Obr. 2.12: Porovnání tisku různými tryskami [13]

2.2.3 Konkrétní použitá tiskárna

K tisknutí schránky do této práce byla použita FFF tiskárna Prusa i3 MK3, která je uživatelsky velmi přívětivá. Tato tiskárna dokáže tisknout z rozmanitých druhů filamentů a lze ji poměrně snadno ovládat i nastavovat. Tiskárna Prusa i3 MK3 má hned několik výhod, jelikož je koncipována jako stolní tiskárna i pro naprosto nezkušené uživatele. Na obr. 2.13 je tabulka parametrů tiskárny z webových stránek výrobce. [14]

Parametry tiskárny

Pracovní prostor	250 x 210 x 210 mm
Průměr trysky	0,4 mm
Tisková struna	1,75 mm
Podporované materiály	PLA, ABS, PET, HIPS, Flex PP, Ninjabflex, Laywood, Laybrick, Nylon, Bamboofill, BronzeFill, ASA, T-Glase, filamenty s uhlíkovým vláknem, polykarbonát, aj.
Výška vrstvy	0,05 - 0,32 mm
Vyhřívání podložka	ano
Automatická kalibrace	ano
Maximální rychlost tisku	200+ mm/s
Příkon	200 W max.

V ceně každé tiskárny je 1kg materiálu zdarma.

Obr. 2.13: Parametry zvolené tiskárny [14]

První z výhod této tiskárny jsou samotné její části jako takové. Tiskárna má speciální tiskové pláty s PEI povrchem, které jsou pružné a vyhřívány. Vyhřívání tiskové podložky má za následek to, že nedochází ke stahování první tisknuté vrstvy vlivem ochlazení, tudíž tato vrstva nemá tendence se smršťovat a tím se předčasně odlepovat od podložky. Pružnost podložek se snaží docílit opačného efektu po dokončení tisku – podložku lze sejmut z tiskové plochy a lehce ji ohnout, což umožňuje snadné odlepení výtisku, aniž by byla zničena podložka nebo i samotný výrobek. Podložky jsou dostupné ve dvou provedeních – hladká a hrubá (obr. 2.14). V závislosti na zvolené podložce má stejnou strukturu pak i spodní strana výtisku. Pro účely této práce byla zvolena hladká podložka. [14]



Obr. 2.14: Tiskové podložky [11]

Druhou výhodou vybrané tiskárny je tzv. Mesh Bed Leveling (v překladu „změření hladiny lože“). Jde o měření malých posuvů výšky tiskové plochy, např. v případě, že se pod podložku dostane drobná nečistota. Toto měření je prováděno sondou PINDA (zkratka slov Prusa Induction Autoleveling), která je schopna tyto drobné odchylky zaznamenat a další pohyby tiskové hlavy uzpůsobit tak, aby výsledný výtisk nebyl ovlivněn výchytkou podložky. Mesh Bed Leveling probíhá tak, že tiskárna sníží tiskovou hlavu k podložce, a na 9 bodech podložky postupně odměří pomocí sondy nulovou hladinu. V nastavení je možné zvolit měření i pro více bodů, většinou je ale 9 bodů dostačujících. Toto měření se provádí automaticky před každým novým tiskem, není tak potřeba tisk pokaždé znovu zkoušet a měnit nastavení ručně.

Další z výhod této tiskárny je interaktivní menu, které umožňuje jednoduše navolit možnosti tisku. V tomto menu lze nastavit použitý materiál, podle nějž tiskárna automaticky nastaví teploty trysky a podložky. Pro většinu materiálů už je v menu přednastavená hodnota, kterou stačí pouze zvolit, vhodné je ale pro jistotu zkontrolovat, zda parametry odpovídají doporučeným parametrům od výrobce filamentu. Pokud je použit originální doporučený filament, není třeba nastavení kontrolovat.

Pro kompletní nastavení tiskárny se používá program PrusaSlicer, který je originálním slicerem pro tuto tiskárnu. Výhodou použití sliceru a tiskárny od stejného výrobce je, že většina parametrů už je nastavena automaticky při výběru správné použité tiskárny. Tiskárna Prusa i3 MK3 je na obr. 2.15. Více informací o nastavení tiskárny před tiskem je v kapitole 3 – Příprava zpracování schránky. [15]



Obr. 2.15: 3D tiskárna Prusa i3 MK3

2.3 Materiál pro výrobu schránky

Možnosti 3D tisku jsou dnes již vcelku rozšířené, uživatel si tedy může vybrat z velkého množství materiálů, ze kterých lze tisknout. Jelikož je schránka vyráběná pro použití v dětských hrách, je důležité, aby materiál použitý na tisk součástí nebyl toxický či jinak zdravotně závadný. Schránka bude tisknuta na tiskárně Prusa i3 MK3, tudíž lze vybírat z několika materiálů, jejichž vhodnost bude dále posouzena. Různé materiály doporučené výrobcem tiskárny jsou na obr. 2.16, z materiálů jsou vytisknuté ukázkové modely Buddhy, některé z modelů jsou po tisku různými způsoby upraveny.



Obr. 2.16: Ukázkové modely z různých materiálů [16]

Z obr. 2.16 lze vyčíst možné materiály pro výrobu schránky. Tyto materiály mají různé vlastnosti a odlišnou cenovou relaci. Parametry některých těchto materiálů budou porovnány v následujícím seznamu. Na konci seznamu materiálů je tabulka, ve které lze přehledně srovnat nejdůležitější parametry pro výrobu schránky.

2.3.1 Možné materiály tisku

- PLA

Zkratka PLA znázorňuje polyaktidová vlákna – vlákna z kyseliny mléčné. Jedná se o nejčastěji používaný materiál 3D tisku na jednoduché a nenáročné modely. PLA má dobré tiskové vlastnosti – nízká teplota tání, tvrdé výtisky a nízká tepelná roztažnost. Tento materiál má navíc dobrou rozložitelnost, díky které není škodlivý pro životní prostředí, tak jako některé jiné termoplasty. PLA je svým složením chemicky nezávadný, proto se dá označit za vyhovující materiál pro tuto práci.

PLA má ale i své nevýhody, mezi které lze zařadit opět nízkou teplotu tání – při tisku je tato vlastnost výhodou, nevýhodou však je, že výrobky z PLA nesmí být vystaveny vysokým teplotám po delší dobu, neboť by mohly roztát. Další nevýhodou je křehkost tohoto materiálu – pokud jsou tištěny drobnější předměty, vysoká tvrdost materiálu způsobuje i jeho křehkost. Z tohoto důvodu je třeba dbát opatrnosti už při navrhování modelů z PLA a vyvarovat se příliš tenkých detailů. PLA je materiál výsledně zvolený pro tuto práci. Ukázka výrobku z PLA je na obr. 2.17. [16]



Obr. 2.17: Výrobek z PLA + cívka filamentu [16]

- ABS

Dalším často používaným materiálem pro 3D FFF tiskárny je ABS, celým zněním akrylonitrilbutadienstyren. Tento materiál patří také do skupiny termoplastů, stejně jako PLA. Materiál ABS je v porovnání s PLA vhodný pro náročnější výrobky. Má vyšší teplotu tání, čímž vydrží vyšší teploty než PLA. ABS není tak tvrdým materiálem jako PLA, a to díky příměsím syntetického kaučuku, který způsobuje to, že výrobky z ABS jsou odolnější a mají lepší mechanické vlastnosti.

Výhodou ABS také je, že je rozpustný v acetonu, což má další využití. První z nich je, že výrobky tisknuté z ABS lze snadno upravit v rámci povrchových úprav – nejčastěji se výrobky leští, což vyhladí stopy jednotlivých vrstev 3D tisku a výsledný model může povrchovou strukturou připomínat odlitek. Druhou výhodou rozpustnosti ABS je, že je možné jednoduše tvořit velké modely (v takových rozměrech, které už nelze tisknout na stolní tiskárně), a to slepováním menších modelů k sobě právě pomocí acetonu. Výrobek z ABS je na obrázku 2.18. [16]



Obr. 2.18: Výrobek z ABS + cívka filamentu [17]

- PET

Další z termoplastů je PET, nebo oblíbenější a častěji používaný PETG. PET je zkratka pro polyethylentereftalát. Písmeno G ve zkratce PETG znamená glykol, který je do PETG přidáván ke zlepšení vlastností. Snahou je docílit toho, aby byl materiál méně křehký a aby bylo jednodušší tímto materiálem tisknout 3D modely. Používá se většinou k tvorbě pevných a účelných dílů díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem, z tohoto důvodu je také vhodný pro tisk výrobků do venkovního prostředí. PETG je jedním z houževnatějších termoplastů. Na obrázku 2.19. lze vidět výrobek z PET-G. [16]



Obr. 2.19: Výrobek z PETG a filament [16]

- HIPS

Zkratka HIPS znamená high impact polystyren. Tento materiál má podobné vlastnosti jako ABS, HIPS má oproti němu však mírně menší hustotu. Hlavní výhodou při použití v 3D tisku je ale jeho rozpustnost v d-limonenu (druh uhlovodíku). Díky tomu je možné tento materiál využívat při tisku jako podpurný (většinou se využívá při tisku větších modelů z ABS, kvůli podobným vlastnostem). Podpory se pak snadno odstraní pomocí ponoření do d-limonenu a zůstane pouze model z ABS, není tak třeba složitě odstraňovat podpory a jednoduše se tak lze vyhnout zničení částí výrobku. Příklad tisku s podporami z materiálu HIPS a jejich odstranění v d-limonenu je na obrázku 2.20. [18]



Obr. 2.20: Model z ABS + rozpustné podpory z HIPS [18]

- PP

PP neboli polypropylen je materiál, z něhož se dají tisknout ohebné výrobky. V praxi se používá například ve známých Kinder vajíčkách, kde tvoří vnitřní kapsli s hračkou uvnitř. Tento materiál je zdravotně nezávadný, proto je možné jej použít i při styku s potravinami. Také je velmi odolný při styku s různými druhy chemikálií. Další z výhod je možnost tisku velmi tenkostěnných výrobků, díky pružnosti materiálu. Pro tisk na 3D tiskárně ale nemá příliš vhodné vlastnosti, je velice náročný. PP má velmi špatnou přilnavost k podložce, a také má velkou teplotní roztažnost, takže je potřebné mít k tiskárně vyhřívanou schránku, aby se výtisk ochlazoval stejnoměrně až po dokončení tisku. Příklady ohebných výtisků z PP jsou na obrázku 2.21. [19] [20]



Obr. 2.21: Výtisky z PP – krabička a stahovací páska [20]

- PA

PA znamená zkratku slova polyamid, tento materiál je ale častěji známý pod názvem nylon. PA má vynikající vlastnosti pro použití v technickém směru – má dobrou mechanickou i teplotní odolnost, proto se používá k výrobě plastových součástí do funkčních strojů. Tisk materiálem PA ale není vhodný pro nezkušené uživatele, jelikož má špatné tiskové vlastnosti. Materiál špatně drží na podložce, a také má vysokou teplotní roztažnost, což se při rychlém chladnutí tisknutých vrstev může projevit kroucením výrobku. Proto je vhodné při použití PA tisknout ve vyhřívané schránce, stejně jako u tisku z PP. Na obr. 2.22 je výtisk jednoduché funkční sestavy ozubených kol z nylonu. [21]



Obr. 2.22: Sestava ozubených kol z PA [21]

- Kompozitní materiály

Mezi kompozitní materiály lze řadit více druhů, zjednodušeně se jedná ale vždy o stejný princip, kterým je přidání různého materiálu do jiných (dříve zmíněných) filamentů. Tyto kombinace se provádí za účelem vylepšení filamentu z různých důvodů. Kompozity plněné dřevěným či kovovým práškem (většinou PLA) mají za účel změnit hlavně vzhled vyráběných těles, které mají po vytištění sloužit převážně k dekorativním účelům jako imitace daného materiálu. Příklady takových dekorací jsou na obr. 2.23. Druhou variantou jsou kompozity sloužící k vylepšení mechanických vlastností tištěných předmětů. K takovým se řadí např. filamenty s uhlíkovými, kevlarovými nebo skleněnými vlákny. Tisk s takovými kompozity je náročnější, výrobky jsou ale kvalitnější než při použití neobohacených filamentů. Z těchto materiálů lze tisknout funkční pevné i pohyblivé části strojů, jako je např. rám RC dronu nebo turbína na obr. 2.24. [22] [23]



Obr. 2.23: Dekorace z kompozitů – měděná sekyra, dřevěný panáček a filament [23]



Obr. 2.24: Rám RC dronu a turbína [22]

- Tabulka porovnávaných materiálů

Tato práce se zabývá tiskem schránky, která má sloužit k využití ve hrách. Vybírání materiálu se odvíjelo primárně od ceny a momentální dostupnosti filamentu, až na dalších místech pak byly další parametry. Pro užší výběr materiálu schránky byly vybrány jen levnější, dostupnější a na tisk méně náročné materiály – PLA, ABS a PETG. Jelikož je schránka koncipována tak, aby se dala použít v dětských hrách, požadavkem byly také materiály chemicky nezávadné, nejlépe vhodné i pro styk s potravinami. ABS tuto podmínku nespĺňuje, tudíž bylo z výčtu parametrů odebráno. V tabulce 2.1 je tedy vidět srovnání PLA a PETG materiálů. [16]

Materiál	Nutnost tvrzené trysky	Teplota trysky (+-10 °C)	Teplota podložky (+-10 °C)	Tisknutelné na texturovanou podložku	Tisknutelné na hříadkou PEI podložku
> PLA (15)	Ne	210 - 215 °C	60 °C	✓	✓
> PETG (8)	Ne	230 - 270 °C	90 °C	✓	s tyčinkovým tepidlem

Materiál	Rozpustné běžnými rozpouštědly	Teplotní odolnost (avg. °C)	Rázová houževnatost Charpy (kJ/m ²)	Odolnost v tahu (Mpa)	Cena
> PLA (15)	✗				
> PETG (8)	✗				

Tab. 2.1: Porovnání filamentu PLA a PETG [16]

Z tabulky 2.1 je viditelné, že tiskové nároky jsou o trochu menší pro tisk z filamentu PLA, který je zároveň levnější variantou. Rázová houževnatost a teplotní odolnost je lepší u PETG materiálu, odolnost v tahu naopak u PLA. Pro lepší možnost porovnání těchto dvou materiálů byly srovnány také klady a zápory podle zkušených uživatelů (rozdíly jednotlivých materiálů jsou v tabulkách 2.2 a 2.3). [24] [25]

Klady	Zápory
✓ Nízká cena	✗ Tvrdý a křehký
✓ Snadno tisknutelný, vhodný pro začátečníky	✗ Nízká UV a teplotní odolnost
✓ Dobrý detail, slabé kroucení	✗ Náročný post-processing
✓ Vhodný pro velké modely	

Tab. 2.2: Klady a zápory filamentu PLA [25]

Klady	Zápory
✓ Snadný tisk	× Možné stringování (tvorba vlásků)
✓ Dobrá přilnavost vrstev	× Špatné přemostění a převisy
✓ Tuhý a odolný materiál	× Nevhodné k tisku detailních částí
✓ Slabé kroucení	× Silná přilnavost k podložce
✓ Vysoká teplotní odolnost	× Rozpustné v nebezpečných chemikáliích
✓ Voděodolný	× Podpěry se špatně odstraňují

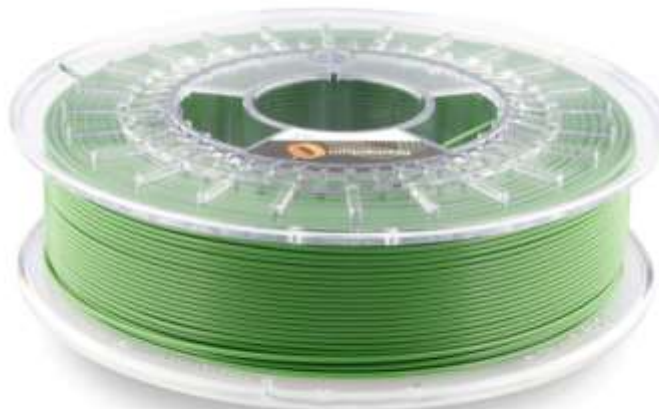
Tab. 2.3: Klady a zápory filamentu PETG [24]

Zajímavé klady i zápory pro tisk schránky byly porovnány – důležité pro tisk schránky je následující: dobrá cena, kvalitní detaily, dobré přemostění/převisy (úvaha se odráží z modelu). Nepotřebnými hodnotami jsou např. teplotní odolnost nebo UV odolnost. Vzhledem k dostupnosti materiálu v okamžik tisku bylo přikloněno k volbě materiálu PLA, konkrétně materiálu od společnosti Fillamentum. Tento materiál je popsán v následující podkapitole.

2.3.2 Detailní popis vybraného filamentu – PLA

K výrobě byl použit filament od společnosti Fillamentum – PLA Extrafill 1,75 mm v barvě trávově zelená (na obrázku 2.25). Popis filamentu od českého prodejce zní takto:

„Fillamentum PLA Extrafill je materiál pro FFF (také známý jako FDM) technologie 3D tisku vyrobený v Česku. Výhodou tohoto materiálu je snadné použití pro 3D tiskárny. Materiál umožňuje vysokou kvalitu tisku, i při náročných detailech. PLA vlákno je vyrobeno z přírodních surovin a je snadno biologicky odbouratelné složením. Fillamentum zaručuje vysokou přesnost rozměrů filamentu v toleranci +/- 0,05 mm, která je pod přísnou kontrolou v průběhu výroby.“ [26]



Obr. 2.25: Použitý filament PLA Fillamentum Extrafill [27]

V tabulce 2.4 jsou parametry filamentu pro tisk, vyčteno z materiálového listu výrobce. Podle těchto parametrů bude dále pokračováno ve výrobě při nastavení tiskárny před tiskem a při nastavení samotného tisku. K použití v této práci byla vybrána varianta s průměrem 1,75 mm, cívka o hmotnosti vlákna 750 g, délka vlákna 255 m. [27]

Pracovní teplota:	190-210 ° C
Teplota tiskové podložky:	50-60 ° C
Dostupné průměry:	1,75 mm a 2,85 mm
Tolerance průměru:	+/- 0,05 mm
Hmotnost:	750 g vlákna (+ 230 g cívky) 2,5 kg vlákna (+ 590 g cívky)
Délka vlákna:	255 m (1,75 mm, 750 g) 97 m (2,85 mm, 750 g) 840 m (1,75 mm, 2,5 kg) 325 m (2,85 mm, 2,5 kg)
Polymerní základna	kyselina polyaktová
Mechanické vlastnosti	tuhý
Biologická rozložitelnost	průmyslový kompostér (měsíce)
Teplotní odolnost bez / po žíhání	55/80 ° C
Optické vlastnosti	nažloutlý, průhledný
Citlivé na vlhkost	***
Bezpečné pro aplikace přicházející do styku s potravinami	Ano
Recyklovatelnost	Recyklovatelné obvykle se ztrátou mechanických vlastností

Tab. 2.4: Parametry zvoleného filamentu PLA Fillamentum Extrafill [27]

3 PŘÍPRAVA ZPRACOVÁNÍ SCHRÁNKY

Před samotným tiskem na 3D tiskárně je třeba zpracovat podklady pro tiskárnu. Nejdříve je třeba promyslet, jak bude výsledný model vypadat a jaké jsou konkrétní požadavky. Dále je třeba model vytvořit v softwaru pro 3D modelování, pak tento model (respektive jeho součásti) vyexportovat ve formátu, který podporuje program pro tzv. „slicování“ (tzn. rozdělení modelu na tiskové vrstvy) a z tohoto programu vyexportovat tzv. „G-code“ (v programovacím jazyce tisku), který už se nahrává přímo do tiskárny.

3.1 Změření a designování základních rozměrů

Nejdříve bylo třeba zpracovat rozměrové parametry modelu – vnitřní průměr a délku, tloušťky stěn a podle toho se odvíjející ostatní rozměry. Požadavkem byla možnost umístění klíče do otvoru uvnitř schránky. Posuvným měřítkem byly změřeny klíče používané při únikových hrách, aby byly zjištěny minimální potřebné rozměry vnitřního otvoru. Měření klíčů lze vidět na obr. 3.1 a 3.2.



Obr. 3.1: Měření délky klíče



Obr. 3.2: Měření šířky klíče

Změřením klíčů byly zjištěny tyto rozměry:

- Minimální průměr vnitřního otvoru: 25,8 mm
- Minimální délka vnitřního otvoru: 79,5 mm

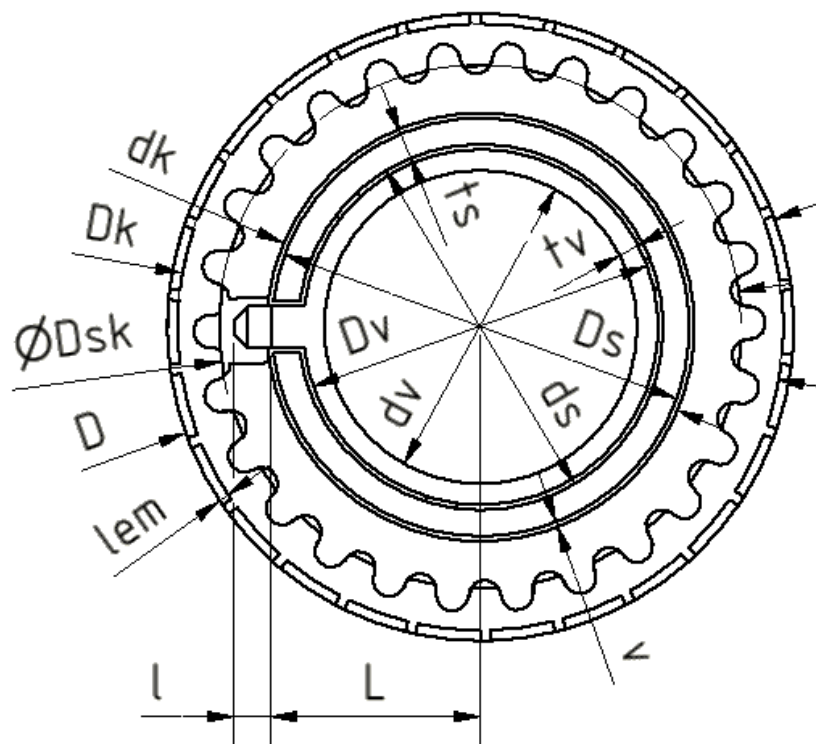
Změřené hodnoty byly uváženy a po přidání drobného přídatku cca 5 mm k oběma rozměrům byly zvoleny vnitřní rozměry schránky:

- Průměr vnitřního otvoru: 30 mm
- Délka vnitřního otvoru: 85 mm

Podle těchto rozměrů už bylo možné se odrazit při začátkách tvorby samotných modelů schránky.

3.2 Vytvoření schémat částí schránky

Před samotnou tvorbou modelů bylo třeba vytvořit jednoduché schéma, znázorňující jednotlivé díly a jejich hlavní rozměry. Porovnat bylo třeba hlavně průměry jednotlivých dílů. Již zmíněný vnitřní průměr byl nastavený na 30 mm, další rozměr, kterého bylo třeba se držet, byl prostor pro určitou výchylku tisku – rotační části schránky do sebe musí přesně zapadat, nesmí být ale vytištěny s přesahem (kromě sestavení vnitřní – vnější kroužek). Menší vůle v případě dílů schránky není závadou, proto byla zvolena vůle mezi jednotlivými stěnami 0,5 mm, na průměru to tedy znamená rozdíl 1 mm. Tloušťka stěn byla volena v závislosti na funkci jednotlivých dílů. Vnitřní část schránky má tloušťku stěny 2 mm, středová část 2,5 mm. Na obrázku 3.3 je schéma s popisy názvů rozměrů jednotlivých částí schránky.



Obr. 3.3: Schéma jednotlivých rozměrů

Ze schématu výše jsou patrné jednotlivé zkratky pro různé rozměry modelu, podle nichž je možné se orientovat v následujících výpočtech.:

d_v – vnitřní průměr vnitřní části

D_v – vnější průměr vnitřní části

t_v – tloušťka vnitřní části

d_s – vnitřní průměr středové části

D_s – vnější průměr středové části

t_s – tloušťka středové části

v – vůle mezi částmi

lem – šířka ohraničení schránky

d_k – vnitřní průměr kroužků

D_{sk} – střední průměr kroužků

D_k – vnější průměr kroužků

D – celkový průměr

l – délka zamykacího zoubku

L – vzdálenost podložení zamykacích zoubků od středu schránky

Výpočty jednotlivých rozměrů:

Známe:

$$d_v = 30 \text{ mm}$$

$$v = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_v = 2 \text{ mm}$$

$$l = 4 \text{ mm}$$

$$\text{lem} = 1 \text{ mm}$$

$$t_s = 2,5 \text{ mm}$$

$$L = 20 \text{ mm}$$

Výpočet:

$$D_v = d_v + 2 \cdot t_v;$$

$$d_s = D_v + 2 \cdot v;$$

$$D_s = d_s + 2 \cdot t_s;$$

$$d_k = D_s + 2 \cdot v;$$

$$D_{sk} = d_k + 2 \cdot l + 2 \cdot v;$$

$$D_k = d_{sk} + 2 \cdot l$$

$$D = D_k + \text{lem}$$

$$D_v = 30 \text{ mm} + 2 \cdot 2 \text{ mm} = 34 \text{ mm}$$

$$d_s = 34 \text{ mm} + 2 \cdot 0,5 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

$$D_s = 35 \text{ mm} + 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$d_k = 40 \text{ mm} + 2 \cdot 0,5 \text{ mm} = 41 \text{ mm}$$

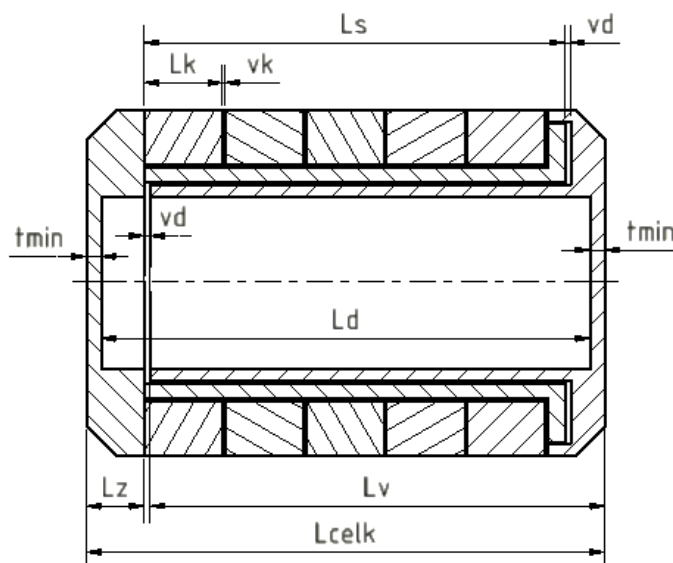
$$D_{sk} = 41 \text{ mm} + 2 \cdot 4 \text{ mm} + 2 \cdot 0,5 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

$$D_k = 50 \text{ mm} + 2 \cdot 4 \text{ mm} = 58 \text{ mm}$$

$$D = 58 \text{ mm} + 2 \cdot 1 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$$

Se započítáním všech parametrů byl zjištěn výsledný celkový průměr schránky, který činí 60 mm. Pro kroužky byly započítány stejné tloušťky stěn v obou případech, jelikož je třeba vytvořit spojovací drážkování (znázorněno už ve schématu na obr. 3.3).

Dále bylo třeba rozvrhnout také délkové rozměry tak, aby odpovídaly požadavkům. Opět je možné se podívat na jednoduché schéma, které znázorňuje jednotlivé délkové rozměry všech částí (obr. 3.4).



Obr. 3.4: Schéma jednotlivých délkových rozměrů

Na schématu jsou vidět délkové rozměry jednotlivých částí:

v_d – vůle na délkové rozměry

t_{min} – minimální tloušťka stěny délkové části

v_k – vůle mezi jednotlivými sestavami kroužků

L_d – délka dutiny

L_v – délka vnitřní části

L_s – délka středové části

L_z – délka zátky

L_k – délka jedné sestavy kroužků

L_{celk} – celková výsledná délka schránky

Tyto rozměry byly voleny, respektive dopočítány následovně:

$$v_d = 1 \text{ mm}$$

$$L_v = 79 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 2,5 \text{ mm}$$

$$L_s = 73 \text{ mm}$$

$$v_k = 0,4 \text{ mm}$$

$$L_z = 10 \text{ mm}$$

$$L_d = 85 \text{ mm}$$

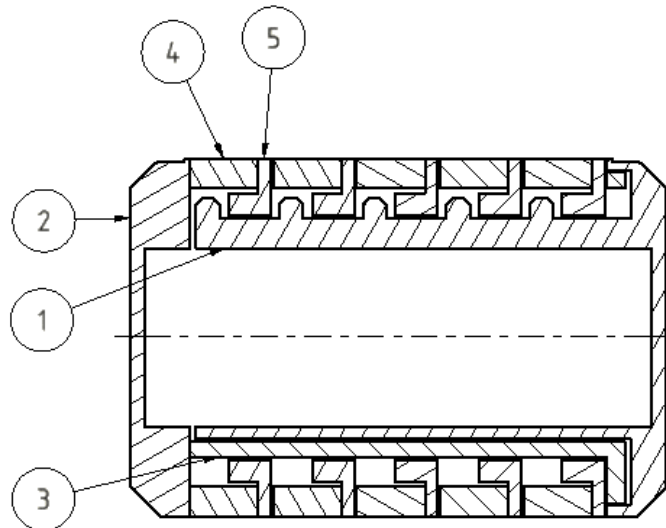
$$L_k = 13,6 \text{ mm}$$

$$L_{celk} = 90 \text{ mm}$$

Celková délka schránky je tedy 90 mm.

3.3 Tvorba jednotlivých modelů schránky v programu Inventor

Poté co byly rozvrhnuty základní rozměry bylo možné začít tvořit modely částí schránky. Schránka se skládá z částí popsanych na obrázku 3.5.



Obr. 3.5: Součásti schránky

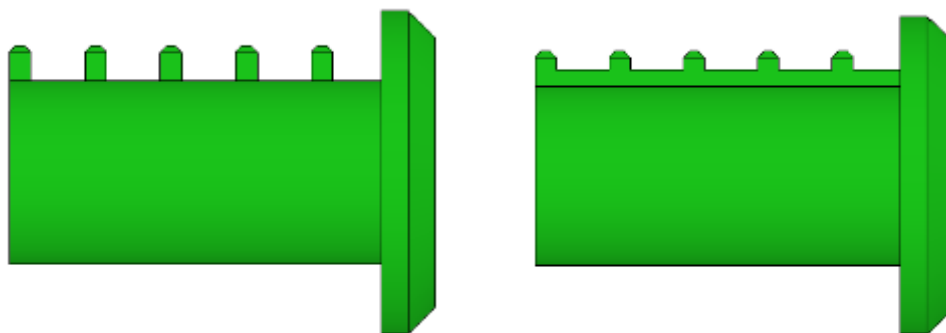
Na obrázku jsou označeny tyto části:

- 1) Vnitřní část
- 2) Zátka
- 3) Středová část
- 4) Vnější část zamykacího kroužku
- 5) Vnitřní část zamykacího kroužku

Části schránky budou jednotlivě popsány:

- Vnitřní část

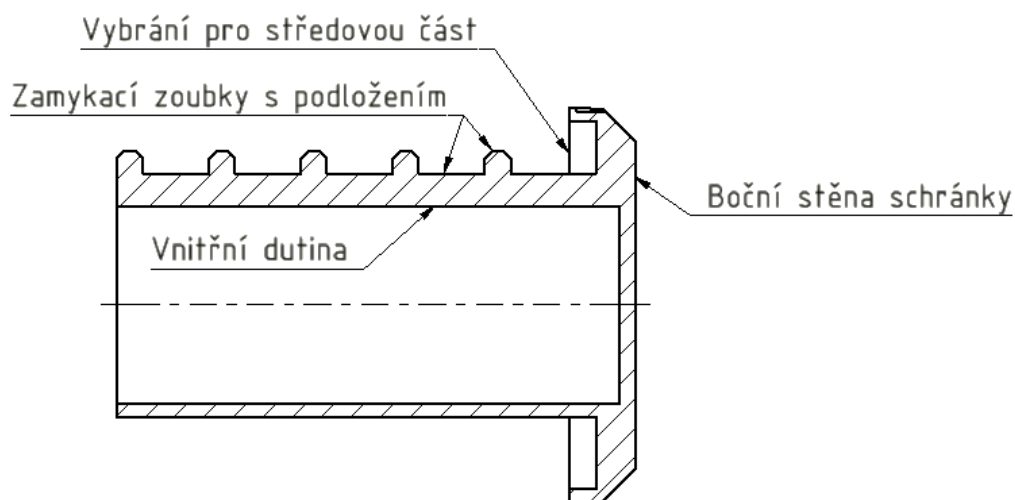
Tato část schránky je místo, kam se ukládají předměty. Je tvořena dutinou, která slouží jako úložný prostor, a dále větší částí, která tvoří jeden bok celé schránky. Z vnější strany má vnitřek schránky navíc zamykací zoubky o šířce 4 mm, které jsou umístěné na podložení. Toto podložení je vytvořené proto, aby zoubky nebyly příliš dlouhé a tenké a nedošlo tak snadno k jejich zničení. Zoubky prochází skrz stěnu středové části schránky a až pak se dostávají do prostoru zamykacích kroužků. V místě, kde prochází stěnou, tedy není třeba mít zoubky oddělené a pro zvýšení pevnosti je právě vytvořeno již zmiňované podložení. Variantu zoubků bez podložení (méně pevné) a s podložním (pevnější) lze vidět na obr. 3.6.



Obr. 3.6: Varianty tvorby zamykacích zoubků – zleva: bez podložení, s podložním

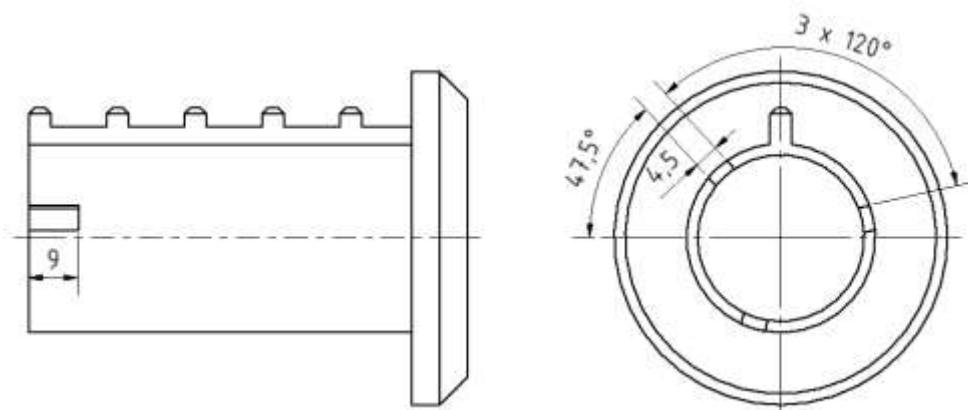
Z obrázku 3.6 lze vidět, že zamykací zoubky by mohly být v případě nevyužití podložení snadno náchylné k ulomení. Zoubky jsou namáhány na tlak, jelikož je za tuto část taháno při otevírání schránky a zoubky slouží právě k tomu, aby schránka nešla bez nastavení správného hesla otevřít. V tomto případě totiž zůstanou zoubky zaražené o zamykací kroužek a schránku nelze otevřít.

Z funkčních důvodů je dále třeba vnitřní část upravit pro umístění středové části. Je nutné vymodelovat vybrání, které bude v boční (velké) části modelu. Tvar vybrání a modelu s již popsányými prvky je znázorněn v řezu součásti na obr. 3.7.



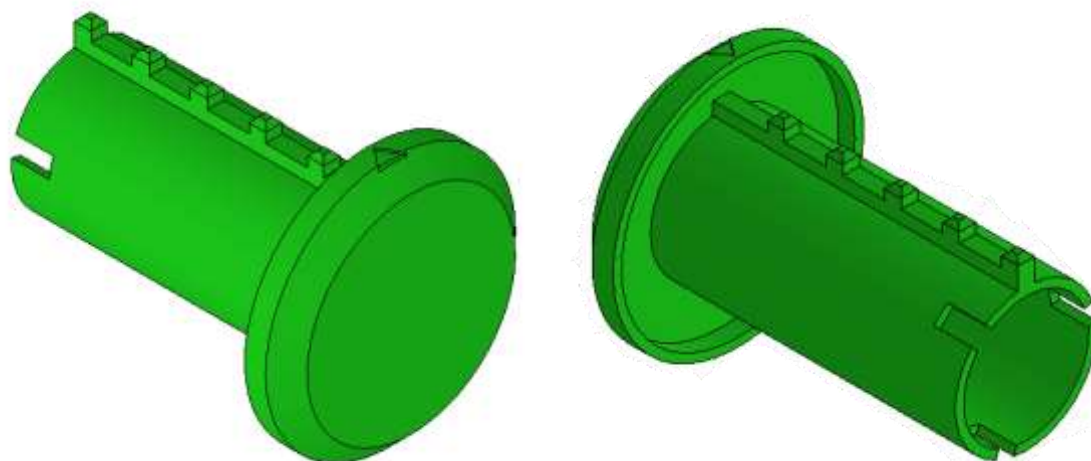
Obr. 3.7: Řez vnitřní části schránky s popisem

Pro správné plnění zamykací funkce je ještě třeba přidat tři výřezy na volném konci vnitřní části schránky – jsou tam z důvodu napasování k zavřené zátce, kterou po uzamčení schránky díky těmto výřezům nebude možné bez nastavení hesla otevřít. Tyto výřezy jsou modelovány pod úhly a s rozměry odvozenými z ostatních součástí schránky. Rozměry a poloha výřezů jsou znázorněny na obr. 3.8.



Obr. 3.8: Rozměry a poloha výřezů vnitřní části schránky

Pro kompletní celkový design je na boční části v místě, kde se nachází zoubky, vytvořena šipka pro znázornění místa k zadání hesla. Stejné znázornění bude i na protějším kusu – tedy na zátce. K vytvoření tohoto znázornění bylo využito funkce „Reliéf“, kterou nabízí program Inventor. Pomocí této funkce lze požadovaný obrazec promítnout do libovolné plochy, není podmínkou, aby byla rovná. Takto bylo možné vytvořit promítnutí šipky do pláště boční stěny. Vytvořené promítnutí šipky a 3D pohled na kompletní vytvořený model vnitřní části schránky je na obrázku 3.9.



Obr. 3.9: Kompletní model vnitřní části schránky

- Středová část schránky

Tato část schránky tvoří nosnou konstrukci pro zamykací kroužky. Kroužky jsou na tuto část schránky navlečeny a zajištěny zátkou. Tato část schránky by neměla být po uzamknutí schránky viditelná. Požadavek je tedy uschování uvnitř celé schránky – proto je vnitřní část schránky koncipována s vybráním. Skrz celou středovou část musí vést jednoduchá drážka, kudy prochází po sestavení vnitřní část, respektive zamykací zoubky s podložením. Nakonec musí být středová část opatřena systémem k uzavření kroužků zátkou po jejich navlečení.

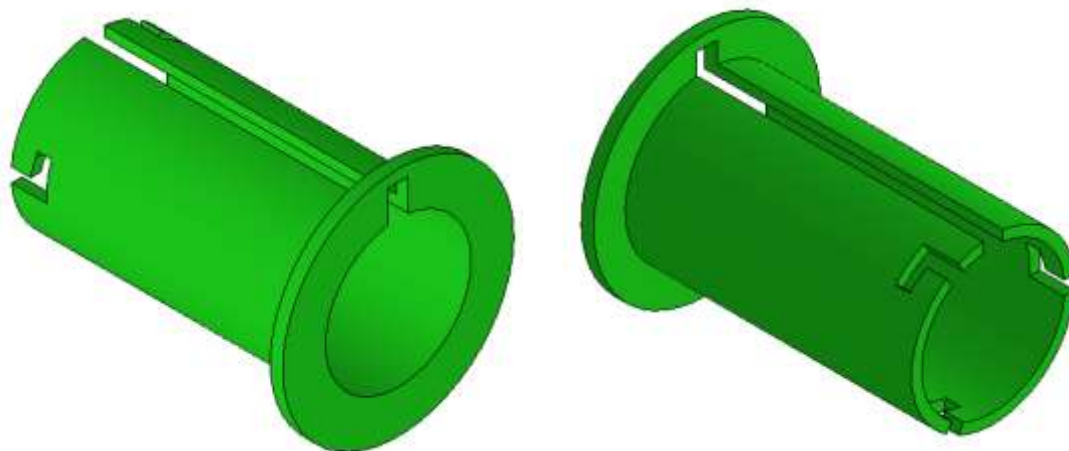
Středová část schránky sice nesmí být vidět, musí ale mít dostatečně velký boční průměr k udržení kroužků – tedy tento průměr musí být větší, než nejmenší průměr kroužků d_k ($d_k = 41$ mm). Aby nebyla tato část rozdělena po celé délce a nemohlo tak dojít ke snadnému poškození, že žádoucí, aby byl vnější průměr boční strany také větší, než bude požadovaná drážka pro zamykací zoubky. Prostor pro zamykací zoubky na kroužcích má průměr D_{sk} ($D_{sk} = 50$ mm), s tímto průměrem budeme uvažovat jako s minimálním. Zároveň musí mít bok středové části ale menší průměr, než je celkový průměr schránky D ($D = 60$ mm). Byl zvolen průměr přesně mezi těmito hodnotami, tedy 55 mm. Průměr vybrání ve vnitřní části byl zvětšen o námi zadanou vůli na průměr, vybrání v protější části má tedy průměr 56 mm.

Dále bylo třeba vytvořit drážku pro zamykací zoubky, která má rozměry z každé strany opět rozšířené o hodnotu námi zvolené vůle. Zoubky mají šířku 4 mm, drážka na středové části má šířku 5 mm. Větší vůle by zde nemohla být, kvůli možnému protáčení bočních částí schránky vůči sobě. Model s vytvořenou drážkou lze vidět na obrázku 3.10.



Obr. 3.10: Tvorba modelu středové části

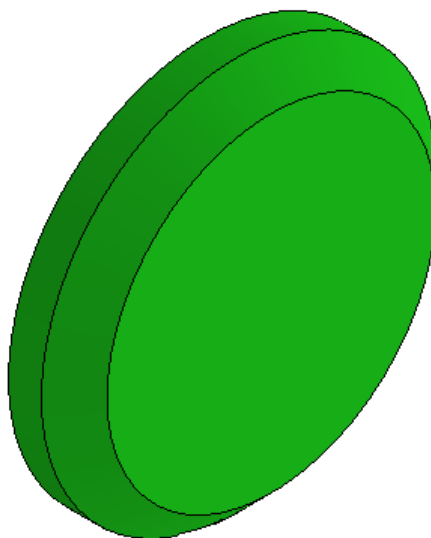
Po vytvoření drážky je třeba ještě vytvořit zamykací mechanismus, od kterého se budou poté odvíjet rozměry dalších dílů. Zátka bude mít výstupky, díky kterým se bude připojovat ke středové části. Středová část tedy musí mít drážky, do kterých se výstupky zátky zasunou. Tyto drážky jsou modelovány se zkosením pod drobným úhlem, které zajistí pevné spojení se zátkou. Tvar drážek a celkový model ve 3D je na obr. 3.11.



Obr. 3.11: Kompletně vytvořený model středové části

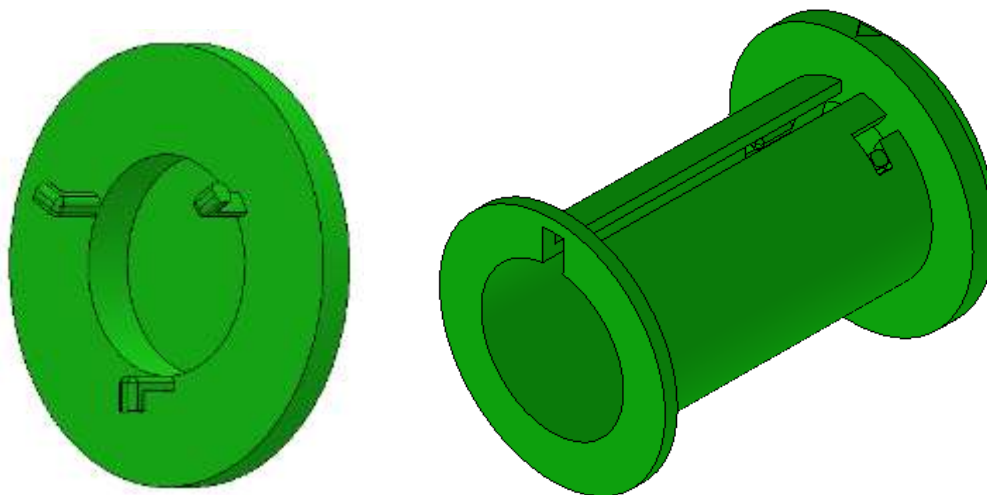
- Zátka

Další částí schránky, kterou bylo třeba vytvořit, je zátka. Ta slouží k zajištění kroužků proti vysunutí ze středové části. Speciálními výstupky je připojena ke středové části tak, aby po zasunutí vnitřní části nebylo možné schránku rozebrat jiným způsobem, než nastavením správného hesla. Výstupky jsou navrženy tak, aby pasovaly do protikusu – tedy do drážek ve středové části schránky. Podle tvaru výstupků na zátce byly také vytvořeny drážky na vnitřní části schránky, aby bylo možné vnitřní část zasunout dovnitř. Zároveň je zátka zevnitř ještě částečně dutá, aby se prodloužil vnitřní prostor schránky. Zátka musí mít stejný tvar, jako velká část vnitřku schránky, aby byly oba boky schránky stejné. Tento tvar lze vidět na obrázku 3.12.



Obr. 3.12: Základní tvar zátky

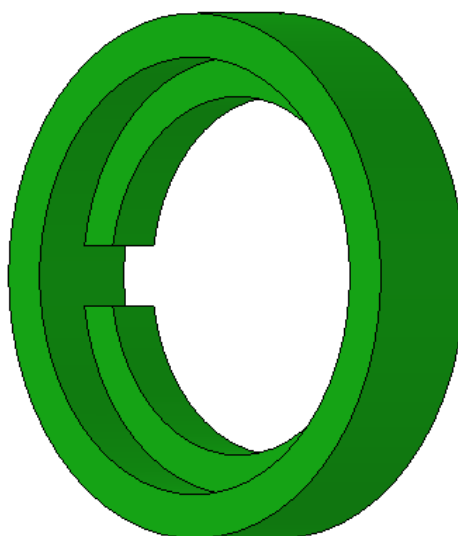
K tomuto základnímu tvaru byly přidány zmiňované výstupky, kterými bude zátka připojena do středové části. Detail výstupků a myšleného spojení se středovou částí schránky je na obrázku 3.13.



Obr. 3.13: Propojení střední části a zátky

- Zamykací kroužky

Tyto dva díly spolu úzce souvisí, proto byly sloučeny do jedné odrážky. Jedním z požadavků na výrobu schránky bylo nastavitelné heslo. Tato možnost je dána složením zamykacího kroužku ze dvou částí, které vůči sobě lze polohovat, a tím měnit požadovaná písmena hesla. Princip kroužku jako celku je jednoduchý – je v délce rozdělen na dvě pomyslné části – polovina má větší vnitřní průměr, druhá polovina má menší vnitřní průměr, kromě jediného místa – průchodu pro zamykací kroužky. Na povrchu kroužků jsou písmena abecedy, ze kterých může uživatel poskládat heslo. Zjednodušený model kroužku, kde jsou znázorněny pouze funkční části, je vidět na obrázku 3.14.



Obr. 3.14: Zjednodušený model zamykacího kroužku

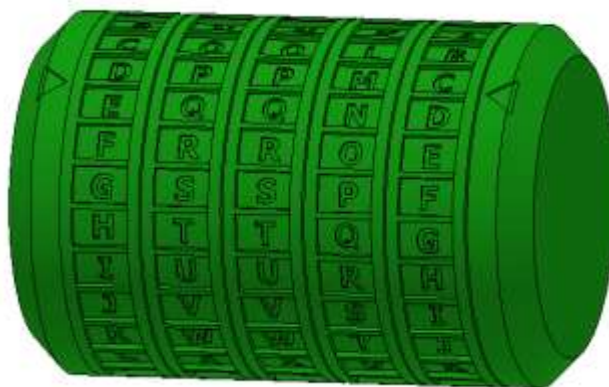
Kroužky jsou rozděleny oproti tomuto modelu na dvě části – vnitřní a vnější. Vnitřní část je tvořena polovinou kroužku s menším vnitřním průměrem a průchodem pro zamykací zoubky. Pokračuje jednou boční stranou o šířce 2 mm až do největšího průměru, čímž tvoří celou jednu boční stranu kroužku. Z druhé strany má vnitřní kroužek drážkování, které umožňuje propojení s vnějším kroužkem. Ten je pomocí drážkování nasunut na vnitřní kroužek a tvoří druhou polovinu sestavy kroužků. Na povrchu má písmena abecedy s vroubkou, které umožňují jednodušší nastavení hesla. Také tvoří druhý bok sestavy kroužků. Drážkování na vnějším kroužku bylo částečně zkráceno, kvůli zachování vnitřního průměru. Na kroužcích je 26 drážek, tedy přesně tolik, jako má americká abeceda písmen – ty se vyskytují na kroužku v souladu s drážkováním. Drážkování nebylo tvořeno s vůlí, ale na přesný rozměr, aby do sebe kroužky pevně zapadaly. Jednotlivé i sestavené kroužky jsou na obrázku 3.15.



Obr. 3.15: Zleva: vnitřní část kroužku, vnější část kroužku, sestavené kroužky

- Celkové sestavení schránky

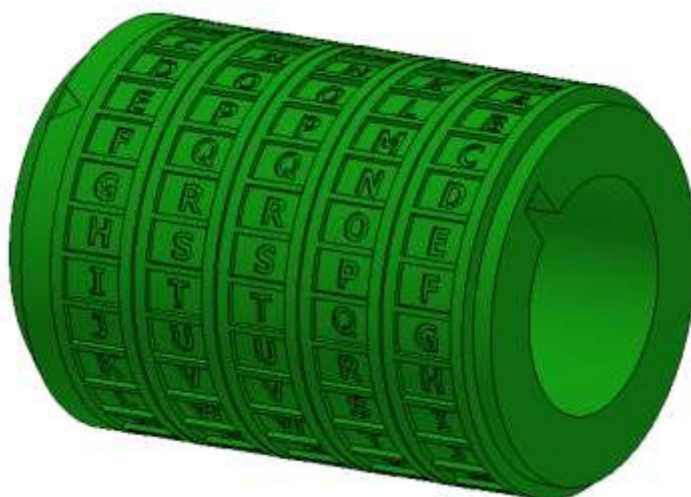
Po vytvoření modelů bylo možné sestavu cvičně poskládat v programu Inventor. Na obrázku 3.16 je zobrazená poskládaná sestava, na obr. 3.17, 3.18 a 3.19 lze vidět postupné skládání dílů dohromady. Výhodou složení modelu v Inventoru je možnost kontroly kolizí součástí. Tato možnost byla využita, čímž bylo zjištěno, že v modelu nejsou detekovány žádné kolize – sestavení je tedy dobře vymodelováno.



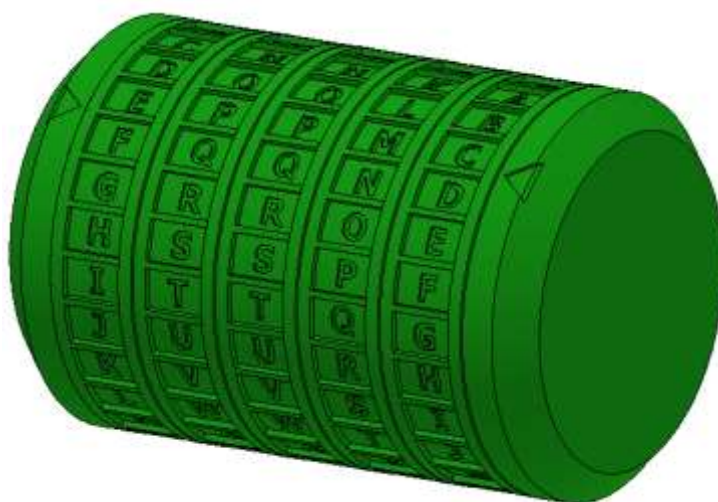
obr. 3.16: Kompletní sestavený model schránky



Obr. 3.17: Postupné navlékání zamykacích kroužků na středovou část



Obr. 3.18: Zajištění navlečených zamykacích kroužků zátkou



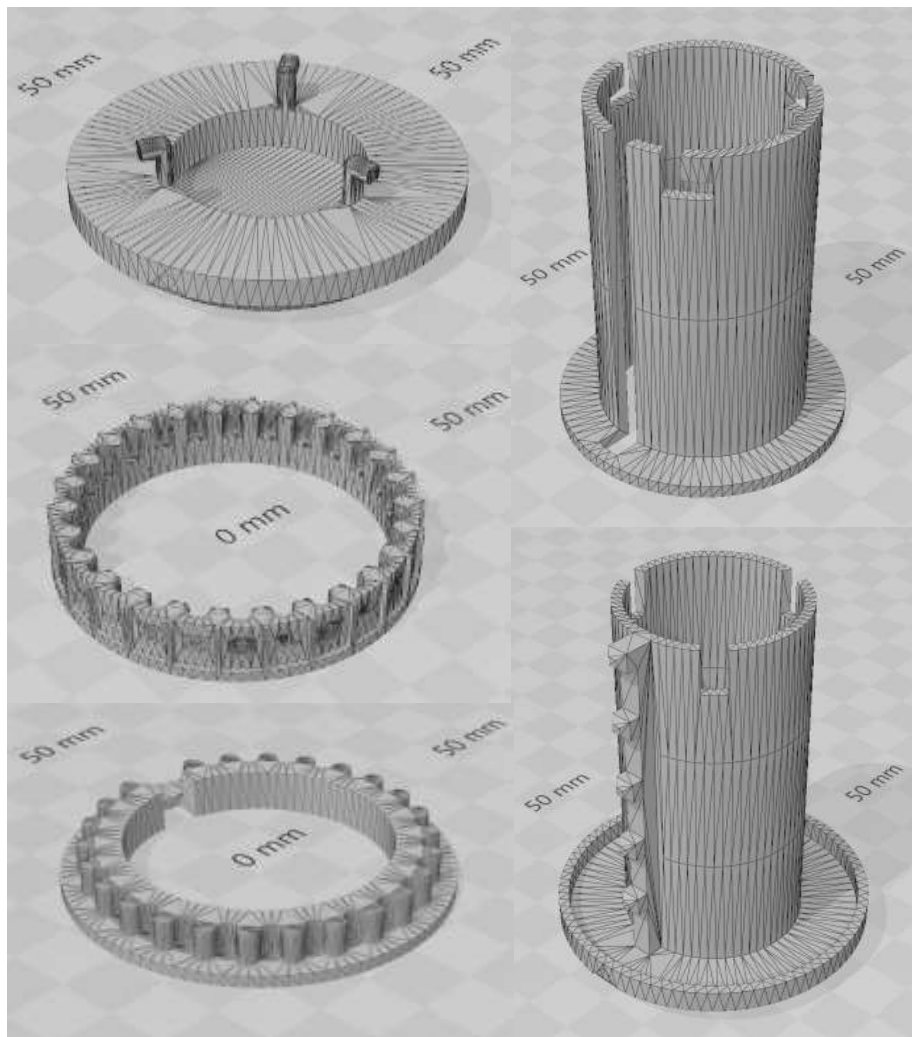
Obr. 3.19: Zasunutí vnitřní části s uschovaným předmětem

4 TISK SCHRÁNKY A VYUŽITÍ

Poté co byly vytvořeny modely v softwaru Inventor bylo třeba tyto modely připravit pro tisk. Nejprve bylo nutné jednotlivé součásti převést do formátu STL, který způsobí rozdělení modelu na malé části trojúhelníkového tvaru. Tento formát je pak čitelný pro většinu slicerů – to jsou programy, které mají za úkol model připravit pro tisk, rozdělit jej na vrstvy tisku a usnadnit tím uživateli nachystání modelu pro 3D tisk. V programu PrusaSlicer byly jednotlivé soubory STL upraveny, aby bylo možné součásti vytisknout.

4.1 Export do STL formátu a úprava v programu PrusaSlicer

Jednotlivé součásti bylo třeba vyexportovat do STL formátu. Program Inventor umí jednoduše soubory vyexportovat přes funkci 3D tisk. Lze tak rovnou přednastavit některé věci, třeba polohu modelu při tisku. Také je možné zobrazit trojúhelníkovou mřížku tohoto formátu. Na obr. 4.1 jsou zobrazeny modely součástí schránky ve formátu STL se zobrazenou trojúhelníkovou mřížkou a v poloze tisku s měřítkem, otevřené v programu 3D Builder.

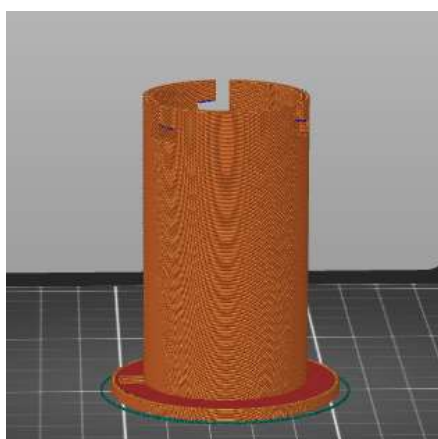


Obr. 4.1: Součásti ve formátu STL

Byly vyexportované soubory ve formátu STL, nyní je třeba nastavit vhodné parametry v PrusaSliceru. Nejdříve je třeba zvolit tiskárnu, na které se bude tisknout. PrusaSlicer podporuje převážně FFF tiskárny, ale také vlastní SLA tiskárnu. PrusaSlicer je volně dostupný software stažený přímo z oficiálních stránek. [28]

Při nastavení sliceru bylo třeba nejdříve navolit vybranou tiskárnu, použitou trysku, materiál, výrobce materiálu a přesný typ. Lze také nastavit, zdali uživatel požaduje jednoduché zobrazení pro nezkušené uživatele, pokročilý režim nebo expertní režim. V této práci byl zvolen režim pro pokročilé.

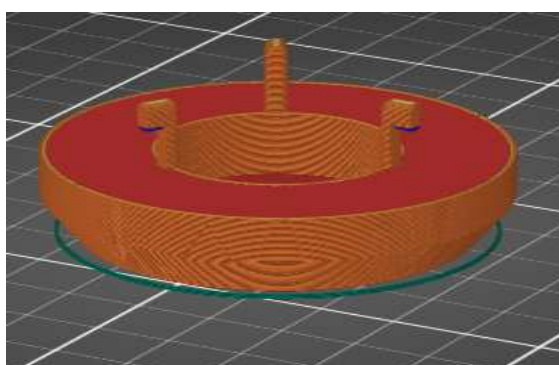
V nastavení tisku pomocí PrusaSliceru je třeba nejdříve zkontrolovat některá data. Nejdříve je nutné zkontrolovat nastavení filamentu. I když je pro filament použitý v této práci v PrusaSliceru už předvolený mód, je dobré překontrolovat parametry. Při porovnání s parametry filamentu bylo zjištěno, že mód odpovídá. Pro tisk byla zvolena tloušťka vrstvy 0.20 mm – QUALITY, tisk byl proveden bez podpěr. Po provedení slicování je možné v modelu vidět jednotlivé vrstvy tisku, zobrazí se čas tisku a spotřeba materiálu. Jednotlivé součásti rozdělené na vrstvy v PrusaSliceru jsou na obrázcích 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 a 4.6.



Informace o slicování

Použito Filamentu (m)	8.18
Použito Filamentu (mm ³)	19678.97
Použito Filamentu (g) (včetně cívky)	24.40 (774.40)
Náklady	0.87
Odhadovaný čas tisku:	
- normální režim	2h17m
- tichý režim	2h17m

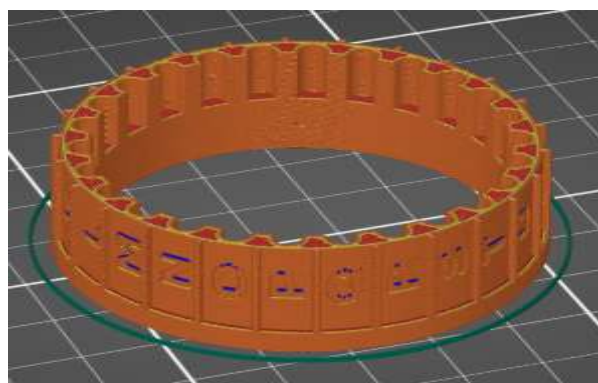
Obr. 4.2: Informace o tisku středové části schránky



Informace o slicování

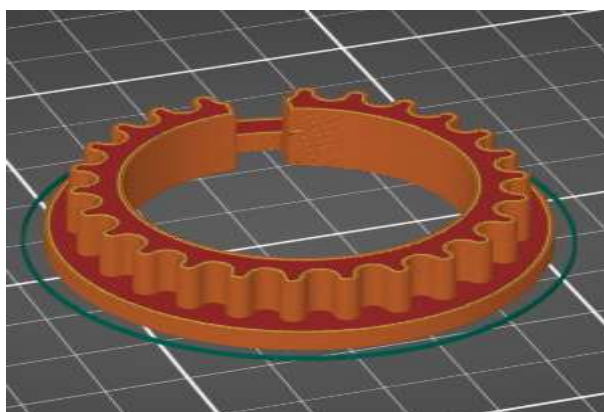
Použito Filamentu (m)	4.07
Použito Filamentu (mm ³)	9795.50
Použito Filamentu (g) (včetně cívky)	12.15 (762.15)
Náklady	0.43
Odhadovaný čas tisku:	
- normální režim	1h1m
- tichý režim	1h1m

Obr. 4.3: Informace o tisku zátky

**Informace o slicování**

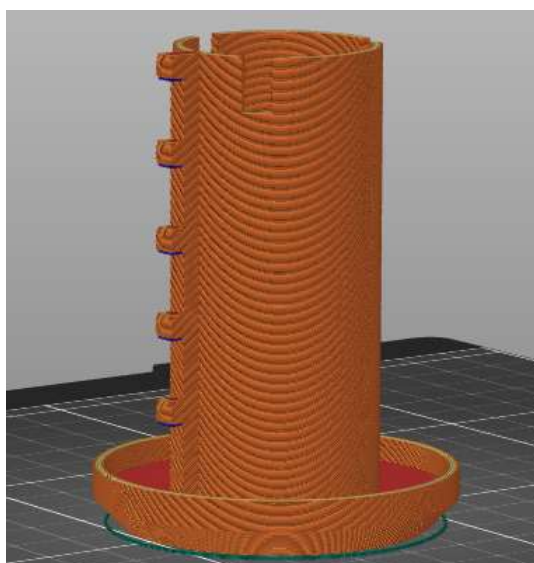
Použito Filamentu (m)	2.60
Použito Filamentu (mm ³)	6242.63
Použito Filamentu (g) (včetně cívky)	7.74 (757.74)
Náklady	0.27
Odhadovaný čas tisku:	
- normální režim	1h10m
- tichý režim	1h10m

Obr. 4.4: Informace o tisku vnějšího zamykacího kroužku

**Informace o slicování**

Použito Filamentu (m)	2.24
Použito Filamentu (mm ³)	5398.43
Použito Filamentu (g) (včetně cívky)	6.69 (756.69)
Náklady	0.24
Odhadovaný čas tisku:	
- normální režim	36m
- tichý režim	36m

Obr. 4.5: Informace o tisku vnitřního zamykacího kroužku

**Informace o slicování**

Použito Filamentu (m)	9.81
Použito Filamentu (mm ³)	23587.37
Použito Filamentu (g) (včetně cívky)	29.25 (779.25)
Náklady	1.04
Odhadovaný čas tisku:	
- normální režim	2h37m
- tichý režim	2h38m

Obr. 4.6: Informace o tisku vnitřní části

Podle získaných informací bylo spočítáno, že doba samotného tisku bude celkově trvat 14 hodin a 46 minut. Vidíme, že na některých objektech se nachází převislé části, tiskárna by si ale s takto malými převisy měla být schopna poradit bez podpor. Tisk podpor by v tomto případě prodloužil celkový čas tisku v řádu jednotek hodin.

Lze také vidět předem spočítanou délku, objem a hmotnost materiálu, který bude spotřebovaný na tisk konkrétní součásti. Bylo tedy zjištěno, že celková délka spotřebovaného materiálu bude 46,26 m, hmotnost 137,95 g.

Po provedení slicování byl z každé součásti vyexportován G-code pro tiskárnu, který byl následně přesunut na paměťovou kartu, ze které byl nahrán do tiskárny. G-code je v podstatě návod pro tiskárnu. Jsou v něm pokyny k tisku, teplotám a polohám jednotlivých bodů, sepsaných v programovacím jazyce tiskárny. Tiskárna tedy byla nastavena podle již dříve zmíněných parametrů a byly vytištěny modely. Část G-codu pro tiskárny je pro příklad na obrázku 4.7.

```
G90 ; use absolute coordinates
M83 ; use relative distances for extrusion
M900 K0.05 ; Filament gcode LA 1.5
M900 K30 ; Filament gcode LA 1.0
;LAYER_CHANGE
;Z:0.2
;HEIGHT:0.2
;BEFORE_LAYER_CHANGE
G92 E0.0
;0.2

G1 E-0.80000 F2100.000
G1 Z0.400 F10800.000
;AFTER_LAYER_CHANGE
;0.2
G1 X103.630 Y87.104
G1 Z0.200
G1 E0.80000 F2100.000
M204 S1000
;TYPE:Skirt
;WIDTH:0.42
G1 F1200.000
G1 X104.983 Y85.600 E0.06344
G1 X106.293 Y84.337 E0.05705
G1 X108.142 Y82.798 E0.07544
G1 X109.948 Y81.537 E0.06905
G1 X111.696 Y80.503 E0.06368
G1 X113.328 Y79.692 E0.05713
G1 X115.539 Y78.778 E0.07503
G1 X117.584 Y78.128 E0.06728
G1 X119.917 Y77.594 E0.07502
G1 X121.722 Y77.317 E0.05726
G1 Y123.730 Y77.154 E0.06346
```

Obr. 4.7: Část G-codu z oblasti počátku tisku

4.2 Zhodnocení vytisknutých součástí

Samotný tisk proběhl bez problémů, součásti byly vytištěny. Mírně nekvalitně se vytiskly oblasti převisů, což se dalo očekávat. Následně budou jednotlivé součásti zhodnoceny samostatně i v rámci celkového sestavení.

- Vnitřní zamykací kroužek

Tato část byla zhodnocena jako nejlépe vytištěná v rámci součástí schránky. Neprojevily se žádné nechtěné vady ani jiné problémy, tudíž součást byla vyrobena správně. Vytisknutý vnitřní kroužek je vidět na obrázku 4.8.



Obr. 4.8: Vytištěný vnitřní zamykací kroužek

- Vnější zamykací kroužek

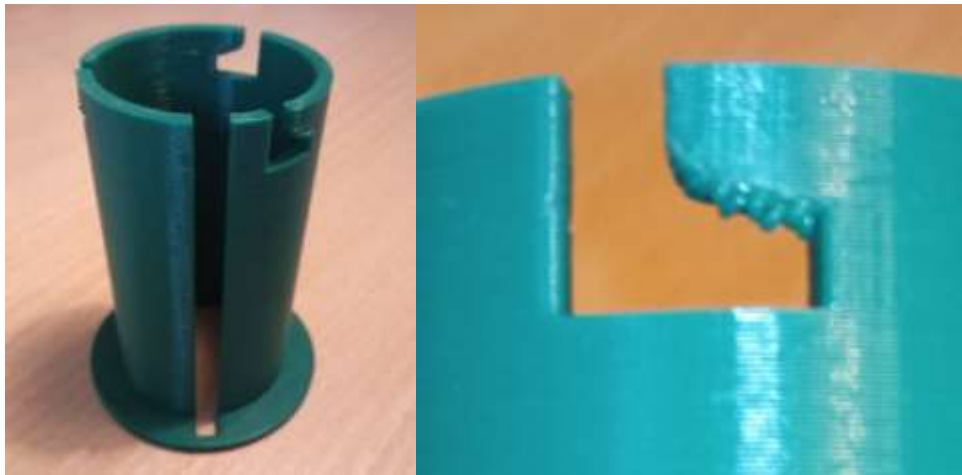
Tato část byla zhodnocena jako druhá nejlépe vytištěná, obsahuje drobnou vadu. Pravděpodobně v důsledku přechodu tiskové hlavy z jedné vrstvy na další je v jednom místě (vždy u písmene R) nedostatek ve formě drobných prohlubní. Tento nedostatek by bylo možné opravit novým naslicováním objektu. Vytištěný vnější kroužek se záběrem na vadu je na obrázku 4.9.



Obr. 4.9: Vytištěný vnější zamykací kroužek

- Středová část

Další vytištěnou součástí je středová část. Tato část má vady, ke kterým došlo kvůli nevyužití podpěr. Materiál se tedy v několika detailech netiskl horizontálně, ale nejprve stekl do prázdného prostoru a až po několika vrstvách dosáhl správné hladiny. Tato vada způsobila v celkovém důsledku další drobné problémy, funkci součásti však neovlivnila. Vhodnou úpravou bylo zapilování přebývajících částí smirkovým papírem. Středová část a detailní záběr na vadu je na obrázku 4.10.



Obr. 4.10: Vytištěná středová část a tisková vada

- Vnitřní část

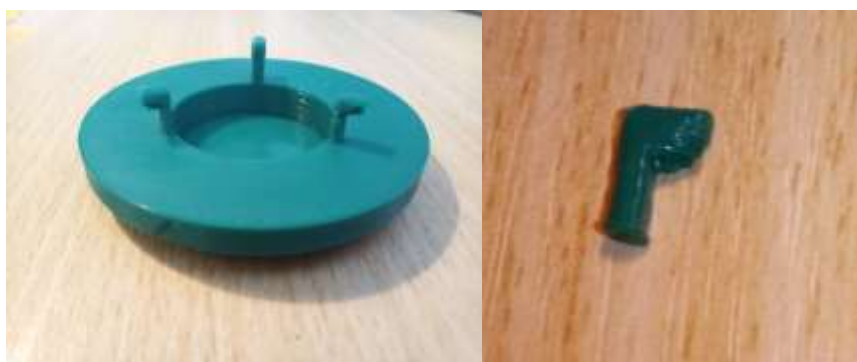
Vnitřní část schránky se potýkala po vytištění s podobným problémem, jako středová část. V důsledku nevyužití podpor při tisku stekly některé vrstvy u zamykacích zoubků, čímž se součást změnila. Tato změna byla ve smyslu zmenšení na funkčních rozměrech, v sestavení s ostatními díly tedy vznikla drobná nepřesnost. Na funkci schránky tato nepřesnost nemá vliv, pouze nesesí vnitřní část ve schránce na pevně, ale je možné ji vysunout v rozmezí 0 – 2,5 mm (odměřeno ze sestavené schránky posuvným měřítkem). Vytištěnou vnitřní část lze vidět i s detailem vady na obrázku 4.11.



Obr. 4.11: Vytištěná vnitřní část a tisková vada

- Zátka

Poslední součástí schránky je zátka. Ta byla vytištěna s podobnou tiskovou vadou, jako předchozí dvě součásti. Zátka má také velmi křehké zamykací výstupky, které jsou náchylné na ulomení – při manipulaci s vytisknutým modelem byl jeden z výstupků ulomen a následně musel být vytištěn nový výtisk. PLA naštěstí vyniká pevností v tahu, tudíž pro účely schránky tento problém tolik nevádí a na funkci nemá velký vliv. Při manipulaci se schránkou by ale mohlo snadno dojít k poškození těchto výstupků, proto by bylo vhodné díl přemodelovat a vytisknout nový, který by měl výstupky se silnějším průřezem. Funkční zátka a ulomený výstupek lze vidět na obrázku 4.12.



Obr. 4.12: Výtisk zátky a ulomený výstupek

- Celkové sestavení součástí

Součásti byly po vytištění zhodnoceny, některé lehce upraveny a poskládány do celku. Pro sestavení bylo třeba upravit vady na středové části, které zvětšovaly původní funkční rozměr, a musely být lehce zapilovány, aby mohlo dojít k nasazení zátky. Zbylé součásti mohly být použity přímo tak, jak byly vytištěny. Pro jednodušší manipulaci ale byla smirkovým papírem lehce zabroušena drážkování u zamykacích kroužků – spojení bylo možné realizovat, ale kroužky se od sebe po sestavení velmi špatně oddělovaly, což by bylo náročné pro uživatele. Celá sestavená schránka je na obr. 4.13.

Schránka poskládaná do celku je plně funkční, má však drobné nedostatky – některé z nich již byly zmíněné. První a již zmíněný nedostatek vznikl díky špatnému tisku – vnitřní součást má tedy zamykací kroužky ve výsledku o cca 1 mm kratší, čímž ve spojení s už předešlou vůlí vznikla možnost povysunout vnitřní část v zamčeném stavu o 2,5 mm směrem ze schránky. Uživatel tak může nabýt mylného dojmu, že už se mu podařilo schránku odemknout, a v zápalu hry by mohl schránku poškodit. Tento nedostatek je názorně ukázán na obrázku 4.14.

Dalším drobným nedostatkem je sestavení odemčené schránky. Zamykací kroužky mají mezi sebou malou vůli, čímž došlo k tomu, že jsou při připevnění zátkou uloženy velmi těsně. Z tohoto pak vychází takový problém, že krajní kroužek se při otáčení tře bokem o zátku, kterou vyvolanou třecí silou otevírá. Uzavřít a uzamknout lze tedy schránku pohodlně pouze tak, že už při uzavírání zamykacích kroužků pomocí zátky uživatel nastaví správné heslo. Bylo by vhodné tyto problémy před aktivním použitím odstranit.



Obr. 4.13: Sestavená schránka



Obr. 4.14: Detail nedostatku vnitřní části

4.3 Návrh možných úprav či zlepšení

Pokud by se schránka měla vyrábět víckrát, bylo by určitě vhodné upravit modely, jejich vůle, a tisknout zmíněné části s podpěrami. Také by bylo možné tisknout křehkou zátka z odolnějšího materiálu, například z PETG či PA. Jelikož ale schránka víckrát tištěna nebude, bude uvažováno nad možnými úpravami stávajících modelů.

Zamykací kroužky budou zabroušeny smirkovým papírem, aby mezi nimi vznikly větší mezery. Zvětší se tak vůle celého sestavení střední části s kroužky, a tím pádem zátka nebude mít takové tendence k otevírání se.

K úpravě dalších dílů bylo přistoupeno netradiční metodou 3D tisku – během zpracovávání práce bylo zjištěno, že existují již i 3D pera, která jsou poměrně dostupná běžným občanům. Tato pera jsou hojně využívána jako hračka pro děti. V běžném režimu umí tato pera tisknout z materiálů PLA a ABS, které jsou snadné pro tisk. Proto bylo pro účely práce zakoupeno 3D pero, kterým byly následně upraveny některé nedostatky. 3D pero a použitý PLA filament je na obrázku 4.15.



Obr. 3.15: 3D pero a PLA filament

Vnitřní část měla po chybném vytištění malé rozměry zamykacích zoubků. Tento problém byl vyřešen dotisknutím přídatku pomocí 3D pera. Byl použit materiál v kontrastní barvě, aby bylo vidět rozdíl. Po této úpravě už vnitřní část schránky sedí uvnitř jak má a nevysouvá se. Výsledek po úpravě je na obrázku 4.16.



Obr. 4.16: Vnitřní část schránky upravená pomocí 3D pera

Dále byla nevhodně vytištěna zátka, která má tenké zamykací výstupky. Tento problém byl také částečně vylepšen pomocí 3D pera. Perem byly dokresleny další opory k zátce, které však nebrání jejímu použití. Zamykací výstupky se tak staly pevnějšími a méně náchylnými k ulomení neopatrným zacházením. Upravený výstupek zátky lze vidět na obrázku 4.17.



Obr. 4.17: Detail upraveného zamykacího výstupku

Upravením těchto detailů se schránka stala téměř bezproblémovou. Schránku je ale třeba nejdříve otestovat v provozu, zda funguje opravdu jak má. Mohou se s časem projevit problémy, které nejsou na první pohled při testovacím zkoušení patrné.

Výsledkem práce měla být uzamykatelná schránka, do které se má vejít klíč. Tato podmínka byla splněna a výsledek je vidět na obrázku 4.18.



Obr. 4.18: Konečný model

ZÁVĚR

Požadavkem této práce bylo navrhnout a zhotovit pomocí technologie 3D tisku uzamykatelnou schránku, do které bude možné uschovat klíč. Tento požadavek byl splněn a schránka, která byla vyrobena, je plně funkční.

Jednotlivými etapami práce měl být návrh modelu schránky, vytvoření modelu ve 3D softwaru Inventor, následná příprava pro tisk a vytištění funkčního modelu. Tyto etapy se potýkaly s určitými problémy. Po vytištění modelu bylo zjištěno u některých dílů nevhodné nastavení před tiskem – chybějící podpory převislých částí. Také u jednoho dílu byla zjištěna příliš malá plocha průřezu, čímž se stal velmi křehkým. Během sestavení byly objeveny ještě další nedostatky z fáze tvorby modelu, jako například malá vůle mezi zamykacími kroužky. Tyto vady se podařilo různými způsoby u již existujícího výrobku odstranit, nebylo třeba tisknout nový model.

V případě opětovného tisku stejné schránky by bylo vhodné nejprve upravit modely v programu Inventor, aby nedocházelo k opakovaným chybám ve špatně zvolených rozměrech. Také by bylo vhodné použít při tisku funkci podpor pro převislé části dílů, které by se s podporami vytiskly v lepší kvalitě.

Práce byla zhodnocena jako úspěšná, neboť se podařilo vytvořit plně funkční model. Tento model se i přes vady součástí jeví jako plně funkční a nebyly na něm po opravě dílů shledány žádné další nedostatky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] D. Brown, Šifra mistra Leonarda, Metafora, 2003.
- [2] „HRAS svět deskových her a hlavolamů,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.hras.cz/hlavolamy/kovove-hlavolamy/cryptex-hlavolam>. [Přístup získán 6. Duben 2021].
- [3] „Cryptex® Security Boxes,“ Cryptex® Security Boxes, 2004-2019. [Online]. Available: <https://www.cryptex.org/>. [Přístup získán 6. Duben 2021].
- [4] „MALL.CZ,“ 2000-2021. [Online]. Available: https://www.mall.cz/notebooky-usb-prislusenstvi/ironglyph-32gb-cryptex-cerna-edice-usb-flash-disk-100036499760?utm_source=google_organic_shopping&utm_medium=organic. [Přístup získán 6. Duben 2021].
- [5] „Puzzle Pod Gift Cryptex,“ 2021. [Online]. Available: <http://puzzle-pod.com/products/>. [Přístup získán 6. Duben 2021].
- [6] „Thingiverse,“ 10 Prosinec 2014. [Online]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:586169>. [Přístup získán 6. Duben 2021].
- [7] „Přehled technologií 3D tisku | dkmp Nový Jičín, Ostrava,“ DKMP, 2012-2020. [Online]. Available: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>. [Přístup získán 16. Květen 2021].
- [8] Sculpteo, „What are DMLS and SLM printing technologies?,“ Sculpteo, 2009-2021. [Online]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/materials/dmls-material/>. [Přístup získán 18. Květen 2021].
- [9] 3. Systems, „3D Systems MultiJet Printing Process,“ 3D Systems, 2021. [Online]. Available: <https://www.3dsystems.com/video/3d-systems-multijet-printing-process-0>. [Přístup získán 18. Květen 2021].
- [10] Sculpteo, „Multijet 3D Printing: Multimaterial 3D Printing,“ Sculpteo, 2009 - 2021. [Online]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/multijet-definition/>. [Přístup získán 18. Květen 2021].
- [11] J. Průša, „3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S,“ Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/181-3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s.html>. [Přístup získán 19. Květen 2021].
- [12] P. E. Evghenii I., „FDM printing basics - ISD software solutions,“ ISD, 2020. [Online]. Available: <https://isd-soft.com/tech-blog/enoh-we-have-a-3d-printer-in-the-office-or-fdm-printing-basics/>. [Přístup získán 19. Květen 2021].
- [13] J. Průša, „Vše o tryskách s různým průměrem - 3D tisk a tiskárny Josef Průša,“ Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: <https://josefprusa.cz/vse-o-tryskach-s-ruznym-prumerem/>. [Přístup získán 19. Květen 2021].
- [14] s. 3D Print Station, „3D tiskárny Prusa Research,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.3dstation.cz/prusa/>. [Přístup získán 2. Květen 2021].
- [15] J. Průša, „Original Prusa i3 MK3 je tady! A je pěkně chytrá!,“ Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://blog.prusaprinters.org/cs/original-prusa-i3-mk3-je-tady-je-peknelne-chytra_7201/. [Přístup získán 19. Květen 2021].

- [16] J. Průša, „Materiály - Prusa Research a.s.“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>. [Přístup získán 19. Květen 2021].
- [17] iMakr, „INTAMSYS | ABS filament“, iMakr, 2021. [Online]. Available: <https://www.imakr.com/eu/intamsys-filaments/intamsys-filament-175-mm-1409>. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [18] Simplify3D, „Ultimate Materials Guide - Tips for 3D Printing with HIPS“, Simplify3D, 2021. [Online]. Available: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/hips/>. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [19] Fiona, „Can you Recycle Kinder Eggs?“, Sustainability Guide, 2. duben 2018. [Online]. Available: <http://www.sustainabilityguide.co.uk/2018/04/02/kinder-eggs-recyclable/>. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [20] J. Průša, „Prusa Knowledge Base | Polypropylen (PP)“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/cs/article/polypropylen-pp_167126. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [21] J. Průša, „Prusa Knowledge Base | Nylon“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/cs/article/nylon_167188. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [22] J. Průša, „Prusa Knowledge Base | Kompozitní materiály (plněné uhlíkem, kevlarlem či sklem)“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/cs/article/kompozitni-materialy-plnene-uhlikem-kevlarem-ci-sklem_167387. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [23] J. Průša, „Prusa Knowledge Base | Kompozitní materiály (plněné dřevěným či kovovým práškem)“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/cs/article/kompozitni-materialy-plnene-drevenym-ci-kovovym-praskem_166863. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [24] J. Průša, „Prusa Knowledge Base | PETG“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_2059. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [25] J. Průša, „Prusa Knowledge Base | PLA“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/cs/article/pla_2062. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [26] Materialpro3d.cz, „PLA filament Extrafill trávově zelená 1,75mm 750g Filamentum - Materialpro3d.cz“, Materialpro3d.cz, 2021. [Online]. Available: <https://www.materialpro3d.cz/pla-1-75/pla-extrafill-travove-zelena-1-75/>. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [27] Fillamentum, „PLA Extrafill | Fillamentum“, Fillamentum, 2021. [Online]. Available: <https://www.fillamentum.com/collections/pla-extrafill-filament/>. [Přístup získán 20. Květen 2021].
- [28] J. Průša, „PrusaSlicer - Prusa Research a.s.. - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši“, Prusa Research a.s., 2021. [Online]. Available: <https://www.prusa3d.cz/prusaslicer/>. [Přístup získán Květen 21. 2021].

