

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: Konstruování strojů a technických zařízení  
Studijní zaměření: Konstruování vozidel a manipulačních zařízení

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Využití 3D tisku ve výrobě komponent automobilových sedadel.

Autor: **Bc. Jakub Radkovský**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub RADKOVSKÝ**  
Osobní číslo: **S20N0060P**  
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**  
Specializace: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**  
Téma práce: **Využití 3D tisku ve výrobě komponent automobilových sedaček**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

## Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je optimalizovat technický návrh komponenty určené pro automobilové sedačky s využitím výroby pomocí 3D tisku. Dále provést návrh vhodné technologie, materiálu i konstrukční návrh vybraného dílu s optimalizací pro 3D tisk. Komponenta musí splňovat všechny požadavky, které jsou určeny předepsanými normami. Další část řešení je FEM analýza vybraného konstrukčního návrhu dílu. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.
4. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.

Konzultant: Ing. Ondřej Bureš (e-mail: OBures@lear.com ; Lear corporation)

Rozsah diplomové práce: **40-60**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

[1] HOSNEDL, S. A KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra*. Brno:ComputerPress, 1999 [2] VALA, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003 [3] VLK, F. *Stoaba motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2005 [3] ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: *Strojnické tabulky*. Scientia, Praha, 2004 [4] SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. *Konstruování strojních součástí*. VUT v Brně, Brno, 2010 Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2021

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Josefovi Formánkovi, Ph.D. a Ing. Ondřeji Burešovi za konzultace a cenné rady a doporučení při vypracovávání této práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Radkovský	<b>Jméno</b> Jakub		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Konstruování vozidel a manipulačních zařízení			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Formánek, Ph. D.	<b>Jméno</b> Josef		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU – FST – KKS			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Využití 3D tisku ve výrobě komponent automobilových sedadel			

<b>FAKULTA</b>	STROJNÍ	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	71	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	69	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS</b> <b>(MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce obsahuje souhrn stávajících 3D tiskových technologií, návrh a výrobu prototypů vybraných komponent automobilového sedadla a jejich praktické testování. Na základě získaných poznatků navrhuje doporučení pro využití 3D tisku ve výrobě automobilových sedadel.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	3D tisk, prototypování, automotive, sedadla.

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>SURNAME</b> Radkovský	<b>NAME</b> Jakub	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Construction of vehicles and handling machinery		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Formánek, Ph. D.	<b>Name</b> Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Cross when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Use of 3D printing in the production of automotive seating components		

<b>FACULTY</b>	MECHANICAL ENGINEERING	<b>DEPARTMENT</b>	MACHINE DESIGN	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

## NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTAL</b>	71	<b>TEXT PART</b>	69	<b>GRAPHICAL PART</b>	2
--------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>	Diploma thesis consists of overview of 3D printing technologies, designing, prototyping and practical testing of specific parts from a car seat.
<b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	
<b>KEY WORDS</b>	3D printing, prototyping, automotive, seating

# 1 Obsah

Seznam obrázků .....	8
Seznam tabulek .....	10
2 Úvod .....	11
3 Rozpracování zadání.....	11
4 Průzkum stavu techniky .....	11
4.1 Úvod.....	11
4.2 Technologie 3D tisku .....	13
4.2.1 Technologie FDM.....	13
4.2.2 Technologie SLA .....	16
4.2.3 Technologie DLP a LCD .....	18
4.2.4 Technologie MJF.....	20
4.2.5 Technologie PJ .....	22
4.2.6 Technologie SLS.....	24
4.2.7 Technologie DMLS.....	25
4.2.8 Technologie EBM.....	27
4.3 Závěrečné hodnocení 3D tiskových technologií .....	28
5 Praktická část.....	30
5.1 Mechanismus easy entry .....	30
5.1.1 Úvod .....	30
5.1.2 Analýza modelů .....	31
5.1.3 Ověření modelu metodou konečných prvků .....	34
5.1.4 Výroba prototypů .....	39
5.1.5 Testování .....	55
6 Závěr.....	63
7 Zdroje .....	65
7.1 Internetové .....	65
7.2 Knižní.....	68



## Seznam obrázků

Obrázek 1 – ukázka FDM 3D tiskárny Ender [8] .....	13
Obrázek 2 – schéma fungování FDM tiskárny [7] .....	14
Obrázek 3 – ukázka špulek s filamenti [44] .....	15
Obrázek 4 – ukázka SLA 3D tiskárny Průša SL1S [9] .....	16
Obrázek 5 – schéma SLA 3D tiskárny typu upside – down [4] .....	17
Obrázek 6 – ukázka plnění nádrže SLA tiskárny pryskyřicí (resin) [10] .....	18
Obrázek 7 – ukázka DLP tiskárny [45] .....	18
Obrázek 8 – schéma DLP technologie [13].....	19
Obrázek 9 – schéma LCD technologie [46].....	19
Obrázek 10 – ukázka DLP / LCD resinu [14] .....	19
Obrázek 11 – ukázka MJF tiskárny HP s post-processingovou stanicí [19] .....	20
Obrázek 12 – schéma technologie MJF [17] .....	21
Obrázek 13 – ukázka PJ tiskárny Stratasys [20].....	22
Obrázek 14 – schéma technologie PJ [22].....	23
Obrázek 15 – ukázka transparentního PJ materiálu RGD 720 [23] .....	23
Obrázek 16 – ukázka SLS tiskárny FormlabsFuse 1 [27].....	24
Obrázek 17 – schéma technologie SLS [26].....	25
Obrázek 18 – ukázka DMLS tiskárny EOS M 290 [29] .....	25
Obrázek 19 – schéma technologie DMLS [47] .....	26
Obrázek 20 – ukázka EBM tiskárny Arcam Spectra L [37].....	27
Obrázek 21 – schéma technologie EBM [35] .....	28
Obrázek 22 – interiér vozu Volvo XC 90 T6 s vyznačeným mechanismem easy entry [38].....	30
Obrázek 23 – Volvo XC90 T6 [39] .....	30
Obrázek 24 – model ovládací páky mechanismu easy entry – zadní izometrický pohled.....	31
Obrázek 25 – model rámečku mechanismu easy entry – izometrický pohled .....	31
Obrázek 26 – sestava ovládací mechanismu easy entry včetně plechové výztuže .....	32
Obrázek 27– sestava mechanismu easy entry umístěná v sestavě skeletu opěradla 1- ovládací, 2 – odjišťovací mechanismus, 3 – bowdeny s ocelovým lankem .....	33
Obrázek 28 – ukázka zasíťování modelu páky.....	36
Obrázek 29 – ukázka umístění působících sil .....	36
Obrázek 30 – celkové napětí, metoda HMM [MPa] .....	37
Obrázek 31 – celkové napětí, metoda HMM [MPa] .....	37
Obrázek 32 – detail lokálního extrému celkového napětí dle HMM se zahuštěnou sítí [MPa] ....	38
Obrázek 33 – celkové posunutí [mm] .....	38
Obrázek 34 – ukázka prvního vygenerovaného modelu páky, základní pohled.....	40
Obrázek 35 – ukázka prvního vygenerovaného modelu páky, pohled na strukturu podpěr .....	40
Obrázek 36 – první experimentální výtisk páky, červeně vyznačená oblast delaminace .....	41
Obrázek 37 – ukázka druhého vygenerovaného modelu páky, základní pohled .....	42
Obrázek 38 – druhý experimentální výtisk páky, selhaný tisk .....	43
Obrázek 39 – druhý experimentální výtisk páky, selhaný tisk .....	43
Obrázek 40 – ukázka třetího vygenerovaného modelu páky, izometrický pohled.....	44
Obrázek 41 – třetí experimentální výtisk páky, základní pohled .....	45
Obrázek 42 – třetí experimentální výtisk páky, detail zadní strany .....	45
Obrázek 43 – ukázka vygenerovaného modelu prototypu páky .....	47
Obrázek 44 – prototyp páky, základní pohled .....	48
Obrázek 45 – prototyp páky, detail zadní strany .....	48

Obrázek 46 – ukázka vygenerovaného modelu experimentálního rámečku .....	49
Obrázek 47 – experimentální výtisk rámečku, základní pohled.....	50
Obrázek 48 – experimentální výtisk rámečku, zadní pohled .....	50
Obrázek 49 – ukázka prvního vygenerovaného modelu prototypu rámečku .....	51
Obrázek 50 – první prototypový výtisk rámečku, detail poškození .....	52
Obrázek 51 – ukázka druhého vygenerovaného modelu prototypu rámečku .....	53
Obrázek 52 – druhý prototypový výtisk rámečku, přední pohled .....	54
Obrázek 53 – druhý prototypový výtisk rámečku, zadní pohled .....	54
Obrázek 54 – ukázka použitého siloměru Alluris FMI-B20 s příslušenstvím.....	55
Obrázek 55 – porovnání vstříkovaného a 3D tištěného rámečku.....	56
Obrázek 56 – zkouška kompatibility páky s originálním rámečkem – horní pohled .....	56
Obrázek 57 – zkouška kompatibility páky s originálním rámečkem – boční pohled .....	57
Obrázek 58 – testovací sedadlo – druhá řada z vozu Volvo XC 90 T6.....	57
Obrázek 59 – detail kovové části mechanismu easy entry .....	58
Obrázek 60 – zkompletovaný mechanismus easy entry (originální rámeček) .....	58
Obrázek 61 – detail západky páky v sestavě .....	59
Obrázek 62 – funkční zkouška (rámeček pro názornost odstraněn) .....	59
Obrázek 63 – funkční zkouška, sedadlo ve sklopené poloze .....	60
Obrázek 64 – zkouška funkčnosti a kompatibility s rámečkem .....	60
Obrázek 65 – ukázka průběhu měření přetížení .....	61
Obrázek 66 – poškození úchytu mechanismu easy entry, červeně vyznačené deformace.....	62

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – ukázka FDM materiálů (fillamentů) .....	15
Tabulka 2 – ukázka SLA materiálu .....	17
Tabulka 3 – ukázka MJF materiálů .....	21
Tabulka 4 – fyzikální vlastnosti materiálu Bayblend T65 XF .....	34
Tabulka 5 – fyzikální vlastnosti fillamentu PLA .....	34
Tabulka 6 – fyzikální vlastnosti fillamentu PETG.....	34
Tabulka 7 – parametry prvního experimentálního výtisku páky .....	39
Tabulka 8 – souhrn prvního experimentálního tisku páky.....	41
Tabulka 9 – parametry druhého experimentálního výtisku páky .....	41
Tabulka 10 – souhrn druhého experimentálního tisku páky .....	42
Tabulka 11 – parametry třetího experimentálního výtisku páky.....	44
Tabulka 12 – souhrn třetího experimentálního tisku páky .....	44
Tabulka 13 – parametry prototypového výtisku páky .....	46
Tabulka 14 – souhrn prototypového tisku páky.....	47
Tabulka 15 – souhrn experimentálního tisku rámečku.....	49
Tabulka 16 – souhrn prvního prototypového tisku rámečku.....	51
Tabulka 17 – parametry prototypového výtisku rámečku.....	52
Tabulka 18 – souhrn druhého prototypového tisku rámečku .....	53
Tabulka 19 – výňatek z požadavků zadavatele (Volvo).....	55
Tabulka 20 – naměřené hodnoty .....	61
Tabulka 21 – vyhodnocení naměřených hodnot.....	62

## 2 Úvod

Každá společnost hledá nové cesty, jak zvýšit svoji konkurenceschopnost na trhu. Existuje řada způsobů a oblastí, skrze které lze tohoto cíle dosáhnout. Jedním z nich je rychlý a inovativní způsob výroby, zejména pak v oblasti prototypingu. Z toho důvodu řada společností zavádí či zvažuje zavedení 3D tisku do svých výrobních procesů a zadavatel této diplomové práce, společnost Lear Corporation s.r.o., není výjimkou.

Téma „využití 3D tisku ve výrobě automobilových sedadel“ bylo zvoleno z důvodu dlouhodobého zájmu o problematiku, a jako příležitost prohloubit a dále rozšiřovat své znalosti z oblasti 3D tisku a Automotive.

Práce si klade za cíl zmapovat dostupné technologie 3D tisku, vybrat příklady komponent, jejichž výrobní proces by bylo vhodné z hlediska prototypingu nahradit 3D tiskem. Dále provést jejich optimalizaci pro novou technologii výroby a současně ověřit navržené konstrukční řešení z hlediska pevnosti a deformací.

## 3 Rozpracování zadání

Společnost Lear již delší dobu využívá technologie 3D tisku ve výrobě. Jedná se však pouze o tisk různých přípravků a pomocných prvků využívaných během výrobního procesu. Samotné komponenty sedadel se doposud touto technologií nevyrábí a to ani ve fázi prototypingu. V úvodní části této práce bude proveden průzkum dostupných technologií a jejich základní rozbor. V praktické části pak bude následovat posouzení vhodnosti užití 3D tisku, jakožto alternativní technologie výroby či prototypingu u dvou vybraných vzorových komponent, jejich technologická optimalizace, posouzení, zda 3D tištěné výrobky vyhoví z pevnostně deformačního hlediska a praktická zkouška výtisků.

Vybrané komponenty jsou následující: plastové ovládání mechanismu easy entry a pěnové polstrování sedadla.

## 4 Průzkum stavu techniky

### 4.1 Úvod

3D tisk se v poslední dekádě dočkal velkého rozmachu napříč odvětvími. Využívá se v průmyslu, medicíně, uměleckém i akademickém prostředí a stále větší oblibě se těší i mezi laickou veřejností. Tempo vývoje i samotná implementace v průmyslu zejména z důvodu stále atraktivnějších nákladů neustále zrychluje.

Princip 3D tisku je založen na vytváření výrobku z nově vznikajících vrstev dodávaného materiálu. Jedná se tedy o aditivní technologii na rozdíl od konvenčních metod, které jsou převážně založeny na odebrání přebytečného materiálu. Tím je tedy výrazně zredukován, případně zcela eliminován vznik odpadního materiálu. Výrobky mohou být tištěny plné nebo duté, nicméně z praktických důvodů (nižší hmotnost, doba tisku, tepelné deformace) se obvykle volí pouze určité procento vyplnění. Strukturu i procento vyplnění je možné nastavit dle požadovaných vlastností. Další z hlavních předností 3D tisku je poměrně snadná výroba tvarově složitých součástí bez nutnosti jakékoliv formy či speciálních nástrojů. V současné době je možné tisknout z široké škály plastů, kovů, pryskyřic a kompozitních materiálů. Zajímavostí pak může být například tisk keramické hlíny nebo dokonce čokolády.

Tato práce se však omezí pouze na tisk z plastů, kovů, pryskyřic a kompozitních materiálů.

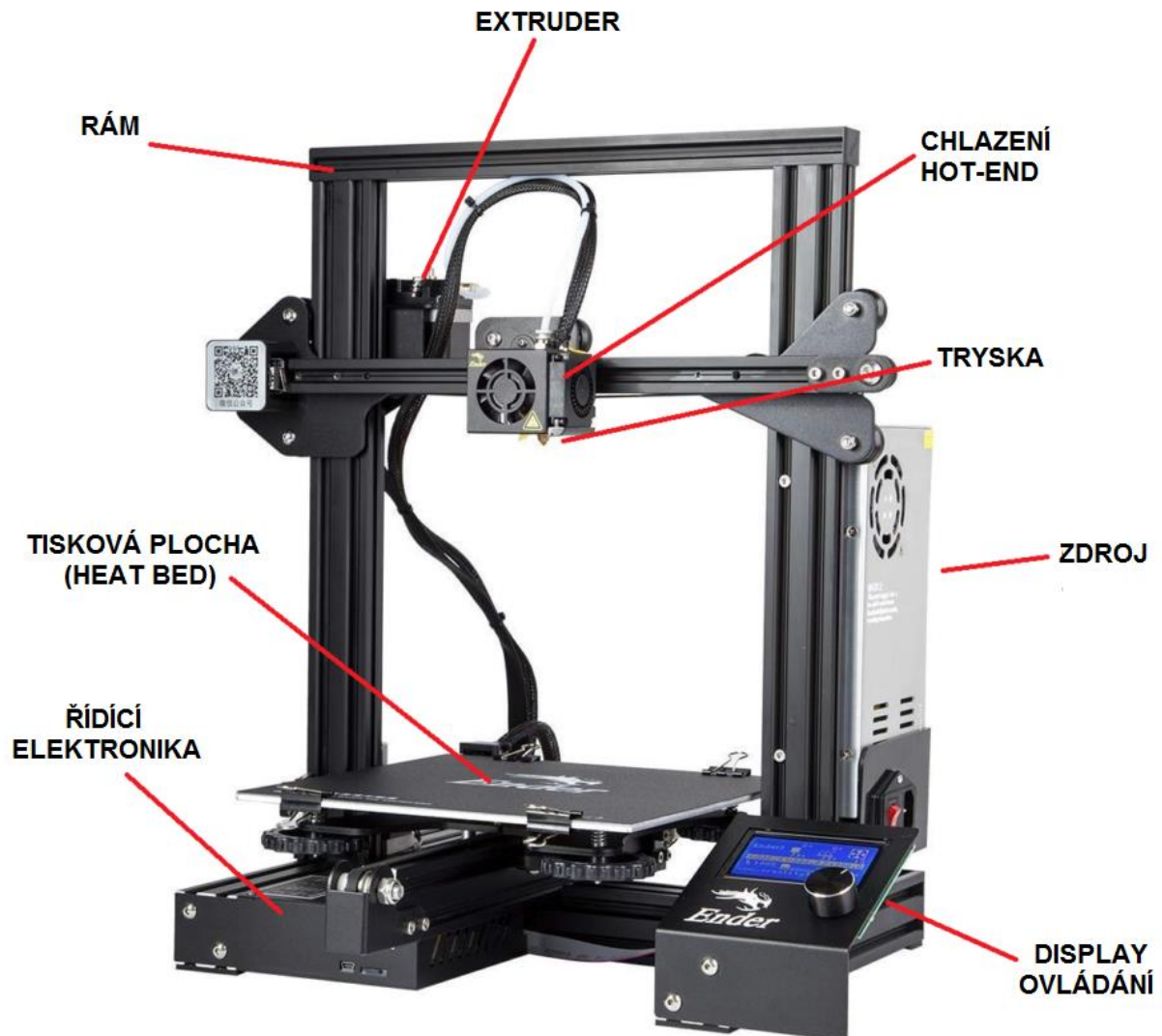
Blíže tedy budou rozebrány jen následující metody:

- FusedDeposition Modeling (FDM)
- Selective Laser Sintering (SLS)
- Stereolithography (SLA)
- Digital LightProcess (DLP)
- LiquidCrystal Display (LCD)
- Multi Jet Fusion (MJF)
- PolyJet
- Direct Metal Laser Sintering (DMLS)
- ElectronBeamMelting (EBM)

Stejně jako každá technologie výroby či obrábění, má i 3D tisk přes všechny své přednosti jistá omezení, které je nutné zohlednit ve fázi návrhu modelu, případně v nastavení softwaru generujícím model v tiskovém formátu (obvykle G-code). Vzhledem k široké škále používaných softwarů a jejich velmi rozsáhlým možnostem nastavení, však nebudou v této práci dále podrobněji rozebírány. Je nutné zmínit, že tyto softwary a jejich správné nastavení pro danou tiskárnu a konkrétní model hrají mnohdy zásadnější roli pro celkovou kvalitu výtisku, nežli kvalita tiskárny samotné.

## 4.2 Technologie 3D tisku

### 4.2.1 Technologie FDM



Obrázek 1 – ukázka FDM 3D tiskárny Ender [8]

Technologie FDM je v současné době nejrozšířenější metodou 3D tisku na světě. Nahrává tomu zejména nízká pořizovací cena tiskárny, velmi nízké provozní náklady, dostačující kvalita výtisku pro většinu aplikací, široká nabídka materiálů a v neposlední řadě snadné ovládání.

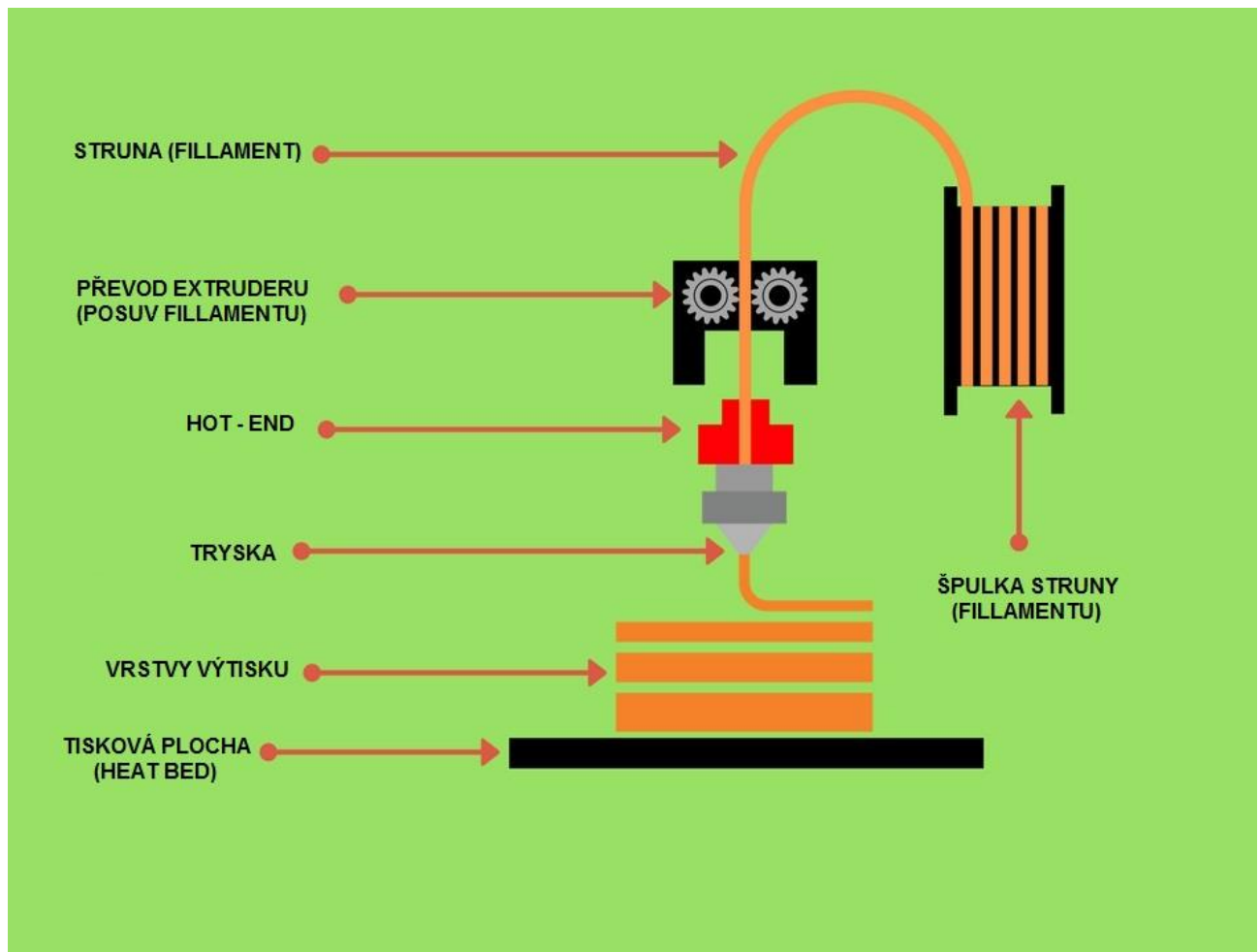
Jak již bylo zmíněno dříve, metoda je založena na skládání modelu z vrstev. V tomto případě extruder odvíjí na špulce navinutou plastovou strunu (fillament), tlačí ji do hot-endu, kde dojde k roztavení plastu, a pomocí trysky jsou nanášeny jednotlivé vrstvy. Vrstvy roztaveného plastu se nanášejí na sebe a za postupného tuhnutí vytvářejí tištěný produkt. Tiskárna tedy musí vykonávat pohyb minimálně ve třech osách a extruzi (podávání fillamentu do trysky). Z toho může být patrné, že zejména u větších výtisků a/nebo při vyšších rychlostech tisku, může nastat problém se setrvačnými účinky, které mohou způsobit utržení výtisku od tiskové plochy a/nebo zhoršení kvality výtisku vlivem poddajnosti konstrukce tiskárny.

Výhody:

- nízké pořizovací náklady
- nízké provozní náklady
- jednoduchá údržba
- jednoduchá obsluha
- široká škála materiálů
- široká uživatelská základna -> jednoduchý trouble-shooting

Nevýhody:

- kvalita povrchu
- riziko delaminace vrstev
- riziko vzniku toxických výparů (dle materiálu např. ASA, ABS)
- nutnost modifikace sestavy extruder hot-end pro některé materiály (flex materiály např. TPU)
- rozměry tiskové plochy



Obrázek 2 – schéma fungování FDM tiskárny [7]

Materiály:

*Tabulka 1 – ukázka FDM materiálů (filamentů)*

<b>Název</b>	<b>Orientační teplota tisku [°C]</b>
ABS	230±10
PLA	205±15
PETG	245±10
ASA	250±10
PC	290±20
TPU	250±10
PA	260±10
TPE	220±10
PEEK	355±10
PP	250±15
HIPS	230±10
FILLS	220±30



*Obrázek 3 – ukázka špulek s filamenti [44]*



#### 4.2.2 Technologie SLA



Obrázek 4 – ukázka SLA 3D tiskárny Průša SL1S [9]

Jedná se o nejstarší a druhou nejrozšířenější metodu 3D tisku na bázi polymeru, přičemž samotný princip byl patentován již v roce 1986.

Na rozdíl od metody FDM, kde je tuhý materiál v podobě struny přiváděn tryškou do místa tisku, je zde nádrž naplněná polymerním materiálem citlivým na ultrafialové světlo (UV) v tekuté podobě. V nádrži, těsně pod hladinou materiálu, je umístěna tisková plocha. Selektivním ozařováním tekutiny UV laserem dochází ke změně skupenství (tuhnutí materiálu) v daném místě a vytváření první vrstvy. Analogicky pak za postupného zanořování tiskové plochy hlouběji do nádrže vznikají vrstvy následující. Na trhu jsou dostupné dva druhy SLA tiskáren a to standardní (viz popsáný proces tisku) nebo tiskárny typu upside-down (viz Obrázek 5). Tiskárny typu upside-down fungují na stejném principu, jako standardní tiskárny jen mají převrácené uspořádání komponent.

Metodou SLA je možné dosahovat velmi kvalitního a celistvého povrchu s přesnými tolerancemi. Díky tomu přesné a ani pohledové součásti obvykle nevyžadují výrazně složitý post processing. V případě vysoce zatěžovaných komponent (např. automotive, aerospace), je však vhodnější zvolit metodu FDM.

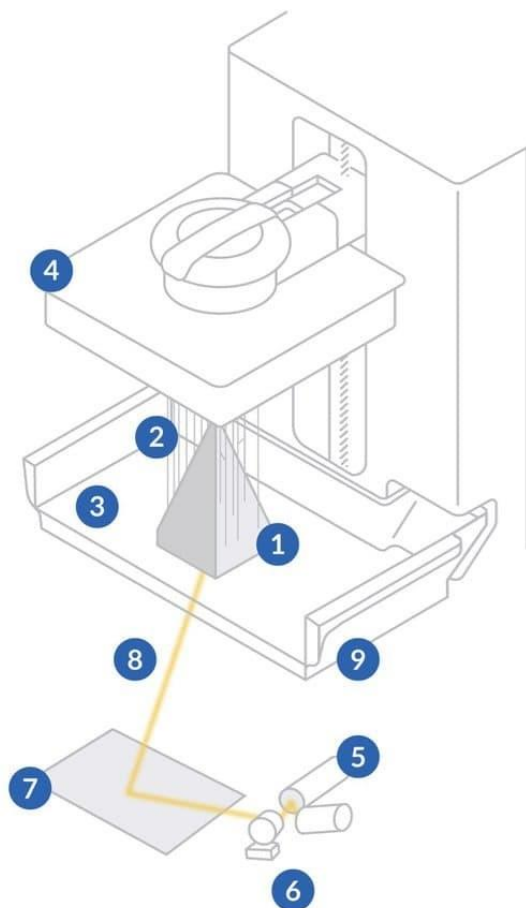
##### Výhody:

- kvalitní povrch
- bez rizika delaminace vrstev
- přesné tolerance
- detaily
- průhledný povrch

##### Nevýhody:

- pevnost
- životnost

- relativně omezený výběr materiálů
- horší odolnost vůči agresivnímu prostředí
- vyprázdnění celé nádrže při změně materiálu
- cena



## Upside-Down SLA

- 1 VÝTISK
- 2 PODPĚRY
- 3 PRYSKYŘICE
- 4 TISKOVÁ PLOCHA
- 5 LASER
- 6 GALVANOMETRY
- 7 ZRCADLA X-Y
- 8 LASEROVÝ PAPERSEK
- 9 NÁDRŽ S PRYSKYŘICÍ

Obrázek 5 – schéma SLA 3D tiskárny typu upside – down [4]

Materiály:

Tabulka 2 – ukázka SLA materiálu

Typ	Název	Složení
Standardní	Renshape SL7820	ABS báze
	AccuraXtremeWhite 200	
Pevnostní	Accura AMX Rigid Black	PAN báze
	AccuraXtreme	
Odlévatelné	Accura 60	PC báze
	AccuraCastPro	PC báze
Flexibilní	Somos 9120	PP báze



Obrázek 6 – ukázka plnění nádrže SLA tiskárny pryskyřicí (resin) [10]

#### 4.2.3 Technologie DLP a LCD



Obrázek 7 – ukázka DLP tiskárny [45]

Svým způsobem se v obou případech jedná o obdobu technologie SLA. Hlavními rozdíly jsou zdroj světla, kterým je pryskyřice ozařována a skutečnost, že namísto postupného ozařování dojde k ozáření celé vrstvy najednou, což má za následek výrazné zvýšení rychlosti tisku.

V případě DLP tisku je zdrojem světla digitální projektor, LCD pak využívá paralelně řazených LCD panelů.

Z principu fungování projektoru je patrné, že obraz je tvořen emitováním světla projektorovou lampou o určitém rozlišení a jeho následném usměrnění zaostřovací čočkou. Vzhledem k tomu, že rozlišení lampy je konstantní, s rostoucí velikostí výtisků začne docházet k takzvanému zoom out efektu. Jeho praktickým důsledkem je zhoršení kvality a snížení úrovně detailů výtisku. Zoom out efekt si lze představit následovně: Zobrazí-li se například v počítači fotografie s rozlišením 300 x 600 pixelů a začneme-li tuto fotografii zvětšovat (přibližovat), její kvalita bude klesat, přestože rozlišení je pořád stejné. Je to dáno tím, že přibližováním obrazu roste velikost jednotlivých pixelů a tím se každý jednotlivý pixel stává patrnější (větší). Úroveň dosažitelného detailu tisku je tedy dána velikostí pixelu. Z toho vyplývá, že s rostoucí velikostí výtisku roste i velikost distorze obrazu.

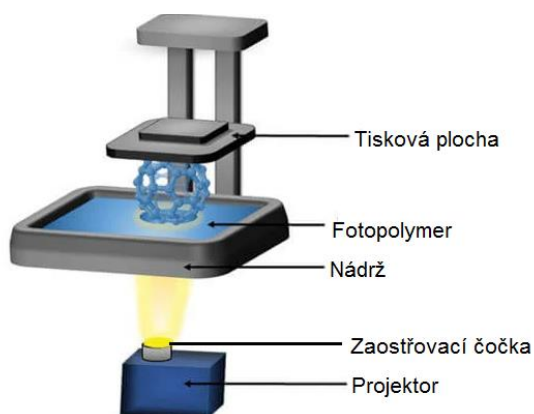
Profesionální DLP tiskárny, disponují kompenzací této distorze a dopad velikosti modelů na kvalitu tisku je proto zanedbatelný. Jedná se však o tiskárny vyšší cenové kategorie. V nižších cenových kategoriích je výhodnější zvolit LCD tiskárny, které problematiku Zoom out efektu eliminují použitím několika paralelně řazených LCD panelů. Díky tomu není nutné využívat zaostřovací čočku a nedochází tím k distorzi obrazu. Kvalita LCD tisku je tak závislá na počtu LCD panelů a jejich rozlišení. Nevýhodou LCD tiskáren je zpravidla jejich vyšší hmotnost a rozměry (několik LCD panelů vs. jeden projektor).

#### Výhody:

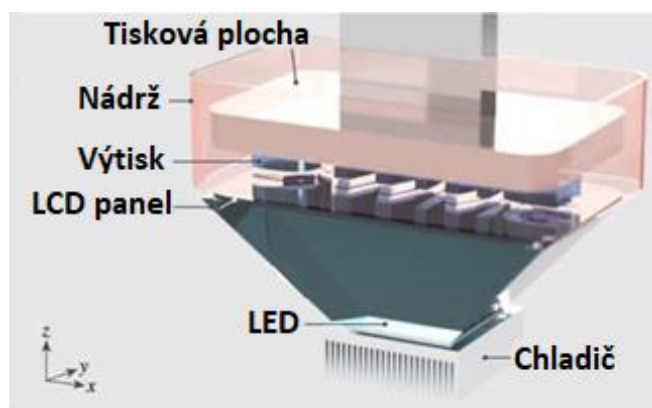
- viz SLA
- cenová dostupnost (LCD)
- velmi vysoká rychlost tisku
- kvalita povrchu
- úroveň detailu (V porovnání s FDM)

#### Nevýhody:

- viz SLA
- riziko distorze obrazu (levné DLP)
- ozařování celé vrstvy => velké množství výparů
- úroveň detailů (v porovnání s SLA)



Obrázek 8 – schéma DLP technologie [13]



Obrázek 9 – schéma LCD technologie [46]



Obrázek 10 – ukázka DLP / LCD resinu [14]

#### 4.2.4 Technologie MJF



3D Printer by Multi Jet Fusion

Cooling and Dusting Station

Obrázek 11 – ukázka MJF tiskárny HP s post-processingovou stanicí [19]

Technologie Multi Jet Fusion se zakládá na vytváření výtisků z jemného prášku (jemnost až 80 mikronů) za použití technologických činidel a ozařovacích lamp. Princip fungování MJF tiskárny je blíže popsán na obrázku 12. Vzhledem k velikosti zrn vstupního materiálu, užití pojivých a separačních činidel, je možné dosahovat přesných a detailních dílů s vysokou hustotou a nízkou porozitou. Díly vytištěné pomocí MJF, přestože se stále jedná o tisk po vrstvách, vykazují vysoký stupeň izotropie v porovnání s ostatními metodami.

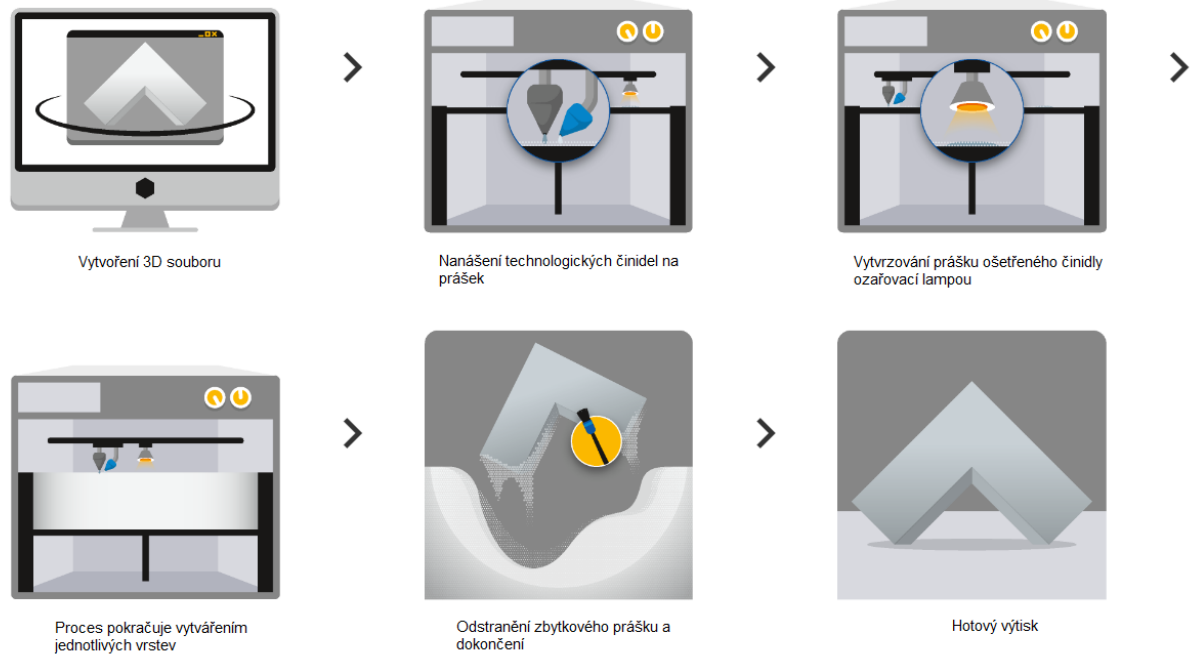
Technologie MJF je v současné době dostupná pouze v průmyslové kvalitě, čemuž odpovídá kvalita tiskáren a poskytovaných služeb, ale také jejich cena. Hlavní nevýhodou tiskáren typu MJF je malý rozsah dostupných tiskových materiálů a škála jejich barev. V podstatě se jedná pouze o materiály na bázi polyamidu 12 (PA 12) a termoplastického polyuretanu (TPU) v základní šedé barvě.

##### výhody:

- kvalita tisku
- nízká porozita
- vysoká hustota
- vysoká izotropie
- bez nutnosti podpěr (PA 12)

##### Nevýhody:

- pořizovací náklady
- omezené množství materiálů
- barva tisku
- rozměry tiskárny x výtisku



Obrázek 12 – schéma technologie MJF [17]

Materiály:

Tabulka 3 – ukázka MJF materiálů

Báze	Název
Polyuretan	TPU
Polamid	PA 12
Polyamid	PA 12 40% GF

#### 4.2.5 Technologie PJ



Obrázek 13 – ukázka PJ tiskárny Stratasys [20]

Tiskárny PolyJet fungují na principu nanášení tekutého foto polymerního materiálu tryskami na tiskovou plochu v ultra tenkých vrstvách a jeho okamžitým vytvrzování pomocí UV světla. Tloušťka jednotlivých vrstev se pohybuje v řádech setin milimetru ( $\approx 32 \mu\text{m}$ ).

Díky tomu, že tiskárny využívají hned několik trysek, je možné v rámci jednoho výtisku kombinovat materiály či barvy a tím dosahovat různých mechanických a vizuálních vlastností. Podpěry jsou obvykle tištěny z vodou vymývatelného materiálu. Kvalita povrchu je díky přesnému dávkování a okamžitému vytvrzování vynikající. Délkové tolerance se obvykle pohybují v rozsahu 0,1 až 0,3 mm. Tiskárny jsou stejně jako u technologie MultiJet dostupné pouze v průmyslové kvalitě, čemuž odpovídá i jejich cena.

Z výše popsaného je zřejmé, že technologií PolyJet je možné realizovat velmi komplexní návrhy ve vynikající kvalitě, nicméně stejně jako u všech předešlých resinových technologií, i technologie PolyJet, vykazuje horší mechanické vlastnosti, než výtisky získané metodou FDM.

Z těchto důvodů PolyJet tiskárny nacházejí uplatnění zejména v medicíně (stomatologie, protetika), designérských dílnách či provozech těžících z unikátních vlastností výtisku získatelných pouze touto technologií 3D tisku (např. výroba transparentních krytů světlometů).

##### Výhody:

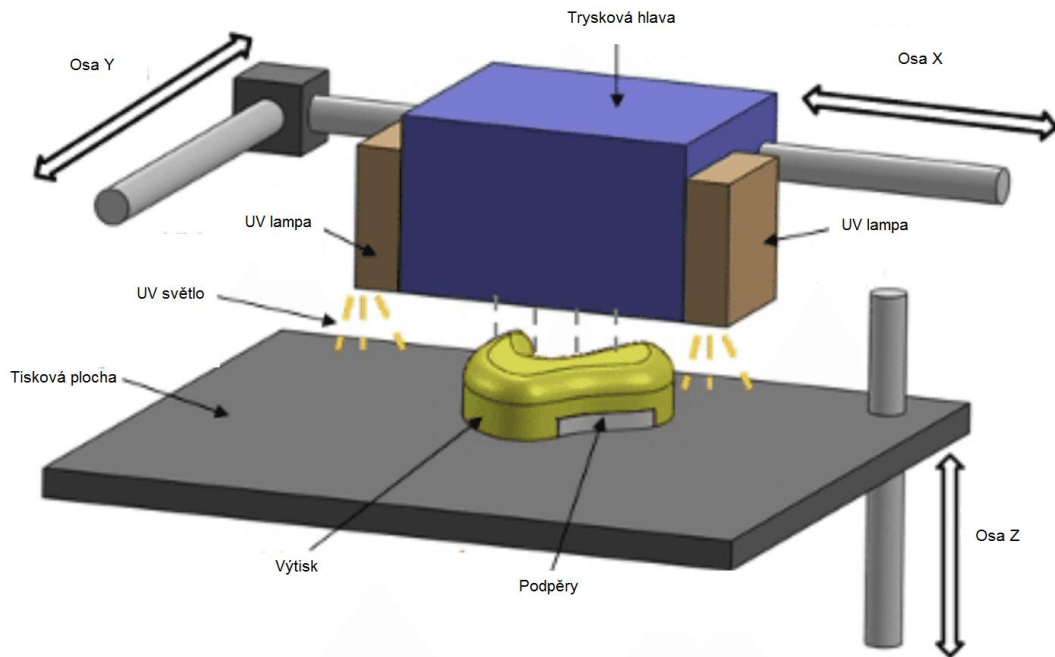
- kvalita povrchu
- snadná kombinace materiálu a barev
- vymývatelné podpory
- přesnost

##### Nevýhody:

- pořizovací náklady



- mechanické vlastnosti výtisku
- rozměry tiskárny



Obrázek 14 – schéma technologie PJ [22]



**2kg**

Obrázek 15 – ukázka transparentního PJ materiálu RGD 720 [23]



#### 4.2.6 Technologie SLS



Obrázek 16 – ukázka SLS tiskárny FormlabsFuse 1 [27]

Podobně jako technologie MJF se i SLS zakládá na principu spékání jednotlivých vrstev z jemného prášku. Rozdíl však spočívá v tom, že zatímco MJF nanáší na prášek technologická činidla, která následně ozařuje lampou, SLS přímo taví částice pomocí laseru. Výtisky z SLS tiskárny mají zrnitý povrch se zbytky prášku. Po zchladnutí výtisku je tedy nutný post processing a to alespoň v podobě jeho tryskání. Technologie SLS zvládá tisk i velmi komplexních geometrií včetně obvykle problematických převisů. Tištěná součást je vždy celá obklopena neroztaveným práškem, který plní funkci podpěr. To se stává komplikací v případě, kdy model má obsahovat zcela uzavřenou dutinu. Pakliže nebude ponechán otvor pro odstranění roztaveného prášku, bude jím dutina zcela vyplněna.

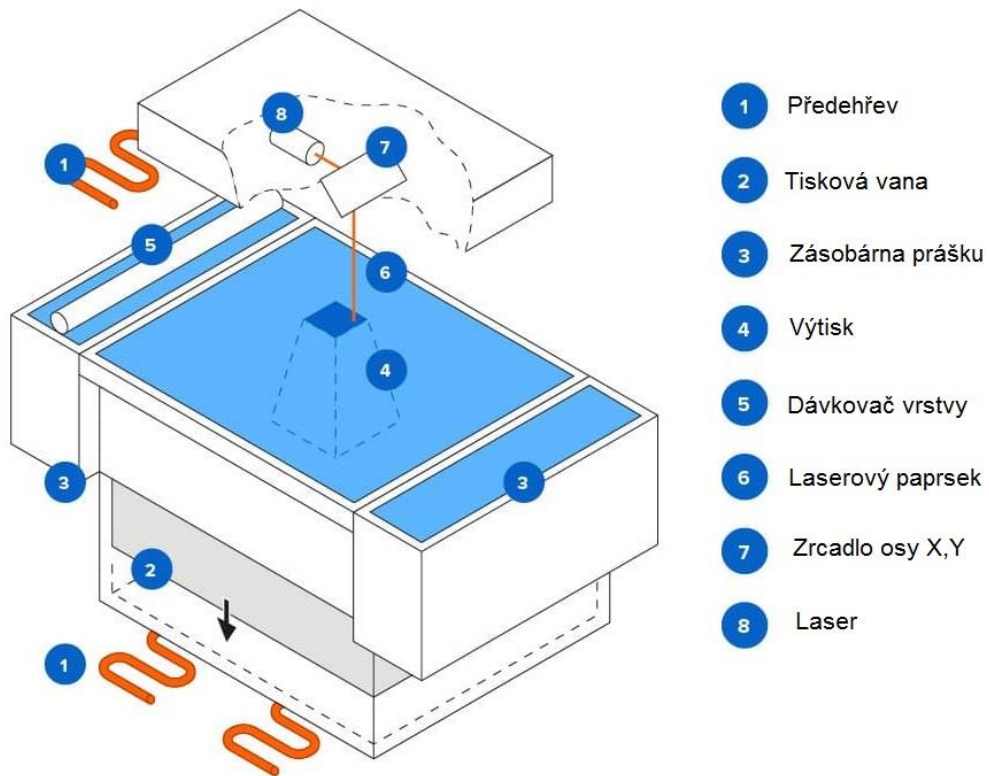
Mechanické vlastnosti SLS výtisků se přibližují výrobkům vyráběných metodou vstřikování. Přesnosti a tolerance jsou srovnatelné s technologií MJF. Hlavní nevýhodou SLS tiskáren jsou jejich pořizovací náklady, rozměry a omezený výběr materiálů.

##### Výhody:

- kvalita výtisků
- konstantní výsledky
- nízké kusové náklady
- vysoký stupeň izotropie

##### Nevýhody:

- pořizovací náklady
- rozměry
- materiály pouze na bázi polyamidu



Obrázek 17 – schéma technologie SLS [26]

#### 4.2.7 Technologie DMLS



Obrázek 18 – ukázka DMLS tiskárny EOS M 290 [29]

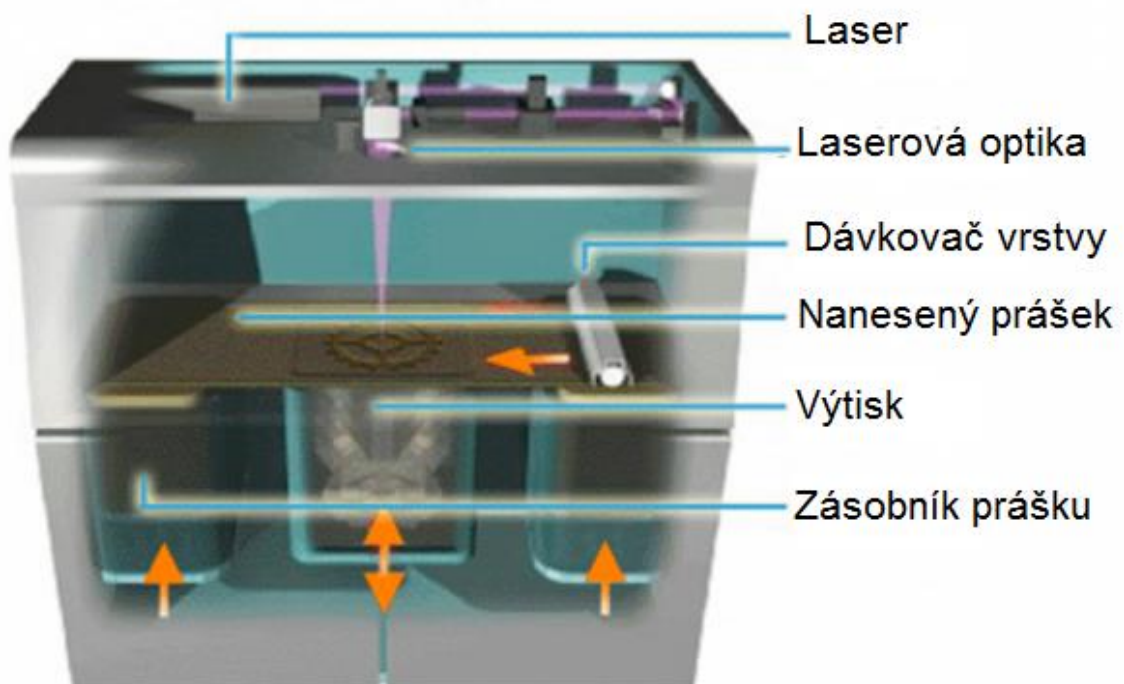
Všechny předchozí technologie se zabývaly 3D tiskem polymerních materiálů, technologie DMLS je však určená pro tisk z kovového prášku. DMLS je založena na stejném principu jako SLS s tím rozdílem, že DMLS využívá podstatně výkonnějšího laseru. Přesnost tisku je závislá především na hrubosti zrn kovového prášku a tloušťce laserového paprsku. Touto technologií lze obvykle dosahovat přesnosti v rozsahu  $\pm 0,2$  mm, tloušťky vrstvy  $\approx 0,05$  mm a minimální tloušťky stěny  $\approx 0,5$  mm. Vzhledem k tomu, že se jedná o technologii sintrování, kdy jsou jednotlivá zrna navzájem spojována v ochranné atmosféře na principu mikro svarů, na místo jejich plného roztavení, je vhodné u výtisku pro dosažení požadovaných vlastností a snížení vnitřního pnutí provést adekvátní tepelné zpracování. Dále je po zchladnutí možné odstranit případné podpěry a tryskat povrch od přebytečného prášku. Dle potřeby je možné provést další technologické operace, jako u jakéhokoliv jiného výrobku získaného konvenčními metodami výroby.

#### Výhody:

- tisk široké škály kovů
- kvalita srovnatelná s konvenčními metodami
- přesnost srovnatelná s konvenčními metodami
- obvykle bez nutnosti podpor
- snadná výroba složité geometrie

#### Nevýhody:

- pořizovací náklady
- pro většinu aplikací nutný post-processing
- provozní náklady
- plně uzavřené dutiny budou vyplněny práškem



Obrázek 19 – schéma technologie DMLS [47]

#### 4.2.8 Technologie EBM



Obrázek 20 – ukázka EBM tiskárny Arcam Spectra L [37]

Stejně jako v předchozím případě i technologie EBM vytváří po vrstvách výtisk z velmi jemného kovového prášku. K natavování materiálu se však na místo laseru využívá elektronový paprsek. Zatímco DMLS předává energii potřebnou k natavení materiálu v podobě elektromagnetického záření (laserový paprsek), EBM využívá přeměny kinetické energie proudu velmi rychle letících elektronů na energii tepelnou při jejich dopadu na materiál. DMLS si tedy při tisku vystačí pouze s inertní ochrannou atmosférou, technologie EBM však vyžaduje prostředí vakuové. Pro urychlení elektronů na požadovanou rychlost je zapotřebí napětí o hodnotách až 30 000 V.

Je vhodné zmínit, že v případě EBM se již nejedná o sinterování, ale dochází k plnohodnotnému roztavení jednotlivých částic. Zároveň je uvnitř tiskárny po celou dobu tisku udržována velmi vysoká teplota. Nedochozí tedy ke vzniku tak výrazného gradientu teplot napříč tiskovou vanou, jako v případě DMLS a s tím spojeným vznikem vnitřních pnutí ve výtisku. V případě EBM tedy odpadá nutnost dalšího tepelného zpracování.

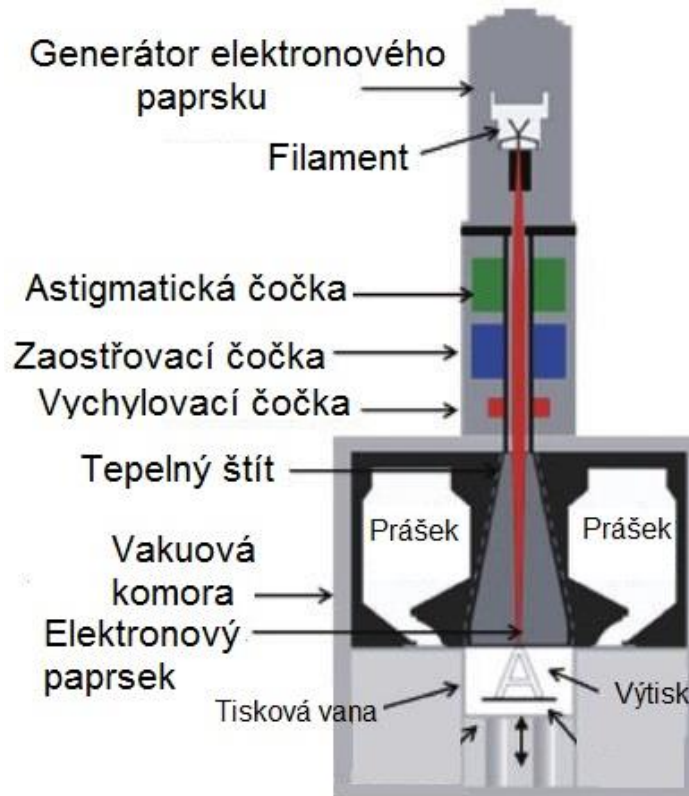
Ze všech popisovaných druhů tiskáren tak tiskárny typu EBM patří k technologicky nejsložitějším a zároveň i nejnákladnějším. Není tedy s podivem, že nacházejí uplatnění téměř výhradně v kosmickém a leteckém průmyslu, vývoji a výrobě supersportovních vozidel a medicíně.

##### Výhody:

- bez nutnosti dodatečného tepelného zpracování
- zcela kontrolované prostředí
- viz DMLS

##### Nevýhody:

- extrémně vysoké náklady
- viz DMLS



Obrázek 21 – schéma technologie EBM [35]

### 4.3 Závěrečné hodnocení 3D tiskových technologií

V rámci rešerše byly prostudovány základní charakteristiky všech běžných metod 3D tisku. Ukázalo se, že pro prototyping plastových součástí je obvykle nejvhodnější metoda FDM a to především díky své cenové dostupnosti, levnému provozu a široké nabídce dostupných materiálů. V případě častého tisku pohledových dílů, kde je kladen zvýšený důraz na kvalitu povrchu, by bylo vhodné zvolit jinou metodu např. SLA. Díky tomu by bylo možné redukovat, či zcela eliminovat jinak nutný post processing a zkrátit tak dobu výroby.

V případě, že by se zvažovalo zavedení 3D tisku do sériové výroby, bylo by nutné nahradit low-end tiskárny tiskárnami profesionálními. Jako vhodný kandidáti se pak jeví tiskárny typu PolyJet a SLS. Hlavními benefity přechodu na profesionální řadu tiskáren budou především zvýšená spolehlivost a produktivita, stabilní kvalita výtisků a prodloužené servisní intervaly zejména při vysokém objemu tisku.

V případě kovového 3D tisku je situace jednodušší. K dispozici jsou prakticky pouze dvě technologie, a to EBM a DMLS. Z hlediska sériové výroby by bylo vhodnější užití EBM a to především z důvodu vyšší kvality výtisků a absence nutnosti dodatečného tepelného zpracování pro většinu aplikací. Nicméně kvůli extrémně vysokým pořizovacím a provozním nákladům EBM je pravděpodobnější využití DMLS tiskáren. Využití DMLS tiskáren je vhodné především při výrobě a prototypingu tvarově a/nebo technologicky složitých součástí, kdy je umožněna výroba velmi složitě geometrie tak zvané „na jedno upnutí“ a zároveň odstraněno až několik technologických

operací (lisování, ohýbání, svařování) a s tím spojené logistické úkony (manipulace, balení, transport atp.).

Tisk expandující polyuretanové pěny v současné době bohužel žádná technologie 3D tisku neumožňuje. Dále se již tedy tato práce nebude problematikou 3D tisku polstrování sedadel zabývat. Alternativním řešením k přímému tisku pěny by mohla být výroba odlévacích či vstřikovacích forem pomocí konvenčních 3D tiskáren či vývoj vlastní technologie 3D tisku expandující polyuretanové pěny. Nicméně k tomu by byla nutná znalost přesných parametrů a technologických postupů stávající technologie výroby a ty v současné době podléhají obchodnímu tajemství dodavatele.



## 5 Praktická část

### 5.1 Mechanismus easy entry

#### 5.1.1 Úvod

Mechanismus easy entry se vyskytuje především u vozidel s dvoudveřovým a třídveřovým uspořádáním karoserie, případně u vozidel typu SUV a MPV v jejich šestimístném provedení. Mechanismus je montován do krajních sedadel první, respektive druhé řady a slouží k rychlému a snadnému sklopení opěradla a následnému posunutí celého sedadla směrem vpřed. Tím je vytvořen nástupní prostor pro zadní řadu sedadel, která postrádá vlastní dveře.



Obrázek 22 – interiér vozu Volvo XC 90 T6 s vyznačeným mechanismem easy entry [38]

Typicky se mechanismus easy entry skládá ze tří funkčních bloků – odjišťovací mechanismus, lanko s bowdenem a ovládání. Odjišťovací mechanismus se nachází zpravidla v dolní části sedadla a zajišťuje odjištění aretace sklápění opěradla a pojezdu sedadla. Ovládání se obvykle nalézá na boční straně či vrchu opěradla hned vedle hlavové opěrky. Ovládání má nejčastěji podobu různých pák či oček, za které se tahá, nebo se zvedají. Přenos síly mezi ovládáním a odjišťovacím mechanismem bývá realizován tahem za ocelové lanko uvnitř bowdenů.

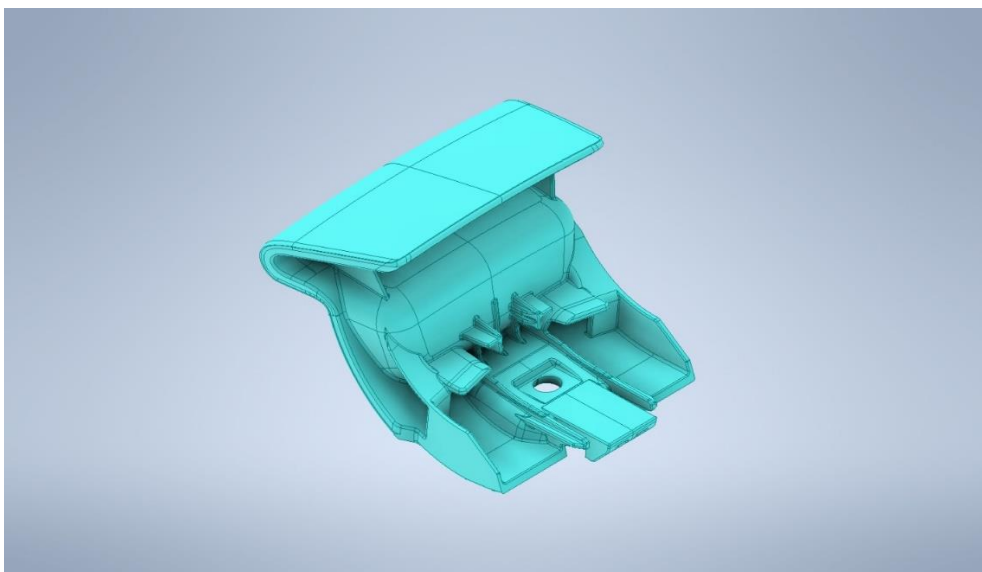


Obrázek 23 – Volvo XC90 T6 [39]

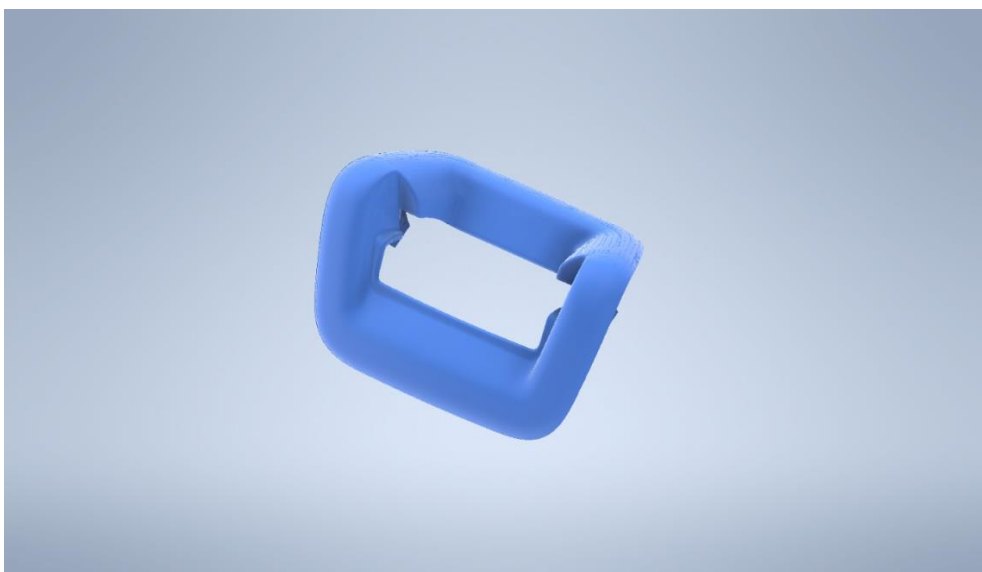
Tato část diplomové práce se bude zabývat výrobou a zkoušením navržené plastové ovládací páky s dekorativním rámečkem pro zakrytí otvoru v čalounění pro vozidlo Volvo XC 90 v jeho šestisedadlovém uspořádání. Ovládací páka bude taktéž podrobena kontrole metodou konečných prvků.

### 5.1.2 Analýza modelů

Sériová výroba komponent bude probíhat vstřikováním. Pro tuto technologii výroby jsou modely navrženy a optimalizovány. Za účelem testování funkčnosti, ergonomie a celkového estetického vzezření sedadla je třeba vyrobit prototyp. Vzhledem k tomu, že výroba vstřikováním vyžaduje výrobu nákladné formy pro každou verzi prototypu, je snahou společnosti nahradit tuto konvenční technologii v rámci prototypového vývoje 3D tiskem. V případě úspěchu by to vedlo jak k výraznému snížení nákladů, tak dodacích lhůt (lead time).

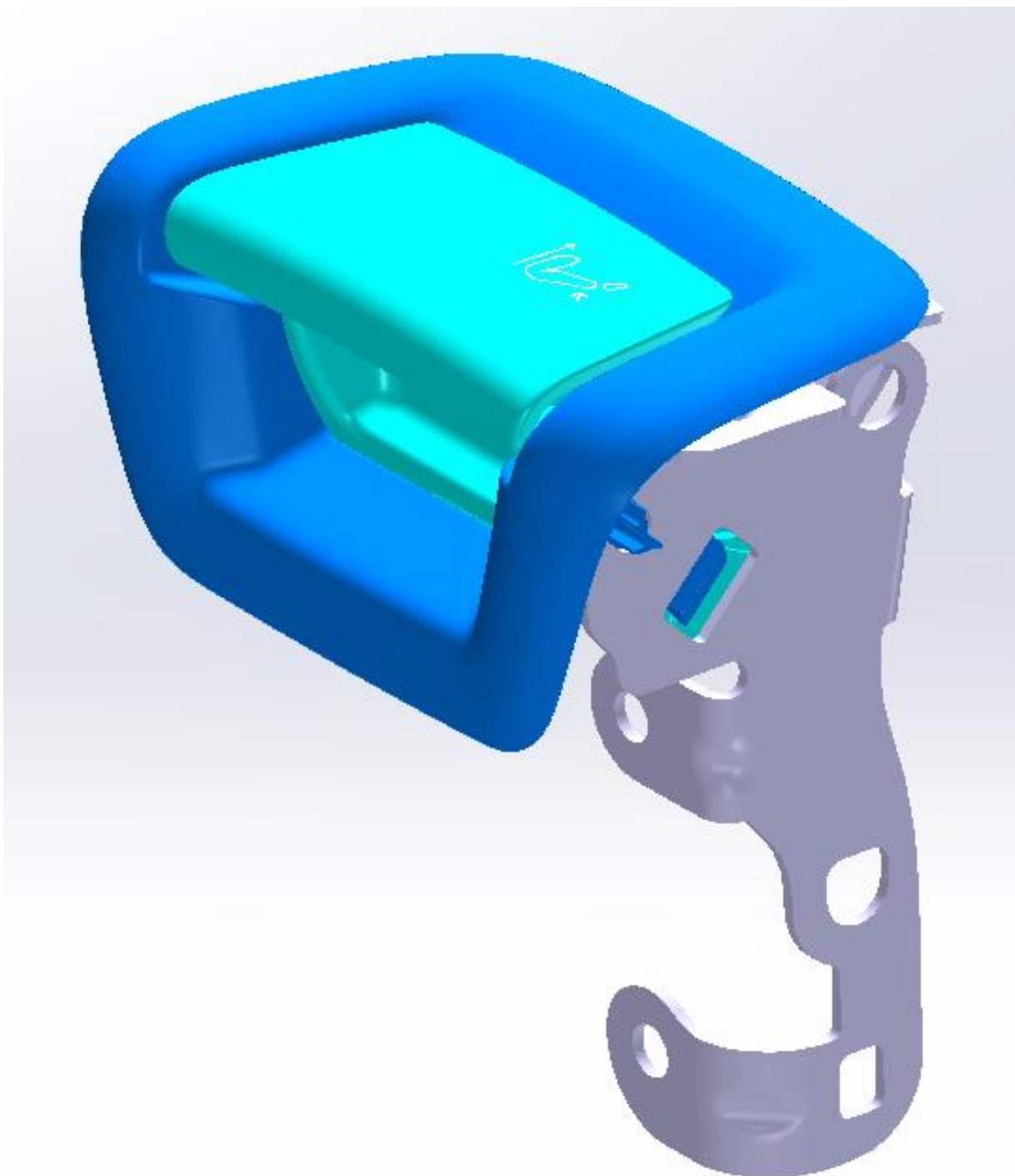


Obrázek 24 – model ovládací páky mechanismu easy entry – zadní izometrický pohled

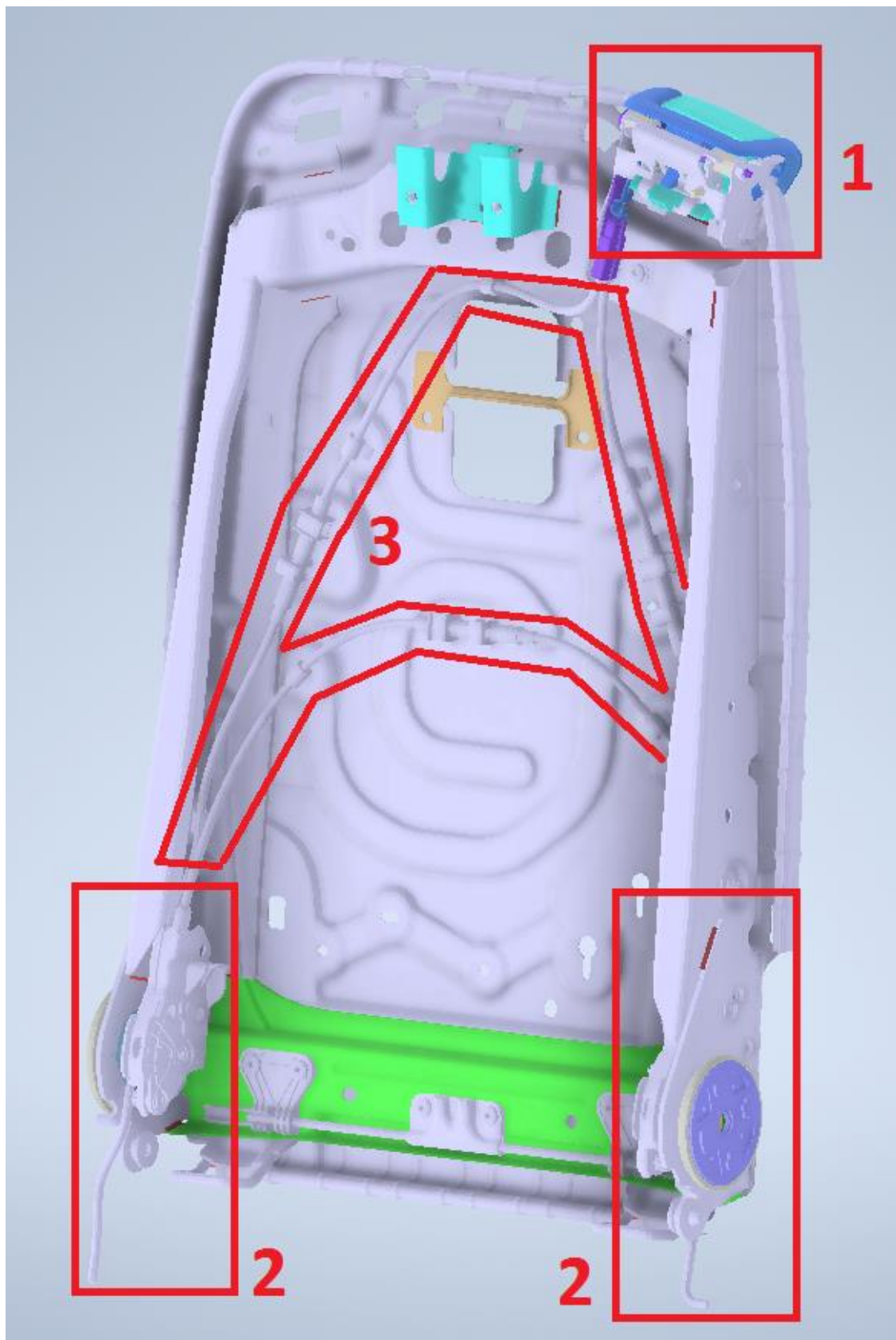


Obrázek 25 – model rámečku mechanismu easy entry – izometrický pohled





*Obrázek 26 – sestava ovládání mechanismu easy entry včetně plechové výztuže*



Obrázek 27– sestava mechanismu easy entry umístěná v sestavě skeletu opěradla  
1- ovládání, 2 – odjišťovací mechanismus, 3 – bowdeny s ocelovým lankem

### 5.1.3 Ověření modelu metodou konečných prvků

Poloha součásti v sestavě je dána tvarovými prvky a jedním imbusovým šroubem M6 s půlkulatou hlavou. Součást přenáší veškeré zatížení na kovový výlisek, který ji podpírá. Pro pevnostně deformační výpočet je třeba uvažovat dvojici zatížení, a to silový účinek od uživatele a předepínací sílu od šroubu. Materiálem pro sériovou výrobu bude Bayblend T65 XF. Jedná se o směs polykarbonátu a ABS. Pro prototypovou výrobu bude použito PLA a PETG.

Tabulka 4 – fyzikální vlastnosti materiálu Bayblend T65 XF

Pevnost v tahu	$R_m = 46 \text{ MPa}$
Prodloužení	$\epsilon = 4,4 \%$
Modul pružnosti v tahu	$E = 2,1 \text{ GPa}$
Hustota	$\rho = 1130 \text{ kg/m}^3$
Poissonovo číslo	$\nu = 0,4$
Teplota tavení	$T_t = 260^\circ$

Tabulka 5 – fyzikální vlastnosti filamentu PLA

Pevnost v tahu	$R_m \approx 37 \text{ MPa}$
Prodloužení	$\epsilon \approx 6 \%$
Modul pružnosti v tahu	$E \approx 4 \text{ GPa}$
Hustota	$\rho \approx 1300 \text{ kg/m}^3$
Poissonovo číslo	$\nu \approx 0,33$
Minimální teplota tisku	$T_t \approx 173^\circ$

Pozn. Přesné chemické složení filamentů není kontrolováno, fyzikální vlastnosti se tak mohou výrazně lišit dle výrobce a dodané šarže.

Tabulka 6 – fyzikální vlastnosti filamentu PETG

Pevnost v tahu	$R_m \approx 50 \text{ MPa}$
Prodloužení	$\epsilon \approx 8,7 \%$
Modul pružnosti v tahu	$E \approx 4,9 \text{ GPa}$
Hustota	$\rho \approx 1130 \text{ kg/m}^3$
Poissonovo číslo	$\nu \approx 0,33$
Teplota tavení	$T_t \approx 230^\circ$

Pozn. Přesné chemické složení filamentů není kontrolováno, fyzikální vlastnosti se tak mohou výrazně lišit dle výrobce a dodané šarže.

#### Zadané parametry:

Maximální silový účinek od uživatele  $F = 175 \text{ N}$

Utahovací moment šroubu  $M_u = 10 \text{ Nm}$

### 5.1.3.1 Výpočet zatížení od šroubu

Stanovení osově síly ve šroubu z utahovacího momentu:  
Obecný předpis:

$$M_U = \frac{F_{\xi} * d_2}{2} * \left[ \frac{P_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi * f * d_2}{\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f * P_h} \right]$$

Kde:

$F_{\xi}$  = síla v ose šroubu

$d_2$  = střední průměr závitu

$P_h$  = stoupání závitu

$\alpha$  = vrcholový úhel závitu

$f$  = součinitel tření v závitu

Z předchozího vztahu je patrné, že:

$$\frac{F_{\xi} * d_2}{2} = \frac{M_U}{\left[ \frac{P_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi * f * d_2}{\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f * P_h} \right]}$$

$$F_{\xi} * d_2 = 2 * \left( \frac{M_U}{\left[ \frac{P_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi * f * d_2}{\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f * P_h} \right]} \right)$$

$$F_{\xi} = \frac{2 * M_U * (\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f * P_h)}{d_2 * (P_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi * f * d_2)}$$

$$F_{\xi} = \frac{2 * M_U * (\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f * P_h)}{d_2 * (P_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi * f * d_2)}$$

Ze strojnických tabulek [44] lze vyčíst že:

Pro metrický závit M6  $\alpha = 60^\circ$

Průměrná velikost středního závitu M6  $d_2 = 5,268$  mm

Standardní rozpětí součinitele tření v závitu  $f = 0,08-0,15$

Kde

$f = 0,08$  pro závity mazané MoS<sub>2</sub>

$f = 0,12$  pro závity lehce olejované

$f = 0,15$  pro závity bez maziv

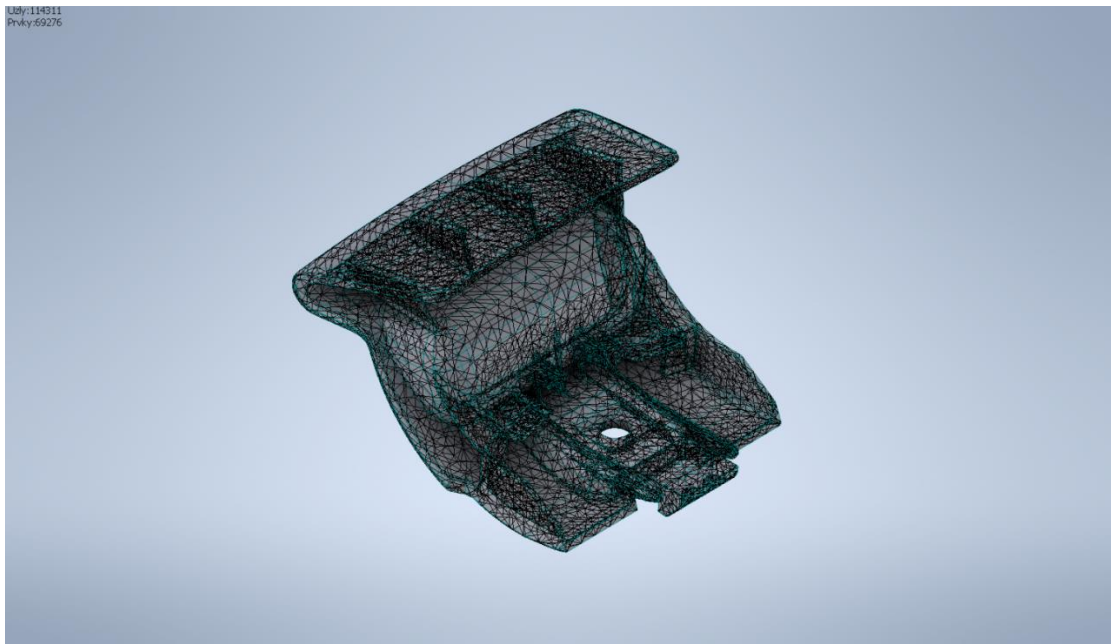
Pro povlakovaný spojovací materiál (např. galvanické zinkování)

$f = 0,2-0,35$  [43]

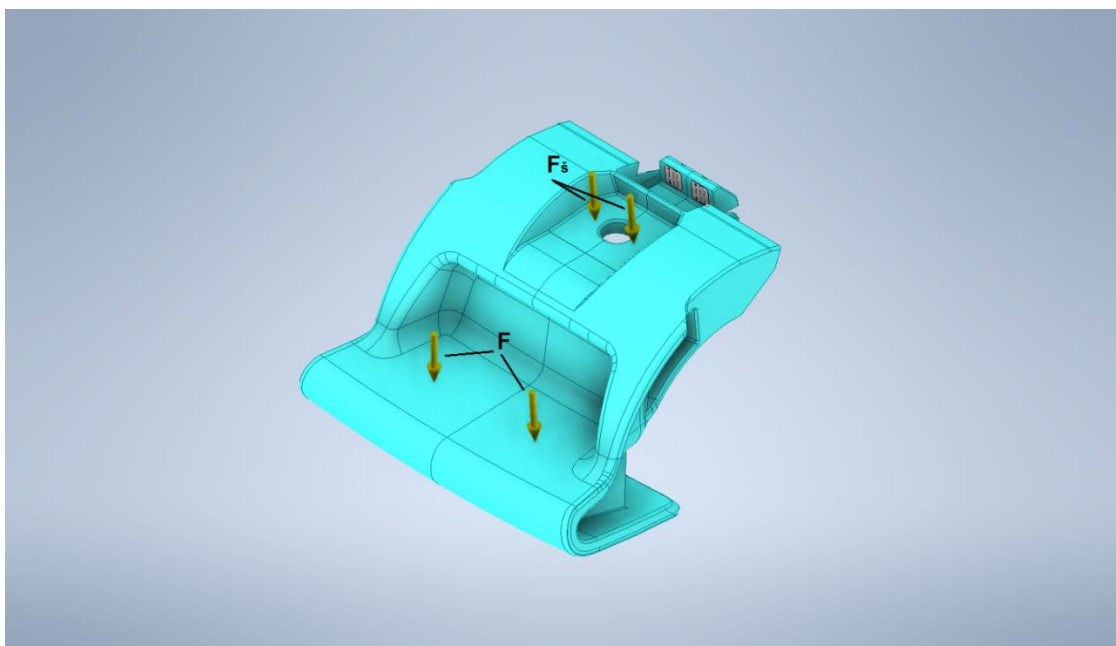
V tomto případě je však užita pojistná matice s předem deformovaným tělem v kombinaci se závitovým lepidlem. Oba spojovací prvky jsou rovněž zinkovány. Standardní výpočet hodnoty  $f$  zde tedy neplatí a dle interních norem  $f = 0,7$ .

$$F_s = \frac{2 * 10 * \left( \pi * 5,268 * \cos\left(\frac{60}{2}\right) - 0,7 * 1 \right)}{5,268 * \left( 1 * \cos\left(\frac{60}{2}\right) + \pi * 0,7 * 5,268 \right)} = 4,156 \text{ kN}$$

### 5.1.3.2 výpočtový model páky pro MKP



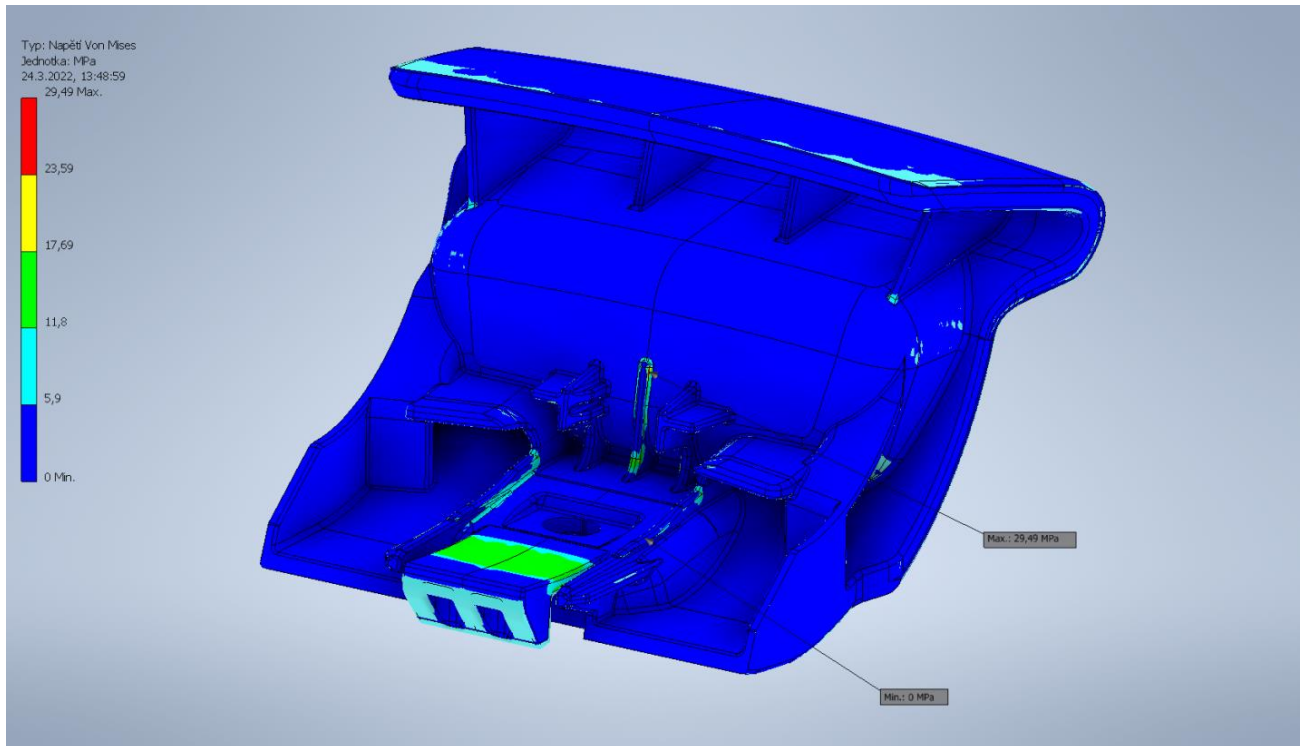
Obrázek 28 – ukázka zasilování modelu páky



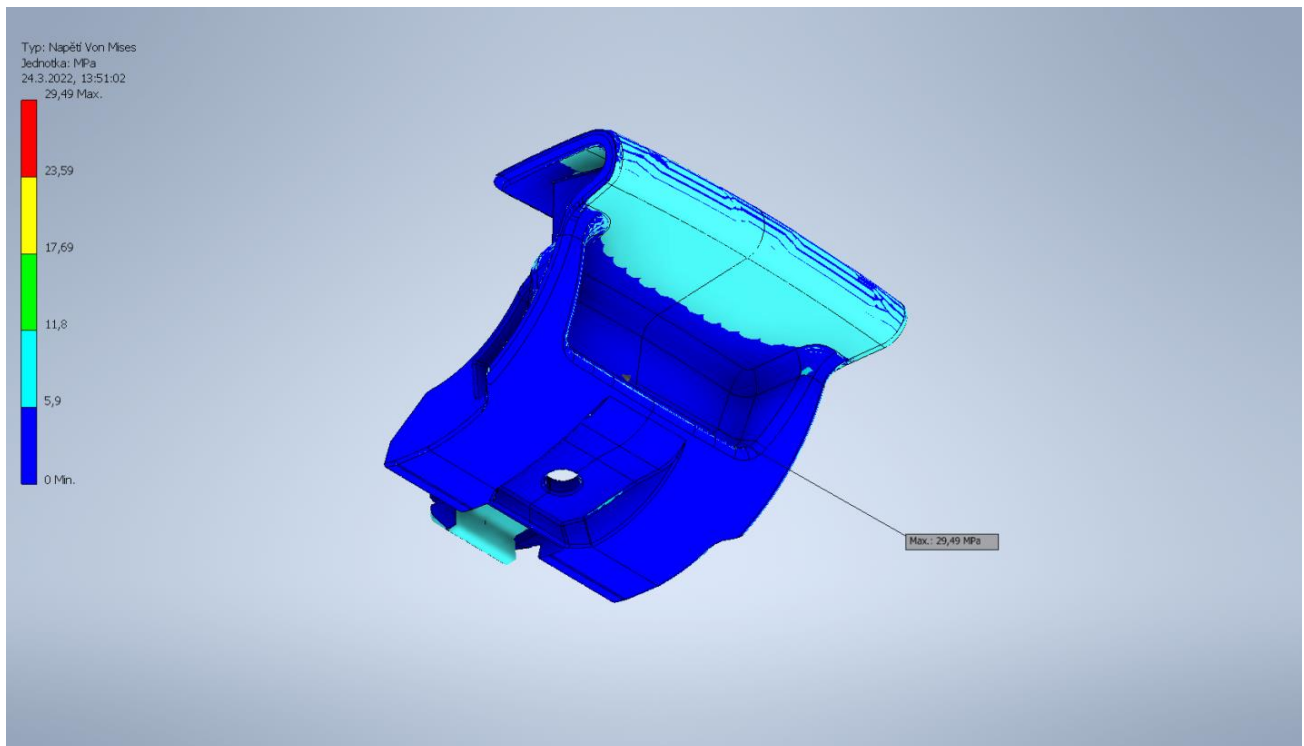
Obrázek 29 – ukázka umístění působících sil

Síla  $F$  je rozložena po celé funkční ploše. Síla  $F_s$  působí na vytvořený region tvaru mezikruží simulující dotykovou plochu součásti s hlavou šroubu (v obrázku 29 však není region patrný).

### 5.1.3.3 Výsledky MKP

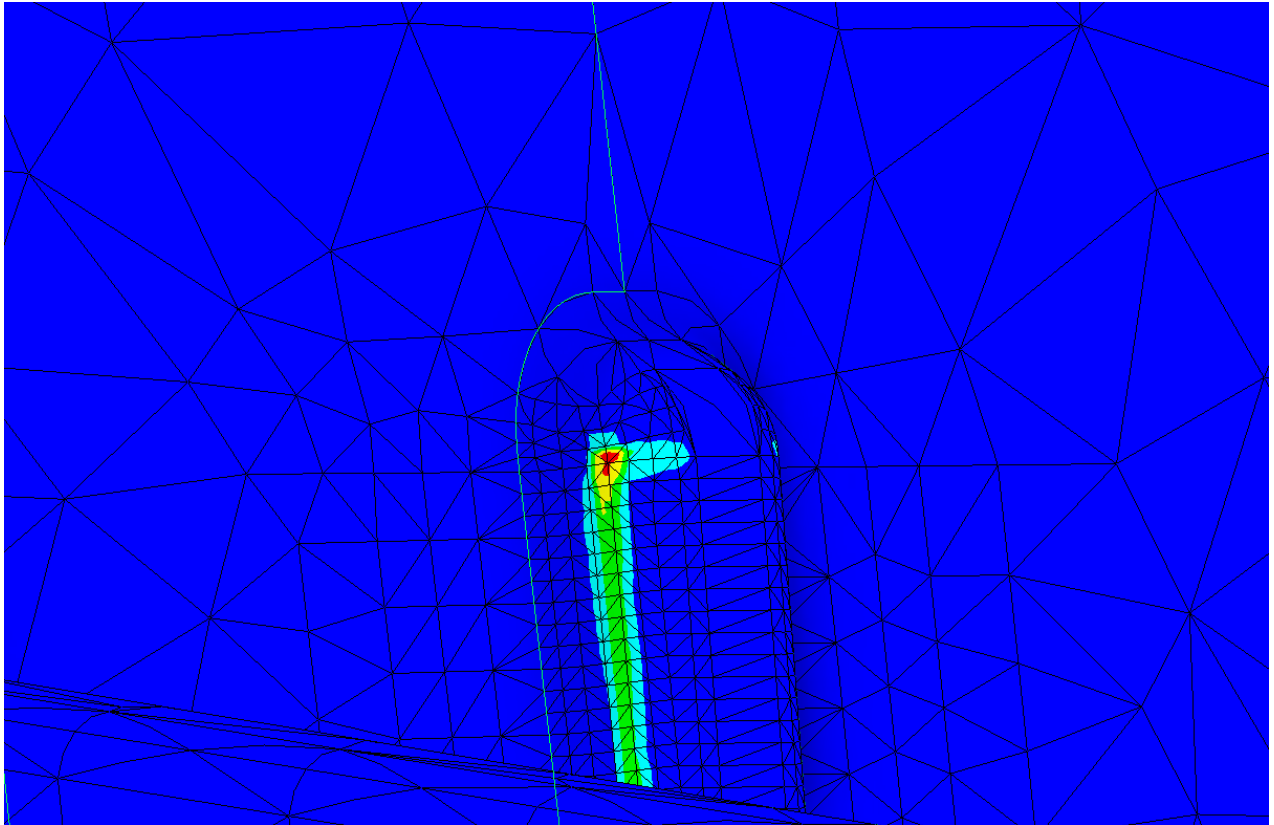


Obrázek 30 – celkové napětí, metoda HMM [MPa]

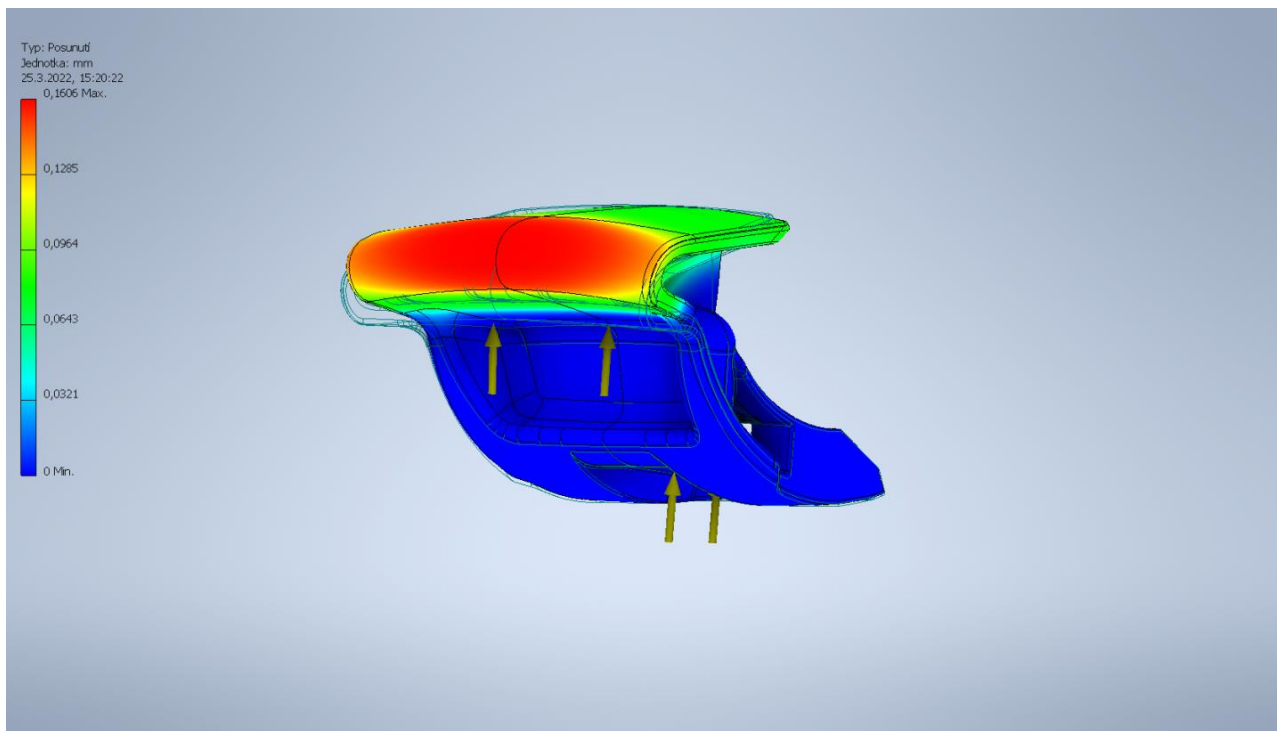


Obrázek 31 – celkové napětí, metoda HMM [MPa]





Obrázek 32 – detail lokálního extrému celkového napětí dle HMMH se zahuštěnou sítí [MPa]



Obrázek 33 – celkové posunutí [mm]

Z pevnostně deformačního hlediska návrh vyhověl a je tedy možné postoupit k prototypové výrobě.

### 5.1.4 Výroba prototypů

Pro výrobu prototypu byla na základě rešerše vybrána metoda 3D tisku FDM a to zejména pro její dostupnost, nízké náklady a uspokojivé výsledky. Modely optimalizované pro technologii vstřikování jsou bez úprav obvykle nevhodné pro výrobu 3D tiskem a to především z důvodu komplexní geometrie, tenkých ploch a dlouhých štíhlých prvků. Optimalizací modelu pro 3D tisk by však došlo k výrazné změně modelu, což by vedlo k tomu, že by se zkoušel podstatně odlišný model od budoucí sériové produkce a výsledky testů by tak mohly být značně zkreslené. Z toho důvodu bude snaha o vytištění původního modelu. K ověření, zda je možno a za jakých předpokladů takovouto geometrii vytisknout, poslouží experimentální výtisky z PLA. PLA bylo zvoleno z důvodu snadného a rychlého tisku a nízké ceny materiálu. Finální prototyp bude vyroben z kvalitnějšího, odolnějšího, ale hůře tisknutelného PETG.

#### 5.1.4.1 První experimentální výtisk páky

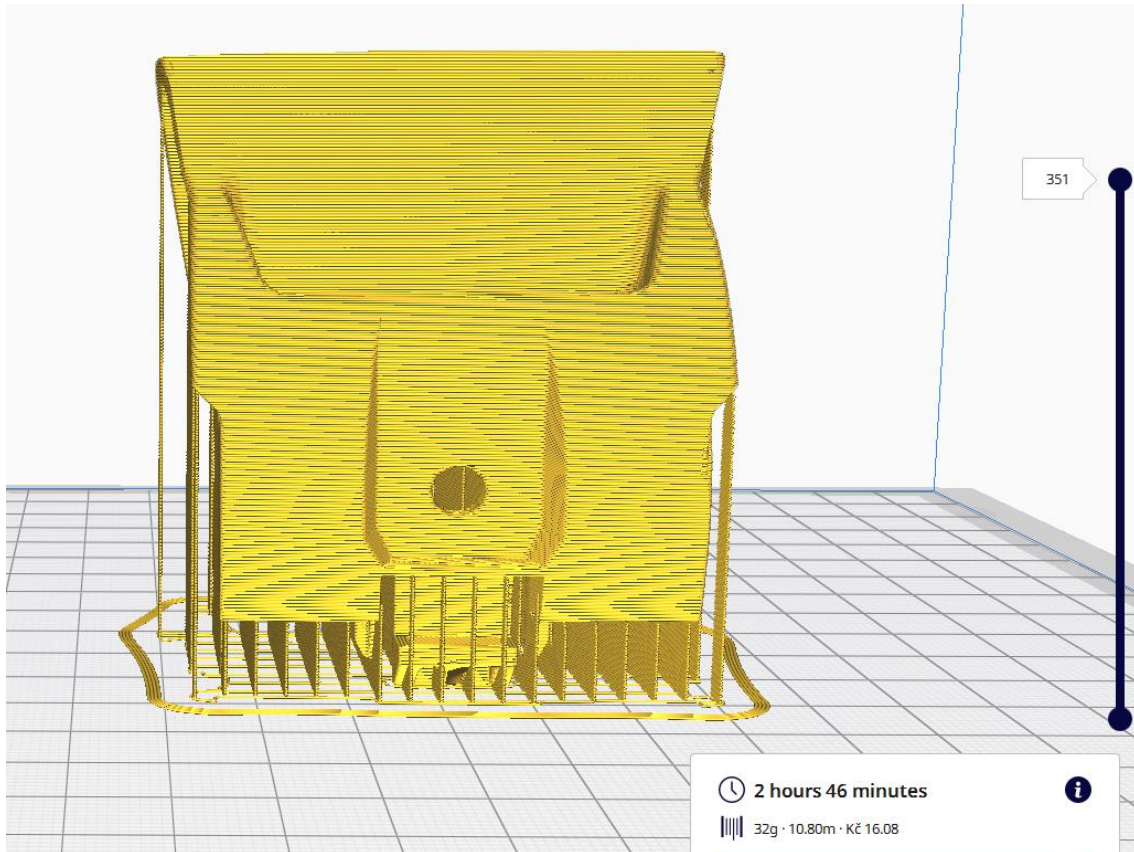
Experimentální výtisky budou provedeny na kopii tiskárny Průša I3 z materiálu Creality PLA Black. Pro vytvoření tiskového G kódu bude použito sliceru Ultimaker Cura verze 4.3.0.

Software Cura disponuje více než 150 parametry tisku, které lze nastavit. Některé parametry jsou vzájemně provázané pomocí předdefinovaných funkcí a jejich výpočet probíhá automaticky v závislosti na řídicím parametru. V případě potřeby je však možné vypočítanou hodnotu přepsat a závislost parametrů tak zrušit. Zároveň řada nastavení není relevantní pro konkrétní model. Tabulka níže shrnuje vybraná provedená nastavení pro konkrétní výtisk. Parametry, které nejsou uvedeny, byly ponechány v základním nastavení pro danou tiskárnu a materiál a jejich hodnoty vycházejí ze zkušeností autora získaných při řešení předchozích projektů.

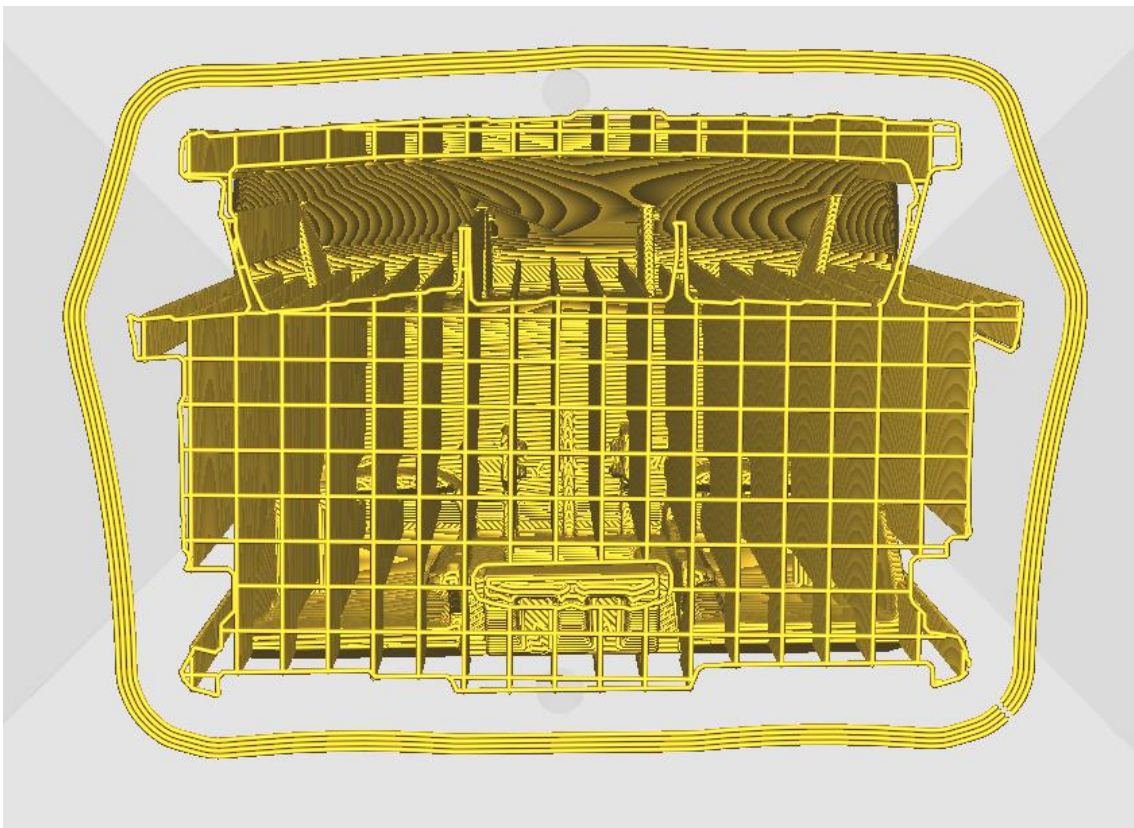
Tabulka 7 – parametry prvního experimentálního výtisku páky

Parametr	Hodnota
Teplota trysky	208/200 °C
Teplota heat bedu	60/55 °C
Průměr trysky	0,4 mm
Tloušťka vrstvy	0,22 mm
Rychlost tisku	60 mm/s
Hustota výplně	10 %
Typ výplně	lines
Typ podpory	grid
Hustota podpory	15 %
Minimální úhel převisu pro podporu	45°
Počet stěn	3
Vzdálenost podpory od výtisku	0,22 mm
Orientace	na výšku (osa Z model = osa Z Cura)





Obrázek 34 – ukázka prvního vygenerovaného modelu páky, základní pohled

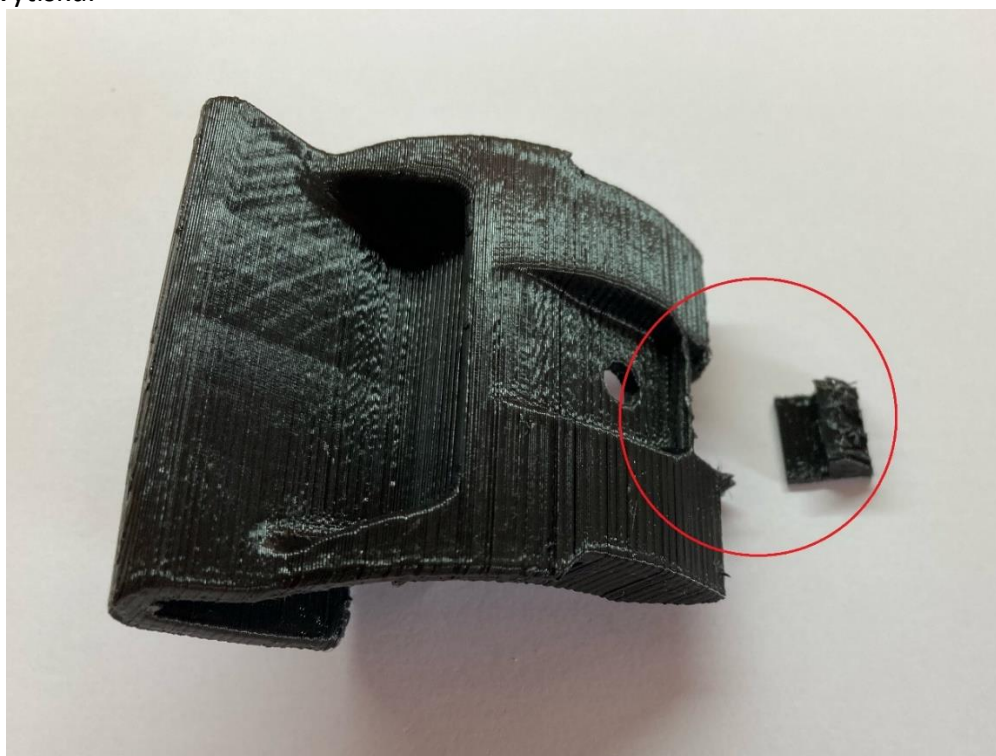


Obrázek 35 – ukázka prvního vygenerovaného modelu páky, pohled na strukturu podpěr

Tabulka 8 – souhrn prvního experimentálního tisku páky

Doba tisku – teoretická	2 hodiny 46 minut
Doba tisku – skutečná	3 hodiny 15 minut
Počet vrstev	351
Hmotnost	32 g

První experimentální výtisk ukázal, že vytištění modelu je možné, nicméně je třeba upravit parametry tisku. Při současném nastavení došlo k delaminaci funkčního prvku od modelu (viz Obrázek 36), vlivem nastavení nízké vzdálenosti podpor od modelu došlo k jejich nadměrnému propojení a jejich následné odstranění bylo problematické s negativním dopadem na kvalitu povrchu výtisku.



Obrázek 36 – první experimentální výtisk páky, červeně vyznačená oblast delaminace

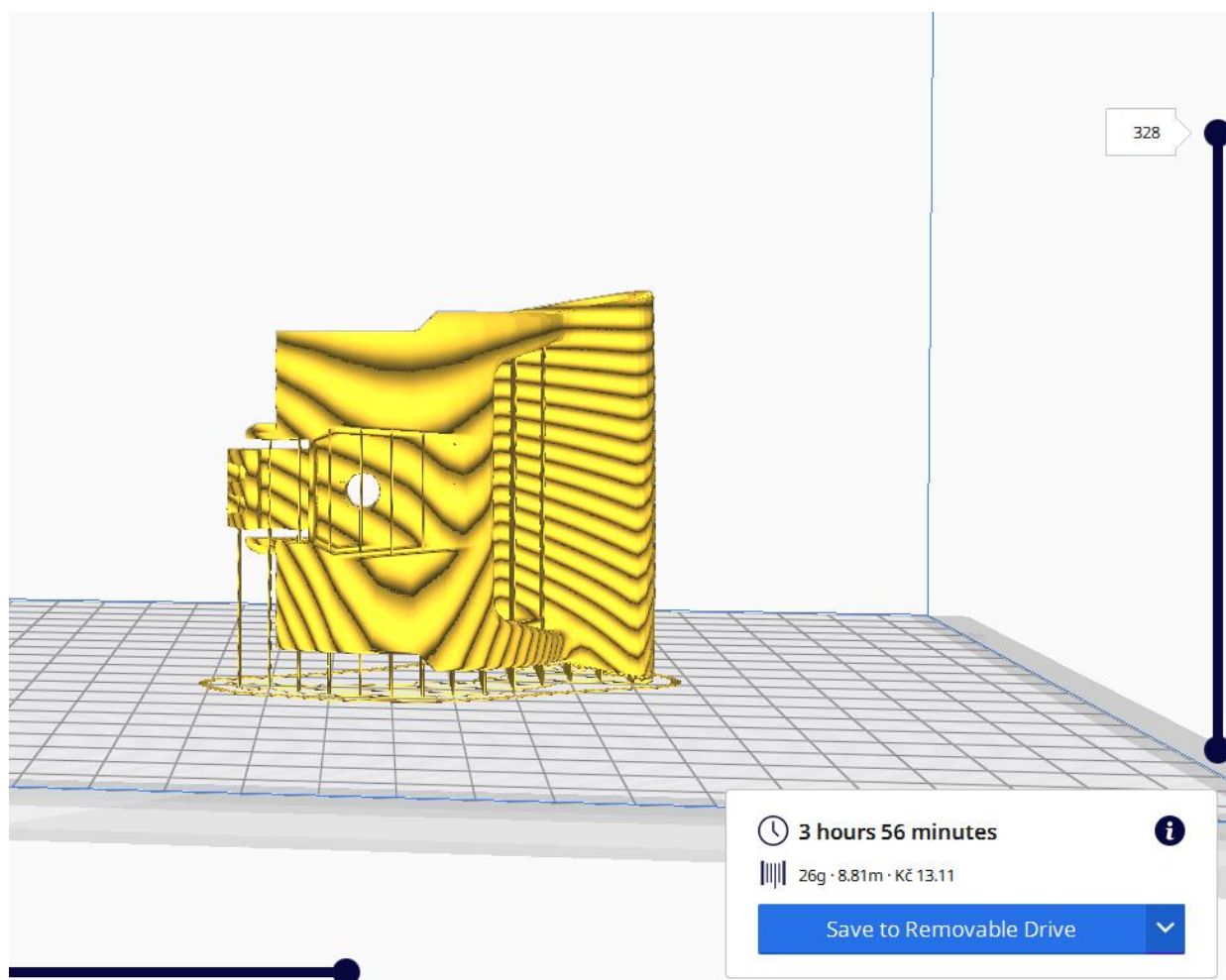
#### 5.1.4.2 Druhý experimentální výtisk páky

Aby se předešlo delaminaci funkční plochy, která nastala v předchozím případě, byla změněna orientace modelu. Tím pádem nebude zatěžující síla působit kolmo na jednotlivé vrstvy nýbrž v jejich směru, čímž by mělo dojít k několikanásobnému nárůstu pevnosti v tahu v dané oblasti součásti. Zvýšení vzdálenosti mezi podporami a modelem a snížení jejich hustoty by mělo zajistit jejich snadnější oddělení a zvýšení úrovně detailu.

Tabulka 9 – parametry druhého experimentálního výtisku páky

Parametr	Hodnota
Teplota trysky	208/200 °C
Teplota heat bedu	60/55 °C
Průměr trysky	0,4 mm
Tloušťka vrstvy	0,2 mm

Rychlost tisku	60 mm/s
Hustota výplně	10 %
Typ výplně	lines
Typ podpory	lines
Hustota podpory	12 %
Minimální úhel převisu pro podporu	45°
Počet stěn	3
Vzdálenost podpory od výtisku	0,4 mm
Orientace	na výšku (osa Z model = osa Z slicer)



Obrázek 37 – ukázka druhého vygenerovaného modelu páky, základní pohled

Tabulka 10 – souhrn druhého experimentálního tisku páky

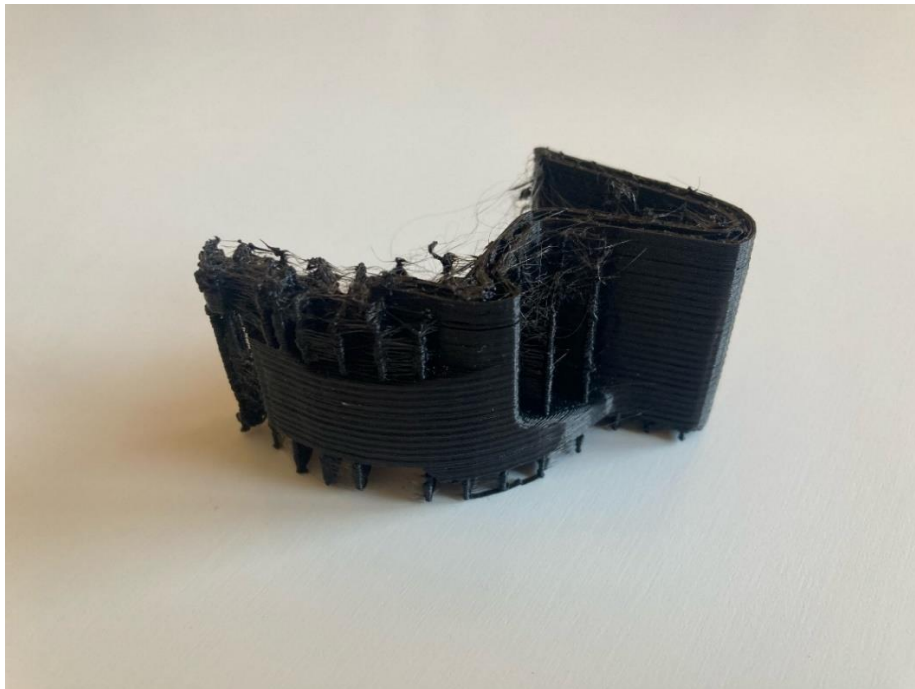
Doba tisku – teoretická	3 hodiny 56 minut
Doba tisku – skutečná	N/A
Počet vrstev	328
Hmotnost	26 g

Zvolená orientace modelu v kombinaci s nastavením tisku je problematická a opakovaně vedla k selhání tisku. Plocha jednotlivých vrstev je velice malá, což vedlo k velmi malým prodlevám mezi

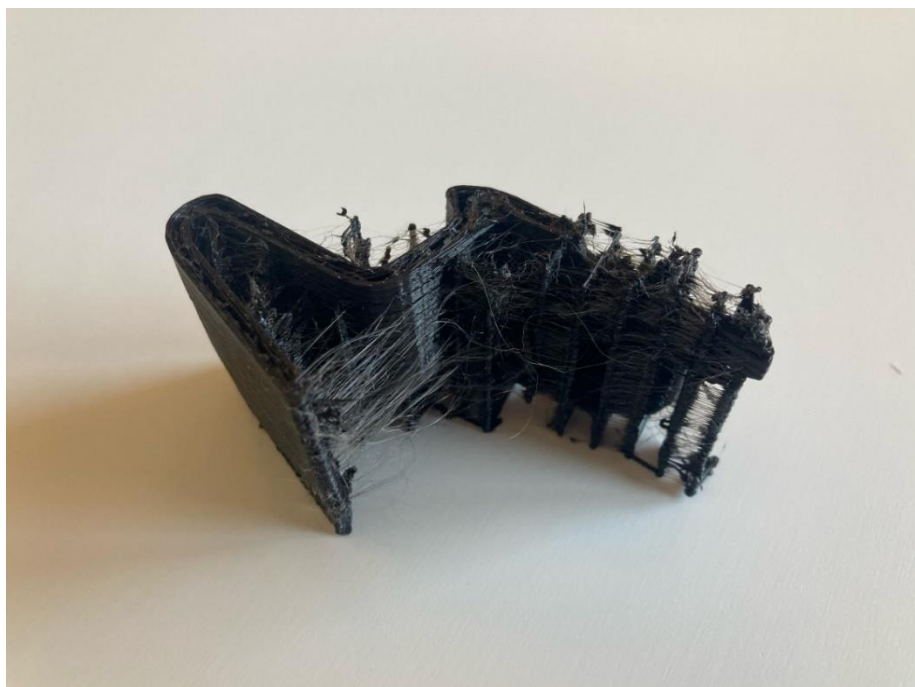


opakovaným najetím trysky na stejné místo. Tato skutečnost je stran tisku nežádoucí, protože vede k výraznému zhoršení kvality tisku, potažmo jeho úplnému selhání. Z tohoto důvodu disponuje slicer nastaveními, která jsou automaticky aplikována při generování G-kódu v těchto speciálních případech. Tato nastavení jsou poměrně rozsáhlá a pro vynikající výsledky spoléhají mimo jiné i na ventilátor chlazení výtisku.

Použitá tiskárna však tímto ventilátorem nedisponuje a z tohoto důvodu jsou výsledky, které lze dosáhnout se zbývajících nastaveními touto skutečností značně limitovány. Z tohoto důvodu bylo od této konfigurace tisku (orientace modelu/nastavení tisku) upuštěno a postoupeno k jiné, protože dosažitelné výsledky by nikdy nemohly být optimální.



*Obrázek 38 – druhý experimentální výtisk páky, selhaný tisk*



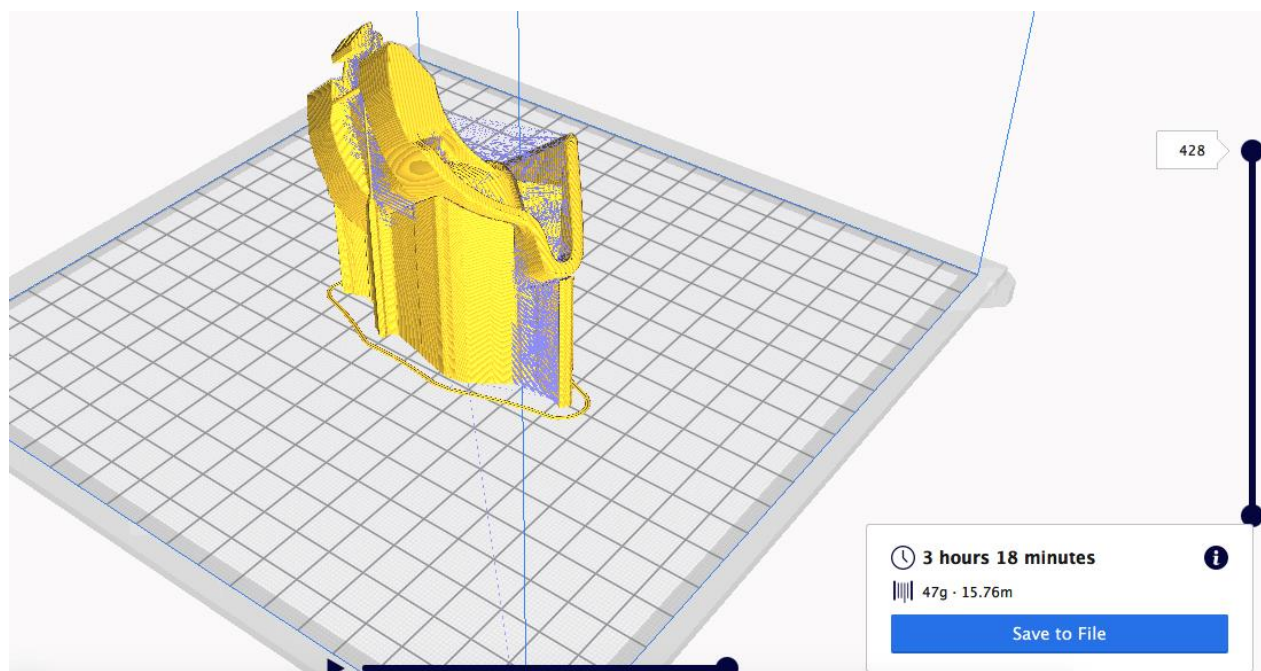
*Obrázek 39 – druhý experimentální výtisk páky, selhaný tisk*

### 5.1.4.3 Třetí experimentální výtisk páky

Pro třetí experimentální výtisk byla zvolena atypická diagonální orientace modelu. Tato orientace si již nevystačí s obvyčejnými čárovými podporami a pro podepření všech prvků modelu je třeba užít komplexnější stromové podpory. Tyto podpory mají sice větší spotřebu materiálu, ale lépe podepřou tvarově složité modely. Diagonální orientace by měla zajistit lepší rozložení zatěžujících sil napříč výtisku.

Tabulka 11 – parametry třetího experimentálního výtisku páky

Parametr	Hodnota
Teplota trysky	208/200 °C
Teplota heat bedu	60/55 °C
Průměr trysky	0,4 mm
Tloušťka vrstvy	0,2 mm
Rychlost tisku	60 mm/s
Hustota výplně	100 %
Typ výplně	N/A
Typ podpory	strom
Hustota podpory	20 %
Minimální úhel převisu pro podporu	50°
Počet stěn	N/A
Vzdálenost podpory od výtisku	0,4 mm
Orientace	diagonální (diagonála ≈ osa Z slicer)



Obrázek 40 – ukázka třetího vygenerovaného modelu páky, izometrický pohled

Tabulka 12 – souhrn třetího experimentálního tisku páky

Doba tisku – teoretická	3 hodiny 18 minut
Doba tisku – skutečná	3 hodiny 59 minut

Počet vrstev	428
Hmotnost	47 g

Třetí experimentální výtisk potvrdil správnost zvolené orientace modelu a nastavení parametrů tisku. Geometrická přesnost a úroveň detailů výtisku odpovídají možnostem zvolené technologie a jsou plně dostačující pro účely použití experimentálního prototypu.



*Obrázek 41 – třetí experimentální výtisk páky, základní pohled*



*Obrázek 42 – třetí experimentální výtisk páky, detail zadní strany*

#### 5.1.4.4 Prototypový výtisk páky

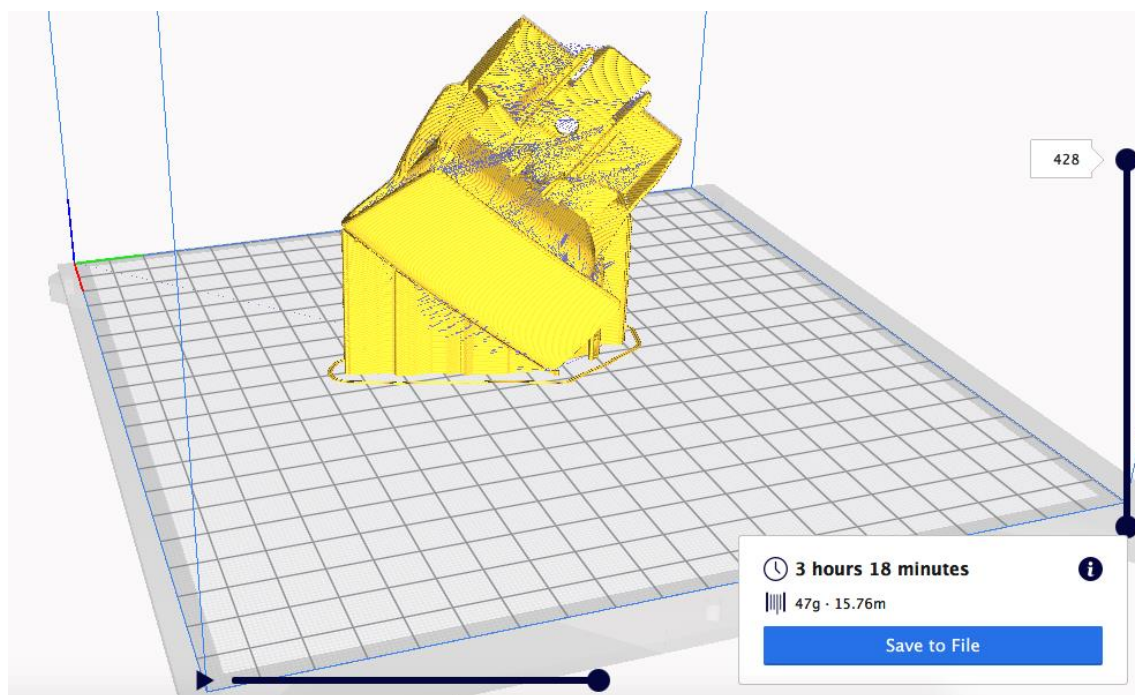
Na základě získaných poznatků a provedených korekcí z experimentálních tisků je možné přistoupit k tisku samotného prototypu. Předpokládá se, že bude třeba změnit pouze ty parametry, které přímo souvisí s materiálem filamentu, tedy teploty trysky a heat bedu. Pro zvýšení kvality povrchu bude snížena tloušťka vrstvy.

Prototypový výtisk bude proveden na tiskárně Průša I3 z materiálu Filamentum PETG. Pro vytvoření tiskového G kódu bude použito originálního sliceru výrobce tiskárny – Průša Slicer verze 2.4.1.

Většina možností nastavení je obdobná se softwarem Cura, nicméně výpočetní funkce závislých parametrů a základní hodnoty jsou optimalizovány pro tento konkrétní typ tiskárny. Získané poznatky z experimentálních tisků by tedy měly být přenositelné a optimalizovaný software by měl zajistit kvalitnější a konzistentnější výsledky než software univerzální (Cura).

Tabulka 13 – parametry prototypového výtisku páky

Parametr	Hodnota
Teplota trysky	235/235 °C
Teplota heat bedu	80/80 °C
Průměr trysky	0,4 mm
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Rychlost tisku	40 mm/s
Hustota výplně	100 %
Typ výplně	N/A
Typ podpory	strom
Hustota podpory	20%
Minimální úhel převisu pro podporu	50°
Počet stěn	N/A
Vzdálenost podpory od výtisku	0,4 mm
Orientace	diagonální (diagonála ≈ osa Z slicer)



Obrázek 43 – ukázka vygenerovaného modelu prototypu páky

Tabulka 14 – souhrn prototypového tisku páky

Doba tisku – teoretická	3 hodiny 18 minut
Doba tisku – skutečná	4 hodiny 10 minut
Počet vrstev	428
Hmotnost	47 g

Přechodem od PLA, který byl využíván pro experimentální výtisky k PETG, bylo při stejném nastavení tiskových parametrů docíleno dokonce lepších výsledků, než v případě tisků experimentálních. Prototyp vykazuje dobrou soudržnost (provázání vrstev) a požadovanou geometrickou přesnost. Lze tedy konstatovat, že tisk prototypu byl úspěšný a je možné přejít k praktickému testování.





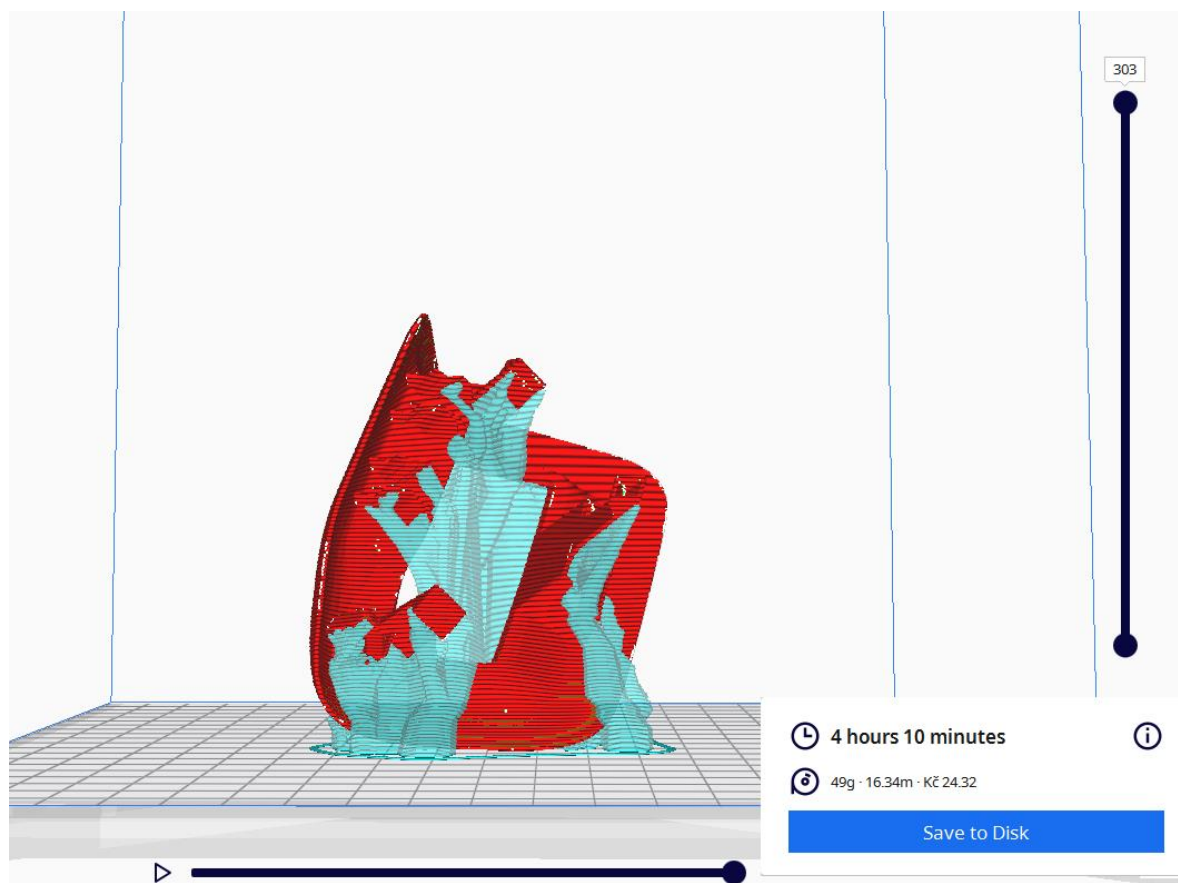
Obrázek 44 – prototyp páky, základní pohled



Obrázek 45 – prototyp páky, detail zadní strany

#### 5.1.4.5 Experimentální výtisk rámečku

Postup výroby prototypu rámečku bude totožný, jako v případě páky. To znamená, že nejdříve proběhne experimentální tisk z PLA za účelem ověření vhodnosti modelu pro tisk, nalezení vhodné polohy tisku a odladění parametrů. Po dosažení uspokojivých výsledků bude přistoupeno k prototypovému tisku z PETG. Pro první tisk rámečku budou využity poznatky získané při tisku páky. Tiskové parametry tak budou totožné s tabulkou č. 11 a orientace modelu bude přibližně diagonální. Během vyhotovování této práce společnost Ultimaker vydala novou verzi sliceru Cura. Pro vygenerování tohoto a následujících tiskových obrázků tedy byla použita tato novější verze (4.13.1) namísto původní (4.3.0).



Obrázek 46 – ukázka vygenerovaného modelu experimentálního rámečku

Tabulka 15 – souhrn experimentálního tisku rámečku

Doba tisku – teoretická	4 hodiny 10 minut
Doba tisku – skutečná	4 hodiny 53 minut
Počet vrstev	303
Hmotnost	49 g

První experimentální výtisk rámečku ukázal, že zvolené parametry i orientace modelu jsou vyhovující. Stromové podpory jsou vzhledem ke složitosti modelu velmi komplexní a jejich odstranění bez poškození výtisku je poměrně náročné. Podpory mají mnoho kontaktních ploch s modelem, což v případě PLA není zásadní, nicméně pro tisk z PETG se jedná o komplikaci. Materiál PETG vyniká velice dobrým propojením vrstev, což propůjčuje výtiskům nadprůměrné mechanické vlastnosti, ale zvyšuje riziko provázání podpory s modelem. To vede k jejich problematickému odstraňování, zhoršení kvality povrchu a často až k úplnému poškození modelu, zejména pak jedná-li se o tenkostěnnou součást.

Z výše popsaného je tedy zřejmé, že se jedná o specifickou materiálovou charakteristiku PETG. Dalším experimentálním tiskem z PLA tedy nelze jednoznačně zaručit odstranění zmiňovaného problému a je třeba přejít na tisk z PETG, kde budou na základě výsledků provedeny případné korekce v nastavení tisku.



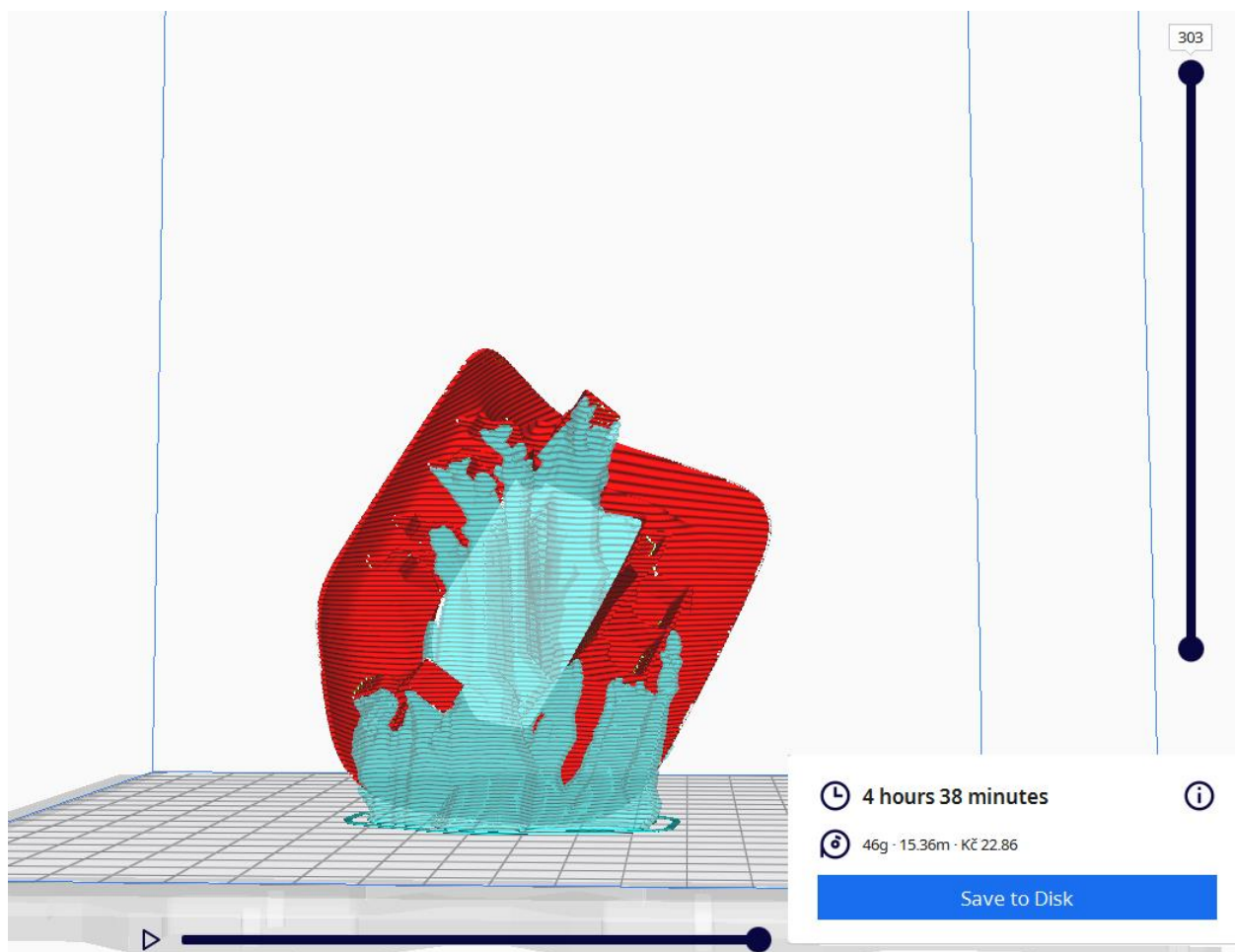
Obrázek 47 – experimentální výtisk rámečku, základní pohled



Obrázek 48 – experimentální výtisk rámečku, zadní pohled

#### 5.1.4.6 První prototypový výtisk rámečku

Experimentální výtisk rámečku ukázal, že je možné ponechat totožná nastavení tisku, jako v případě páky. Veškeré parametry prvního prototypového tisku tedy budou totožné s prototypovým tiskem páky (viz tabulka 13).



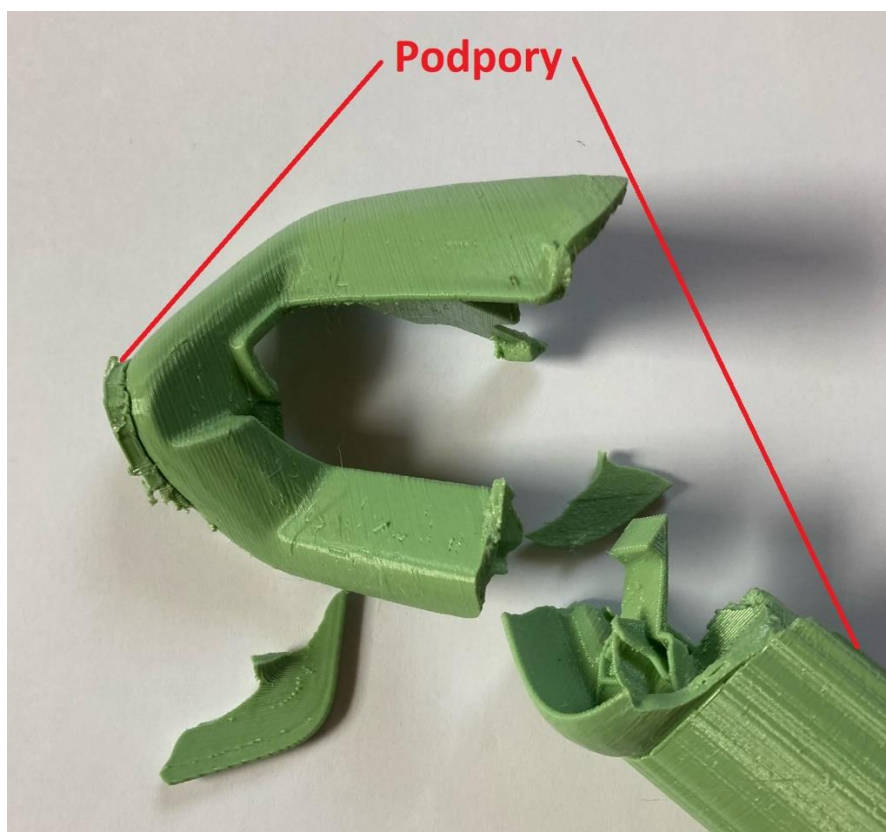
Obrázek 49 – ukázka prvního vygenerovaného modelu prototypu rámečku

Tabulka 16 – souhrn prvního prototypového tisku rámečku

Doba tisku – teoretická	4 hodiny 38 minut
Doba tisku – skutečná	5 hodin 15 minut
Počet vrstev	303
Hmotnost	46 g

První prototypový výtisk potvrdil předpoklad, že pravděpodobně dojde ke slnutí podpor s výtiskem, což nastalo a při pokusech o jejich odstranění došlo k poškození výtisku (rozlomení). Kvalita samotného rámečku je na odpovídající úrovni, problémem je tedy pouze separace podpor od modelu.





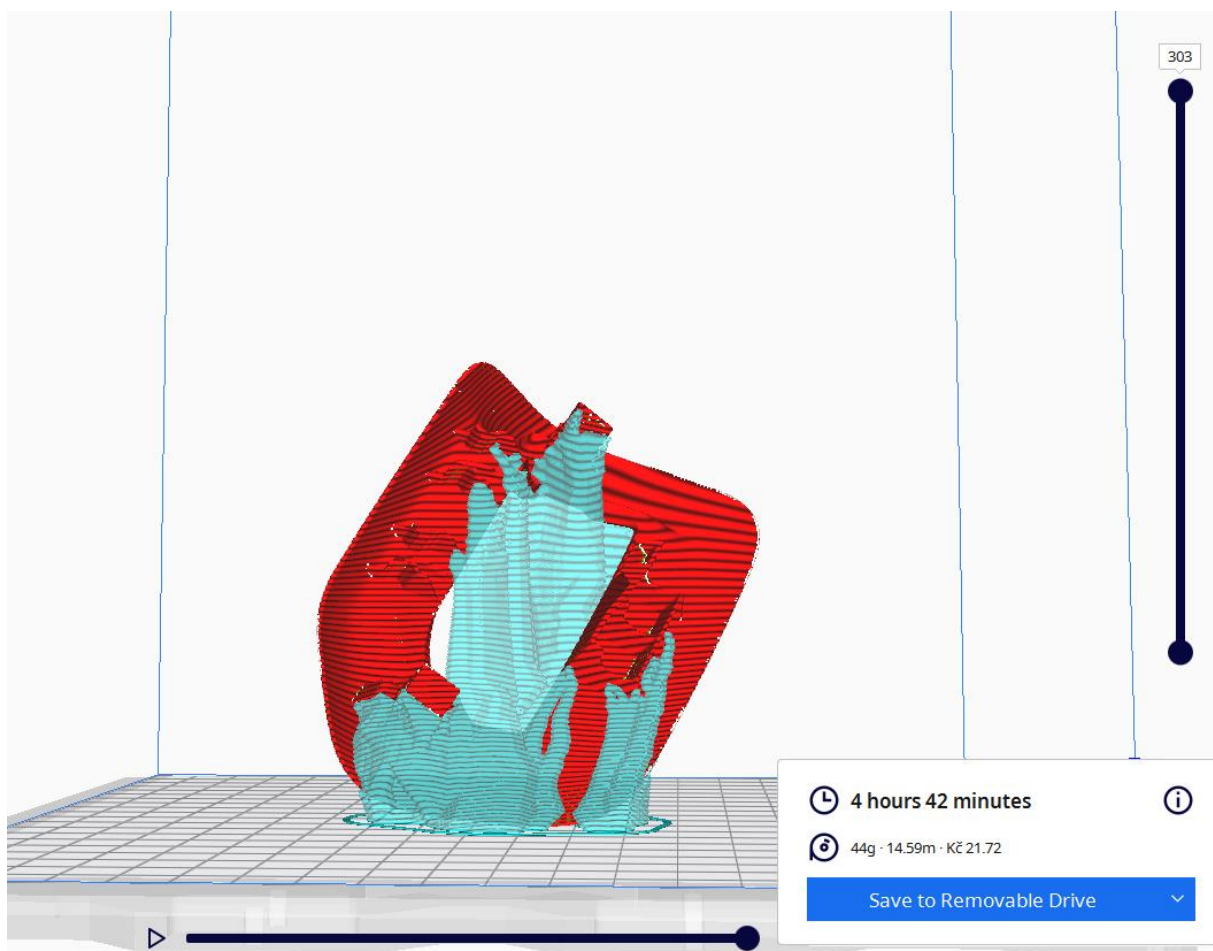
Obrázek 50 – první prototypový výtisk rámečku, detail poškození

#### 5.1.4.7 Druhý prototypový výtisk rámečku

V rámci prvního prototypového výtisku se ukázalo, že nastavení tisku pro adekvátní kvalitu rámečku je korektní, avšak oddělení podpor se jeví, jako velmi problematické. Úpravy v nastavení sliceru se tedy pro druhý prototypový výtisk zaměří pouze na ty parametry, které ovlivňují separaci podpor od vlastního výtisku.

Tabulka 17 – parametry prototypového výtisku rámečku

Parametr	Hodnota
Teplota trysky	235/235 °C
Teplota heat bedu	80/80 °C
Průměr trysky	0,4 mm
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Rychlost tisku	40 mm/s
Hustota výplně	100 %
Typ výplně	N/A
Typ podpory	strom
Hustota podpory	20%
Minimální úhel převisu pro podporu	50°
Počet stěn	N/A
Vzdálenost podpory od výtisku	0,6 mm
Orientace	diagonální (diagonála ≈ osa Z slicer)



Obrázek 51 – ukázka druhého vygenerovaného modelu prototypu rámečku

Tabulka 18 – souhrn druhého prototypového tisku rámečku

Doba tisku – teoretická	4 hodiny 42 minut
Doba tisku – skutečná	5 hodin 10 minut
Počet vrstev	303
Hmotnost	44 g

Změny v nastavení podpor výrazně usnadnily jejich oddělení. Kvalita tisku je vzhledem k velice komplexní geometrii vizuálně špatná, nicméně pro účely testování plně dostačující. Pro názornost a snazší rozlišení jednotlivých komponent v sestavě sedadla během testování, je finální verze rámečku vytištěna z materiálu PETG jiné barvy (černá), než prototyp páky (zelená).



*Obrázek 52 – druhý prototypový výtisk rámečku, přední pohled*



*Obrázek 53 – druhý prototypový výtisk rámečku, zadní pohled*



## 5.1.5 Testování

### 5.1.5.1 Úvod

V rámci testování je v první řadě třeba ověřit kvalitu, geometrickou přesnost a funkčnost výtisků. Dále pak kompatibilitu výtisků, s již existujícími komponenty sedadla a nakonec provést ověření z hlediska pevnosti a kontrolu shody celého mechanismu s požadavky výrobce.



Obrázek 54 – ukázka použitého siloměru Alluris FMI-B20 s příslušenstvím

Vzhledem k tomu, že zkouška z hlediska pevnosti a kontrola shody zahrnuje i testování komponent do jejich destrukce je třeba testování rozdělit do dvou fází. V první bude řešena otázka funkčnosti výtisků, sestavitelnost a ovládání celého mechanismu easy entry. V druhé fázi proběhnou zátěžové zkoušky, přičemž parametry zátěžových zkoušek se budou řídit požadavky zadavatele (viz tabulka 19) doplněné o destruktivní zkoušku. Pro měření bude použit siloměr Alluris FMI-B20 s maximální přípustnou silou 500 N.

Tabulka 19 – výňatek z požadavků zadavatele (Volvo)

Zátěžné síly	Normální použití [N]		Přetížení [N]
Odjišťovací síla easy entry	Min.: 20	Max.: 30	175

### 5.1.5.2 Testování

#### 1. Fáze testování

První fáze testování spočívala v montáži jednotlivých výtisků do sestavy sedadla a zkoušce funkčnosti mechanismu easy entry. Vyhodnocení výsledků proběhlo vizuální kontrolou a na základě empirických zkušeností. Průběh testování dokumentují níže uvedené obrázky 55 – 64.



Obrázek 55 – porovnání vstříkovaného a 3D tištěného rámečku



Obrázek 56 – zkouška kompatibility páky s originálním rámečkem – horní pohled



*Obrázek 57 – zkouška kompatibility páky s originálním rámečkem – boční pohled*



*Obrázek 58 – testovací sedadlo – druhá řada z vozu Volvo XC 90 T6*



Obrázek 59 – detail kovové části mechanismu easy entry



Obrázek 60 – zkompletovaný mechanismus easy entry (originální rámeček)





*Obrázek 61 – detail západky páky v sestavě*



*Obrázek 62 – funkční zkouška (rámeček pro názornost odstraněn)*



*Obrázek 63 – funkční zkouška, sedadlo ve sklopené poloze*



*Obrázek 64 – zkouška funkčnosti a kompatibility s rámečkem*

## 2. Fáze testování

Druhá fáze testování spočívala ve zkoušení páky z pevnostního hlediska a zároveň byla ověřována síla potřebná k odjištění sedadla pomocí mechanismu easy entry. Pro vyloučení chyby a získání konzistentních výsledků byla měření třikrát opakována.

Obrázek 65 zachycuje průběh měření na ověření splnění požadavku na maximální sílu při přetížení. Ostatní měření probíhala analogicky. Souhrnné výsledky jsou zachyceny v tabulce 20.

Lze si povšimnout, že konec měřicí sondy na obrázku 65 je oblepen izolační páskou. Toto je z důvodu ochrany plastových částí před poškrábáním a zvýšení tření mezi povrchy (eliminace rizika smeknutí sondy na hladkém povrchu). Tato skutečnost však nemá vliv na výsledky měření.



Obrázek 65 – ukázka průběhu měření přetížení

Tabulka 20 – naměřené hodnoty

Odjišťovací síla easy entry	Zátěžné síly [N]		
	Normální použití	Přetížení	Přetížení do destrukce
1. Měření	55,9	179,7	254,5
2. Měření	56,3	178,9	
3. Měření	56,2	180,1	

### 5.1.5.3 Závěr

První fáze testování prokázala, že výtisky mají dostatečnou geometrickou i rozměrovou přesnost a bez jakékoliv dodatečné úpravy (post processingu) je lze použít pro účely testování. Na obrázku 60 je na levé straně patrná větší mezera mezi rámečkem a pákou. Nicméně toto není chybou tisku, ale vlivem deformace některých komponent samotného sedadla z předchozích testů



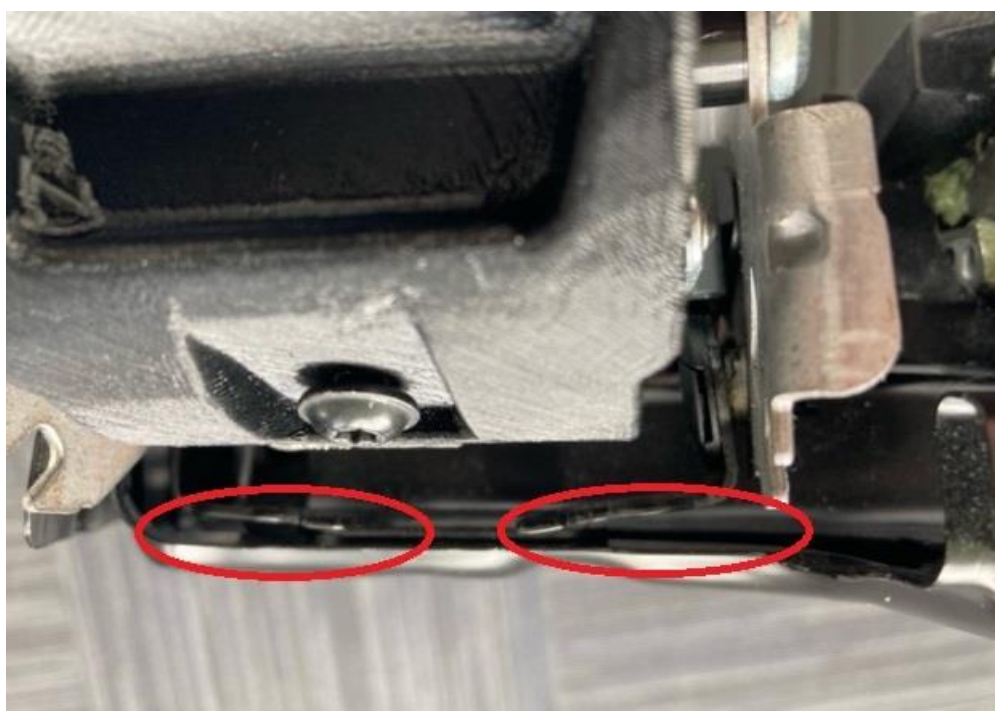
realizovaných v rámci jiných, s touto diplomovou prací nesouvisejících projektů. Ergonomie páky je vhodná a ovládání mechanismu easy entry je s její pomocí snadné a intuitivní. Páka během používání nevykazuje žádné viditelné deformace. Instalace rámečku je snadná a jeho zajištění v požadované poloze spolehlivé. Rámeček nijak neomezuje uživatele při používání páky. Při užívání mechanismu easy entry nedochází k odhalení ostrých hran a riziko skřípnutí prstů uživatele je minimální. Odpor při odjištění mechanismu je pocitově nadměrný.

V průběhu druhé fáze testování bylo během všech tří měření prokázáno, že odpor pro odjištění mechanismu easy entry je skutečně vysoký. Z tabulky 21 (zvýrazněno žlutě) je patrné, že dosahuje téměř dvojnásobné hodnoty vůči maximálnímu limitu zadavatele. To je však problém návrhu potažmo konstrukce samotného mechanismu a nesouvisí s výtisky. Dále páka vydržela požadavek maximální síly při přetížení, bez jakékoliv znatelné deformace.

Při pokusech o přetížení páky do její destrukce nastalo dříve poškození kovového úchytu mechanismu easy entry, než poškození páky samotné viz obrázek 66. Z toho důvodu bylo ustoupeno od destruktivní zkoušky s maximální naměřenou hodnotou zatížení 254,5 N. Přestože byla páka zatížena o 45 % vyšší zátěžnou silou, než zadavatel požaduje, nedošlo k trvalému poškození ani viditelné deformaci.

Tabulka 21 – vyhodnocení naměřených hodnot

Odjišťovací síla easy entry	Zátěžné síly [N]				
	Požadavek zadavatele Normální použití	Normální použití	Požadavek zadavatele Přetížení	Přetížení	Přetížení do destrukce
1. Měření	Min.: 20 Max.: 30	55,9	175	179,7	254,5
2. Měření		56,3		178,9	
3. Měření		56,2		180,1	



Obrázek 66 – poškození úchytu mechanismu easy entry, červeně vyznačené deformace

## 6 Závěr

Práce si kladla za cíl zmapovat dostupné technologie 3D tisku a prokázat možnost jejich využití v rámci výroby automobilových sedadel na vybraných komponentech – plastové ovládání mechanismu easy entry a pěnové polstrování sedadla. Dále pak, definovat doporučení pro případ jejich plošného nasazení v rámci vývoje potažmo samotné výroby.

V rámci průzkumu stavu techniky bylo zjištěno, že 3D tisk je nutné rozlišovat primárně dle tištěného materiálu (polymery, kov, aj.). Další stěžejní kritéria, které je nutné zohlednit, jsou volba technologie a využití výtisků. Tato dvě kritéria jsou úzce spjata s dosažitelnou kvalitou samotných výtisků a úsilím, které je nutné vynaložit v rámci výrobního procesu. V neposlední řadě je třeba zohlednit předpokládaný objem tisku a frekvenci využití tiskárny, které budou mít vliv na výběr vhodné kategorie 3D tiskárny (hobby/profesionální). Výše zmíněné se na výsledné kvalitě výtisků podílí stejnou měrou, jako vhodně zvolený a správně nastavený tiskový software (slicer).

Kvalita tiskových materiálů, přestože obvykle nepodléhá kontrole dle standardizovaných norem, je zpravidla dobrá, ale tiskové parametry pro stejný druh materiálu se většinou liší dle výrobce. Je tedy vhodné odebírat materiály od konkrétních dodavatelů, případně počítat s nutnou změnou tiskových parametrů v případě změny dodavatele.

Z analýzy rešerší dále vyplynulo, že pro prototypovou výrobu funkčních dílů se jako nejvhodnější 3D tisková technologie jeví metoda FDM. V případě pohledových dílů pak technologie na bázi tisku z polymerních pryskyřic – např. SLA, či DLP.

V případě sériové výroby, zejména pak při intenzivním využití, by bylo třeba zavést plně profesionální 3D tiskárny a přejít k pokročilejším technologiím 3D tisku – např. SLS, PJ.

V případě 3D tisku z kovu je proces výběru jednodušší. Množství dostupných technologií je značně omezené a v praxi se používají v podstatě pouze dvě – DMLS, EBM. EBM technologie vykazuje v mnoha ohledech vynikající výsledky 3D tisku, jsou však vykoupeny velmi vysokými pořizovacími i provozními náklady. Kvalita DMLS tisku je také na vysoké úrovni, u pokročilejších tiskáren již plně srovnatelná s konvenční výrobou, avšak v porovnání s EBM je třeba post processing a mnohdy i tepelné zpracování (zejména pro odstranění pnutí).

Z průzkumu dostupných technologií 3D tisku také vyplynulo, že požadavek na tisk pěnového polstrování sedadla je bez vývoje vlastní technologie tisku nebo znalosti přesných parametrů konvenční výroby nereálný. Práce se tedy zabývala pouze plastovým ovládním mechanismu easy entry.

Plastové prvky mechanismu easy entry budou při sériové výrobě vyráběny vstřikováním. Pro tuto metodu byly modely navrhovány a páka kontrolována z pevnostně deformačního hlediska metodou konečných prvků (MKP). Model vyhověl a bylo tedy přistoupeno k řešení problematiky 3D tisku prototypů.

Pro prototypovou výrobu byla zvolena metoda FDM a to především proto, že tato technologie je ve společnosti Lear již dostupná. Komponenty určené pro výrobu vstřikováním jsou však obvykle nevhodné pro výrobu metodou 3D tisku. Zpravidla se jedná o tenkostěnné a štíhlé modely, které se v případě 3D tisku výrazně deformují, což znesnadňuje jejich tisk. Tato skutečnost je výrazná především u právě zvolené metody FDM.

Bylo tedy zřejmé, že bude třeba provést experimentální výtisky, za účelem ověření, zda bude možné modely bez úprav vytisknout či zda bude nutná optimalizace pro tisk. Během

experimentálních tisků se podařilo najít takové nastavení tiskových parametrů, při kterých bylo možné modely vytisknout v uspokojivé kvalitě a optimalizace tak nebyla nutná.

Je tedy možné tisknout a testovat identické modely, které budou následně sériově vyráběny, což je z hlediska výroby výhodné. Experimentální výtisky byly prováděny z důvodu snadného tisku a nižších nákladů z PLA. Prototypový výtisk určený k fyzickému testování byl vyroben z kvalitnějšího a odolnějšího PETG.

Po vytvoření prototypových výtisků bylo zahájeno jejich fyzické testování, a to za účelem ověření funkčnosti, ergonomie a ověření, zda výtisky vyhoví na ně kladeným požadavkům.

Fyzické testování vytištěných prototypů se skládalo ze dvou fází. V první fázi byla kontrolována estetická stránka, geometrická a rozměrová přesnost, ergonomie a funkčnost.

Druhá fáze byla určena zátěžovým zkouškám, tzn. k ověření shody s požadavky z pevnostně deformačního hlediska a komfortu užívání.

Testování prokázalo, že výtisky ve všech kritériích vyhověly a je tedy možné je použít, jako plnohodnotnou náhradu za originální díly ve fázi prototypingu. Testování také odhalilo, že mechanismus easy entry nespĺňuje požadavky zadavatele z hlediska síly potřebné pro odjištění sedadla. Limitní hodnota byla překročena bezmála dvojnásobně.

V závěru této práce lze tedy konstatovat, že se podařilo dosáhnout cíle a prokázat, že technologii 3D tisku je možné v rámci výroby automobilových sedadel spolehlivě využít, zejména pak v oblasti prototypingu. Zavedení 3D tisku do sériové výroby by však vyžadovalo dodatečný výzkum a bylo by provázeno nezanedbatelnými náklady na pořízení profesionálních 3D tiskáren. Dále je nutné zmínit, že produktivita 3D tiskáren je v porovnání s konvenčními metodami výroby obecně nižší a 3D tiskárny nabývají na významu zejména tam, kde se díky nim podaří odstranit až několik technologických operací (lepení, svařování, atp.) v porovnání se stávajícími technologiemi výroby.

## 7 Zdroje

### 7.1 Internetové

- [1] Tabulka materiálu FDM. *Matterhackers* [online]. [cit. 2021-11-6]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare>
- [2] Materiálové vlastnosti PEEK. *Research gate* [online]. [cit. 2021-11-6]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/343246697\\_Fused\\_Filament\\_Fabrication\\_of\\_PEEK\\_A\\_Review\\_of\\_Process-Structure-Property\\_Relationships](https://www.researchgate.net/publication/343246697_Fused_Filament_Fabrication_of_PEEK_A_Review_of_Process-Structure-Property_Relationships)
- [3] SLA materiály. *Sharplayers* [online]. [cit. 2021-11-6]. Dostupné z: <https://eshop.sharplayers.cz/pryskyrice>
- [4] Schéma SLA tisku. *Formlabs* [online]. [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- [5] Technologie SLA. *Hubs* [online]. [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/>
- [6] Technologie SLA. *Bigrep* [online]. [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://bigrep.com/posts/fdm-vs-sla-3d-printer/>
- [7] FDM schéma. *Manufactur 3D MAG* [online]. [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://manufactur3dmag.com/working-fdm-fff-3d-printing-technology/>
- [8] FDM tiskárna. *ISD soft* [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://isd-soft.com/tech-blog/enoh-we-have-a-3d-printer-in-the-office-or-fdm-printing-basics/>
- [9] SLA tiskárna. *Průša research* [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/kategorie/original-prusa-s1s-speed/>
- [10] SLA pryskyřice. *Indiamart* [online]. [cit. 2021-11-26]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/uv-sla-dlp-sla-3d-printer-resin-16309616730.html>
- [11] DLP, SLS tiskárny. *All 3DP* [online]. [cit. 2021-11-26]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>
- [12] Technologie DLP. *Markforged* [online]. [cit. 2021-11-26]. Dostupné z: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-digital-light-processing-dlp>
- [13] DLP tiskárna. *Plasticranger* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://cdn.plasticranger.com/wp-content/uploads/2021/04/DLP-process.jpg>
- [14] Materiál DLP. *Alibaba* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/IFUN-3121-3D-resin-UV-405nm\\_62279422135.html](https://www.alibaba.com/product-detail/IFUN-3121-3D-resin-UV-405nm_62279422135.html)

- [15] Porovnání technologií DLP a LCD. *All 3DP* [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/lcd-vs-dlp-3d-printing-technologies-compared/>
- [16] Technologie MJF. *Materialise* [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: [https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/multi-jet-fusion?gclid=Cj0KCQiA90iPBhCOARIsAI0y71BUOa1etyRPhal7JltCF17iiFk6LCGzxh9uwxP9Nafci9Ple2Y0WoaAugLEALw\\_wcB](https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/multi-jet-fusion?gclid=Cj0KCQiA90iPBhCOARIsAI0y71BUOa1etyRPhal7JltCF17iiFk6LCGzxh9uwxP9Nafci9Ple2Y0WoaAugLEALw_wcB)
- [17] Schéma technologie MJF. *Materialise* [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/multi-jet-fusion>
- [18] Porovnání materiálu. *Protolabs* [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/materials/comparison-guide/?query=3d%20printing>
- [19] Technologie MJF. *3dees* [online]. [cit. 2021-12-4]. Dostupné z: <https://www.3dees.cz/hp-jetfusion-3d>
- [20] Technologie PJ. *Stratasys* [online]. [cit. 2021-12-6]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/polyjet-technology#imageCarousel>
- [21] Tiskárna PJ. *Sculpteo* [online]. [cit. 2021-12-6]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/polyjet-definition/>
- [22] Shéma PJ. *Xometry* [online]. [cit. 2021-12-6]. Dostupné z: <https://xometry.eu/en/polyjet-3d-printing-technology-overview/>
- [23] Materiály pro PJ. *Goengineer* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://store.goengineer.com/products/rgd720-2kg>
- [24] Technologie PJ. *Materialise* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: [https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/polyjet?gclid=CjwKCAiAI-6PBhBCEiwAc2GOVN\\_3wpG4U6vpXbhJxjiH8xY\\_u-pZ6lB8ubirk4lwhOTKxKFqQeKDqBoCzLkQAvD\\_BwE](https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/polyjet?gclid=CjwKCAiAI-6PBhBCEiwAc2GOVN_3wpG4U6vpXbhJxjiH8xY_u-pZ6lB8ubirk4lwhOTKxKFqQeKDqBoCzLkQAvD_BwE)
- [25] Srovnání FDM s PJ. *3Dprinting* [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://3dprinting.co.uk/news/fdm-vs-polyjet/>
- [26] Technologie SLS. *Formlabs* [online]. [cit. 2021-12-16]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
- [27] Tiskárna SLS. *3Dwiser* [online]. [cit. 2021-12-16]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/produkty/3d-tiskarny/termoplasty-sls/formlabs-fuse-1/>
- [28] Materiály pro SLS. *Hubs* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/>

- [29] Technologie DMLS. *TCT magazine* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/eos-m-290-dmls-3d-printer-launched-at-rapid-2014/>
- [30] Technologie DMLS. *Protolabs* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://www.protolabs.co.uk/services/3d-printing/direct-metal-laser-sintering/>
- [31] Technologie DMLS. *ALL 3DP* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/direct-metal-laser-sintering-dmls-simply-explained/>
- [32] Technologie DMLS. *3DTECH* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://www.3dtech.cz/technology/dmls/>
- [33] Technologie DMLS. *Jiga* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://jiga.io/resource-center/3d-printing/metal-3d-printer-cost-expensive/>
- [34] Technologie DMLS. *Stratasysdirect* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/technologies/direct-metal-laser-sintering#dmls-materials>
- [35] Technologie EBM. *AM-material*[online]. [cit. 2021-12-18]. Dostupné z: <https://am-material.com/ebm-technology/>
- [36] Technologie EBM. *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-12-18]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)
- [37] Technologie EBM. *Direct industry* [online]. [cit. 2021-12-18]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/arcam/product-19734-2302823.html>
- [38] Interiér Volvo XC 90. *Autoforum* [online]. [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: [https://www.autoforum.cz/tmp/magazin/v9/Volvo\\_XC90\\_2015\\_interier\\_prvni\\_foto\\_01.jpg](https://www.autoforum.cz/tmp/magazin/v9/Volvo_XC90_2015_interier_prvni_foto_01.jpg)
- [39] Volvo XC 90. *Dealer* [online]. [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: [https://images.dealer.com/ddc/vehicles/2022/Volvo/XC90/SUV/trim\\_T6\\_Inscription\\_6\\_Passen\\_ger\\_de45fb/color/Denim%20Blue%20Metallic-723-62%2C78%2C95-640-en\\_US.jpg?impolicy=resize&w=640](https://images.dealer.com/ddc/vehicles/2022/Volvo/XC90/SUV/trim_T6_Inscription_6_Passen_ger_de45fb/color/Denim%20Blue%20Metallic-723-62%2C78%2C95-640-en_US.jpg?impolicy=resize&w=640)
- [40] Parametry PLA. *BCN3D* [online]. [cit. 2022-01-29]. Dostupné z: <https://www.bcn3d.com/pla-filament-stands-for-strength-temp/>
- [41] Parametry PETG. *BCN3D* [online]. [cit. 2022-01-29]. Dostupné z: <https://www.bcn3d.com/petg-filament-stands-for-strength-temp/>
- [42] Výpočet šroubového spoje. *VÚT Brno* [online]. [cit. 2022-02-6]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=193428](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=193428)
- [43] Koeficienty tření. *Briol* [online]. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/data/editor/file/BOSSARD%20Techinfo.pdf>

[44] FDM Fillamenty. Istockphoto [online]. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z:  
<https://www.istockphoto.com/cs/fotografie/v%C3%ADcebarevn%C3%A1-plastov%C3%A1-v%C3%A1kna-pro-tisk-na-3d-tisk%C3%A1rn%C4%9B-zbl%C3%ADzka-gm1297185214-390386173>

[45] DLP tiskárna. *Xplorer3d* [online]. [cit. 2022-03-6]. Dostupné z:  
<https://xplorer3d.com/product/flashforge-hunter/>

[46] Schéma LCD tisku. *Research gate* [online]. [cit. 2022-03-6]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-daylight-LCD-3D-printer-The-photopolymer-is-cured-at-the-bottom-of-the\\_fig1\\_337407252](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-daylight-LCD-3D-printer-The-photopolymer-is-cured-at-the-bottom-of-the_fig1_337407252)

[47] Schéma DMLS tisku. *3D printing service* [online]. [cit. 2022-03-7]. Dostupné z:  
<https://www.3dprintingservice.cc/3d-printing-technologies/dmls-3d-printing/>

## 7.2 Knižní

[44] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2011. 5. upr. vyd. ISBN 978-80-7361-081-4