

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
2024**

**EDUARD  
NOVOTNÝ**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Novotný** Jméno: **Eduard** Osobní číslo: **510210**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**  
Studijní program: **Optika a optometrie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**3D tisk a jeho využití k výrobě brýlových obrub**

Název bakalářské práce anglicky:

**3D printing and its use for production of eyeglass frames**

Pokyny pro vypracování:

Prozkoumejte aktuální trendy v oblasti 3D tisku a možnosti jejich aplikace v oblasti výroby brýlových obrub. Zaměřte se na jednotlivé typy tiskáren, principy jejich funkčnosti a použitelnost pro 3D tisk brýlových obrub. Rozeberte, jaké materiály lze pro výrobu brýlových obrub použít a jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Zhodnoťte možnosti, výhody a omezení 3D tisku v oblasti výroby brýlových obrub a srovnajte je s tradičními metodami. Prozkoumejte využití 3D tisku a aplikovatelnost v České republice pro výrobu brýlových obrub. Vytiskněte vlastní brýlovou obrubu a analyzujte funkčnost.

Seznam doporučené literatury:

- [1] STRÍTESKÝ, O.; PRŮŠA, J.; BACH, M., Základy 3D tisku s Josefem Průšou, ed. 1., Praha: Prusa research, 2020, ISBN 978-80-907798-0-8
- [2] BARBU, D. M., SIRBU, V. H., 3D printing techniques in making custom eyeglasses frames, 2020, n: REPANOVICI, Angela (ed.), 11th International Conference on Information Science and Information Literacy. Sciendo, 2020, s. 193-198, ISBN 9788395815065, DOI: 10.2478/9788395815065-021
- [3] IFTEKAR, S. F., AABID, A., AMIR, A., BAIG, M., Advancements and Limitations in 3D Printing Materials and Technologies: A Critical Review, Polymers, ročník 15, číslo 11, 2023, No. 2519, 23 p. DOI: 10.3390/polym15112519

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Petr Písařík, Ph.D.**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2025**

doc. Ing. Petr Kudrna, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
ošetřitel

## **Název práce:** 3D tisk a jeho využití v praxi

### **Abstrakt:**

Tato práce je strukturovaná do teoretické a praktické části. V teoretické části pojednává o historii a vývoji 3D tisku. Popisuje jednotlivé metody tisku a vlastnosti vybraných materiálů. Pro srovnání popisuje též tradiční metody výroby a materiály, jež jsou k nim využívány. Praktická část popisuje vytvoření brýlové obruby v domácích podmínkách. Součástí praktické části je vytvoření modelu brýlové obruby v programu Solidworks nebo získání již vytvořeného modelu. Jeho následné vytištění na 3D tiskárně, post-processing a kompletace. Tisk proběhne na FDM tiskárně kartézského typu. Konkrétně se jedná o tiskárnu Prusa i3 MK3S. K tisku využijeme materiál PETG neboli polyethylentereftalát. Závěr a diskuse obsahují zhodnocení praktické části a její využití v rámci běžného provozu v očních optikách. Též upřesní, jaká metoda tisku a jaké materiály jsou pro tisk brýlových obrub nejvhodnější a zda má 3D tisk v provozovnách očních optik využití.

### **Klíčová slova:**

3D tisk, 3D tiskárny, materiály pro 3D tisk, 3D tisk brýlový obrub

## **Bachelor's Thesis title: 3D printing and its use in practice**

### **Abstract:**

This thesis is divided into theoretical and practical parts. In the theoretical part it deals with the history and development of 3D printing. It describes different printing methods and properties of selected materials. For comparison, it also describes traditional production methods and the materials used for them. The practical part describes the creation of spectacle frames in domestic conditions. The practical part includes creating a model of a spectacle frame in Solidworks or obtaining an already created model. Its subsequent printing on a 3D printer, post - processing and assembly. The printing will be done on a Cartesian FDM printer. Specifically, it is a Prusa i3 MK3S printer. We will be using PETG or polyethylene terephthalate material for printing. The thesis will conclude with an evaluation of the practical part and its use in the normal operation of optics. Furthermore, it will be stated which printing method and which materials are the most suitable for printing eyeglass frames and whether 3D printing has a use in opticians.

### **Key words:**

3D printing, 3D printers, materials for 3D printing, 3D printing eyeglass frames

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Petru Písaříkovi, Ph.D., za ochotu, trpělivost a odborné vedení této práce. Také děkuji všem provozovněm očních optik za vyplnění formuláře a praktické rady. V neposlední řadě děkuji paní Janě Pleyerové a společnosti ONYX Vision za odborné rady.

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem práci s názvem „*3D tisk a jeho využití v praxi*“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne .....

.....

podpis

# Obsah

1.	Úvod	1
1.1	Cíle práce	1
1.1.1	Motivace	2
2.	3D tiskárny	3
2.1	Fused filament fabrication tiskárny	3
2.1.1	Kartézská tiskárna	5
2.1.2	Delta tiskárna	5
2.1.3	Polar tiskárna	6
2.2	Stereolitografické tiskárny	7
2.2.1	Ultrafialový laserový paprsek	8
2.2.2	Digital Light Processing	9
2.2.3	Mask Stereolithography	9
2.3	Selective laser sintering / Direct metal laser sintering	10
3.	Materiály	11
3.1	Filamenty	12
3.1.1	Polylaktid	12
3.1.2	Polyethylentereftalát	13
3.1.3	Akrylonitrilbutadienstyren	13
3.1.4	Akrylonitrilstyrenakrylonitril	14
3.1.5	Polyamid	14
3.1.6	Polypropylen	14
3.2	Fotopolymerní pryskyřice	15
3.2.1	Standardní pryskyřice	15
3.2.2	Pevná pryskyřice	15
3.3	Jemný prášek	16
3.3.1	Nylon	16
3.3.2	Karbon	16
3.3.3	Nerezová ocel	17
3.3.4	Titanové slitiny	17
4.	Tradiční výroba brýlových obrub	18
4.1	Plastové obruby	19

4.1.1	Acetát celulózy	19
4.1.2	Polyamid	20
4.1.3	Optyl	20
4.2	Obruby z kovových slitin	21
4.2.1	Hořčíkové slitiny	21
4.2.2	Titanové slitiny	22
4.3	Ostatní materiály	22
4.3.1	Dřevo	22
4.3.2	Konopí	23
4.3.3	Kávová sedlina	24
5.	Trendy	26
6.	Experimentální část	29
6.1	Prototyp brýlové obruby - (model první)	29
6.1.1	Tisk a post-processing	30
6.1.2	Práce s brýlovou obrubou	32
6.1.3	Konkurence schopnost	33
6.2	Prototyp brýlové obruby – (model druhý)	34
6.2.1	Tisk a post-processing	35
6.2.2	Práce s brýlovou obrubou	35
6.2.3	Konkurence schopnost	36
6.3	Dotazník první	36
6.3.1	Povědomí provozovatelů	37
6.3.2	Povědomí spotřebitelů	37
6.3.3	Předběžný zájem	38
6.3.4	Provozu schopnost	39
6.3.5	Preference optik	39
6.3.6	Dodatečné informace	40
6.4	Dotazník druhý	42
7.	Diskuse	48
7.1	Práce s 3D vytištěnou obrubou	48
7.2	Využití 3D tisku v českých očních optikách	49
7.2.1	První dotazník	49
7.2.2	Druhý dotazník	50
8.	Závěr	52



Seznam použité literatury	53
Seznam zkratk	58
Seznam symbolů	60
Seznam obrázků	61
Seznam příloh	62
Příloha A: Tabulka srovnávající jednotlivé filamenty [Převzato z: 21]	63
Příloha B Tiskové parametry částí obruby (1. model)	64
Příloha C: Tiskové parametry částí obruby (2. model)	67
Příloha D: Dotazník o využití 3D tisku v praxi	70
Příloha E: Dotazník pro provozovny využívající 3D tisk k výrobě brýlových obrub	74

# 1. Úvod

V dnešní době patří 3D tisk ke stále více využívaným metodám výroby nejrůznější řady předmětů. Své začátky započal v druhé polovině 20. století. Průkopníkem se stal Chuck Hull, který si roku 1986 nechal patentovat technologii stereolitografie (SLA), dnes známé jako jednu z metod 3D tisku. Objev, který vznikl roku 1984, využil ve své společnosti 3D Systems. Z počátku se 3D tisk používal k vytváření malých předmětů a součástek. V dnešní době je možné tisknout skoro vše, od nanotechnologií, šroubků, figurek, prototypů, až po nové 3D tiskárny, nábytek, domy atd. V omezené míře lze tisknout i plně funkční dopravní prostředky, realistické modely určené například pro studenty medicínských, ale i jiných, oborů. Dokonce lze vytisknout i náhrady lidského těla, jako jsou protézy, zubní náhrady, funkční orgány, rohovku, tkáň a buňky. V gastronomii se 3D tisk využívá k vytištění jídel. Bohužel se mnohdy zneužívá i k nelegální činnosti, jakou je výroba zbraní. [1, 2, 3]

Z hlediska optiky a optometrie lze 3D tisk využít k výrobě brýlí nebo náhradních částí brýlových obrub. Případně také pro modifikaci celé řady běžně používaných přístrojů či k urychlení a usnadnění výrobních postupů. [4, 5]

V této práci se však primárně zaměříme na 3D tisk brýlových obrub. V teoretické části popíšeme jednotlivé materiály a metody 3D tisku. Pro srovnání uvedeme i tradiční způsoby výroby, včetně materiálů a jejich vlastností. Experimentální část zodpoví otázku, zda lze v domácích podmínkách vytisknout a zkompletovat funkční brýlovou obrubu. Případně popsat, jak se s ní pracuje v praxi. Také se zaměříme na možnosti využití 3D tisku v provoznách očních optik.

## 1.1 Cíle práce

Práce si dává za cíl prozkoumat aktuální možný přínos 3D tisku v oblasti brýlových obrub. Zjistit, zda je možné využít tyto technologie k rozšíření běžně dostupného sortimentu brýlových obrub, nebo k opravám již starších brýlí. Případně pro individuální výrobu s ohledem na handicap zákazníka, kterým je například asymetrie či deformace obličeje. Popisuje jednotlivé tiskárny, metody tisku, materiály k němu potřebné a také jejich využití a limity z hlediska tisku brýlových obrub. Pro srovnání práce uvádí materiály společně s metodami tradiční výroby brýlí. Praktická část popisuje práci s vlastními 3D vytištěnými brýlovými obrubami a analyzuje jejich funkčnost. V neposlední řadě provádí průzkum provozu

schopnosti, ale hlavně využitelnosti, 3D tisku v rámci jednotlivých očních optik v České republice.

### **1.1.1 Motivace**

Motivací byl pro mě v první řadě všeobecný zájem o téma 3D tisku, které je čím dál více využíváno ve spojitosti s nejrůznějšími obory. O optice a optometrii se ve spojitosti s ním však příliš nemluví. Bude zajímavé zjistit, jak si v současnosti vede a zda nalezne využití i v budoucnu. Taktéž šlo o zvědavost, jestli jsou brýle z 3D tiskárny kvalitní a mohou konkurovat již zavedeným značkám. Z hlediska ekologicky udržitelných zdrojů by 3D tisk mohl v budoucnu posloužit jako skvělá volba. Díky tisku obrub by bylo možné snížit skladové zásoby, dotisknout větší počet oblíbených obrub, tedy i rychleji reagovat na aktuální trendy nebo nabídnout spotřebitelům lepší servis z pohledu oprav a dodání náhradních dílů pro současné i starší modely brýlových obrub. Některé společnosti tuto metodu postupně zařazují do svého portfolia brýlových obrub. Česká republika je však v tomto ohledu oproti zahraničním firmám zdrženlivější.

## 2. 3D tiskárny

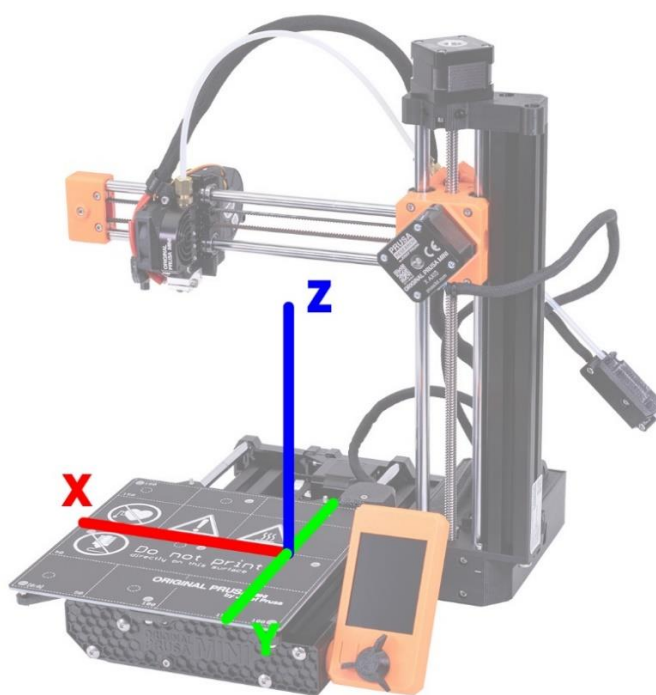
3D tisk je aditivní technologie výroby. Aditivní způsob výroby spočívá v postupném přidávání materiálu, který může být nanášen ve formě roztaveného filamentu, průběžně vytvrzován za pomoci laseru nebo spékán ve formě prášku. Můžeme tedy říci, že množství odpadu, vzniklého tiskem, je minimální. Navíc tato technologie umožňuje tisknout i konstrukčně náročnější tvary brýlových obrub, které by tradičními metodami výroby nebylo možné vytvořit. A to za zlomek času, pomineme-li tvorbu modelu v computer-aided drafting programu neboli programu pro počítačem podporované kreslení, zkráceně CAD program, jež je časově náročná. Navíc se jedná o individuální proces výroby. Lze však využít i předpřipravený model, který stačí zkontrolovat, případně mírně dopravit v sliceru. Slicer je program používaný k převodu digitálního 3D modelu, např. ve formátu *.stl*, na kód čitelný strojově pro 3D tiskárnu tzv. G – code, ve formátu *.gcode*, díky němuž tiskárna ví, jak model vytisknout. [6, 7, 8, 9]

### 2.1 Fused filament fabrication tiskárny

FDM (fused deposition modeling) i FFF (fused filament fabrication) můžeme považovat za synonyma. Jedná se o nejpoužívanější typ 3D tiskárny. Z hlediska brýlových obrub momentálně není konkurence schopná, z důvodu post-processingu a nízké kvality výsledných obrub. Dá se využít maximálně na levnější brýle na čtení, kde mnohdy hraje hlavní roli cena více než kvalita. Tento typ tiskárny využívá k tisku špulku s namotaným filamentem neboli tiskovou strunu. Práce s filamentem je oproti pryskyřici nebo jemnému prášku, jež využívají SLA a SLS typy tiskáren, jednodušší a bezpečnější. Nejpoužívanější je tisková struna o průměru 1,75 mm. Dříve se využívala struna o průměru 3 mm, která však vedla k nepřesnému tisku. Tisková struna může procházet detektorem filamentu, který kontroluje plynulost a upozorňuje na případné spotřebování filamentu. Nemusíme se s ním setkat u všech FDM tiskáren. Filament, většinou se jedná o plastové vlákno, je následně extrudovaný (vytlačovaný) extruderem (tiskovou hlavou) přes rozehřátou trysku, jejíž průměr určuje rychlost a přesnost tisku. Čím vyšší průměr, tím více nataveného materiálu projde, tudíž je tisk rychlejší, ale méně přesný. Tisková hlava se skládá z teflonové trubičky, kterou filament přichází do extruderu. Poté pokračuje přes heat sink (chladič), který spolu s ventilátorem odvádí přebytečné teplo, jež vytváří heat break. Heat break je trubička s vnějším závitem, jenž se postupně zužuje, aby bylo zamezeno stoupání tepla vzhůru a s tím spojené tavení materiálu.

Filament je částečně natavený, jeho úplné natavení zajistí heater block. Jedná se o tepelně vodivý materiál, většinou hliník. V něm je umístěné elektrické topné těleso tzv. termistor, udávající informace o teplotě. Po roztavení materiál projde tryskou, jejíž průměr většinou bývá 0,4 mm. [7, 8, 10]

V podobě taveniny, která tvoří vrstvy o průměru 0,05 mm až 0,3 mm, se usadí na vyhřívanou podložku. Vyhřívání podložky pomáhá zamezit deformaci materiálu v následku změny teploty. Extrudér je se zbytkem tiskárny neboli základnou, spojený pomocí rámu. Čím je rám robustnější a pevnější, tím nižší jsou vibrace, což vede ke zlepšení tisku. Pro chod tiskárny jsou důležité krokové motory, které zajišťují pohyby extruderu a podložky. Celkový chod tiskárny zajišťuje řídicí jednotka. Hlavní funkcí řídicí jednotky je ale čtení a zpracování vstupního souboru, na jehož základě se koriguje pohyb krokových motorů, nahřátí trysky a podložky. V závislosti na ceně může tiskárna obsahovat další součástky nebo si můžeme vytisknout nejrůznější vylepšení. Cenově lze FDM tiskárnu pořídit od 2 500 Kč, její cena může dosahovat i nižších statisíců Kč. Hlavní výhodou této technologie je její nízká pořizovací cena. To samé platí i pro filameny, které lze vzájemně kombinovat. To se však odvíjí na kvalitě a době tisku, která u levnějších tiskáren nepatří mezi nejlepší, spíš naopak. Není sice nejhorší, co se tisku brýlových obrub týče, ale také momentálně není nejlepší možnou volbou. Jedná se spíše o možnost pro nadšence než konkurence schopnou tiskárnu pro provozovny očních optik. Podle pohybu v osách X, Y a Z dělíme FDM na kartézský, delta a polar typ. [7, 8, 11]

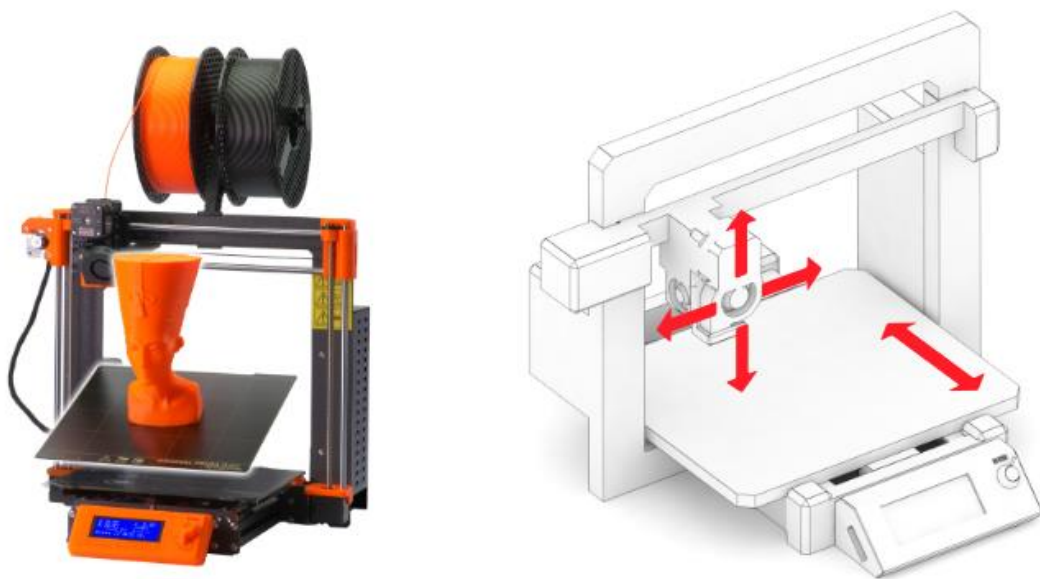


Obrázek 2.1 osy X, Y, Z [Převzato z: 12]

### 2.1.1 Kartézská tiskárna

Kartézský typ tiskárny využívá pohybu ve třech lineárních osách. Jedná se o osy X, Y, Z, při čemž extruder využívá k pohybu osu X, Z a podložka osu Y. Některé tiskárny k pohybu podložky využívají osu X a Y, extruder zastane pohyb v ose Z. [7, 13, 14]

Většinou se však setkáme s první variantou. Tyto tiskárny jsou vhodné pro začátečníky. Ze všech možných FFF typů tiskáren se jeví nejlépe, pro případný tisk nízkorozpočtových brýlových obrub. Momentálně se však nejedná o finančně, časově, tedy i konkurence schopné tiskárny. [7, 13, 14]

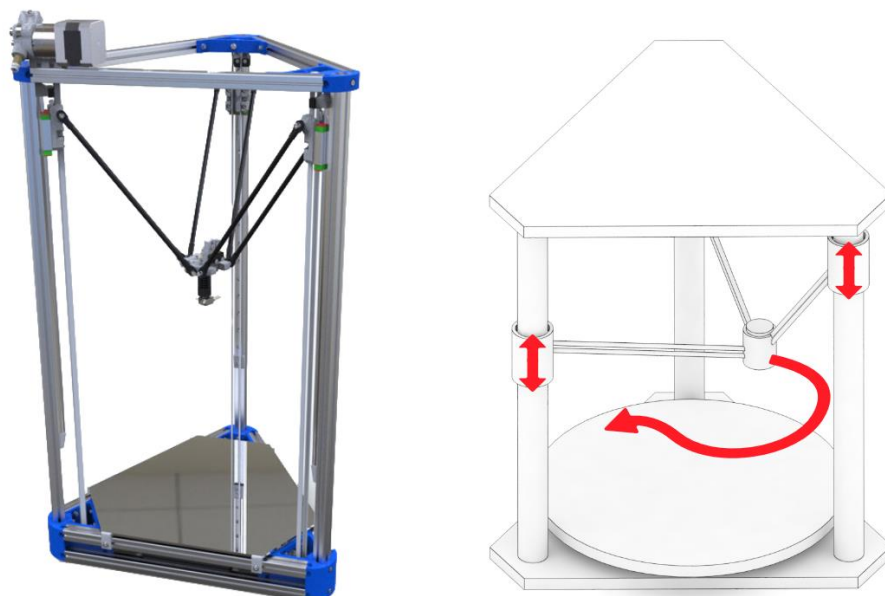


Obrázek 2.1.1 Kartézská tiskárna Original Prusa i3 MK3S [Převzato z: 7]

### 2.1.2 Delta tiskárna

Typ Delta využívá k pohybu ve všech osách (X, Y, Z) extruder, který je upevněný na tři pohyblivá ramena, jenž svou délkou a vzájemným úhlem mezi sebou zvyšují tiskový prostor, hlavně v ose Z. Díky tomu se jedná o rozměrově menší, z hlediska tisku však rychlejší, pohyblivější a přesnější typ ve srovnání s kartézskými variantami tiskáren. [7, 8]

Delta tiskárna není vhodná pro začátečníky, z důvodu nutnosti přesnosti kalibrace a přesného sestavení. To samé můžeme říci o následném provozu a nastavení tisku. Nejedná se tedy pro provozu schopnou volbu v rámci brýlových obrub. [7, 8]



**Obrázek 2.1.2** Tiskárna typu Delta [Převzato z: 7]

### 2.1.3 Polar tiskárna

Polar typ tiskárny je sice konstrukčně jednoduchý, ale příprava modelu pro tisk je náročná. S tímto typem tiskárny se téměř vůbec nesetkáme. Extruder využívá k pohybu osu Y a Z, zatímco podložka kruhově rotuje v ose X. [7, 8]

Díky tomu můžeme tisknout geometricky složitější tvary, vhodná je k tisku kruhových a kulatých objektů. Jinými slovy není vhodná k provozu na jednotlivých optikách nebo k tisku brýlových obrub. [7, 8]



**Obrázek 2.1.3** Polar typ tiskárny [Převzato z: 7]

## 2.2 Stereolitografické tiskárny

SLA (Stereolitografie) spočívá ve vytvrzování pryskyřice pomocí UV světla nebo CO<sub>2</sub> laseru, většinou o vlnové délce 405 nm. S těmito tiskárnami se setkáme zejména ve šperkařství nebo v medicíně, například při tvorbě náhrad a odlitků v laboratořích zubních techniků. Z hlediska ceny tiskárny s příslušenstvím a pryskyřice se bavíme o cenovém středu. SLA tiskárna se pohybuje od 7 000 Kč do milionu Kč. Díky tvrzení konkrétního místa vzniká, oproti FFF tisku, detailnější a hladší model. Jeho vytvoření však trvá déle a provozní náklady jsou oproti FFF tisku vyšší. Navíc se může stát, že rozměry výtisku budou menší a po jeho vytištění model lepší v důsledku znečištění nevytvrzenou pryskyřicí. Samotná pryskyřice je toxická, musíme se tedy vyhnout kontaktu s tekutou pryskyřicí a vdechování výparů při tisku. Proto po vytištění model putuje do isopropylalkoholu, který zbytky pryskyřice smyje. Následně model necháme vytvrdit UV světlem. Tyto úkoly provádíme s příslušnou ochranou v podobě rukavic, a to buď ručně nebo automaticky. Znamená to tedy, že každá SLA tiskárna by měla mít svou mycí a vytvrzovací stanici. Kvalitu a dobu tisku ovlivníme zvolením vhodného typu osvětlení a vytvrzováním fotopolymeru. Můžeme tedy říci, že SLA tiskárna dokáže vytvořit detailní modely i s odolnou vnitřní strukturou. Kromě vyšší provozní ceny než FFF tiskárna a vyššímu nebezpečí při práci s resiny může navíc tento typ tiskárny k tisku využívat jen jeden materiál. Proto má v rámci tisku brýlových obrub, ačkoliv by měly kvalitnější, detailnější a hladší strukturu, podstatně nižší využití oproti ostatním typům tiskáren. Největší nevýhodou je vysoká křehkost a nulová opravitelnost výsledné brýlové obruby. [7, 8, 9, 11, 13]

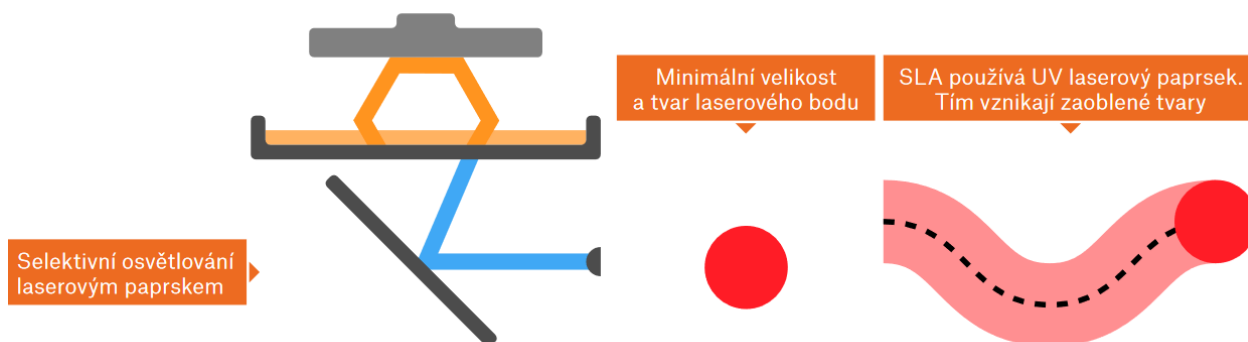


**Obrázek 2.2** Original Prusa SL1S SPEED [Převzato z: 14]



## 2.2.1 Ultrafialový laserový paprsek

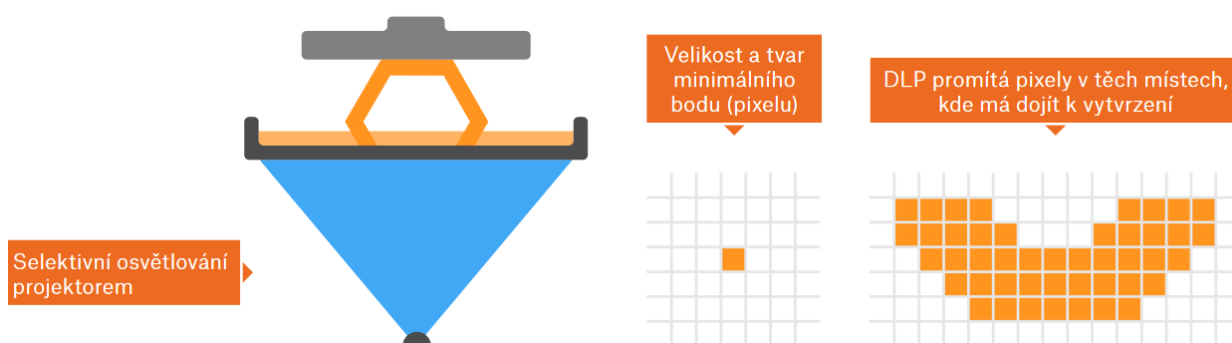
UV laserový paprsek je směřován dvěma zrcadly, což vede k postupnému vytvrzení vrstvy. Záleží na množství tisknutých objektů, s jejich přibývajícím počtem stoupá i doba tisku. Pro tvorbu brýlových obrub není vhodný. [7]



Obrázek 2.2.1 Princip tvrzení UV laserovým paprskem [Převzato z: 7]

## 2.2.2 Digital Light Processing

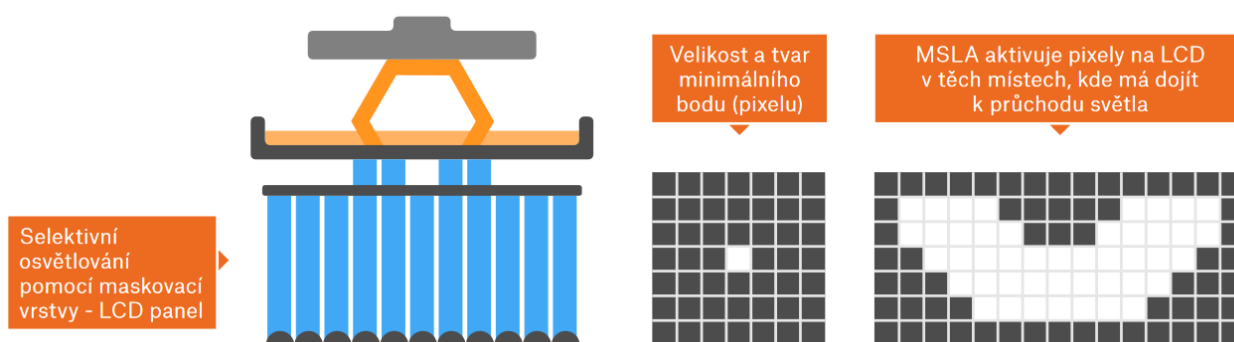
Celá tisková plocha je tvrzena najednou, za pomoci digitálního projektoru (DLP). Počet tištěných objektů tedy ovlivňuje celkovou dobu tisku. Pro tvorbu brýlových obrub není vhodný. [7]



Obrázek 2.2.2 Princip tvrzení DLP [Převzato z: 7]

### 2.2.3 Mask Stereolithography

U MSLA probíhá osvit za pomoci UV LED diody s maskováním celé tiskové vrstvy LCD displejem. Dochází tedy k vytvrzení pryskyřice jen v místě, kde jsou pixely displeje aktivované neboli svítí bíle. Rozlišení výtisku v ose X a Y je dané rozlišením LCD displeje. Na rozdíl od předchozích metod zde výsledný čas tisku není ovlivněn počtem výtisků. Ze zvolených možností se jedná o nejhodnější, leč provozu a konkurence neschopnou, metodu výroby brýlových obrub. [7]



Obrázek 2.2.3 Princip tvrzení MSLA [Převzato z: 7]

## 2.3 Selective laser sintering / Direct metal laser sintering

Technologie SLS (selective laser sintering), známá též jako DMLS (direct metal laser sintering), spočívá v nanášení vrstev jemného prášku, především plastu, kovu nebo keramiky, pomocí válce a následného sintrování (spečení materiálu) laserem. Materiál se při tomto procesu spojí, ale neroztaví. Tisk je finančně náročný, ale přesný, vzniklý odpadní materiál je minimální. Po ochlazení a odstranění zbylého prášku, který lze znovu použít k tisku, je model připravený k použití. Z hlediska tisku brýlových obrub jednoznačně dominuje metoda Fusion Jet, jež je dosud jedinou konkurenci schopnou metodou. [7, 15, 16]

S těmito tiskárnami se setkáme zejména v průmyslu, pro osobní použití se téměř nevyužívají. Jedním z důvodů je i vysoká pořizovací a provozní cena, jež začíná na 150 000 Kč, může se vyšplhat až na nižší miliony. I přes vysokou pořizovací cenu tiskárny a materiálu se v oblasti tisku brýlových obrub jedná o dosud jedinou konkurenci schopnou možnost tisku. Co se kvality tisku týče, tyto tiskárny splňují dokonce vojenské i letecké normy. Kromě vysoké

kvality tisku je také neekologičtější, a navíc vytvořené modely většinou nevyžadují žádný nebo minimální post-processing. [7, 15, 16]



**Obrázek 2.3** SLS tiskárna HP MJF 4200, využívající technologii Fusion Jet [Převzato z 17]

### 3. Materiály

V závislosti na typu a tiskových možnostech tiskárny volíme vhodné materiály. Každý typ tiskárny využívá specifické materiály, od filamentu, resinu, až po jemný prášek. Provozní cena tiskárny tedy závisí na ceně materiálu. Nejlevnější jsou filameny, které se používají pro FFF tiskárny. Resiny neboli pryskyřice jsou cenově dražší než filament, to samé platí pro pořizovací cenu SLA tiskárny. Nejdražší, jak z hlediska materiálu, tak pořizovací ceny, jsou DMLS tiskárny, jenž používají jemný prášek. [18, 19]

Každý materiál má své unikátní vlastnosti a jedinečné využití. Některé materiály lze kombinovat, záleží na možnostech tiskárny, jelikož pouze SLS metoda je v současné době použitelná k tisku konkurence schopných brýlových obrub. Jemný prášek se tedy řadí mezi nejpoužívanější materiál v oblasti tisku obrub. Filament a FFF tiskárny sice mají potenciál, nejsou však stále konkurence schopné. SLA tiskárny využívající resiny si vedou celkově nejhůře, kvůli křehkosti výsledných modelů. [18, 19]



**Obrázek 3** Materiály používané pro 3D tisk – fotopolymerní pryskyřice (vlevo), filament (vpravo), prášek (nahore) [Převzato z: 18]

#### 3.1 Filamenty

Filament, známý též jako tisková struna, využíváme v souvislosti s FDM/FFF 3D tiskárnami. Tyto tiskárny jej odmotávají ze špulek a následně za pomoci extruderu a trysky

přetvářejí ve výsledný 3D model. Filamenty lze rozdělit podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, dále také podle barvy a průměru tiskové struny. Nejčastěji se používá tisková struna o průměru 1,75 mm, v menší míře se lze setkat s průměrem 2,75 mm, jež na trhu nalezneme pod označením 3 mm. Každá 3D tiskárna vyžaduje určitý průměr tiskové struny, který je zásadní pro správný tisk. Je dobré si dát pozor i na vhodný výběr výrobce a správné nastavení tiskárny, v závislosti na konkrétním materiálu. Může se stát, že totožný materiál od dvou odlišných výrobců se bude lišit ve vlastnostech tisku. To samé platí u barev materiálu. Ačkoliv by se mohlo zdát, že barva na tisk nemůže mít vliv, není tomu tak. Opět se jedná o odlišnosti mezi jednotlivými výrobci, kdy stejný materiál jiné barvy může vykazovat zcela odlišné vlastnosti. Záleží tedy nejen na výběru vhodného materiálu, ale i ověřeného výrobce. [7, 8, 13]

Pro začátky je vhodné zvolit jeden z následujících materiálů PLA, PETG, nebo ABS. Ostatní materiály již vyžadují specifitější zacházení. Další informace k jednotlivým materiálům jsou k nalezení v příloze A. Cenově se 1 kg filamentu pohybuje mezi 25 až 70 Americkými dolary, což je zhruba 561 až 1570 Korun českých. Jedná se o nejlevnější materiál, který obrubě dodává jedinečnost. Největší potenciál by našel, kvůli struktuře výsledné brýlové obruby, jakožto imitace dřevěných materiálů. [7, 8, 13]

### 3.1.1 Polylaktid

PLA, přezdívaný EKO plast, je biologicky odbouratelný a bioaktivní termoplastický polyester. Složením se jedná o kyselinu polymléčnou neboli polylaktid. Pro jeho výrobu se využívají přírodní materiály, jež odpovídají místě jeho výroby. Konkrétně se jedná o kukuřičný škrob, preferovaný například ve Spojených státech a Kanadě. V Asii používají kořeny manioky, štěpky a škrob. Další hojně využívanou surovinou pro výrobu PLA je cukrová třtina. [20, 21]

Jedná se o nejpoužívanější tiskařský materiál. Vyniká nejen pevností a tuhostí, ale i nízkou smrštivostí. Je dostupný v nespočtu barevných odstínech, případně se dá obarvit. Cenově se jedná o jeden z nejlevnějších materiálů pro 3D tisk. Používá se zejména k tisku součástek, krabiček, sošek, věšáku, držáků apod. Při tisku nevzniká znatelný zápach. Má však své nevýhody, mezi něž patří špatná obrobiteľnosť, křehkost, silná degradace při působení UV záření a povětrnostních vlivů. Proto je vhodný pro použití uvnitř budov, nikoliv však v dopravních prostředcích, a to z důvodu, že při 50 °C dochází k jeho měknutí. Není tedy vhodný pro tisk brýlových obrub nebo leptání acetonem. [20, 21, 22]

### 3.1.2 Polyethylentereftalát

Jedná se o nejběžnější termoplastickou polymerní pryskyřici patřící mezi polyestery. Díky kopolymeraci polyethylentereftalátu (PET) vzniká polyethylen-tereftalát glykol (PETG). To vede ke snížení teploty tání a zamezení krystalizace polymeru. Výsledný PETG je čirý amorfní termoplast, který lze v průběhu výroby barvit. Řadí se mezi velmi dobře tisknutelné materiály s přesným tiskem. V poslední době nabírá na popularitě, což vede k rozšíření možných barevných odstínů. Dobře se obrábí, je otěruvzdorný a zároveň je odolný vůči chemikáliím. Užití nalezne například ve vláknech pro oděvy, obalech a krabičkách na potraviny, nádobách na kapaliny, vykrajovátkách, stínítkách, ozubených kolečkách, součástkách apod. Zkrátka všude, kde lze využít průsvitný či barevný plast. Značnou nevýhodou je jeho nízká odolnost proti poškrábání a fakt, že může absorbovat vlhkost. Lze jej využít i k tisku brýlových obrub, jedná se však spíše o tisk pro radost nežli funkčnost. [20, 21, 22]

### 3.1.3 Akrylonitrilbutadienstyren

ABS neboli akrylonitrilbutadienstyren, jakožto termoplastický polymer, patří mezi tzv. konstrukční plasty. Vyrábí se polymerací styrenu a akrylonitrilu společně s polybutadienem. Nitrilová skupina činí ABS silnější než polystyren. Díky styrenu získá lesk a nepropustný povrch. Od polybutadienu si převezme houževnatost i při nízkých teplotách. ABS lze využít v teplotním rozmezí  $-20$  až  $+80^{\circ}\text{C}$ . V našem okolí jej nalezneme takřka všude, protože se používá na věci denní potřeby jako obaly, krabičky, formičky, hračky, součástky apod. Dalo by se říci, že se jedná o lepší verzi PLA. V porovnání s PLA není tak pevný, ale díky své houževnatosti není tak křehký. Je též dostupný v mnoha barevných variantách, ale stejně jako PLA degraduje působením UV záření, jen ne tolik. Kvůli jeho smrštivosti vznikají v tisku větší nepřesnosti, na druhou stranu se skvěle obrábí, řeže, brousí a leští. Je však rozpustný v acetonu. Toho využívá metoda řízeného naleptání k dosažení hladkého povrchu. Při kontaktu se vzduchem se smršťuje a při práci s ním se uvolňují jedovaté výpary. Je nutné dodržet bezpečnostní opatření v podobě uzavření tiskárny a kvalitním přísunu odvodu vzduchu ve formě ventilace. Není tedy ideální pro tisk brýlových obrub. [20, 21, 22]

### 3.1.4 Akrylonitrilstyrenakrylonitril

Zjednodušeně by se dalo říci, že ASA je UV odolnou verzí ABS. Termoplast nazývaný krylonitrilstyrenakrylát nebo akrylonitrilstyrenakrylonitril vznikl jako vhodnější alternativa

k akrylonitrilbutadienstyrenu (ABS). Je odolný vůči povětrnostním vlivům, zachovává si lesk, barvu i mechanické vlastnosti. Vyznačuje se též tuhostí, pevností a houževnatostí, vysokým leskem, dobrou chemickou a tepelnou odolností a antistatickými vlastnostmi. Tisk probíhá snáze než u ABS, ale ne tak snadno jako u PLA nebo PETG. Je také rozpustný v acetonu, tudíž k dosažení hladkého povrchu se využívá metoda řízeného naleptání. Není tedy divu, že ASA nalezneme v předmětech pro venkovní použití, jako jsou vnější části vozidel, venkovní nábytek, součástky určené k dezinfikování apod. Jeho využití v rámci tisku brýlových obrub je srovnatelné s ABS. Při použití acetonu dochází k jeho kroucení. [20, 21, 22]

### 3.1.5 Polyamid

Polyamid (PA) je polo-aromatický polymer známější pod obchodní značkou Nylon (polyamid 6.6) nebo Silon (polyamid 6). Vlastnosti těchto materiálů lze upravovat pomocí příměsí jiných látek. Jedná se o velmi odolný a vysoce nárazuvzdorný materiál. Nylon je hygroskopický, tudíž má schopnost absorbovat vodu. Tisk patří k náročným, a ne vždy se povede. Používá se ve spojitosti s vlákny jako jsou štětinky kartáčků, nylonky, vlasce nebo jako součást poloočnicových brýlí a součástek vyžadujících flexibilitu, ale zároveň odolnost. K tisku brýlových obrub se využívá, nicméně preferuje se ve formě prášku v rámci SLS tisku než ve formě filamentu. [20, 21, 22]

### 3.1.6 Polypropylen

Ze skupiny polyolefinů, které jsou částečně krystalické a nepolární, se používá polypropylen (PP). Jedná se o mechanicky i chemicky odolný materiál bílé barvy. V porovnání s polyethylenem je tvrdší a tepelně odolnější. Též se vyznačuje vysokou odolností vůči únavě materiálu, korozi, chemickému i fyzickému poškození a mrazu. Při tisku se však smršťuje, což jeho tisk činí obtížným. Využití nalezne v kloubech plastových lahví, dózách na potraviny apod. Kvůli jeho smrštivosti a náročnému tisku není vhodný k tvorbě brýlových obrub. [20, 21, 22]

## 3.2 Fotopolymerní pryskyřice

Fotopolymerní pryskyřice, na trhu dostupná také pod anglickým názvem resin, je materiál určený pro SLA tiskárny. Práce s pryskyřicí je náročná kvůli jejím zdravotním rizikům

v kapalně podobě. Při tisku je nutná ventilace, která zamezí kumulaci toxických výparů. Samotný tisk patří k náročnějším, protože vytvořený model musí být upraven. Napřed musíme model vyčistit od zbylé pryskyřice, k tomu používáme izopropylalkohol. Následuje tvrzení UV světlem, po němž pryskyřice ztrácí svou zdravotní závadnost. Výsledný model je oproti FFF tisku hladší, detailnější, ale v menší velikosti. Nevýhodou výtisku je jeho křehkost a ve spojitosti s minimální rozmanitostí barevných variant se jedná o nejméně využívanou metodu tisku brýlových obrub. [7, 8, 13]

Vlastnosti materiálu závisí na typu použité pryskyřice. Cenově pryskyřici seženeme od 50 do 150 Amerických dolarů za 1 litr, což je zhruba 1150 až 3500 Korun českých. V rámci tisku brýlových obrub však není konkurence schopná z důvodu její křehkosti. Cena resinu, ve spojitosti s jeho nebezpečností, této skutečnosti příliš nepomáhá, ba naopak. [7, 8, 13]

### 3.2.1 Standardní pryskyřice

Standardní pryskyřice je univerzální materiál vytvářející výtisk s vysokou tuhostí a rozlišením. Povrch objektu je hladký jako u výroby za využití vstřikování materiálu do uzavřené formy. Jedná se o cenově nejdostupnější SLA materiál se snadnou povrchovou úpravou. Není však odolný vůči teplotám, má nízkou houževnatost a je křehký. Využití nalezne při výrobě modelů, sošek či držáků. [23]

Její vlastnosti a využití rozlišujeme podle barvy. Například bílá pryskyřice vytváří velmi hladký povrch, šedá pryskyřice je vhodná pro detailní modely. Nejpevnější pryskyřice má čirou barvu. Konkurence schopnou brýlovou obrubu z ní však nevyrobíme. [23]

### 3.2.2 Pevná pryskyřice

Pevná pryskyřice, známá též jako hard resin, abs like resin nebo strong resin, byla vyvinuta, aby snášela vysoké namáhání materiálu. Svou odolností je srovnatelná s ABS materiálem, nikoliv při FFF tisku, ale při vstřikování do uzavřených forem. Vyniká tedy svou tuhostí a odolností vůči cyklickému zatížení, je však křehká a při tisku vyžaduje alespoň 1 mm tlustou stěnu. Tento fakt ji činí nevhodnou pro tisk objektů s tenkými stěnami, jako jsou některé stranice nebo brýlové středy. Využití nalezne při výrobě prototypů a robustních dílů odolných proti poškození. Brýle z ní momentálně nenajdou využití. [23]



### 3.3 Jemný prášek

Podle typu tiskárny můžeme využívat různé typy jemných prášku, od plastových po kovové, včetně příměsí nebo keramiky. Podstatné jsou tepelné vlastnosti prášku, velikost a tvar částic, drsnost. Tisk z těchto materiálů je sice nákladný, ale zanechává minimum odpadu. Při tisku dutých dílů je nutné vytvořit dva otvory, o minimálním průměru 5 mm pro odstranění nespečeného materiálu. Jedná se o jediný konkurence schopný materiál v oblasti výroby brýlových obrub. [24]

#### 3.3.1 Nylon

Nylon (PA) se využívá pro svou ošetrivost, odolnost proti opotřebení, vysokou pevnost a snadnou barvitelnost. Lze jej vyztužit pomocí vláken, například příměsí skelného vlákna. Dostupný je ve více variantách, z nichž nejpoužívanější je PA11 a PA12. Nylon 11 (PA11) je robustní bílý polyamid s vysokou odolností proti nárazu a flexibilitou. Využití nalezne také v automobilovém a sportovním průmyslu. Nylon 12 (PA12) je využívanější, přezdíva se mu univerzální plast. Jedná se o spolehlivý, barvitelný polyamid. Pro tenčí struktury a pohyblivé součástky působí pružně, ale také robustně. Jedná se o nejpoužívanější materiál na výrobu brýlových obrub pomocí 3D tisku. [25, 26]

#### 3.3.2 Karbon

Karbonová (uhlíková) vlákna vynikají svou pevností a lehkostí. Své využití nachází například v automobilovém a leteckém průmyslu, ale také v rámci tisku luxusních brýlových obrub nebo jejich částí. [25, 27]

#### 3.3.3 Nerezová ocel

Slitiny nerezové oceli mají vysokou pevnost, odolnost proti korozi a teplotám a jsou snadno opracovatelné. I při vysokých teplotách si zachovávají své fyzikální a mechanické vlastnosti. Lze z nich vytvořit brýlovou obrubu, i když se tak stává jen příležitostně. [28]

### **3.3.4 Titanové slitiny**

Titanové slitiny se vyznačují svou lehkostí, pevností a odolností proti korozi. Díky své sterilizovatelnosti a odolnosti v poměru k váze se kromě lékařství využívá i v automobilovém a leteckém průmyslu nebo také pro výrobu prémiových brýlových obrub. Z hlediska 3D tisku je cena obruby vyšší než v rámci tradiční výroby. [28]

## 4. Tradiční výroba brýlových obrub

V současné době brýlové obruby vyrábíme z plastových nebo kovových materiálů. Převážně se jedná o kompozity a slitiny. Oproti 3D tisku, který je v oboru výroby brýlových obrub relativně krátce, se tradiční metody výroby využívají od konce 13. století. První brýle vznikly v Itálii kolem roku 1290. Sériové výroby se brýle dočkaly s příchodem manufaktur v 17. století. [29, 30, 31]

Výroba brýlových obrub probíhá v závislosti na materiálu. U plastových obrub se jedná o třískové obrábění z desek nebo jedna z variant tvorby brýlové obruby z roztaveného granulátu. Jedná se o metodu lití nebo vstřikování do forem, které jsou cenově levnější, avšak v důsledku přidání změkčovadel i méně kvalitní. Kovové obruby vyrábíme spájením, nýtováním, frézováním nebo vyřezáním z plátů pomocí laseru. Následně je musíme povrchově ošetřit, zejména pokud obsahují nikl, který je alergenní, ale má dobré mechanické vlastnosti. [29, 30]

Tradiční výrobu obrub dělíme do tří skupin. Na výrobu sériovou, kde jsou vytvářeny obruby ve vysokých počtech několika tisíců kusů. Jedná se hlavně o univerzální, levné obruby příliš nepodléhající módním vlivům. Malosériovou výrobu, kde vznikají modelové obruby střední cenové třídy, které jsou ovlivněny trendy. Každá obruba musí projít testy na určení nezávadnosti materiálu a odběratel by měl být informován, o jaký materiál se jedná a jak s ním může pracovat. Kusová výroba, jak již název napovídá, se zabývá výrobou individuálních brýlí neboli brýlí na zakázku. Vyrábí se v jednotkách kusů, čemuž odpovídá i cena. SLS a DMLS 3D tisk lze zařadit primárně mezi kusovou nebo malosériovou výrobu. Metoda FFF, případně SLA by patřily mezi sériovou nebo malosériovou výrobu. V současné době lze, s ohledem na kvalitu výrobků a jejich konkurence schopnost, využít pouze SLS technologii. V rámci individuálnějších tvarů dokážeme na SLS tiskárně vytvořit obruby, které budou spadat do podstatně vyšší cenové kategorie, v některých případech lze docílit levnější výroby než výrobou tradiční, navíc tradiční výroba je z hlediska tvarů podstatně limitovanější než 3D tisk. [29, 30]

Vzniklé obruby můžeme rozdělit dle mnoha kritérií například podle materiálu na plastové, z kovových slitin, z přírodního materiálu nebo kombinované. Podle očnic na celoočnicové, poloočnicové, kde brýlovou čočku z poloviny drží silonové vlákno nebo bezočnicové, u nichž jsou do čoček vyvrtané otvory pro upevnění nosníku a straníc. Podle koncového uživatele dělíme obruby na pánské, dámské, dětské a univerzální. Možných rozdělení je samozřejmě více.

V rámci tisku brýlových obrub jsme zatím z důvodu ceny omezení pouze na plastové celoočnicové obruby. Ačkoliv je možné tisknout brýle z kovových slitin, klidně i poloočnicové nebo bezočnicové, z důvodu vysoké ceny se stále jedná o konkurenci neschopnou možnost. [29, 30]

## 4.1 Plastové obruby

Plastové obruby jsou vyráběny z nepřeberného množství materiálů s nejrůznějšími vlastnostmi. Obecně platí, že plastová obruba působí masivnějším dojmem než obruba z kovových slitin. Též může působit více rušivě v oblasti periferního vidění z důvodu mohutnějších hranic. Pokud se však nejedná o vstříkovanou nebo litou obrubu, to znamená, pokud je obruba vyráběna třískovým obráběním, je zde nižší riziko alergické reakce. V závislosti na materiálu může v průběhu stárnutí obruby docházet ke žloutnutí materiálu, křehnutí nebo vytváření bílého povlaku na místech, která jsou v kontaktu s pokožkou. Jedná se však o lehké a esteticky mnohdy jedinečné kousky. V dnešní době jsou plastové obruby stále preferovány. V důsledku tisku dokážeme zákazníkům přidat další jedinečnou možnost. Pokud jsou ochotni do svého zraku zainvestovat nebo pro ně, například z důvodu traumatu s viditelnými následky, nejsou klasické brýle dostačující. [29, 32, 33]

### 4.1.1 Acetát celulózy

Nejstarším a dosud nejpoužívanějším plastovým materiálem je acetát celulózy (CA). Byl objeven roku 1865 ve Francii. Vytváří se z celulózy, z bavlněného odpadu nebo dřeva, působením kyseliny octové a kyseliny sírové. [29, 34]

Brýlové obruby z acetátu celulózy vyrábíme od roku 1930. Využíváme k tomu více variant acetátu, mezi něž patří granulovaný nebo deskový acetát. Deskový acetát lze vytvořit vytlačováním neboli extrudováním nebo lisováním. Lisovaný deskový acetát je cenově nejdražší možnou variantou, kvůli energetické a časové náročnosti výroby. Lze takto vyrobit pestrobarevné brýlové obruby. Extrudovaný deskový acetát vyrábíme roztavení granulátu a následným protlačením taveniny přes trysku. Lze touto metodou vyrobit brýlové obruby čiré nebo různobarevné, při čemž vzor na materiálu je podélný v důsledku směru vytlačovaného materiálu z trysky. Nejlevnější variantou je výroba acetátových brýlí z granulátu. Roztavený granulát je vstříkován do ocelových forem. V důsledku toho je výroba rychlá a levná, což

se projeví na výsledné ceně. Brýlová obruba z granulovaného vstřikovaného acetátu obsahuje, někdy až 30 % změkčovadel, což má za následek vyšší vnitřní pnutí, v důsledku odpařování změkčovadel. Tato skutečnost časem vede k postupné deformaci nebo až prasknutí obruby. [29, 34]

Bez barviv je acetát průhledný. Sice je méně hořlavý, odolnější proti stárnutí materiálu a levnější než celuloid, má však také své nevýhody. V porovnání s celuloidem má horší mechanické vlastnosti, protože ve vlhkém prostředí lehce zvyšuje svůj objem přijímáním vody. Odpařená změkčovadla mohou vyvolat při kontaktu s pokožkou alergickou reakci. Při dlouhodobém kontaktu s potem se na povrchu, převážně koncovek a anatomického nosníku, vytváří bílý povlak. Podle zvolených modifikací a způsobu výroby může acetát celulózy spadat do všech typů tradiční výroby. SLA nebo FFF tiskárny v tuto chvíli nemohou těmto obrubám konkurovat. V rámci vyšší cenové kategorie lze využít SLS tiskárnu, jejíž limit z hlediska tvaru obruby je flexibilnější. [29, 34]

#### **4.1.2 Polyamid**

Grilamid, známý jako jedna z modifikací polyamidu (PA), je využíván zejména pro dětské obruby, které jsou barveny v hmotě. V 60. letech 20. století byla vytvořena nejznámější modifikace polyamidu zvaná Nylon. [29]

Nylon hojně využíváme pro výrobu levných obrub černé, bílé a tmavě červené barvy s vysokou odolností, pružností a pevností. Mechanické vlastnosti těchto obrub s věkem klesají jen minimálně. Dalšími vlastnostmi polyamidu jsou jeho lehkost, vysoká čírost, chemická odolnost, možnost dodatečného opracování a obtížná zápalnost. Díky elastickým očnícím lze vsazovat brýlové čočky bez nutnosti nahřátí. Neobsahuje změkčovadla, což z něj činí nealergenní materiál, který odolá světelným a povětrnostním vlivům. Jeho největší nevýhodou je povrchové barvení. Tuto nevýhodu 3D tisk eliminuje barvením materiálu ve hmotě, konkrétně v prášku. Z hlediska výroby a tvarových limitů převažuje tisk nad tradiční výrobou. Doposud se jedná o jediný materiál, pomíneme-li limity tradiční výroby z hlediska tvarů brýlových obrub s ohledem na jejich případnou cenu, jež je výhodnější vyrábět 3D tiskem. [29]

### 4.1.3 Optyl

Průhledná, termoelastická umělá hmota ze skupiny epoxydových pryskyřic zvaná jako optyl je materiál s tvarovou pamětí. Pokud jej nahřejeme nad 80 °C a následně upravíme, svůj tvar si ponechá. Po opětovném nahřátí se vrátí do původního stavu. V očních optikách byl dostupný od 70. a 80. let 20. století, v dnešní době je spíše vzácností. Je srovnatelný s fotopolymerními pryskyřicemi používanými při SLA tisku. [29, 35]

Optylové obruby se vyrábějí metodou vakuového lití do forem. Vytvrzená pryskyřice si zapamatuje svůj tvar, do kterého se po každém nahřátí nad 80 °C opět vrátí. Barvení obruby probíhá ponořením obruby do roztoku barviva, jež se dostane do materiálu a vytvoří tenkou barevnou vrstvu. Povrch obruby je lesklý díky ochrannému laku, podobně jako resiny. Narozdíl od nich má optyl tvarovou paměť. [29, 35]

Stranice neobsahují kovovou vložku. Místo toho je ve stranici, v hloubce 3 cm vložena stěžejka. Materiál je totiž dostatečně tvrdý, ale křehký a náchylný k prasknutí při nárazu, zvláště při nižších teplotách. Díky svým vlastnostem, stejně jako resiny, není v současnosti ideální k tvorbě brýlových obrub. Optyl má sice nízkou hmotnost, odolnost proti poškrábání, navíc krátkodobě snese vysoké teploty až do 350 °C, nicméně se jedná o vysoce alergenní materiál. [29, 35]

## 4.2 Obruby z kovových slitin

Brýlové obruby se vyrábějí z kovových slitin, nikoliv z čistého kovového materiálu. Slitina vzniká smícháním dvou nebo více prvků, z nichž alespoň jeden musí být kov. Nejzásadnější rozdělení je na obruby s obsahem niklu nebo bez něj. Nikl je součástí mnoha slitin díky svým skvělým mechanickým vlastnostem. Každopádně se jedná o vysoce alergenní materiál, kterému musí být zabráněn kontakt s pokožkou. Toho docílíme povrchovými úpravami v podobě galvanického pokovení, nanesení umělohmotného povlaku nebo u některých typů obrub metodou double, kdy je alergenní jádro materiálu slisováno mezi nealergenní materiál, který jej obalí a zabráni tak jeho kontaktu s pokožkou. Obecně platí, že obruby z kovových slitin jsou lehčí a tenčí než plastové, při čemž mezi nejlehčí patří obruby ze slitiny titanu nebo hořčíku. Brýlové obroučky z kovových slitin dokážeme v rámci DMLS vytisknout. Z důvodu vyšších výrobních nákladů se jedná o zakázkový tisk pro movitější klientelu. [29, 32, 33]

### 4.2.1 Hořčíkové slitiny

Hořčík (Mg), latinsky Magnesium, vyniká svou lehkostí. Je lehčí než titan nebo hliník, navíc se jedná o osmý nejhojnější prvek vyskytující se na Zemi. Získává se z oceánu, minerálů, jako je magnetit či dolomit. Většina slitin hořčíku se nevyužívá kvůli jejich snadné oxidaci. Ke vznícení hořčíku dojde při teplotě 250 °C. To vede ke vzniku velmi intenzivního bílého světla. Slitiny hořčíku a jiných prvků, např. hliníku, vytvářejí lehké, pevné, hypoalergenní obruby, odolné proti deformaci. Výsledné obruby mají více barevných variant. Jedná se především o sportovní obruby vyšší cenové kategorie. Dosud se vyrábí pouze tradiční metodou. [35, 36]

### 4.2.2 Titanové slitiny

Titan je vysoce pevný a lehký materiál, který se běžně používá ve všem, od krytů nábojů až po brýle. Vzhledem k tomu, že titan je na sedmém místě v hojnosti mezi průmyslovými prvky v zemské kůře, je snadno dostupný. Tento materiál nabral rychlost v brýlovém průmyslu jako lehká varianta, která se hodí k jedinečným designům a zbarvením. Titan je pevný jako ocel, lehký, hypoalergenní a odolný proti korozi. Jednou z nevýhod může být jeho vyšší cena. Cenu lze snížit příměsí niklu. V současné době jej k tisku brýlových obrub běžného tvaru nevyužíváme z důvodu vyšší výrobní ceny v porovnání s tradiční výrobou. [32, 34]

## 4.3 Ostatní materiály

Pod pojmem ostatní materiály se skrývají materiály, které patří do série kusové, občas malosériové výroby. Primárně se jedná o přírodní materiály, které mohou k tvorbě brýlových obrub sloužit samostatně nebo společně s jinými materiály v podobě kompozitu. Výroba těchto obrub probíhá stejně jako u plastových a kovových slitin.

### 4.3.1 Dřevo

Z přírodních materiálů je dřevo to nejrozšířenější a patří k nejstarším materiálům. Pro výrobu brýlových obrub se používají tvrdá dřeva stromů, jako jsou např. borovice, ořech, dub nebo bambus. Díky svým specifickým povrchovým vlastnostem jsou používána i tropická tvrdá dřeva jako jsou např. eben nebo růžové dřevo. Dále se pro výrobu používá i speciální vrstevnaté

překližky, která je vyrobena slisováním dých ušlechtilých dřev. Bez leštění můžeme metodou FFF tisku strukturu dřeva imitovat. Případně existují wood filamenty, které svou barvou dřevo imitují, jedná se ale o PLA. Tento fakt by mohl omezit spotřebu dřeva, pokud se zákazníci spokojí s atrapou dřeva. [29, 32, 37]

Vlastnosti dřeva záleží na jeho druhu, ale obecně je to materiál tvrdý, lehký a mechanicky odolný. Jeho nevýhodou je deformování v důsledku působení vlhkosti, uvádí se 10 až 15 %. Některé dřeva, např. dub a olše, mohou způsobit zabarvení kůže v místě dotyku s pokožkou, ale tomu bývá předcházeno povrchovou úpravou. Jelikož je dřevo materiál přírodní, neobsahuje ani žádné alergeny. S věkem dřevo může tmavnout. Překližka je více stabilní materiál, ale může se u ní vyskytnout alergická reakce na použítá lepidla v materiálu. Tyto problémy u filamentu nehrozí. [29, 32, 37]

Výroba se provádí tradiční metodou řezání z desek. Poté jsou obruby broušeny, leštěny a na závěr jsou většinou i povrchově upravovány lakem nebo olejem. Dřevo je za velmi specifických podmínek termoplastické, a to při použití velkého množství tepla a vlhké páry, kdy mohou být některé části obrub ohýbány. Toto lze provádět jen velmi opatrně, neboť hrozí velké riziko prasknutí materiálu. Přizpůsobování se však v našich podmínkách nedoporučuje. Proto bývají očníce obrub opatřeny rozebíratelným spojem, aby bylo možno vložit brýlové čočky do jejich drážky. Dalším řešením je přišroubování brýlových čoček po vyvrtání otvorů na okrajích obrub. Pro vsazování volíme raději plastové brýlové čočky a velikost jejich zabroušení závisí na klimatických podmínkách. Pokud se jedná o horké a suché klima, zabrušujeme čočky přesné velikosti. Pokud se jedná o chladné a velmi vlhké klima, zabrušujeme čočky trochu volnější, protože dochází k rozpínání materiálu. Do překližky můžeme vsazovat i čočky skleněné a jejich velikost zabrousíme přesně nebo o trochu volněji. Oproti tomu do brýlových obrub z filamentu se čočky vsazují jako do běžné plastové obruby. [29, 32, 37]

### 4.3.2 Konopí

V posledních letech je konopí hojně využíváno v mnoha odvětvích, jako je farmakologie, textilní a potravinářský průmysl apod. Ve skotském Edinburgu sídlí firma Hemp Eyewear Edinburgh, která se zaměřila přímo na výrobu brýlových obrub z konopí. [38, 39]

Při výrobě se postupuje v několika základních krocích. Z usušené rostliny se nejprve oddělují dlouhá vlákna, takže výsledek vypadá jako chomáč příze. Takto oddělená konopná



vlákna se slisují do pevné substance. Obruby se následně lisují podle tvarů do forem. K vyhlazení okrajů již vypracovaných obrub se používají ruční nástroje. Poté se leští v sudovém bubnu, je na ně nanesen ochranný nátěr, sestaví se a putují k zákazníkovi. Výroba obrub na míru trvá čtyři týdny. [38, 39]

Výsledné obruby mají přírodní vzhled a nabízejí se v několika základních barvách. Nejčastější jsou béžové, žluté či červené. Konopí je pevné a má antibakteriální vlastnosti. Na obruby lze gravírovat. Jedná se o důkaz, že tradiční výroba má stále co nabídnout a její limity, alespoň z hlediska materiálů, nebyly dodnes vyčerpány. [38, 39]



**Obrázek 4.3.2** Obruba z konopí model California Dreamin [Převzato z: 38]

### 4.3.3 Kávová sedlina

Jako ekologický materiál pro výrobu brýlových obrub se hledá ledacos. Maksym Havrylenko se rozhodl v ukrajinském Kyjevě vyrábět sluneční brýle z kávy, konkrétně z kávové sedliny, lidově lógru. Jedná se o kusovou výrobu, která v roce 2019 čítala celkem tři zaměstnance. S nápadem vyrábět brýlové obruby z kávové sedliny přišla Maksymova žena, která spolu s manželem zkoušela výrobu brýlových obrub z různých dřevin a bylin. Jedná se o další z důkazů inovativnosti tradiční výroby. V rámci 3D tisku nelze kombinovat předměty jako například peří, káva, rostliny apod. s běžně používaným materiálem. [40]

Zdrojem lógru jsou kavárny, které běžně kávovou sedlinu vyhazují. Kávová sedlina se propláchně, pročistí a smíchá s ekologickým lepidlem. Výsledný hmota se lije do forem a při vysoké teplotě vytvoří odlitek v podobě plátu. Z plátu materiálu se následně strojově vyřeže brýlový střed a stranice. Následuje čištění a kompletace. [40]

Obroučky jsou pružné a ekologické. V případě jejich zničení stačí vyndat brýlové čočky a obrubu lze zkompostovat, zahodit do přírody nebo v lepším případě zakopat na zahradě, případně použít jako hnojivo. [40]



**Obrázek 4.3.3** Obruba z kávové sedliny [Převzato z: 40]

## 5. Trendy

Kromě ceny jsme v rámci 3D tisku limitováni hlavně představivostí. Mnohé brýlové obruby jsou designem a tvarem v rámci tradiční výroby nevyrobitelné, případně by byly dražší než při vytištění na 3D tiskárně. Jedná se tedy o brýle na míru, mnohdy podle přání zákazníka, kde hlavním limitem je cena. Taktéž nelze do materiálu přidat předměty v podobě peří, kamínků, rostlin apod. [41,42]

Nespornou výhodou je individualita, která brýle přizpůsobí obličejí zákazníka, aby nemusel volit mezi designem a pohodlím. Individualita však stojí peníze, což u ne příliš levné metody SLS, konkrétněji MJF neboli multi jet fusion, 3D tisku brýlových obrub značně pocítíme. Individuální obrubu vyrobenou touto metodou můžeme sehnat od 4 500 Kč. Chceme-li jedinečný design, musíme se připravit na cenu okolo 20 000 Kč, záleží na náročnosti designu. [41, 42, 43]

Momentálně průkopníkem v oblasti 3D tisku brýlových obrub, který je konkurence schopný, je česká firma ONYX Vision. Jejich brýle si lze navrhnout klidně z pohodlí domova, přes webovou aplikaci. Následný tisk probíhá ve spolupráci s Ústavem pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace v Liberci. Dodací doba činí 3 týdny od vytvoření návrhu. Zhotovené brýle lze kromě běžného nošení využívat i na sport a k dostání jsou na kamenné pobočce optiky ONYX nebo si je můžeme nechat poslat poštou. Obdrženou brýlovou obrubu lze v případě nespokojenosti vrátit. Placení probíhá až při vyzvednutí zakázky. Na zhotovené brýlové obruby platí dvouletá záruka, v jejímž rámci je možné brýlové obruby bezplatně opravit. Ke spojení brýlového středu a straníc je použit kovový pant typu flex. [17, 43, 44]

Výhodou může být, že některé barvy a tvary nejsou konvenční výrobou vyrobitelné nebo stojí víc než jejich vytisknutá varianta. V případě poškození nebo ztráty brýlí má společnost ONYX Vision uschovaná data o obroučce, takže ji, případně její část, může znovu vyrobit. Provozovatel tvrdí, že tyto brýle vydrží i několik let. Díky své odolnosti, lehkosti a pružnosti mohou nylonové obruby konkurovat běžně dostupným plastovým obrubám. Navíc jsou barveny v materiálu, což jim přidává značnou výhodu oproti polyamidu, jež je v rámci tradiční výroby barven povrchově. Hlavně mohou zohlednit handicap zákazníka, např. deformaci tváře nebo jizvy. [17, 43, 44]

Nejpoužívanějším materiálem k 3D tisku brýlových obrub je používá polyamid 12, známý jako nylon. Kromě svých dobrých vlastností, jakou jsou odolnost a tvarovatelnost, nabízí i širokou škálu barevných variant a designů. Můžeme říci, že lidé preferující individuální

obruby, bez ohledu na cenu, si zajisté oblíbí i možnost 3D potisku brýlí, ať už jde o jméno nebo větu vytištěnou na stranici či jinou designovou zajímavost. [41, 43, 44]

Firma HP neboli Hewlett-Packard, stála za vytvořením SLS tiskárny HP MJF 4200, jež funguje na principu spékání částic plastového prášku. Tiskárna má tři moduly, kdy prvním je tiskárna sama o sobě. Druhou částí je post-procesová jednotka a poslední třetí část tvoří speciální vozík zvaný build unit, jež slouží k samotnému 3D tisku. Díky tomu lze využít dva vozíky současně. Jeden v tiskárně a druhý v post-procesové jednotce, což ve výsledku ušetří až polovinu celkového času. [17, 44]

Tisk probíhá tak, že na prohřátou tiskovou plochu build unit jsou nanášeny tenké vrstvy plastového prášku. Nad každou nanesenou vrstvou přejede tisková hlava, jež černou barvou označí místa spečení. Ostatní místa jsou, s využitím vody, tiskovou hlavou ochlazená. Následně proběhne za pomoci zapékací hlavy spečení materiálu. Postupně tisková hlava nanáší vrstvu po vrstvě a zapékací hlava je spéká dohromady, čímž vznikne daný výtisk. Exemplář je obalen nespečeným materiálem, ten slouží jakožto opora, tudíž není třeba předmět tisknout s využitím přídatných podpěr, jako v zbylých typech 3D tisku. Lze tisknout i složité útvary, se kterými by si ostatní tiskárny neporadily. Build unit je následně převezen do post-procesové jednotky, v níž dojde k ochlazení a odsátí nespečeného prášku. Doba chlazení odpovídá době tisku. Nespečený prášek můžeme v poměru 8:2, tedy 8 dílů nespečeného a 2 díly čerstvého, dosud nepoužitého prášku, smíchat. Tato směs slouží jako vstupní surovina pro další tisk. Proces míchání prášků můžeme provádět opakovaně. Výtisk lze dále opracovávat, záleží na přání odběratele. Je možné současně tisknout více typů brýlových obrub. Výsledná obruba se oproti obrubě ze stejného materiálu, vytištěné technologií FDM vyznačuje větší pružností a pevností. [17, 44]

3D tisk se již dostal do povědomí některých značek např. Ray Ban, Michael Kors, Oakley, Vogue, Chanel, Giorgio Armani, Burberry, BVLGARI, Dolce & Gabbana, Versace atd., jež spadají pod společnost EssilorLuxottica. Mezi výrobce sportovních brýlí využívající 3D tisk patří např. společnost Smith. Tzv. brýle na míru můžeme vyrobit tradiční metodou. Ta se však ve výsledku oproti 3D tisku prodraží, a navíc je časově náročnější, ale i tak si zachovává své kouzlo. [41, 45]

Společnost EssilorLuxottica již od roku 2011 využívá 3D tisk k výrobě brýlových obrub. V průběhu roku 2015 do svého repertoáru přidala i tisk z kovových materiálů a dále usiluje o rozšíření např. o dřevěné materiály apod. V současnosti se nejedná o takový trend, na jeho zdokonalování se pracuje, ale spíše je využíván jakožto rozšíření vybraných kolekcí obrub nebo

tisk ozdobných prvků viz [45]. Kov je v rámci tisku nákladnější, má však vyšší limity z hlediska post-procesových úprav. Primárně se jedná o náročnější rozpoznání od obrub z kovových slitin, vyrobených klasickou výrobou. [41, 45]

V současnosti existuje celá řada zahraničních značek, které tiskem stránek nebo celých obrub vylepšují své kolekce viz [46]. Například francouzská optika October71 využívá tisk z nylonu k tvorbě až o 30 % lehčích brýlí, než je v tradiční výrobě možné. Belgická společnost Hoet experimentuje v rámci designu brýlí. Výrobce Protos Eyewear dokonce s využitím umělé inteligence vyvinul software k tvorbě modelů obrub. Zaměřují se na lehké, odolnosti titanu podobné materiály, z nichž tvoří prémiové brýlové obruby. Všechny zmíněné společnosti spolupracují s firmou Sculpteo a jejich SLS tiskárnami s technologií MJF, vstupním materiálem je nylon. Dále můžeme jmenovat například švýcarskou společnost Götti nebo Oční studio Aleš Žejdl se značkou dánské výroby Blac, kombinující tištěné prvky s komponenty tradiční výroby. Opět se jedná o SLS MJF tištěný nylon. [27, 46, 47]

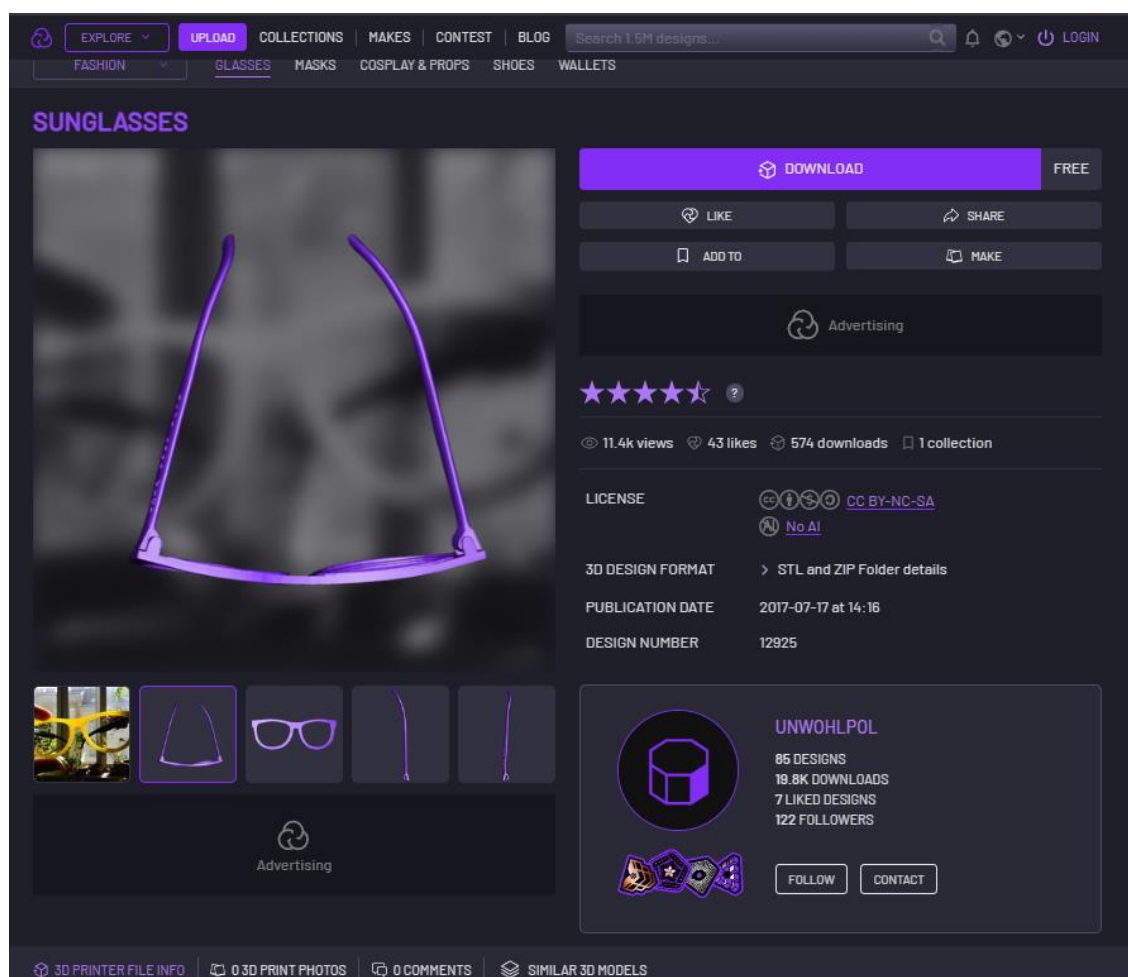
Tvorba modelu je časově nejnáročnější. Tento fakt zvyšuje cenu výsledných brýlí i případných náhradních dílů. V dnešní době začínají být dostupné speciální scannery, které nasnímají objekt a s pomocí propočtů nebo umělé inteligence jej převedou do modelu určeného k tisku. Tento proces tiskaři časově usnadní práci, čím sníží i výslednou cenu. Pořizovací náklady podobných zařízení nejsou nízké, ale ani nedosažitelné. Například scanner Revopoint MIRACO stojí 1 459 euro což s aktuálním kurzem 25 Kč za 1 euro odpovídá 36 473 Kč. S rozvojem technologií a umělé inteligence můžeme v budoucnu počítat s celou řadou nástrojů k ulehčení práce. Hlavní přínos by mohla tato technologie mít v oblasti výroby náhradních dílů pro starší modely brýlí. Bližší informace lze získat z: [48]

## 6. Experimentální část

Experimentální část dělíme na dotazníky týkající se využití 3D tisku v rámci jednotlivých provozoven oční optiky a na vytvoření brýlové obruby z materiálu PETG na FFF tiskárně, kde následně zhodnotíme práci s obrubou a materiálem. Jedná se o dva modely brýlových obrub, lišící se upevněním straníc k brýlovému středu, velikostí očnic a prohnutím brýlového středu. Celkem jsme vytvořili dva typy dotazníků. Dotazník z přílohy D sloužil pro optiky, jež 3D tisk ve své praxi momentálně nevyužívají, zatímco druhý dotazník, dostupný v příloze E, zodpověděly optiky s touto metodou pracující v době současné či minulé.

### 6.1 Prototyp brýlové obruby - (model první)

K získání modelu brýlové obruby jsme využili stránku: Cults [49] z níž nám skvěle posloužil model převzatý z: [50] viz obrázek 6.1. Důležité bylo zvolit formát, jež zvládne program od SolidWorks a PrusaSlicer zpracovat. V našem případě měl soubor formát (.stl). V případě individuálně vytvořeného modelu brýlové obruby musíme zohlednit následující parametry: vzdálenost středů zornic od kořene nosu u levého a pravého oka, šířku nosu a obličej, délku straníc před ohybem a délku ucha, případně deformace obličej. Profesionálnímu tiskaři zohlednění parametrů zabere i několik desítek hodin, záleží na náročnosti a požadavcích zákazníka. Proto jsme upřednostnili možnost předpřipraveného modelu.



Obrázek 6.1 První model brýlové obruby [Převzato z: 50]

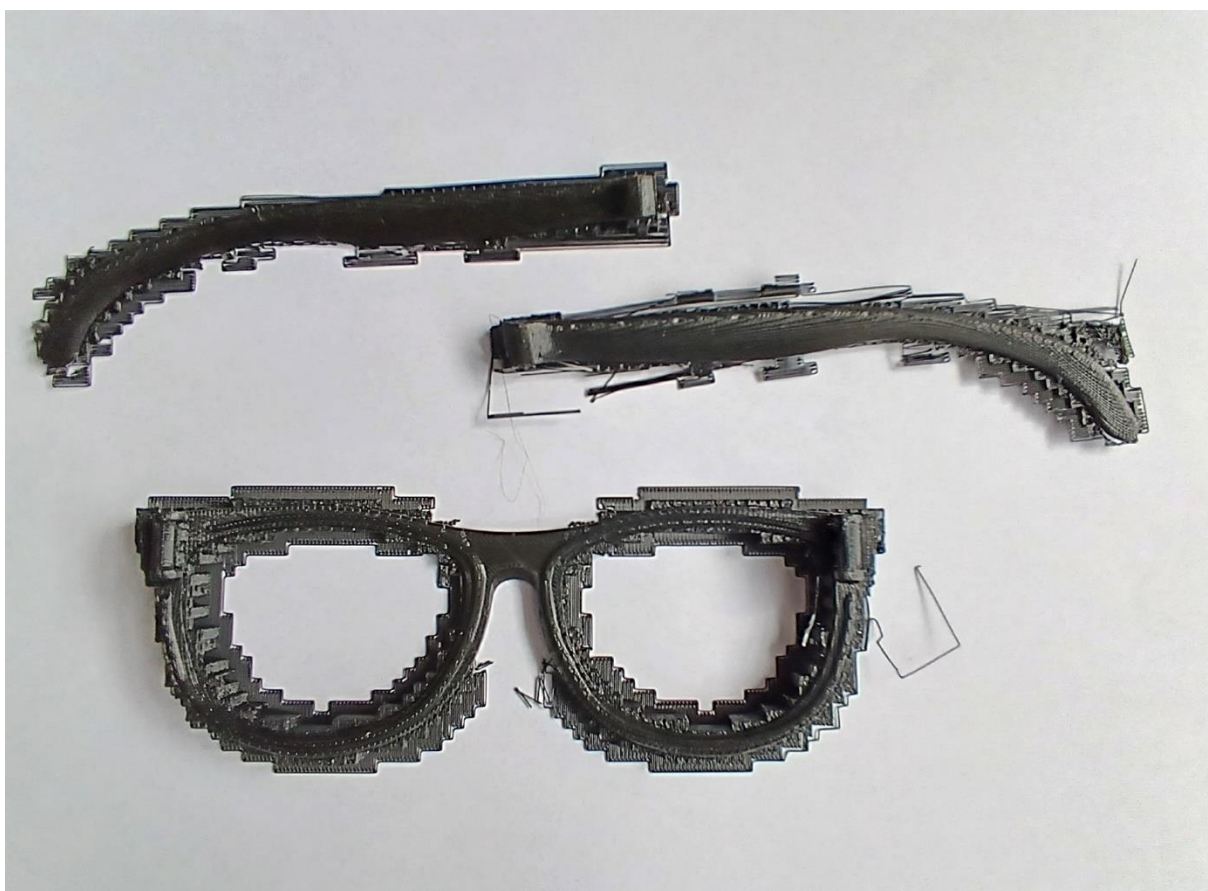
### 6.1.1 Tisk a post-processing

Pro tisk brýlové obruby jsme zvolili materiál PETG v černé barvě. Pro tento materiál jsme se rozhodli z důvodu jeho nízké ceny, snadné dostupnosti a bezproblémové práce. Z hlediska tisku se jedná o materiál ideální pro začínající i pokročilé tiskaře. Mohlo by se tedy jednat o první volbu v rámci vyzkoušení FFF technologie 3D tisku v praxi. Ke zhotovení brýlové obruby jsme využili FFF tiskárnu kartézského typu Original Prusa i3 MK3S, viz obrázek 2.1.1.

Samotný tisk celoočnicových brýlových středů v počtu 2 kusů zabral 4 hodiny 10 minut. K vytištění 2 kusů levých straníc byla zapotřebí 1 hodina 32 minut. Dvě pravé stranice trvalo vytisknout o 3 minuty déle, konkrétně 1 hodina 35 minut. Důvodem bylo 3D logo autora na stranicích. Průměr trysky činil 0,4 mm, zatímco zvolená tisková struna dosahovala průměru 1,75 mm. Nižším průměrem trysky bylo možné docílit detailnější kvality tisku. Jednotlivé vrstvy dosahovaly průměru 0,2 mm. Každou část brýlové obruby jsme tiskli v počtu dvou kusů z důvodu případného poškození během post-processingu a kompletace. Příloha B ukazuje bližší

informace z hlediska tisku a parametrů jednotlivých částí brýlové obruby. Tisk proběhl bez komplikací.

Následně bylo nutné v rámci post-processingu odstranit přebytečný materiál. Pro tento účel posloužil nůž s odlamovací čepelí. V rámci zaoblení ostrých hran jsme zvolili jemný pilník, bylo však nutné pilovat opatrně, abychom předešli nevratnému poškrábání brýlové obruby. Kompletní úpravy zabraly několik hodin, přibližně 10 až 12 hodin čistého času. Ukázkou brýlové obruby před a po post-processingu znázorňuje obrázky 6.1.1 (a), (b).



**Obrázek 6.1.4 (a)** Brýlová obruba před post-processingem





Obrázek 6.1.1 (b) Brýlová obruba po post-procesingu

### 6.1.2 Práce s brýlovou obrubou

Stranice jsou k brýlovému středu připevněny pomocí pohyblivých zacvakávacích spojů. Tyto spoje sice umožňují stranicím podobnou pohyblivost jako je tomu u běžně dostupných plastových brýlí, nejeví se však jako vhodná možnost spojení. Jednalo se také o nejporuchovější část celé obruby, protože při pokusu o zacvaknutí stranic k brýlovému středu docházelo k velkému namáhání materiálu, což vedlo k jeho prasknutí. V rámci opravy jsme využili aceton, ten ale nefungoval příliš dobře a stranice se při sebemenším pokusu o úpravu znovu, v místě spoje, zlomila. Nejideálnější volbou, co se nouzové opravy týče, se nakonec ukázalo univerzální vteřinové lepidlo. V běžné praxi je podobná oprava absolutně nepřipustná. Naštěstí jsme měli k dispozici jeden pár stranic navíc.

Poškozené díly posloužili k dalšímu testování. Během testování poškozených stranic jsme zkoušeli jejich odolnost při nahřátí v horkovzdušném fénu. Po nahřátí nedocházelo k tvorbě

bublinek v materiálu, ani k jeho smrštění. Naopak materiál šel lehce protáhnout a snadno formovat. Ultrazvuková čistička taktéž materiálu nijak neuškodila.

Do očnic brýlového středu jsme zabrousili plastové brýlové čočky o optické mohutnosti +1,0 dioptrie a průměru 65 mm. Tuto dioptrii jsme vybrali kvůli většímu prohnutí brýlového středu, jež jsme ve výsledku upravili kvůli možnosti usazení na hlavu. S využitím scanneru jsme nasníмали tvar očnic. Klasickým způsobem jsme provedli zábrus brýlových čoček na automatickém brusku. Čočky je možné do očnic vkládat za studena i po nahřátí. Brýlový střed i stranice je možné po nahřátí tvarovat.

### 6.1.3 Konkurence schopnost

Na základě těchto pokusů můžeme říci, že práce s brýlovou obrubou z PETG neboli polyethylen-tereftalát glykolu je srovnatelná s konvenčně dostupnými plastovými brýlovými obrubami. Z hlediska odolnosti jsme nezvolili nejlepší možné uchycení stranic k brýlovému středu, v důsledku čehož brýle působí nekvalitním dojmem.

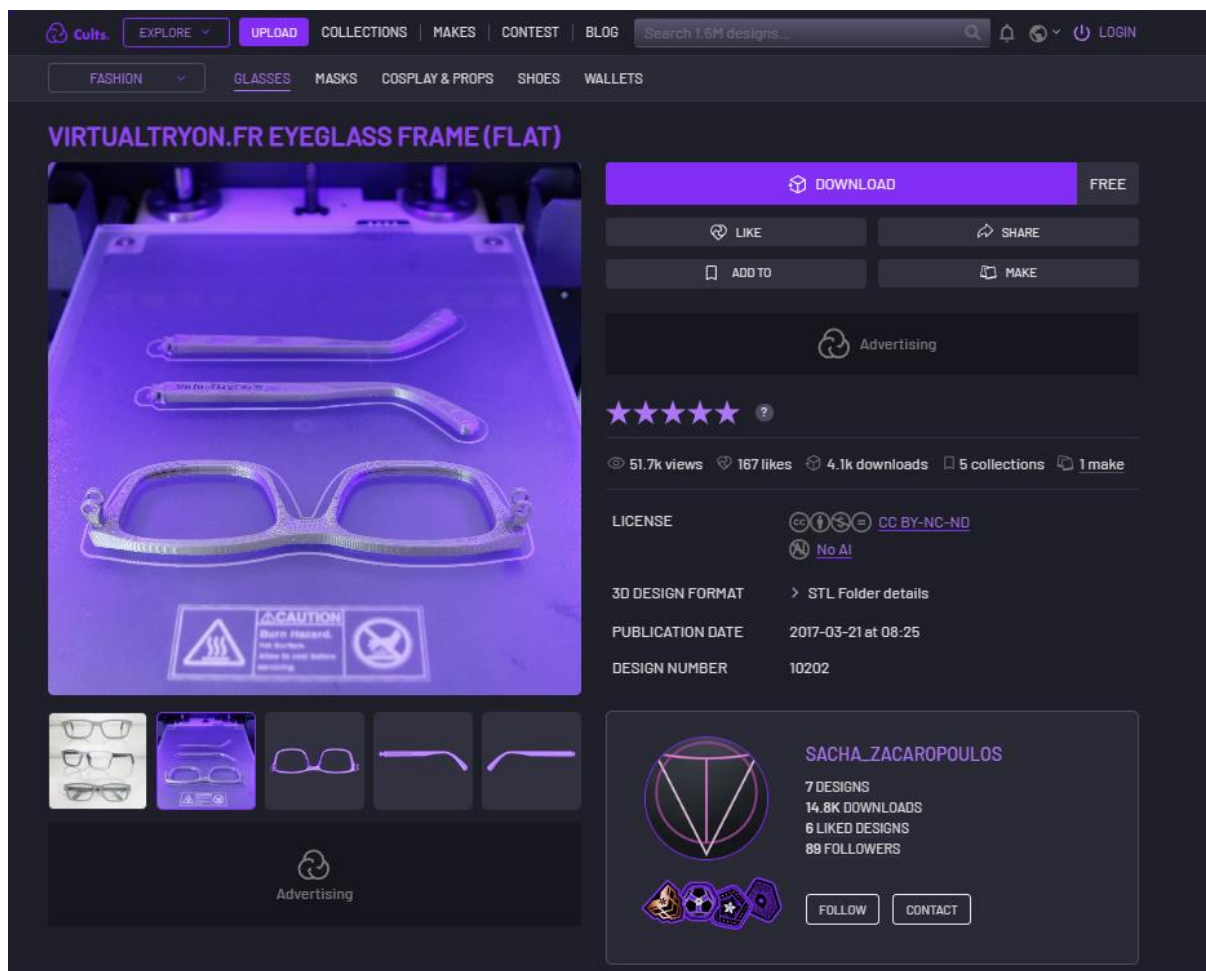
Jednoduchým výpočtem, když víme, že 1 kg (1000 g) filamentu PETG černé barvy stojí cca 700 Kč, tedy 0,7 Kč za 1 g, zjistíme cenu za brýlový střed a stranice. Ze znalosti množství materiálu využitého k výrobě brýlového středu, kdy na jeden brýlový střed je zapotřebí 16,2 g filamentu, což odpovídá 11,34 Kč. K výrobě levé stranice se využilo 6,37 g filamentu, zatímco pravá stranice spotřebovala 6,36 g filamentu. Cenově se jedná o 4,46 Kč za levou a 4,45 Kč za pravou stranici. Celkové množství filamentu potřebného k vytvoření brýlové obruby odpovídá 28,93 g. Náklady na materiál v součtu dosahují 20,25 Kč. Více informací je v příloze B. K této částce je nutné počítat s provozními náklady tiskárny pohybujícími se v nižších jednotkách korun, časem stráveným post-processingem a lidskou prací, odhadovanou v řádkách stovek korun. V praxi bychom nejspíš zvolili plat za vytvořené kusy než hodinovou mzdu. Ve výsledku by výrobní cena brýlové obruby mohla být okolo 100 až 200 Kč. Cena závisí na mnoha proměnných, takže se jedná spíše o přibližnou částku.

Můžeme říci, že výsledné brýlové obruby, bereme-li v potaz náklady na materiál i s jednoznačným navýšením ceny za veškeré další náklady, patří do nižší cenové kategorie. V této kategorii, za předpokladu využití odolnější alternativy spojení brýlového středu se stranicemi, byly konkurence schopné. Nesměly bychom zohledňovat individuální parametry, čímž by se výsledné brýle takřka nelišily od běžně dostupných nízkorozpočtových brýlových obrub, každopádně by se rapidně snížila časová náročnost tvorby modelu. Vytvoření modelu

podle naměřených parametrů může zkušenému tiskaři zabrat i několik desítek hodin. Musíme tedy konstatovat, že se převážně jedná o brýlové obruby pro nadšence do 3D tisku, nikoliv pro běžného spotřebitele. V rámci dotazníku jsme zjistili zájem nižších jednotek zákazníků, jež si pro radost vyrobili brýle touto metodou a běžně je využívají jakožto brýle na čtení. Pro běžné užívání preferují jiné alternativy.

## 6.2 Prototyp brýlové obruby – (model druhý)

K získání modelu brýlové obruby jsme opět využili stránku: Cults [49], z níž nám skvěle posloužil model převzatý z [51], viz obrázek 6.2. Formát souboru musel být znovu kompatibilní s programem SolidWorks a PrusaSlicer. Jedná se tedy o formát (.stl). Nejedná se o individuální model brýlové obruby zohledňující: vzdálenost středů zornic od kořene nosu u levého a pravého oka, šířku nosu, šířku obličeje, délku straníc před ohybem a délku ucha, případně deformace obličeje. V praxi takto přijdeme o hlavní výhodu 3D tisku brýlových obrub, kterou je individualita, ušetříme však desítky hodin práce v rámci tvorby modelu.



Obrázek 6.2 Druhý model brýlové obruby [Převzato z: 51]

### 6.2.1 Tisk a post-processing

Zde jsme jako tiskový materiál zvolili PETG černé barvy. Pro tento materiál jsme se rozhodli z důvodu jeho nízké ceny, snadné dostupnosti a bezproblémové práce. Jedná se o materiál ideální pro začínající i pokročilé tiskaře. V praxi by se mohlo jednat o první volbu v rámci testování FFF technologie 3D tisku. FFF tiskárna kartézského typu Original Prusa i3 MK3S posloužila k tvorbě i tohoto modelu.

Tisk celoočnicových brýlových středů v počtu 2 kusů zabral 2 hodiny 24 minut. K vytištění 2 kusů levých stranic bylo zapotřebí 53 minut. Čas tisku dvou pravých stranic činil 50 minut. Důvodem bylo opět logo na stranici. Průměr trysky činil 0,4 mm, vrstvy dosahovaly průměru 0,2 mm. Zvolili jsme filament o průměru 1,75 mm. Každou část brýlové obruby jsme tiskli v počtu dvou kusů z důvodu případného poškození během post-processingu a kompletace. Příloha C udává bližší informace k tisku a parametrům jednotlivých částí brýlové obruby. Tisk nejevil problémy.

Post-processing trvajícím v řádu hodin, přibližně 10 hodin, připravil brýlový střed a stranice o přebytečné části. Pro tento účel posloužil nůž s odlamovací čepelí a jemný pilník.

### 6.2.2 Práce s brýlovou obrubou

Stranice jsou k brýlovému středu připevněny pomocí pohyblivých zacvakávacích spojů, podobně jako u předchozího modelu. Model jedna se jeví z hlediska spojení lépe než model dvě. I tak je docíleno pohyblivých stranic. V rámci tisku brýlových obrub patří upevnění stranic k brýlovému středu k nejproblematictější částem.

Po nahřátí nedocházelo k tvorbě bublinek v materiálu, ani k jeho smrštění. Naopak materiál šel lehce protáhnout a snadno formovat. Ultrazvuková čistička taktéž materiálu nijak neuškodila.

Do očnic brýlového středu jsme zabrousili plastové brýlové čočky o optické mohutnosti plan neboli 0 dioptrií a cylindrické dioptrie v hodnotě -0,5. Tyto dioptrie jsme upřednostnili z důvodu nulového prohnutí brýlového středu. Průměr čočky dosahoval 70 mm. Jelikož se nejedná o brýle pro konkrétního zákazníka, nastavení osy cylindru jsme nezohledňovali. S využitím scanneru jsme nasníмали tvar očnic. Klasickým způsobem jsme provedli zábrus brýlových čoček na automatickém brusku. Čočky je možné do očnic vkládat za studena i po nahřátí. Brýlový střed i stranice je možné po nahřátí tvarovat.

### 6.2.3 Konkurence schopnost

Na základě těchto pokusů můžeme říci, že práce s brýlovou obrubou z PETG neboli polyethylen-tereftalát glykolu je srovnatelná s konvenčně dostupnými brýlovými obrubami z plastu. Z hlediska odolnosti jsme nezvolili nejlepší možné uchycení stranice k brýlovému středu, v důsledku čehož brýle působí nekvalitním dojmem.

Jednoduchým výpočtem, když víme, že 1 kg (1000 g) filamentu PETG černé barvy stojí cca 700 Kč, tedy 0,7 Kč za 1 g, zjistíme cenu za brýlový střed a stranice. Ze znalosti množství materiálu využitého k výrobě brýlového středu, kdy na jeden brýlový střed je zapotřebí 9,46 g filamentu, což odpovídá 6,96 Kč. K výrobě levé stranice se využilo 5,11 g filamentu, v hodnotě 3,57 Kč. Pravá stranice spotřebovala o 0,35 g materiálu víc, tudíž se využilo 5,14 g filamentu v hodnotě 3,60 Kč. Celkové množství filamentu potřebného k vytvoření druhého modelu brýlové obruby odpovídá 19,71 g. Náklady na materiál v součtu dosahují 13,80 Kč. Jedná se tedy o ještě levnější variantu, než byl předchozí model. Bližší informace poskytne příloha C. K této částce je nutné počítat s provozními náklady tiskárny v mezích jednotek korun, časem stráveným post-processingem a lidskou prací, jež výslednou cenu ovlivní nejvíce. Všechny tyto faktory se podílejí na výsledných výrobních nákladech. Odhadované výrobní náklady mohou činit cca 100 až 200 Kč.

Můžeme říci, že výsledné brýlové obruby, bereme-li v potaz náklady na materiál i s jednoznačným navýšením ceny za veškeré další náklady, patří též do nižší cenové kategorie. V této kategorii, za předpokladu využití odolnější alternativy spojení brýlového středu se stranicemi, bychom je mohli považovat za konkurence schopné. Nicméně nesmíme zohledňovat individuální parametry, čímž by se výsledné brýle takřka nelišily od běžně dostupných nízkorozpočtových brýlových obrub, každopádně by se rapidně snížila časová náročnost tvorby modelu. Vytvoření modelu podle naměřených parametrů může zkušenému tiskaři zabrat i několik desítek hodin. Musíme tedy konstatovat, že se převážně jedná o brýlové obruby pro nadšence do 3D tisku, nikoliv pro běžného spotřebitele. V rámci dotazníku jsme zjistili zájem nižších jednotek zákazníků, jež si pro radost vyrobili brýle touto metodou a běžně je využívají jakožto brýle na čtení. Pro běžné užívání preferují jiné alternativy.

## 6.3 Dotazník první

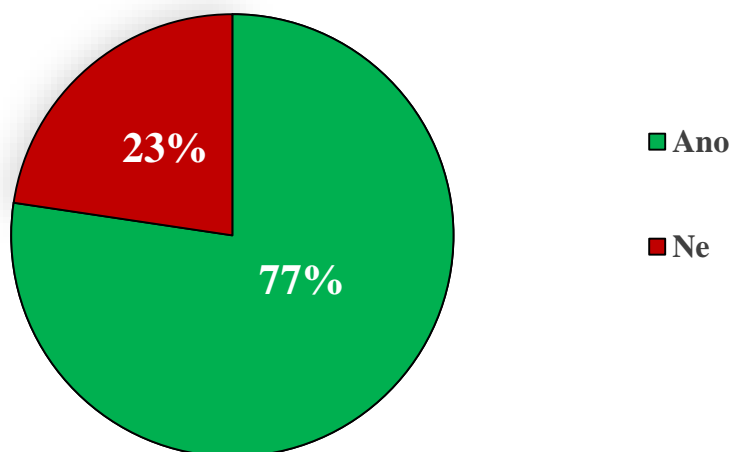
Dotazník, který je k nahlédnutí v Příloze D jsme rozeslali do optik po celé České republice. Odpověď nám odeslalo 53 z nich. V rámci dotazníku jsme jednotlivým optikám položili celkem

sedm otázek včetně prostoru pro případné komentáře, který využila méně než polovina dotazovaných. Tři otázky byly na bázi odpovědí Ano/Ne, dvě se zabíraly výběrem z možností nebo vlastní formou odpovědi. Zbylé dvě otázky proběhly formou textové odpovědi. Součástí dotazníku je taktéž informační leták popisující FFF metodu 3D tisku a cenovou relaci spolu s metodou SLS, přednostmi brýlových obrub z tiskárny apod., s odkazem na web pojednávající o tisku brýlových obrub metodou SLS Fusion Jet.

### 6.3.1 Povědomí provozovatelů

Jak ukazuje graf na obrázku 6.2.1, většina provozoven se s možností 3D tisku brýlových obrub setkala. Konkrétně se s touto metodou již setkala 41 z nich, zbylých 12 o této možnosti dosud nevědělo.

#### Setkali jste se s možností 3D tisku brýlí?



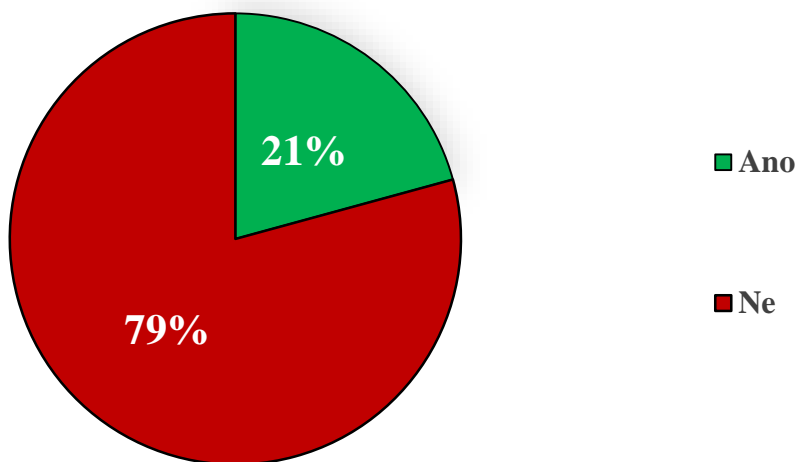
Obrázek 6.2.1 Graf všeobecného povědomí o 3D tisku brýlových obrub

### 6.3.2 Povědomí spotřebitelů

Z grafu na obrázku 6.2.2 můžeme vyčíst, že zájem veřejnosti o tuto technologii není příliš vysoký. Jednalo se o iniciativu zákazníků, kteří sháněli brýle z 3D tiskárny. Celkem jen v 11

provozovnách lidé projevili zájem o brýle z 3D tiskárny. Ve zbylých 42 případech se spokojili s běžně dostupnými brýlovými obrubami.

### Zaznamenali jste zájem veřejnosti o tuto technologii?

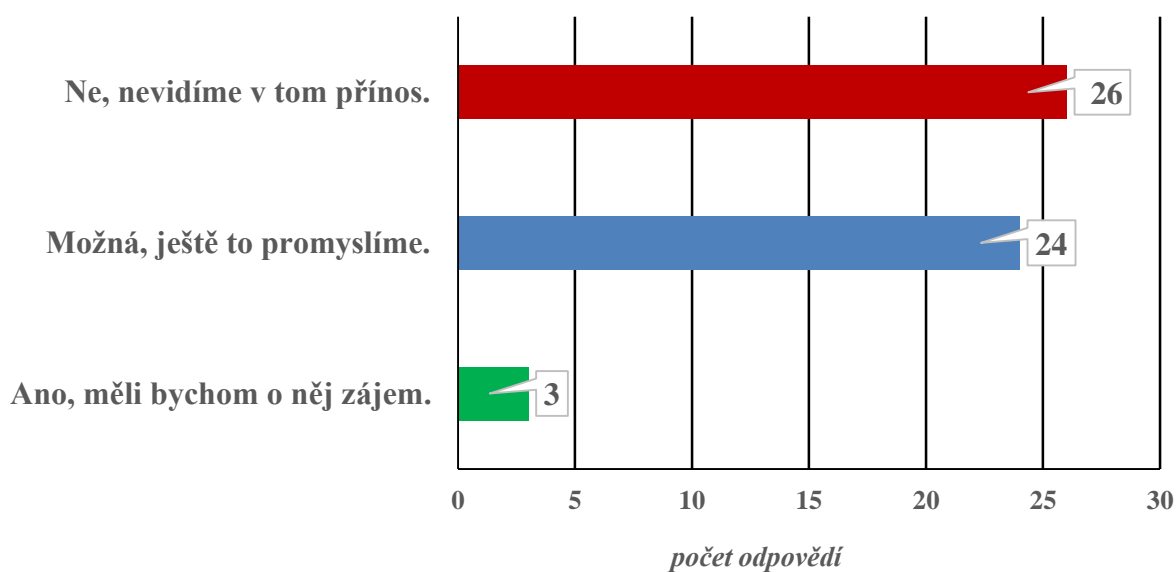


Obrázek 6.2.2 Graf zájmu veřejnosti o 3D tisk brýlových obrub

### 6.3.3 Předběžný zájem

Zájem o využití 3D tisku v praxi je viditelný z grafu na obrázku 6.2.3. Většina optik o 3D tisk nejeví zájem, nebo raději zvolili neutrální odpověď.

### Měli byste zájem o 3D tisku brýlových obrub?

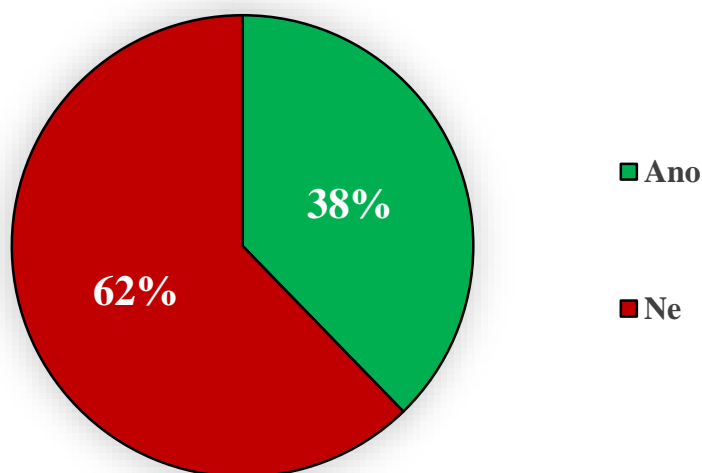


Obrázek 6.2.3 Graf využití 3D tisku v praxi

### 6.3.4 Provozu schopnost

I přes vyšší zastoupení optik, které tato technologie zaujala nebo by si ji chtěli vyzkoušet, je její využití z praktického hlediska minimální, viz graf na obrázku 6.2.4. Tento graf ukazuje, že pro 33 dotazovaných optik je 3D tisk na provozovnách neproveditelný, zbylých 20 by se o to přinejmenším pokusilo.

#### Myslíte, že by byl 3D tisk na Vaší provozovně možný?



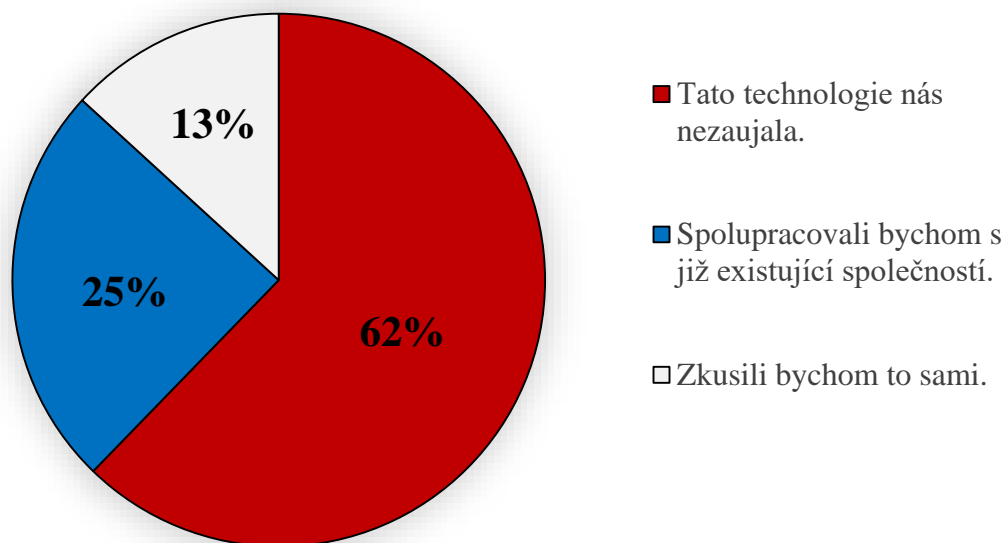
Obrázek 6.2.4 Graf proveditelnosti 3D tisku na provozovnách

### 6.3.5 Preference optik

Obrázek 6.2.5 vykresluje graf poukazující na preference optik z hlediska využití spolupráce s již existujícím dodavatelem nebo upřednostněním vlastní výroby. Jelikož 33 dotazovaných poboček nemá zájem, zbývá 20 poboček, které by chtěly zkusit brýlové obruby z 3D tisku. Z těchto 20 poboček by 7 preferovalo vlastní výrobu a zbylých 13 by naopak využilo spolupráce s již zavedeným výrobcem.



## Jakou možnost výroby byste preferovali?



Obrázek 6.2.5 Graf preference možné výroby

### 6.3.6 Dodatečné informace

V rámci této podkapitoly shrnujeme výsledky získané z dodatečných odpovědí a prostoru pro komentáře. Mezi otevřené otázky řadíme:

#### 1. Jaký přínos byste od 3D tisku očekávali?

Tuto otázku zodpovědělo 53 dotazovaných. Z odpovědí je patrné, že někteří od 3D tisku neočekávají přínos žádný nebo v současné době zanedbatelný. Konkrétně se jedná o 8 dotazovaných. V počtu 12 dotazovaných zde byla zastoupena tvorba náhradních dílů pro současné nebo již vyřazené brýlové obruby spojená s rozšířením kompetentní pomoci zákazníkům s touto potřebou. Nejčastější odpovědí v počtu 22 dotazovaných byla možnost vytvoření individuálních brýlí a s tím spojené rozšíření sortimentu. Výhodu z hlediska ceny brýlových obrub očekávají 3 dotazovaní. Naopak příliv solventnější klientely zvolil 1 dotazovaný. Odlišení od konkurence a inovativní design si od této technologie slibuje 6 dotazovaných. Zrychlení výroby od 3D tisku očekává 1 dotazovaný.

## **2. Plánujete v budoucnu nějaké inovace z hlediska brýlových obrub?**

Z 53 účastníků celkem 20 odpovědělo jednoznačně NE, zatímco jednoznačné ANO zvolilo 21 účastníků. Zbýlých 12 účastníků se zaměřuje primárně na rozšíření sortimentu, inovace v rámci módy a přání zákazníků a chtějí tzv. jít s dobou.

## **3. Prostor pro případné komentáře**

Tuto dobrovolnou otázku zodpovědělo 16 provozoven. Některé se o tuto cestu pokoušely, ale neúspěšně. Jiní projevíly obavu o ztrátu zisku s ohledem, že pokud si člověk dokáže vytisknout brýlovou obrubu sám doma, stejně jako na provozovně, přijdou nejen oni, ale také výrobci brýlí a designéři o znatelnou část zisku. Můžeme s jistotou říci, že plnohodnotnou brýlovou obrubu si doma vyrobit nelze, pokud nevlastníte prostory a nemáte dostatečný kapitál na pořízení SLS tiskárny. Stále však musíme vzít v potaz, že tisk brýlových čoček je na daleko horší úrovni než tisk brýlových obrub. Taktéž záleží na lokalitě provozovny, pro mnohé by 3D tisk představoval spíše nevratnou investici. Zároveň ideologie firmy ONYX Vision se mnohým nezamlouvá už jen z důvodu, že zákazníkovi vyrobí brýle a on je platí až při převzetí, a to jen za předpokladu, že je s nimi spokojený. Tento způsob prý postrádá možnost zálohy za zhotovení zakázky včetně vysoké šance na hromadění vrácených brýlových obrub, které jsou uzpůsobeny na konkrétní osobu. Tyto individuální kusy se tedy budou špatně prodávat někomu jinému a jejich stornováním dojde ke ztrátám, jež jsou pro mnohé provozovny likvidační. Dalším faktorem je nerozhodnost a s odpuštěním také neznalost některých zákazníků, což vede k pochybám, zda si je běžný zákazník schopen vytvořit plnohodnotnou brýlovou obrubu. Tento problém se řeší konzultací s tiskařem, který ví, co je v praxi použitelné, nemůžeme však zaručit, že tento systém neselže v případě tvrdohlavějších zákazníků. Mnoho lidí má představu, že do takové investice jim nikdo nemá právo mluvit. Tento vzorec samozřejmě neseďí na každého. Můžeme říci, že se jedná o dobrou myšlenku, jen potřebuje ještě čas, aby se vše doladilo a lidé i optiky si zvykly na novou možnost výroby brýlí. Zajímavým poznatkem jedné z optik je, že někteří lidé preferují brýlové obruby z tradiční výroby, protože individuální výroba například zalitím peří, kamínků, rostlin apod. má zkrátka svoje kouzlo, které roztavený kus plastu nebo spečený prášek nepřekoná. Zajisté bychom si měli zachovat úctu k řemeslu, 3D tisk nemá tradiční výrobu nahradit, nýbrž rozšířit její možnosti. Chápeme, že nemusí každý souhlasit s možností opravování starých brýlí, z hlediska zisku je to nelogický krok, pro některé může být stará polorozpadlá obruba, například po někom

blízkém doslova pokladem. Na základě předchozích vět můžeme říci, že vše záleží na preferencích a finančních možnostech zákazníků a provozovatelů optik.

## 6.4 Dotazník druhý

Zatímco první dotazník se soustředil na všechny optiky v České republice, tento, k nahlédnutí v příloze E, oslovil jen ty, které s 3D tiskem brýlových obrub mají zkušenosti. Zvolili jsme dotazovanou optiku, jakožto hlavního zástupce FDM metody 3D tisku a společnost ONYX Vision, jakožto hlavního zástupce SLS multi fusion jet metody.

### A) První probereme metodu FDM, jež jsme sami zvolili k tisku brýlových obrub.

1. Jakou technologii 3D tisku používáte, jaké jsou její výhody a nevýhody oproti tradičním metodám výroby, například z hlediska tloušťky brýlové obruby?

**Na základě odpovědi víme, že:** „K tisku brýlových obrub jsme využívali FDM tiskárny Bambulab X1C a Průšu MK4 což jsou klasické filamentové tiskárny. Výhodou FDM je jeho škála barev a materiálů, u Bambulabky rychlost, případně možnost dosažení vysokých detailů při použití 0,2 mm trysky a správného nastavení ve sliceru (Orca, Bambu Studio, Prusa Slicer). Je třeba dbát na fakt, že při tisku například z ABS je nutné mít zavřenou tiskárnu kvůli chemikáliím. Každá metoda tisku má něco, ale SLA tiskárny mají výhodu detailu, kvůli křehkosti resinu vidím jeho využití výhradně v rámci tvorby figurek a modelů, nikoliv v optice.“

2. Jaké materiály využíváte, v čem se liší od klasicky používaných materiálů?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Každý materiál má své specifické vlastnosti, pochybuji, že Vám je budou optici vypisovat, raději si najdete nějakou tabulku.“

**Dodatek autora:** „Děkujeme, přesně tak jsme učinili, tabulka porovnávající materiály využívané v rámci FDM metody je v příloze A.“

3. Je 3D tisk brýlových obrub nebo čoček časově a finančně náročný v porovnání s tradičními metodami? Dá se tisknout i jiný typ brýlí než celoočnicové? Jaké jsou výrobní náklady?

**Na základě odpovědi víme, že:** „No řekla bych že nikdo nemá v dnešní době čas tisknout pro zákazníka daný typ brýle a už vůbec ne čočky. Zamyslel se někdo u tohoto dotazu nad post-procesem? Samozřejmě můžeme tisknout poloočnicové brýlové obruby, brýlovou čočku upevním silonem, jako u běžných obrub. Jinak výrobní náklady na jednu obrubu bych ze základního materiálu, třeba PETG, který stojí cca 700,- Kč 1 kg, odhadla na max 20-50 korun. Je to sice směšná částka ale také odpovídá bohužel kvalitě.“

**Dodatek autora:** „Souhlasíme, čas případného post-procesingu není i vzhledem ke kvalitě brýlové obruby v běžném provozu časově realizovatelný.“

4. Jakým způsobem byste oslovili potencionální zákazníky, kteří by zvažovali koupi vytisknutých brýlí?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Bohužel v běžném prodeji neoslovila. Neprodám takový produkt, když vím, že existuje něco mnohem kvalitnějšího. Bylo pár optik, co se snažilo tisknout brýle, zkrachovali.... Rozumím, že by člověk chtěl levný produkt prodávat draze, musí být velká část post-procesu a beztak se nepřiblížím kvalitou běžně prodané obrubě. Jediná oblast, kde bych viděla přínos jsou lidé, kteří prodělali nějaké fyzické trauma, deformace apod. Takže dostat se do povědomí spíš plastický chirurgů, nemocnic a oftalmologů, kde mohu oslovit potencionální klientelu lépe.“

5. Vyžadují obruby nějakou speciální péči ať už při vsazování čoček, čištění, opravách nebo běžném nošení?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Každým dalším dotazem začínám mít pocit, že jste brýle nikdy nedržel v ruce :) Omlouvám se za drzost...ale přeci záleží zkrátka z čeho je to dělané. A bavíme se o acetátu nebo o strunách nebo o resinu? Titan neohnete... acetát nesmíte přehřát. Většina strun je citlivá na teploty a deformují se. Resin jednoduše praskne...“

**Dodatek autora:** „Omlouváme se za horší formulaci otázky, kromě praktické části, kde jsme vyráběli brýlovou obrubu FDM metodou tisku jsme v rámci střední školy zkoušeli vyrobit obrubu tradiční metodou a v obou případech jsme zaznamenali podobné vlastnosti z hlediska čištění a úprav.“

6. Jaké jsou reakce zákazníků z hlediska poptávky a spokojenosti?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Nikdy po nás nikdo nechtěl tištěné brýle, vyžadovalo by to možná vyložení jednoho člověka, který by nedělal nic jiného. Na to zkrátka není čas. Pokud jde o běžné obruby, máme perfektní feedback a lidi odcházejí velmi spokojeni.“

7. Jakou procentuální část vašich prodejů činí brýle z 3D tiskárny oproti brýlím vyrobených tradičními metodami? Jaká je cenová relace takto tisknutých obrub?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Žádnou, tedy 0 %.“

8. Využíváte 3D tisk k výrobě individuálních brýlí pro klasickou korekci, sluneční brýle, speciální brýle pro osoby s deformací nebo jiným poškozením obličeje, nebo jako extravagantní brýle pro speciální události?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Jak jsem výše zmínila, takové brýle bych použila spíš pro specifické účely, nebo jak píšete na extravagantní/speciální události. Určitě ne v běžném prodeji.“

9. Zvažujete nějaké inovace jako například využití umělé inteligence nebo extravagantní design brýlí? Na co se u vás mohou zákazníci v budoucnu těšit?

**Na základě odpovědi víme, že:** „Naším hlavním cílem je perfektní měření zraku. Máme biometrické měření, více než 10 tisíc bodů na oku vložené do brýlové čočky, což je jako oblek šitý na míru. Design brýlí necháváme na značkách a je jich tolik, že se člověk nemusí bát o nějaký posun či progres. Máme ale názor, že barvy a extravagance bude v budoucnu na vyšší úrovni.“

## **B) Druhou metodou je SLS MJF**

1. Jakou technologii 3D tisku používáte, jaké jsou její výhody a nevýhody oproti tradičním metodám výroby, například z hlediska tloušťky brýlové obruby?

**Odpověď:** „Využíváme tiskárnu HP MJF 4200 s technologií Fusion Jet, jedná se o SLS tiskárnu využívající práškový materiál. Můžeme vyrábět několik obrub současně. Brýlové obruby dodáme k Vám domů nebo do partnerské optiky ONYX cca do 3 týdnů.“

2. Jaké materiály využíváte, v čem se liší od klasicky používaných materiálů?

**Odpověď:** „Naše obruby vyrábíme z 3D tištěného nylonu, jedná se o ideální materiál pro brýle. Jde o velmi odolný, lehký a zároveň pružný materiál. Vydrží tedy více než běžné acetátové obruby.“

3. Je 3D tisk brýlových obrub nebo čoček časově a finančně náročný v porovnání s tradičními metodami? Dá se tisknout i jiný typ brýlí než celoočnicové? Jaké jsou výrobní náklady?

**Odpověď:** „Zabýváme se tiskem brýlových obrub nikoliv čoček. ONYXy si můžete koupit online i se skly od firmy Rodenstock. Na našich spolupracujících optikách mají své vlastní dodavatele. Tisk je ovlivněn přáním zákazníka, primárně tiskneme celoočnicové obruby, z nylonu. Cena takého obruby je 6 500 Kč, při nákupu online nabízíme zaváděcí cenu 4 500 Kč.“

4. Jakým způsobem byste oslovili potenciální zákazníky, kteří by zvažovali koupi vytisknutých brýlí?

**Odpověď:** „ONYXy jsou brýle, které Vás respektují. Jedná se o individuální brýle, které pro Vás vytvoříme podle vašich představ.“

5. Vyžadují obruby nějakou speciální péči ať už při vsazování čoček, čištění, opravách nebo běžném nošení?

**Odpověď:** „Není potřeba speciální péče, s ONYXy můžete zacházet úplně stejně jako s jinými brýlemi.“

6. Jaké jsou reakce zákazníků z hlediska poptávky a spokojenosti?

**Odpověď:** „Reakce zákazníků jsou příznivé. Zakládáme si na 100 % spokojenosti.“

7. Jakou procentuální část vašich prodejů činí brýle z 3D tiskárny oproti brýlím vyrobených tradičními metodami? Jaká je cenová relace takto tisknutých obrub?

**Odpověď:** „Naše společnost se zaměřuje pouze na obruby z 3D tiskárny. Cena takové obruby je 6 500 Kč, při nákupu online nabízíme zaváděcí slevu 2000 Kč.“

8. Využíváte 3D tisk k výrobě individuálních brýlí pro klasickou korekci, sluneční brýle, speciální brýle pro osoby s deformací nebo jiným poškozením obličeje, nebo jako extravagantní brýle pro speciální události?

**Odpověď:** „ONYXy jsou určeny pro každou příležitost. Záleží jen na Vás, jakým způsobem je využijete.“

9. Zvažujete nějaké inovace jako například využití umělé inteligence nebo extravagantní design brýlí? Na co se u vás mohou zákazníci v budoucnu těšit?

**Odpověď:** „Inovace z hlediska designu obrub si u nás určuje sám zákazník.“

**Dodatek autora:** Zatím společnost disponuje vybranými modely, viz obrázek 6.4, které upravují dle parametrů zákazníka, nicméně jsou schopni vytvořit zcela nový model, dle přání spotřebitele. Vše záleží na movitosti klienta.

## Naše obruby



**ARLON Střední**

4 500,00 Kč



**ARLON Tenký**

4 500,00 Kč



**KALBE**

4 500,00 Kč



**VEJLE Střední**



**VEJLE Tenký**



**TORUN**



**AZOIA**

4 500,00 Kč



**MAMER**

4 500,00 Kč



**KASEL Střední**

4 500,00 Kč



**KASEL Tenký**

4 500,00 Kč



**TREMP**

4 500,00 Kč



**KLANC**

4 500,00 Kč



**NERAC**

4 500,00 Kč



**PIERA Střední**

4 500,00 Kč



**PIERA Tenké**

4 500,00 Kč

**Obrázek 6.4** Sortiment připravených typů tištěných obrub společnosti ONYX Vision [Převzato z: 43]



## 7. Diskuse

Tato kapitola je rozdělena na dvě podkapitoly. První podkapitola popisuje práci s brýlovou obrubou zhotovenou na FFF neboli fused filament fabrication 3D tiskárně kartézského typu Original Prusa i3 MK3S. K výrobě jsme použili filament černé barvy z materiálu PETG neboli polyethylen-tereftalát glykol. Druhá podkapitola se zaměřuje na průzkum provozu schopnosti a využitelnosti 3D tisku v rámci provozoven optických v České republice.

### 7.1 Práce s 3D vytištěnou obrubou

Snažili jsme se vytvořit dva modely brýlových obrub, abychom si ověřili práci s nimi a konkurence schopnost. PETG patří mezi jednodušší materiály z hlediska náročnosti tisku i tak s ním může mít nezkušený tiskař problém. Jelikož jsme nezvolili vhodný způsob upevnění straníc k brýlovému středu, potýkali jsme se s častým prasknutím straníc v místě spoje. Z tohoto důvodu jsme měli zvolit upevnění za pomoci pantu typu flex, které by nám ušetřilo čas a nervy. Naštěstí jsme počáteční nezkušenost očekávali, tudíž jsme měli vždy záložní kus brýlové obruby. U prvního modelu jsme se snažili zahltit logo na stranici, což vinou neopatrného zacházení vedlo k poškrábání stranice. Chtěli jsme co nejvíce napodobit pokus o vytvoření brýlové obruby v domácích podmínkách s využitím nástrojů běžné potřeby. To nás vedlo ke zvolení těchto modelů.

Ačkoliv výsledné obruby vypadají jedinečně, z hlediska funkčnosti jsou nedostačující. Hlavním nedostatkem je již zmíněná chatrná konstrukce v místě spoje straníc s brýlovým středem. Cenově se obě obruby řadí mezi nižší cenovou kategorii. Pro představu na vytvoření prvního modelu bylo zapotřebí 28,93 g filamentu, zatímco na model druhý 19,71 g materiálu, což při ceně 700 Kč za 1000 g tiskové struny odpovídá 20,25 Kč za první a 13,80 Kč za druhý model. Nesmíme zapomínat, že k částce je nutné připočítat cenu za spotřebovanou elektřinu, jež je srovnatelná s cenami obrub, spolu s časem tisku a post-processingu. Oproti tradiční výrobě bychom při práci zkušeného tiskaře docílili výrazné úspory času. V našem případě trvaly úpravy podstatně déle, konkrétně tisk prvního modelu zabral 7 hodin 17 minut, zatímco druhý model byl vytisknut za 4 hodiny 7 minut. Post-procesing nám zabral okolo 10-12 hodin na jedné obrubě, zkušenému tiskaři by trval podstatně méně. Rozdíl v době tisku a cenové relaci modelů byl zapříčiněn rozdílnou velikostí výtisků. Celkové náklady bychom odhadli okolo 100-200 Kč. Z pohledu brýlových obrub se jedná o nízkou částku a jak nám potvrdily některé optiky v dotazníku, cena kvalitě neodpovídá. Brýlové obruby nejsou konkurenceschopné

z časových důvodů, svou kvalitou též zaostávají, v případě volby vhodnějšího modelu tomu mohlo být jinak. Drtivá většina lidí si doma kvalitní brýlovou obrubu nevyrobí, nedisponují-li dostatečnou praxí a finančními prostředky. Myslíme si, že s postupným vylepšováním technologií tisku a snižováním cen, by tomu v budoucnu mohlo být jinak. [42]

Pokud by FFF metoda tisku byla využitelná v praxi, což zatím není, dal by se materiál PETG skvěle využít pro levnější obruby. Práce s tímto filamentem, ať už mluvíme o vsazení brýlových čoček, nahřátí, čištění apod. je nejsrovnatelnější s acetátem celulózy, používaném při tradiční výrobě. Kvalitou i cenou vede acetát celulózy, jedná se však o materiál využívaný od roku 1930, zatímco samotný 3D tisk byl objeven roku 1984. K výrobě brýlí jej začali někteří výrobci používat přibližně od roku 2015. Jinými slovy neměl takový prostor ke zdokonalení, nicméně technologie postupují ku předu poměrně rychle. [2, 5]

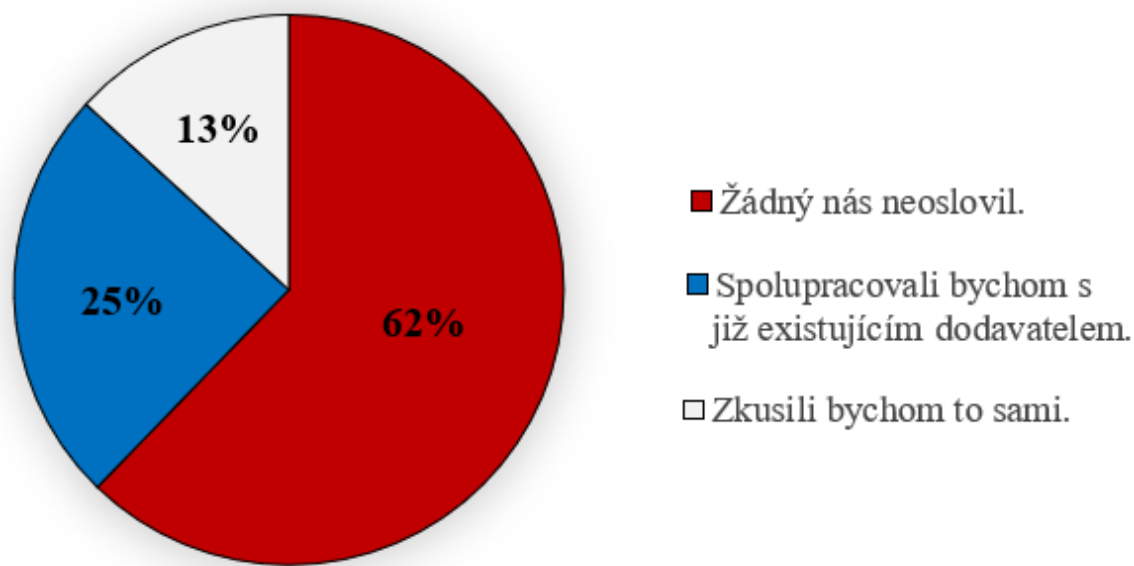
## 7.2 Využití 3D tisku v českých očních optikách

Podkapitola se dělí na dvě části. Dotazník využitelnosti 3D tisku v České republice, určený pro většinu optik. Druhá část obsahuje dotazník určený výhradně optikám, které některou z metod tisku využívají nebo využívali. V obou případech mohlo dojít ke zkreslení výsledků vinou nesprávně formulovaných otázek.

### 7.2.1 První dotazník

V rámci prvního dotazníku, jsme oslovili provozovatele očních optik po celé České republice. Dotazovaných jsme se ptali na možnost a provozu schopnost 3D tisku na jejich provozovnách. Musíme uznat, že některé otázky mohly být lépe formulovány, tato chyba mohla ovlivnit celkové výsledky. Odpovědi řetězců byly srovnatelné s odpověďmi soukromých optik. Větší zájem o tento způsob výroby brýlových obrub jeví soukromé oční optiky, což je překvapivé vzhledem k vyššímu kapitálu řetězců. Na druhou stranu reakce a zájem o aktuální trendy spíše jeví menší optiky, aby se odlišily od konkurence. Přesto můžeme říci, že v drtivé většině o tuto možnost zatím není zájem viz graf preference výroby na obrázku 7.2.1.

### Jaký způsob výroby byste preferovali?



Obrázek 7.2.1 Preferenční graf výroby

Důvodem neúspěchu 3D tisku v rámci provozoven očních optik může být fakt, že pro mnohé vyžadují počáteční investici, odvětrávaný prostor pro tiskárnu a v neposlední řadě zaškolení zaměstnanců. To vše bez jistoty úspěšného přijetí od zákazníků. Pro mnohé jde o risk, který by se jim nemusel vyplatit. V současné době se jeví spolupráce s již zavedeným výrobcem, například Ústavem pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace v Liberci, jako nejlepší řešení. [44]

Jedná se o relativně novou technologii, jež potřebuje čas k vývoji, podobně jako tradiční metody výroby. Technologický postup jde ku předu velmi rychle, čemuž svědčí například speciální scannery, díky nimž již není nutné tvořit návrh modelu, stačí předmět oskenovat. Mohlo by se jednat o obrovskou výhodu při tvorbě náhradních dílů pro starší modely brýlových obrub. Na druhou stranu nesmíme zapomenout na respektování autorských práv designérů brýlí, abychom předešli případným sporům. [48]

### 7.2.2 Druhý dotazník

V rámci druhého dotazníku jsme se zaměřili na konkrétní české společnosti využívající 3D tisk k výrobě obrub. Potvrdili jsme skutečnost, že FFF metoda není konkurence schopná. Pár provozoven již přivedla k bankrotu, je tedy nutné nepodcenit přípravu. Stále však má potenciál v budoucnu být přínosem. Možnost Steleolitografie (SLA) jednoznačně

v současnosti a nejspíš i v budoucnu využití v tisku brýlí nenalezne, důvodem je křehkost vytvrzené pryskyřice, tedy i výsledného modelu. [42, 43]

Největší naděje vkládáme do metody SLS MJF neboli selective laser sintering s technologií Multi Jet Fusion, případně DMLS (direct metal laser sintering). SLS je v současnosti jedinou konkurenci schopnou možností výroby brýlových obrub. S postupným snižováním cen materiálů by tomu mohlo být jinak. Ze všech metod je neekologičtější, výsledné obruby, při nejmenším dle slov výrobce, jsou kvalitní. Musíme však dodat, že se jedná pouze o plastové materiály, primárně Nylon, což nemusí každému spotřebiteli vyhovovat. Na druhou stranu oproti běžně používaným plastovým materiálům lze vyrobit ultratenké, až o 30 % lehčí obruby. Navíc nylonové brýle z tradiční výroby jsou barveny povrchově, což oproti barvení v materiálu, jak je tomu u 3D tisku, vede k poškození barvy. Druhá metoda je zaměřena na kovové slitiny, výrobní náklady stále převyšují tradiční výrobu, používá se hlavně pro zakázkový tisk v případě zájmu movitějších klientů. [43, 44, 46]

Ačkoliv touto metodou dokážeme vytvořit kvalitní obruby, které mohou být navrženy individuálně pro každého zákazníka, nebo speciální korekční pomůcky zohledňující například deformaci obličeje, jedná se stále o dražší cenovou kategorii brýlí, jež si dopřejí pouze osoby s patřičným kapitálem. 3D tisk otvírá nové možnosti z hlediska designu, dokáže překonat tvarové limity tradiční výroby, je ale limitován cenou výsledné obruby. Při ceně 4 500 Kč za navržený design nebo 20 000 Kč a více za design tzv. na přání nejde o malou investici. [43, 44]

Rozhodně nechceme, aby 3D tisk nahradil tradiční výrobu, naopak, v případě zdokonalení jednotlivých technologií ve spojitosti s poklesem cen vstupních surovin můžeme v budoucnu předpokládat s jeho expanzí, čímž dojde k rozšíření tvarových limitů, společně s větší individualizací a snazší možností oprav starších brýlí.

## 8. Závěr

V rámci práce jsme se zaměřili na jednotlivé typy tiskáren, tiskové materiály a jejich využitelnost v rámci 3D tisku brýlových obrub. Zjistili jsme, že 3D tisk brýlových obrub může sloužit jako rozšíření již dostupného sortimentu nebo v budoucnu k tvorbě náhradních dílů pro starší typy brýlových obrub. Cenově si nevede dobře v porovnání s tradiční výrobou. V rámci drtivé většiny provozoven očních optik v České republice není provozu schopný. Důvodem je nedostatek prostoru, času a finanční udržitelnosti. Může však rozšířit a obohatit sortiment o nové možnosti, jež nejsou v rámci tradiční výroby možné, podobně jako je tomu v zahraničí, kde jsou novým technologiím otevřenější. Proto jej do svého portfolia zařadil nejméně jeden výrobce brýlových obrub, jakožto součást obrub v podobě stranic, nebo jednoho z mnoha designů v rámci kolekce. Plnohodnotné brýlové obruby lze metodou multi jet fusion vyrobit, nicméně se jedná o plastové obruby vyšší cenové kategorie. Kovové obruby, běžných tvarů, jsou stále oproti tradiční výrobě nákladnější na výrobu, tudíž si je může dovolit jen movitější klientela.

Momentálně není většina tiskáren uzpůsobena k tisku konkurence schopných brýlových obrub. Po shrnutí jednotlivých typů tiskáren a cenové relaci materiálů můžeme konstatovat, že není možné, aby si běžný uživatel sám doma vytiskl plnohodnotnou brýlovou obrubu, neměli vyšší kapitál. Maximálně by se mohlo jednat o brýle na čtení, sloužící jako alternativní brýle pro nadšence do 3D tisku. Tuto skutečnost jsme si ověřili v praktické části. Zároveň není příliš mnoho prací na toto téma, alespoň ne v rámci České republiky a Slovenska. V zahraničí je to o něco lepší. Snažili jsme se tedy provést ucelený vhled do zvolené problematiky.

Česká republika patří mezi konzervativnější země, což se promítá i mezi módu v souvislosti s brýlemi. V zahraničí jsou sice změnám otevřenější, i tak zde 3D tisk brýlových obrub zastupuje, z hlediska trhu, spíše okrajové pozice. Největším českým konkurenci schopným výrobcem brýlových obrub za pomoci 3D tisku je společnost ONYX Vision, jež preferuje získání parametrů hlavy klientů ze zaslané fotografie. V dnešní době se teleoptometrie a podobné aplikace v menší míře využívají k měření. Bylo by přínosné porovnat tyto metody s běžnými metodami měření a vyhodnotit, zda nedochází k nuancím.

## Seznam použité literatury

- [1] HICKEY, Shane. Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology. *The Guardian* [online]. 2014 [vid. 2023-11-26]. ISSN 0261-3077. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>
- [2] *The Complete History of 3D Printing: From 1980 to 2023 - 3DSourced* [online]. 17. červenec 2023 [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/guides/history-of-3d-printing/>
- [3] *Nanoscribe\_Spectrum of Applications.pdf* [online]. [vid. 2023-11-26]. Dostupné z: <https://www.ncl.ac.uk/media/wwwnclacuk/nanolab/files/events/nanoscribe-highest-resolution-micro-3d-printer-details.pdf>
- [4] SCHUBERT, Carl, Mark C VAN LANGEVELD a Larry A DONOSO. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *British Journal of Ophthalmology* [online]. 2014, **98**(2), 159–161. ISSN 0007-1161, 1468-2079. Dostupné z: doi:10.1136/bjophthalmol-2013-304446
- [5] AKKARA, JohnDavis a Anju KURIAKOSE. The magic of three-dimensional printing in ophthalmology. *Kerala Journal of Ophthalmology* [online]. 2018, **30**(3), 209. ISSN 0976-6677. Dostupné z: doi:10.4103/kjo.kjo\_86\_18
- [6] BARBU, Daniela Mariana a Vlad Horațiu SÎRBU. 3D printing techniques in making custom eyeglasses frames. In: Angela REPANOVICI, ed. *11th International Conference on Information Science and Information Literacy* [online]. B.m.: Sciendo, 2020 [vid. 2023-11-27], s. 193–198. ISBN 978-83-958150-6-5. Dostupné z: doi:10.2478/9788395815065-021
- [7] STŘÍTESKÝ, Ondřej; PRŮŠA, Josef a BACH, Martin. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Praha: Prusa research, 2020. ISBN 978-80-907798-0-8.
- [8] KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. 1. vydání. Přel. Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.
- [9] SOFTWARE, Emersion. Historie 3D tisku. *3d-tiskni.cz* [online]. [vid. 2023-11-27]. Dostupné z: <https://www.3d-tiskni.cz/25700n-historie-3d-tisku>

- [10] LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated: the new world of 3D printing ; [the promise and peril of a machine that can make (almost) anything]*. Indianapolis: Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-35063-8.
- [11] XU, Yuanyuan, Xiaoyue WU, Xiao GUO, Bin KONG, Min ZHANG, Xiang QIAN, Shengli MI a Wei SUN. The Boom in 3D-Printed Sensor Technology. *Sensors* [online]. 2017, 17(5), 1166. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s17051166
- [12] *Srovnání pravého úhlu os MINI | Prusa Knowledge Base* [online]. [vid. 2024-05-10]. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/srovnani-praveho-uhlu-os-mini\\_158518](https://help.prusa3d.com/cs/article/srovnani-praveho-uhlu-os-mini_158518)
- [13] Jak vybrat 3D tiskárnu? | 3D tiskárny Original Prusa přímo od Josefa Průši. *Prusa3D by Josef Prusa* [online]. [vid. 2023-11-28]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/jak-vybrat-3d-tiskarnu\\_229126/?\\_gl=1\\*1emw13z\\*\\_ga\\*NzIzNzQ3NDQzLjE3MDA5MjA4NjY.\\*\\_ga\\_3HK7B7RT5V\\*MTcwMzg3Njk5OS4xNC4xLjE3MDM4NzcwMTIuMC4wLjA](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/jak-vybrat-3d-tiskarnu_229126/?_gl=1*1emw13z*_ga*NzIzNzQ3NDQzLjE3MDA5MjA4NjY.*_ga_3HK7B7RT5V*MTcwMzg3Njk5OS4xNC4xLjE3MDM4NzcwMTIuMC4wLjA).
- [14] *Original Prusa SL1S SPEED is here: Introducing the fastest desktop SLA 3D printer - Original Prusa 3D Printers* [online]. [vid. 2024-05-10]. Dostupné z: [https://blog.prusa3d.com/introducing-sl1s-fastest-desktop-sla-3d-printer\\_51436/](https://blog.prusa3d.com/introducing-sl1s-fastest-desktop-sla-3d-printer_51436/)
- [15] GIBSON, Ian, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* [online]. New York, NY: Springer New York, 2015 [vid. 2023-11-28]. ISBN 978-1-4939-2112-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-2113-3
- [16] *Optics & Photonics News - The Future of 3-D Printing* [online]. [vid. 2023-11-28]. Dostupné z: [http://www.optica-opn.org/home/articles/volume\\_24/july\\_august\\_2013/features/the\\_future\\_of\\_3-d\\_printing/](http://www.optica-opn.org/home/articles/volume_24/july_august_2013/features/the_future_of_3-d_printing/)
- [17] *HP Jet fusion tak trochu jiný 3D tisk - oTechnice.cz* [online]. 19. září 2018 [vid. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://otechnice.cz/hp-jet-fusion-tak-trochu-jiny-3d-tisk/>
- [18] Guide to 3D Printing Materials: Types, Applications, and Properties. *Formlabs* [online]. [vid. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/3d-printing-materials/>
- [19] All 3D Printing Materials – The Ultimate Guide. *All3DP Pro* [online]. 16. březen 2024 [vid. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>

- [20] *prusa3d\_manual\_mk3s\_cz.pdf* [online]. [vid. 2023-11-29]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d\\_manual\\_mk3s\\_cz.pdf#\\_ga=2](https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3s_cz.pdf#_ga=2)
- [21] *MATERIÁLY FDM – 3D tisk-Online* [online]. [vid. 2023-12-02]. Dostupné z: <https://www.3dtisk-online.cz/3d-tisk-brno-prehled-materialu-pro-3d/>
- [22] AL-ZAIDI, Ali Abdulqader Mohammed Ali a Fatima Jalal Jawad AL-GAWHARI. Types of Polymers Using in 3D Printing and Their Applications: A Brief Review. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences* [online]. 2023, 1(6), 978–985. ISSN 2786-7447. Dostupné z: [doi:10.59324/ejtas.2023.1\(6\).94](https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1(6).94)
- [23] *MATERIÁLY SLA – 3D tisk-Online* [online]. [vid. 2023-12-04]. Dostupné z: <https://www.3dtisk-online.cz/materialy-sla/>
- [24] What is SLS 3D printing? *Hubs* [online]. [vid. 2023-12-19]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/>
- [25] *Markforged X3 a X7 – 3D tisk funkčních dílů z kompozitů* [online]. 19. srpen 2020 [vid. 2023-12-20]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/produkty/3d-tiskarny/kompozity/markforged/markforged-x3-x5-a-x7/>
- [26] SLS 3D Printing - Selective Laser Sintering. *Shapeways* [online]. [vid. 2023-12-20]. Dostupné z: <https://www.shapeways.com/3d-print-material-technology/sls>
- [27] *Optika Aleš Žejdl - Brýle vyrobené 3D tiskem* [online]. [vid. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.aleszejdl.cz/aktuality/165/karbonove-bryle-blac>
- [28] Hubs | On-demand Manufacturing: Quotes in Seconds, Parts in Days. *Hubs* [online]. [vid. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/>
- [29] NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. 2. přeprac. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010. ISBN 978-80-7013-529-7.
- [30] *Opening our eyes to spectacles of the past - SHINE News* [online]. [vid. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://www.shine.cn/feature/art-culture/1909061557/>
- [31] *I brýle mají svou historii* [online]. [vid. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://www.fiftyfifty.cz/i-bryle-maji-svou-historii-4093471.php>



- [32] POLÁŠEK, Jaroslav, *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [33] *Optická praktika | Lékařská fakulta Masarykovy univerzity* [online]. [vid. 2023-11-26]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/ps10/optika/web/pages/04-materialy-obrub.html>
- [34] MACENAUER, Pavel. Brýlové obruby - moderní materiály pro jejich výrobu. *Moderní optika* [online]. 14. duben 2019 [vid. 2023-11-26]. Dostupné z: <https://www.modernioptika.cz/dioptricke-bryle/brylove-obroucky/brylove-obruby-podle-materialu/>
- [35] *KehysmaterialA-Z\_Optician.pdf* [online]. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: [https://digituote.fi/pdf/KehysmaterialA-Z\\_Optician.pdf](https://digituote.fi/pdf/KehysmaterialA-Z_Optician.pdf)
- [36] *Mg-based bulk metallic glasses: A review of recent developments - ScienceDirect* [online]. [vid. 2024-01-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221395672100298X#sec0004>
- [37] MILOŠ, Rutrl. *Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí*. vid. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, nedatováno. ISBN 80-7013-347-3.
- [38] - *4oci.cz* [online]. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: [https://www.4oci.cz/brylove-obruby-z-konopi\\_4c799](https://www.4oci.cz/brylove-obruby-z-konopi_4c799)
- [39] Hemp Eyewear | Bespoke sunglasses and optical eyewear handmade in UK. *Hemp Eyewear Store* [online]. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://hempeyewear.com/>
- [40] *Brýle si osladím o trochu víc. Výrobce z Kyjeva používá na obroučky kávovou sedlinu* [online]. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/clanek/svet/bryle-si-osladim-o-trochu-vic-vyrobce-z-kyjeva-pouziva-na-obroucky-kavovou-sedlinu-60022>
- [41] TONERDEPOT.CZ. 3D tisk brýlí. *TonerDepot.cz* [online]. [vid. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.tonerdepot.cz/blog/3d-tisk-bryli>
- [42] *3D tisk - brýle na míru | Aktuality | Optika Pleyerová* [online]. [vid. 2024-01-07]. Dostupné z: <http://www.ocnioptik.eu/aktuality/223-150/3d-tisk-bryle-na-miru/>
- [43] [HTTPS://WWW.SOLIDPIXELS.COM](https://www.solidpixels.com), solidpixels. ONYX Jak to funguje? *ONYX* [online]. [vid. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.ONYXvision.cz/jak-to-funguje>

- [44] *Laboratoř 3D tisku na CXI tiskne brylové obruby na míru – Technická univerzita v Liberci* [online]. [vid. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.tul.cz/2021/09/02/laborator-3d-tisku-na-cxi-tiskne-brylove-obruby-na-miru/>
- [45] KGI-ADMIN. EssilorLuxottica in 3D printing: Theme innovation strategy. *Just Drinks* [online]. 22. leden 2024 [vid. 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.just-drinks.com/data-insights/essilorluxottica-in-3d-printing-theme-innovation-strategy/>
- [46] 3D printed glasses: Trends in the eyewear industry in 2023. *Sculpteo* [online]. [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/applications-of-3d-printing/3d-printed-glasses>
- [47] CLODAGH. 3D printed glasses: Dimension by Gotti Switzerland. *Eyestylist* [online]. 26. duben 2021 [vid. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://www.eyestylist.com/2021/04/3d-printed-glasses-dimension-by-gotti-switzerland/>
- [48] Revopoint 3D Technology Inc. *Revopoint 3D* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://global.revopoint3d.com/en-eur/products/standalone-3d-scanner-miraco>
- [49] Cults • Download free 3D printer models • STL, OBJ, 3MF, CAD. *Cults 3D* [online]. [vid. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://cults3d.com/en>
- [50] *Free STL file Sunglasses • 3D printing template to download • Cults* [online]. [vid. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://cults3d.com/en/3d-model/fashion/sunglasses-unwohlpol>
- [51] VirtualTryOn.fr Eyeglass frame (flat). *Cults 3D* [online]. [vid. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://cults3d.com/en/3d-model/fashion/virtualtryon-fr-monture-de-lunettes-a-plat>

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam
atd.	a tak dále
apod.	a podobně
např.	například
tzv.	takzvané
3D	trojrozměrný
CAD	computer-aided drafting
.stl	Standard Triangle Language
SLA	stereolitografie
FDM	fused deposition modeling
FFF	fused filament fabrication
DLP	digital light processing
MSLA	mask stereolithography
SLS	selective laser sintering
DMLS	direct metal laser sintering
MJF	Multi Fusion Jet
HP	Hewlett-Packard
PLA	polylaktid
PET	polyethylentereftalát
PETG	kopolymer PET a dimethanolu
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
ASA	akrylonitrilsterenakrylonitril
PA	polyamid
PP	polypropylen
CA	acetát celulózy
EKO	ekologický neboli šetrný k životnímu prostředí
USA	Spojené státy americké
Kč	Koruna česká
\$	Americký dolar
€	Euro
LED dioda	light-emitting diode

LCD displej	liquid crystal display
UV	ultrafialové záření
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
Mg	hořčík

## Seznam symbolů

<b>Jednotka</b>	<b>Význam</b>
mm	milimetr
nm	nanometr
μm	mikrometr
kg	kilogram
g	gram
°	stupeň
°C	stupeň Celsia
%	procento

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1 osy X, Y, Z.....	4
Obrázek 2.1.1 Kartézská tiskárna Original Prusa i3 MK3S .....	5
Obrázek 2.1.2 Tiskárna typu Delta.....	6
Obrázek 2.1.3 Polar typ tiskárny .....	7
Obrázek 2.2 Original Prusa SL1S SPEED .....	8
Obrázek 2.2.1 Princip tvrzení UV laserovým paprskem.....	8
Obrázek 2.2.2 Princip tvrzení DLP .....	9
Obrázek 2.2.3 Princip tvrzení MSLA.....	9
Obrázek 2.3 SLS tiskárna HP MJF 4200, využívající technologii Fusion Jet.....	10
Obrázek 3 Materiály používané pro 3D tisk – fotopolymerní pryskyřice (vlevo), filament (vpravo), prášek (nahore) .....	11
Obrázek 4.3.7 Obruba z konopí model California Dreamin.....	24
Obrázek 4.3.8 Obruba z kávové sedliny.....	25
Obrázek 6.1 První model brýlové obruby .....	30
Obrázek 6.1.2 (a) Brýlová obruba před post-processingem .....	31
Obrázek 6.1.1 (b) Brýlová obruba po post-procesingu .....	32
Obrázek 6.2 Druhý model brýlové obruby.....	34
Obrázek 6.2.1 Graf všeobecného povědomí o 3D tisku brýlových obrub .....	37
Obrázek 6.2.2 Graf zájmu veřejnost o 3D tisk brýlových obrub.....	38
Obrázek 6.2.3 Graf využití 3D tisku v praxi .....	39
Obrázek 6.2.4 Graf proveditelnosti 3D tisku na provozovnách .....	39
Obrázek 6.2.5 Graf preference možné výroby .....	40
Obrázek 6.4 Sortiment připravených typů tištěných obrub společnosti ONYX Vision.....	47
Obrázek 7.2.1 Preferenční graf výroby .....	50

## Seznam příloh

Příloha A.....	63
Příloha B.....	64
Příloha C.....	67
Příloha D.....	70
Příloha E.....	74

# Příloha A: Tabulka srovnávající jednotlivé filamenty

## [Převzato z: 21]

Název	PLA	ABS	PETG	ASA	FLEX	HIPS	PA	PC	PP
Pevnost v tahu * [MPa]	45	30	42	55	10	32	63	50	32
Max. teplota použitelnosti [°C]	50	90	70	90	60	100	80	120	100
Koeficient teplotní roztažnosti [ $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ]	68	90	60	98	157	80	95	69	150
Tuhost ** [od 1 do 10]	7	5	5	5	1	10	5	6	4
Odolnost *** [od 1 do 10]	4	8	8	9	9	7	10	10	9
Tisknutelnost **** [od 1 do 10]	9	7	8	7	6	6	4	2	4

vytvoreno s využitím informací z [www.simplify3d.com](http://www.simplify3d.com) a vlastních měření

\* vyšší číslo - pevnější materiál

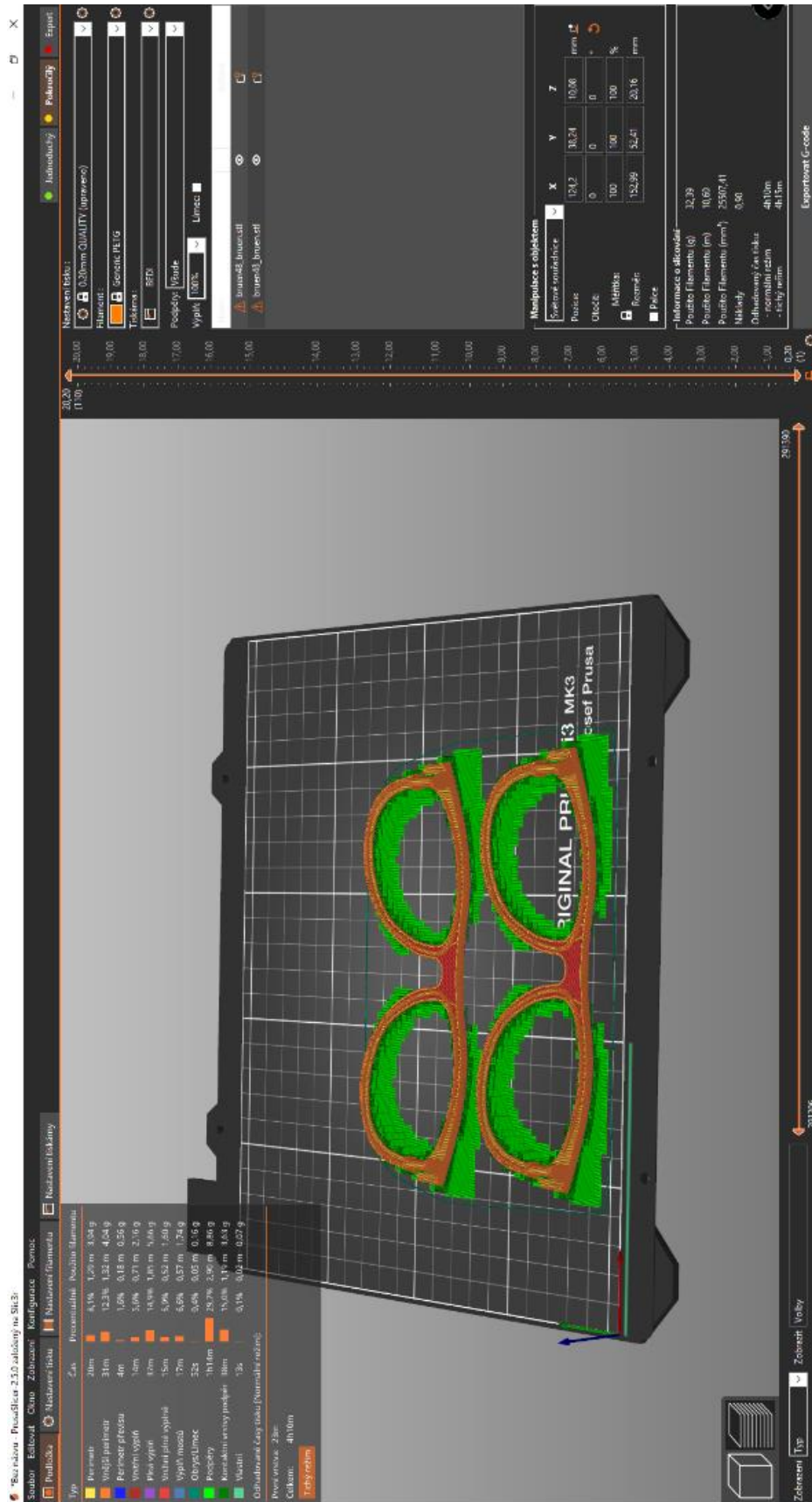
\*\* vyšší číslo - tužší materiál

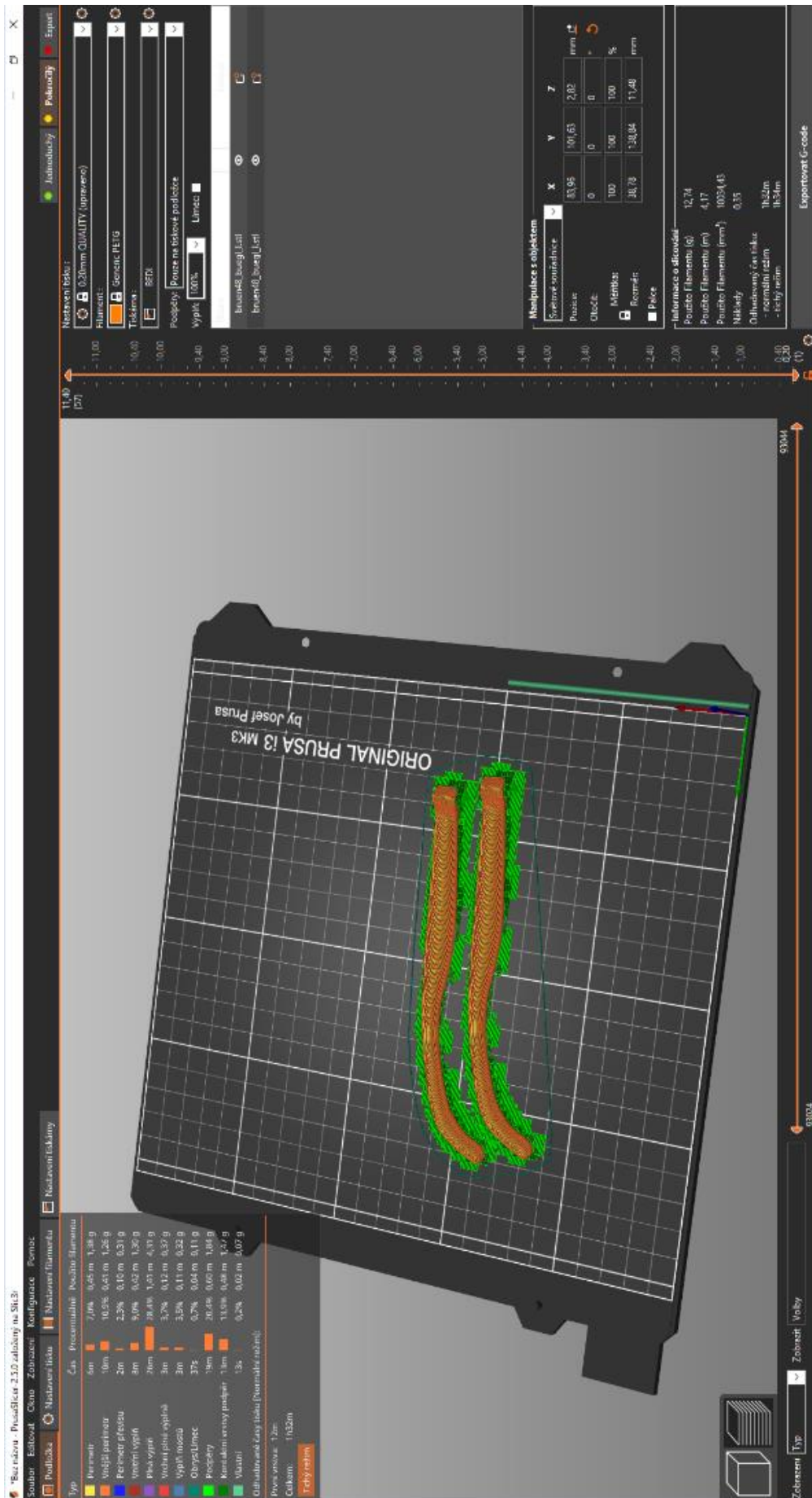
\*\*\* vyšší číslo - odolnější materiál

\*\*\*\* 0 - netisknutelné, 10 - tiskne se OK



# Příloha B Tiskové parametry částí obruby (1. model)





**PrusaSlicer 2.12.2 (základní) ru-SK**

**Možnosti tisku:**  
 Filament: 0.3mm QJULITY (upravené)  
 Filament: Generic PLG  
 Tisková rychlost: 85%  
 Počet vrstev: Podle nastavení profilu  
 Vypětí: 100% - Límec

**Informace o dílovi:**  
 Použito filamentu (g): 12,71  
 Použito filamentu (m): 4,16  
 Použito filamentu (mm<sup>3</sup>): 1031,06  
 Mělkost: 0,35  
 Odhadovaný čas tisku: 1h 25m  
 - normální režim  
 - fixní vrstvy

Typ	Čas	Procento tisku	Použití filamentu
Perimetr	2m	2,0%	0,65 m, 1,29 g
Vnější povrch	11m	11,6%	0,64 m, 1,34 g
Perimetr plochy	2m	2,0%	0,10 m, 0,25 g
Vnitřní vnitřní	7m	7,9%	0,35 m, 1,10 g
Plochy vnitřní	20m	27,3%	1,63 m, 4,38 g
Vnitřní plochy vnitřní	4m	5,7%	0,12 m, 0,35 g
Vypětí nosu	4m	4,4%	0,15 m, 0,45 g
Obrysové linie	365	0,6%	0,04 m, 0,11 g
Plochy	10m	10,3%	0,27 m, 1,24 g
Koruně vnitřní povrch	7m	15,3%	0,40 m, 1,28 g
Výštin	3s	0,2%	0,02 m, 0,07 g

**Odhadovaný čas tisku (normální režim):**  
 Průměrná rychlost: 12m  
 Celkem: 1h 25m

**1. díl v režimu**

**Exportovat G-code**

**ORIGINAL PRUSA i3 MK3**  
by Josef Prusa

# Příloha C: Tiskové parametry částí obruby (2. model)

**Material Selection:**

- 0.20mm QUALITY (uprevesc)
- filament
- Scientific PET-G
- Tiskárna
- BED
- Popisky / Vrhání
- Vypálit / Límec

**Layer Height Table:**

17,50	17,00	16,50	16,00	15,50	15,00	14,50	14,00	13,50	13,00	12,50	12,00	11,50	11,00	10,50	10,00	9,50	9,00	8,50	8,00	7,50	7,00	6,50	6,00	5,50	5,00	4,50	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50	0,20	0,10
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

**Coordinate Table:**

Manipulace s objektem	X	Y	Z
Seřazená souřadnice	12,175	83,39	8,05
Posuv	0	0	0
Objeďte	100	100	100
Intenzita	100	100	100
Rotace	142,32	39,79	17,7

**Print Parameters:**

- Informace o filamentu: 18,09
- Posuv filamentu (mm): 6,51
- Posuv filamentu (mm<sup>2</sup>): 1959,72
- Mřížky: 0,15
- Důležitosti částí tisk: 20,24m
- normální režim: 20,24m
- řádky vrstev: 20,24m

**Print Settings:**

- 4.4. Prezentativní: Posuva harmonika
- Typ: 18m, 12,7% 1,25m 3,48 g
- Velikost píseku: 3400
- Perforace: 23,4% 1,28m 3,01 g
- Velikost píseku: 15
- Perforace: 0,0% 0,05m 0,005 g
- Velikost píseku: 20m
- Perforace: 18,3% 1,54m 4,71 g
- Velikost píseku: 30m
- Perforace: 11,4% 1,28m 4,67 g
- Velikost píseku: 40m
- Perforace: 4,2% 0,25m 0,65 g
- Velikost píseku: 45m
- Perforace: 0,5% 0,64m 0,119 g
- Velikost píseku: 50m
- Perforace: 0,67% 0,72m 2,21 g
- Velikost píseku: 20m
- Perforace: 1,4% 0,04m 0,11 g
- Velikost píseku: 15m
- Perforace: 0,1% 0,02m 0,07 g

**Print Parameters Table:**

Proces	Typ	Velikost píseku	Perforace
18m	12,7%	1,25m	3,48 g
3400	23,4%	1,28m	3,01 g
15	0,0%	0,05m	0,005 g
20m	18,3%	1,54m	4,71 g
30m	11,4%	1,28m	4,67 g
40m	4,2%	0,25m	0,65 g
45m	0,5%	0,64m	0,119 g
50m	0,67%	0,72m	2,21 g
20m	1,4%	0,04m	0,11 g
15m	0,1%	0,02m	0,07 g

**Print Settings:**

- Proces: 18m
- Velikost píseku: 12,7%
- Perforace: 1,25m
- 3,48 g
- 3400
- 23,4%
- 1,28m
- 3,01 g
- 15
- 0,0%
- 0,05m
- 0,005 g
- 20m
- 18,3%
- 1,54m
- 4,71 g
- 30m
- 11,4%
- 1,28m
- 4,67 g
- 40m
- 4,2%
- 0,25m
- 0,65 g
- 45m
- 0,5%
- 0,64m
- 0,119 g
- 50m
- 0,67%
- 0,72m
- 2,21 g
- 20m
- 1,4%
- 0,04m
- 0,11 g
- 15m
- 0,1%
- 0,02m
- 0,07 g

**Print Parameters Table:**

Proces	Typ	Velikost píseku	Perforace
18m	12,7%	1,25m	3,48 g
3400	23,4%	1,28m	3,01 g
15	0,0%	0,05m	0,005 g
20m	18,3%	1,54m	4,71 g
30m	11,4%	1,28m	4,67 g
40m	4,2%	0,25m	0,65 g
45m	0,5%	0,64m	0,119 g
50m	0,67%	0,72m	2,21 g
20m	1,4%	0,04m	0,11 g
15m	0,1%	0,02m	0,07 g

The screenshot displays the PrusaSlicer software interface. The central 3D view shows a black printer model with two internal parts highlighted in red and green. The text "ORIGINAL PRUSA i3 MK3 by Josef Prusa" is visible on the printer's body. The interface includes several panels:

- Top Panel:** Contains settings for "Materiál tiskárny" (Material printer), "Filament" (Filament), "Tiskárna" (Printer), "Podpora" (Support), "Výstup" (Output), "Virtuální kamera" (Virtual camera), and "Manipulace s objektem" (Object manipulation).
- Left Panel:** Lists various printer models and their specifications, including "Prusa i3 MK3" and "Prusa i3 MK2.5".
- Right Panel:** Displays "Informace o síťování" (Networking information) and "Exportované G-kódy" (Exported G-code).
- Bottom Panel:** Shows "Zobrazení" (View) and "Výběh" (Zoom) options.

The 3D view includes a coordinate grid with axes labeled X, Y, and Z. The Z-axis is vertical, and the X and Y axes are horizontal. The grid shows the printer's dimensions and the position of the highlighted parts.

**Nastavení tiskárny:**

- 0.20mm QUALITY (lepší kvalita)
- Frágment: Genesic PETG
- Ukázky: BDU
- Podpora: Pouze na tiskové podložce
- Výplň: 100%
- VirtualFlyOn\_G...\_RT...\_Print
- VirtualFlyOn\_G...\_as\_RT...\_Print

**Manipulace s objektem**

světové souřadnice	X	Y	Z
Poloha	138,98	44,29	2,44
Orient.	0	0	0
Mřížka	100	100	100
Rozměr	136,16	27,8	4,88
Police			

**Informace o síťování**

- Použitá filamentu (g): 10,21
- Použitá filamentu (ml): 3,34
- Použitá filamentu (mm<sup>3</sup>): 8050,17
- Nalady: 0,28
- Číslo zářezů: 5m
- Číslo zářezů: 54m

**Nastavení tiskárny**

Typ	Čas	Procentum	Použitá filamentu
5m	11,4%	0,43 m	1,33 g
1m	19,7%	0,45 m	1,35 g
0,5m	6,2%	0,01 m	0,02 g
0,2m	26,2%	1,13 m	3,26 g
0,1m	20,4%	1,03 m	3,16 g
0,05m	5,6%	0,13 m	0,40 g
0,02m	0,2%	0,05 m	0,01 g
0,01m	1,0%	0,01 m	0,01 g
0,005m	4,5%	0,01 m	0,25 g
0,001m	1,6%	0,01 m	0,04 g
0,0001m	1,6%	0,01 m	0,04 g
0,00001m	0,4%	0,02 m	0,07 g

**Informace o síťování**

Procesování dokončeno - **Ukázky tiskárny**

C:\Users\B...104\_3D\Desktop\VirtualFlyOn\_Glissac\_RT\_TqL\_0...  
Změna: P116, 100x10, 3,3m grade

**Zobrazit** **Typ** **Zobrazit** **Vše**

5407,2

Exp. part: FlyOn\_G Glissac

## Příloha D: Dotazník o využití 3D tisku v praxi

### 3D tisk v praxi

Dobrý den, jmenuji se Eduard Novotný a jsem student

ČVUT v oboru Optika a optometrie.

V rámci bakalářské práce mám za úkol zjistit,

zda by 3D tisk brýlových obrub byl využitelný

v běžném provozu nebo zda by o něj byl zájem.

**Mockrát děkuji za Váš čas**

**věnovaný vyplnění tohoto formuláře!**

**Název provozovny: \***

**Další informace k informačnímu letáku naleznete zde:**

**[3D tisk obrub](#)**

### Informační leták

Brýlové obruby vytvořené za pomoci 3D tisku mají velké množství barevných i tvarových možností, díky čemuž jsou anatomicky přesné a mohou zakrýt případné estetické nedokonalosti jako jsou jizvy apod. Jedná se tedy o brýlové obruby na míru, s využitím pro všechny typy zákazníků s ohledem na jejich přání, hlavně z hlediska designu. Berou v potaz parametry obličeje a lze si vytvořený model nechat v databázi, kdyby si klienti přáli stejné brýle znovu nebo náhradní díly. Také lze vytisknout novou obrubu podle tvaru brýlových čoček. Může se jednat o dioptrické, sluneční, sportovní či jiné brýlové obruby. Tyto obruby jsou celoočnicové, převážně z plastových materiálů.

K jejich tisku se využívá aditivní technologie, spočívající v postupném přidávání materiálu. Jedná se o ekologický způsob výroby díky minimu vzniklého odpadu. Nejpoužívanější technologií při výrobě brýlových obrub je technologie Fusion Jet. Cena podobných tiskáren začíná na 150 000Kč, nebo lze využít spolupráce s již zavedenou společností např. CXI v Liberci, která by Vám mohla obruby vytvořit na míru. Podobné tiskárny svými rozměry zabírají místnost skoro srovnatelnou s většinou vyšetřoven. V rámci bakalářské práce však budu testovat využití odlišné metody a to FDM, konkrétně se bude jednat o tiskárnu, jejíž cena nepřevyšuje 20 000Kč a rozměrově ji lze umístit na pracovní stůl.

Samotné obruby se v optikách prodávají zhruba za 6000Kč. Většinou se k jejich výrobě využívá polyamid známý spíše pod názvem nylon. Jedná se o nealergenní, pružný, odolný materiál. Při výrobě je však nutné mít v místnosti funkční ventilační systém.

Pro představu můžete níže vidět brýle z 3D tiskárny.





**1) Setkali jste se s možností 3D tisku brýlí?**

\*

- Ano  
 Ne

**2) Zaznamenali jste zájem veřejnosti o tuto technologii?**

\*

- Ano  
 Ne

**3) Zaujala Vás možnost tisknutí brýlových obrub po prostudování informačního letáku?**

\*

- Ano, měli bychom o ni zájem.  
 Ano, zvážíme to.  
 Ne, nevidíme v tom přínos.  
 Jiné:

**4) Myslíte, že by byl 3D tisk na Vaší provozovně možný?**

\*

- Ano  
 Ne

**5) Zvažovali jste využití 3D tisku na Vašich provozovnách nebo spolupráci s firmami zabývajícími se 3D tiskem brýlových obrub?**

\*

- Ano, preferovali bychom spolupráci s již existujícím výrobcem.  
 Ano, zvolili bychom vlastní výrobu.  
 Ne, nemáme o tuto možnost zájem.  
 Jiné:

**6) Jaký přínos byste od 3D tisku očekávali?**

\*

**7) Plánujete v budoucnu nějaké inovace z hlediska brýlových obrub?**

\*

**Prostor pro případné komentáře**

Odeslat

## **Příloha E: Dotazník pro provozovny využívající 3D tisk k výrobě brýlových obrub**

10. Jakou technologii 3D tisku používáte, jaké jsou její výhody a nevýhody oproti tradičním metodám výroby, například z hlediska tloušťky brýlové obruby?
- a) FDM/FFF
  - b) SLA
  - c) SLS/DMLS
11. Jaké materiály využíváte, v čem se liší od klasicky používaných materiálů?
- a) nylon
  - b) karbon
  - c) PETG
  - d) jiné...
12. Je 3D tisk brýlových obrub nebo čoček časově a finančně náročný v porovnání s tradičními metodami? Dá se tisknout i jiný typ brýlí než celoočnicové? Jaké jsou výrobní náklady?
13. Jakým způsobem byste oslovili potenciální zákazníky, kteří by zvažovali koupi vytisknutých brýlí?
14. Vyžadují obruby nějakou speciální péči ať už při vsazování čoček, čištění, opravách nebo běžném nošení?
- a) ano
  - b) ne

15. Jaké jsou reakce zákazníků z hlediska poptávky a spokojenosti?
16. Jakou procentuální část vašich prodejů činí brýle z 3D tiskárny oproti brýlím vyrobených tradičními metodami? Jaká je cenová relace takto tisknutých obrub?
17. Využíváte 3D tisk k výrobě individuálních brýlí pro klasickou korekci, sluneční brýle, speciální brýle pro osoby s deformací nebo jiným poškozením obličeje, nebo jako extravagantní brýle pro speciální události?
- a) pouze jako módní doplněk
  - b) brýle pro osoby se specifickými potřebami
  - c) jiné...
18. Zvažujete nějaké inovace jako například využití umělé inteligence nebo extravagantní design brýlí? Na co se u vás mohou zákazníci v budoucnu těšit?