



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN DLP/SLA 3D TISKÁRNY

DESIGN OF DLP/SLA 3D PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Drcmánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

akad. soch. Josef Sládek, ArtD.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Filip Drčmánek
Studijní program:	Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	akad. soch. Josef Sládek, ArtD.
Akademický rok:	2022/23

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

Design DLP/SLA 3D tiskárny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

3D tiskárny jsou stále rozšířenější a rozvoj zaznamenávají i jednotlivé technologie tisku. Stereolitografie (SLA) je dnes dostupnou technologií pro stolní i průmyslové tiskárny, narůstá nabídka termosetů, pryskyřice se vyznačují i pohodlným dodatečným opracováním. Řada tiskáren zohledňuje zejména elementární konstrukční a funkční nároky a z toho plyne určitá podobnost. Důležitou roli zde hraje intuitivní ovládání a automatické doplňování pryskyřice.

Typ práce: vývojová – designérská

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je koncepční design 3D tiskárny adekvátní DLP/SLA technologii. Tiskárna je určena pro profesionální i náročné hobby užití, pro výrobu menších součástek, prototypů a objektů s tiskovým prostorem cca 300 x 150 x 300 mm.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikovat hlavní designérské přístupy a charakteristické prvky 3D tiskáren,
- prokázat funkčnost, ergonomičnost a vyrobiteľnosť návrhu,
- realizovat fyzický model.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William. a Gerry. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

THOMPSON, Rob. a Young Yun. KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. c2012. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architekty a designéry. Praha: Happy Materials. ISBN 978-80-260-0538-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tématem návrhu DLP 3D tiskárny. Hlavním cílem práce je návrh DLP 3D tiskárny, která bude klást důraz na bezpečnost, ergonomii a uživatelskou přívětivost. Návrh vychází z provedených analýz, díky kterým byly objeveny možné nedostatky stávajících DLP 3D tiskáren. Tyto nedostatky vytvářejí prostor pro inovace, které byly provedeny především v dílčích prvcích návrhu. Součástí výsledného návrhu jsou prvky, které zjednoduší práci s dokončenými výtisky a zvýší bezpečnost při zacházení se zařízením. Návrh dále respektuje ergonomické požadavky a rozměry lidského těla. Navržený produkt může nalézt uplatnění při výrobě prototypů, ve stomatologii, šperkařství a v neposlední řadě u hobby uživatelů.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, DLP 3D tiskárna, resin, stereolitografie, aditivní technologie

ABSTRACT

This bachelor thesis is dedicated to the design of a DLP 3D printer. The main objective of the thesis is to design a DLP 3D printer that is going to emphasize safety, ergonomics, and user-friendliness. The design is based on the conducted analyses, thanks to which were discovered possible shortcomings of existing DLP 3D printers. These shortcomings create room for innovations, which have been made mainly in sub-elements of the design. Part of the final design includes elements that will simplify the handling of finished prints and increase safety when handling the device. The design also respects ergonomic requirements and the dimensions of the human body. The designed product can find application in the production of prototypes, in dentistry, jewellery and last but not least for hobby users.

KEYWORDS

3D printing, DLP 3D printer, resin, stereolithography, additive technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DRCMÁNEK, Filip. *Design DLP/SLA 3D tiskárny* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149483>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Josef Sládek.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu práce akad. soch. Josefu Sládkovi ArtD., který mě odborně provázel v průběhu celého studia a tvorby bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mojí rodině a nejbližším za neustálou podporu, která mi umožňuje věnovat se oboru, který mě naplňuje. V neposlední řadě děkuji Ing. Petru Křivohlavému za asistenci při výrobě fyzického modelu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením akad. soch. Josefa Sládka ArtD. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
2.1	Designérská analýza	15
2.1.1	Prusa SL1S	16
2.1.2	Anycubic Photon M3 Plus	17
2.1.3	Etec Xtreme 8K	18
2.1.4	Formlabs Form 3L	19
2.1.5	DWS Systems XFAB 3500 HD	20
2.1.6	Flashforge Hunter	21
2.1.7	ELEGOO Jupiter	23
2.1.8	RAYSHAPE Shape 1+ Dental	24
2.1.9	Phrozen Transform	25
2.1.10	Creality HALOT-SKY 2022	26
2.1.11	Závěr designérské analýzy	28
2.2	Technická analýza	29
2.2.1	Dělení SLA tiskáren	29
2.2.2	Další technologie 3D tisku	30
2.2.3	Příprava modelů na tisk	32
2.2.4	Komponenty DLP tiskárny	34
2.2.5	Technické specifikace	37
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	38
3.1	Analýza problému	38
3.2	Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše	38
3.3	Cíle práce	39
3.4	Cílová skupina	40
3.5	Základní parametry a legislativní omezení	41
3.6	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	41
4	VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU	43
4.1	Varianta 1	44
4.2	Varianta 2	47
4.3	Varianta 3	50
5	TVAROVÉ ŘEŠENÍ	53

5.1	Vnější tvarování	53
5.2	Tvarování vnitřních komponent	56
6	KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ	57
6.1	Popis	57
6.2	Rozměrové řešení	58
6.3	Vnitřní mechanismy a komponenty	59
6.4	Materiálové řešení	63
6.5	Technologie	63
6.6	Ergonomie	64
6.7	Bezpečnost a hygiena	66
6.8	Udržitelnost	66
7	BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ	67
7.1	Barevné řešení	67
7.2	Grafické řešení	68
7.2.1	Uživatelské rozhraní	68
7.2.2	Logotyp	69
7.2.3	Obalový materiál	70
8	DISKUZE	71
8.1	Psychologická funkce	71
8.2	Sociální funkce	71
8.3	Ekonomická funkce	72
8.4	Marketingová analýza	72
8.5	Cílová skupina	73
8.6	Cenová hladina	73
9	ZÁVĚR	74
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	76
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	79
11.1	Seznam použitých zkratk	79
11.2	Seznam použitých veličin	81

12	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	82
13	SEZNAM PŘÍLOH	85

1 ÚVOD

V několika posledních desetiletích se enormně zvýšila poptávka jak na spotřebním, tak výrobním trhu. Aby mohla být tato poptávka uspokojena, vznikla potřeba produkty tvořit ve velkých sériích. Sériová výroba má výhodu v levné a rychlé výrobě velkého množství stejných produktů, nevýhodou však můžou být vysoké počáteční náklady na zavedení výroby. Pro malosériovou výrobu, tvorbu prototypů a složitých tvarových prvků většinou není možné využít konvenčních výrobních metod. V těchto případech lze pro výrobu produktů využít 3D tisk. Velkou výhodou 3D tisku je možnost rychlé výroby unikátních, tvarově složitých produktů, které by v jiných případech bylo nemožné, nebo velmi složité vyrobit.

I 3D tiskárny mají své limity a v některých aplikacích je stále není možné využít, nicméně se rychlost vývoje technologie posouvá značně dopředu.

3D tiskárny jsou čím dál populárnější u menších firem a hobby nadšenců, kteří tuto technologii využívají pro výrobu menších součástek, prototypů, figurek, nástrojů a podobně. Setkáváme se také s aplikacemi ve zdravotnictví, stavebnictví, šperkařství či v umělecké výrobě. Velký rozmach 3D tisk zaznamenal v momentě, kdy se tiskárny začaly vyrábět komerčně a vznikla na trhu konkurence, která přinutila výrobce snížit ceny. Konkrétně technologie DLP (Digital Light Processing), která funguje na principu stereolitografie, je využívána pro vysoce detailní a přesné výtisky, které velmi často nalézají uplatnění ve stomatologii, designu, šperkařství a podobně.

Návrh DLP 3D tiskárny bude zohledňovat veškeré aspekty, které zajistí funkčnost návrhu ve všech ohledech. Tiskárnu je třeba navrhnout tak, aby byla funkční jak z technologického, tak i z ergonomického hlediska. Všechny prvky, které bude tiskárna obsahovat, musí korespondovat s uspořádáním a rozměry lidského těla. Důležitý je také aspekt psychologický. Je nutné, aby měl uživatel při práci s tiskárnou pocit jistoty, stability a bezpečí. Dalšími prvky, které je potřeba zohlednit jsou uživatelské rozhraní a obsluha tiskárny, která by měla být jednoduchá a intuitivní.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

První zmínky o 3D tisku jsou z počátku 80. let 20. století z Japonska. V roce 1981 přišel Hideo Kodama s aditivním přístupem nanášení vrstvy po vrstvě s využitím fotocitlivé pryskyřice, kterou polymerizoval UV světlem. Kodama na svoji novou technologii nedokázal podat patent, přesto je obecně považován za prvního vynálezce technologie SLA a 3D tisku vůbec. O několik let později se o stereolitografii (SLA) zajímal francouzský tým inženýrů Alain Le Méhauté, Olivier de Witte a Jean-Claude André, ale kvůli nedostatku obchodní perspektivy ji opustil. Tento pokus o 3D tisk používal kapalných monomerů vytvrzovaných pomocí laseru. S prvním patentem přišel v roce 1986 Chuck Hall, který si nechal patentovat technologii SLA a o dva roky později založil společnost 3D Systems Corporation, která později začala prodávat první komerční 3D tiskárny. [1,2]

Postupem času byly vynalezeny další technologie 3D tisku, jako například SLS a FDM. Dlouhou dobu jiné společnosti tyto technologie využívat nemohly, protože spadaly do rozsahu ochrany patentu, jakmile ale tyto patenty na začátku 21. století vypršely, 3D tisk se velmi rozšířil. Začaly vznikat různé startupy a projekty, jako například projekt Rep Rap z roku 2005, který vyvíjel komunitní 3D tiskárnu na principu otevřeného hardwaru. [1]

V posledních desetiletích se 3D tisk rozvíjí i ve zdravotnictví, v roce 2002 byla vytištěna první funkční ledvina a od roku 2008 se můžeme běžně setkat s tištěnými protézy. 3D tisk se využívá i v automobilovém a leteckém průmyslu, především pro výrobu menších součástí. [1]

V současné době jsou 3D tiskárny díky velké konkurenci dostupné cenově pro širokou skupinu zájemců. Kutilové je využívají například pro tisk různých součástek do domácnosti, ozdob nebo náradí. Velmi často je firmy využívají na rychlou a levnou výrobu prototypů, které mohou dále rozvíjet, bez potřeby složitých výrobních procesů.

I přes všechny úspěchy a užitek je 3D tisk stále ve vývoji. Objevují se nové technologie i materiály, které bude možné pro tisk využívat.

2.1 Designérská analýza

Přestože je technologie 3D tisku v počátcích a neustále se rozvíjí, v posledních několika letech zaznamenala enormní rozvoj, především díky komercializaci, která zajistila cenovou dostupnost téměř pro všechny zájemce o tuto technologii. Na trhu je v současné době nespočet zaběhlých i nových, českých i zahraničních firem, které nabízí tiskárny různých typů a technologií, nejčastěji však FDM a SLA (SLA, DLP, LCD).

2.1.1 Prusa SL1S

Tato tiskárna je produktem českého výrobce 3D tiskáren Josefa Průši. Jedná se o upravený model, kterému předcházela tiskárna Original Prusa SL1.

Celkový tvar tvoří kvádr, který má v přední části tiskárny zkosené hrany. Akrylový průhled je výklopný a nezasahuje do zadní stěny, která je konstrukcí jak pro vodící dráhu, tak i pro výklopný mechanismus. Tento mechanismus může být výhodou, protože na rozdíl od tiskáren s odnímatelným krytem nezabírá žádné místo okolo tiskárny navíc. Tiskárna stojí na čtyřech válcových nožkách, které tlumí případné vibrace z okolí.

Tiskárna Prusa SL1S má několik funkcí, které ji řadí vysoko mezi svými konkurenty. Důležitým prvkem je náklonná vanička na resin, která má za úkol snížit tlaky mezi výtiskem a FEP folií a také snížit celkovou statickou sílu na ose z. Tisková platforma má povrchovou úpravu pro lepší přilnavost výtisků na začátku tisku. Tiskárna má také senzor hladiny resinu a při nedostatku se tisk přeruší.

Na pravé boční straně tiskárny jsou průduchy, které slouží k ochlazování systému. V zadní stěně tiskárny je umístěn ventilátor s filtrem z aktivního uhlí.

Tiskárna je postavena na těžkém a robustním hliníkovém rámu, který minimalizuje vibrace. SL1S využívá rychloupínací mechanismus tiskové platformy, díky kterému není potřeba přístroj opětovně kalibrovat.

Ovladač, který je v případě DLP a SLA tiskáren nejčastěji dotykový displej, je zapuštěný do spodní části tiskárny tak, aby byl mírně nakloněn k uživateli. Ze zadní strany produktu je kolébkový vypínač a na přední straně je tlačítko, které slouží k zapínání a vypínání tiskárny.

Tisknout lze vrstvy v rozmezí od 0,1 mm až do 0,01 mm. Rozlišení monochromatického displeje je (2560 × 1440) px. Maximální velikost tisknutého modelu je (120 × 68 × 150) mm. Tiskárna má celkovou šířku 225 mm, hloubku 237 mm a výšku 400 mm. Váha tiskárny včetně všech komponentů je 4 Kg. V současnosti je tiskárnu možné zakoupit za 49 990 Kč. [3]



Obr. 2-1 Prusa SLS1 [3]

2.1.2 Anycubic Photon M3 Plus

Anycubic je na rozdíl od Průši [3] značka, která má sídlo v Číně. Společně s dalšími značkami, jako je například Creality a ELEGOO, o kterých bude zmínka v následujících rešerších, se tyto tiskárny vyznačují především nižší cenou, přibližně od 3000 do 50 000 Kč. Model Photon M3 Plus je nyní možné zakoupit za 11 000 Kč. Nízká cena se odráží na celkovém vzhledu a jednoduchosti tiskáren. U tiskáren zahraničních výrobců může při závadě či reklamaci nastat komplikace, která je způsobená absencí zákaznického servisu pro evropské státy. V posledních letech se však tyto společnosti na zákaznickém servisu snaží pracovat.

Stejně jako v předešlém případě je tiskárna kvádrového charakteru, kryt má navíc tvar komolého jehlanu. Samotný akrylový kryt je odnímatelný. Nevýhodou tohoto typu krytování je potřeba prostoru na odložení a také možné poškození krytu při pádu na zem. Kryty jsou vyrobeny z akrylů a polykarbonátů, které zabraňují průniku UV záření. Boční hrany základny i krytu jsou zkosené. Celá tiskárna stojí na čtyřech nožkách ve tvaru komolého kuželu.

Tato tiskárna má navíc několik nových funkcí, jako je automatické doplňování resinu a možnost ovládání tiskárny z telefonu či počítače. Lze také nainstalovat kameru, díky které je možné sledovat průběh tisku na dálku, bez osobní přítomnosti.

Ze zadní a spodní strany tiskárny jsou průduchy a ventilátory, které chladí systém. Tento model nedisponuje žádným filtrem zápachu a částic, je možné jej přikoupit.

Pojízdný mechanismus je tvořen dvěma vodícími dráhami, to umožňuje přesnější tisk větších a objemnějších modelů.

Ovladačem je zde dotykový displej, který je uložen kolmo k uživateli, což není z ergonomického hlediska žádoucí. Kolébkový vypínač, USB i ethernetový port jsou umístěny na pravé boční straně.

Tiskárna vyniká především maximální velikostí výtisku (197 × 122 × 245) mm. Celkový rozměr tiskárny je 225 mm na šířku, 237 mm do hloubky a 400 mm na výšku. Rozlišení monochromatického displeje je (5760 × 3600) px. Celková váha tiskárny je 8,2 Kg. [4]



Obr. 2-2 Anycubic Photon M3 Plus [4]

2.1.3 Etec Xtreme 8K

Tiskárna Etec Xtreme 8K je určena pro profesionální a průmyslové využití. Oproti předešlým příkladům je pořizovací cena podstatně vyšší, přibližně 3 500 000 Kč.

Tvar je utvořen kvádrem s rádiusy na hranách v jednom směru. Samotná tiskárna má 1052 mm na šířku, 1420 mm do hloubky, 2083 mm na výšku a váží 907 kg. Celá konstrukce stojí na čtyřech pevných nohách. Zajímavým prvkem je povrchová úprava dolní části přední strany tiskárny, která tak rozbíjí jednoduitost.

Xtreme 8K je DLP tiskárna s největším tiskovým objemem na trhu (450 × 371 × 399) mm. Model má vyhřívanou komoru, díky které je možné využívat širokou škálu materiálů, například viskózní polymery, extrémně pevné polymery nebo materiály odolné vůči vysokým teplotám. Díky velké tiskové ploše je možný tisk velkého množství součástí najednou. Všechny ovladače jsou umístěny na pravé boční straně.

Tiskárna má v sobě zabudované filtrační zařízení, které zamezuje úniku škodlivin z materiálu. Tisknout lze vrstvy v rozmezí od 0,1 mm do 0,175 mm. Maximální rozlišení v rovině xy je 0,1 mm. [5]



Obr. 2-3 Etec Xtreme 8K [5]

2.1.4 Formlabs Form 3L

Tiskárny značky Formlabs se na první pohled vyznačují jiným tvarováním těla než produkty většiny konkurenčních firem. Tento model disponuje velkou tiskovou plochou, a proto je vhodný především pro průmyslové odvětví, nebo do stomatologických laboratoří, kde je hojně využíván. Nevýhodou je cena, která se pohybuje okolo 270 000 Kč.

Jako v předešlých příkladech i tato tiskárna vychází z tvaru kvádra, v tomto případě je však kvádr nakloněný do zadní části a zároveň se zužuje. Boční hrany tiskárny jsou zaoblené. Jednotný tvar je přerušen výřezem hmoty z přední a zadní strany. Tento prvek umožnil vzniku úchytu pro otevírání tiskárny. V pravé boční stěně je prostor, do kterého se umísťují kazety s resinem, takže mezi výtisky není potřeba doplňovat materiál manuálně. Nevýhodou těchto kazet může být nekompatibilita tiskárny s jinými materiály konkurenčních firem a také jejich cena.

Uvnitř tiskárny se nachází osvětlení, díky kterému lze lépe kontrolovat proces tisku. Vanička na resin má navíc funkci promíchávání materiálu. Tiskárna dokáže tisknout z široké škály druhů materiálů, například resiny vhodné pro rychlý tisk prototypů, nebo resiny pro zdravotnické využití.

Na rozdíl od většiny konkurenčních tiskáren, Form 3L namísto LCD displeje používá technologii LFS (Low Force Stereolithography), díky které je resin vytvrzen působením laseru.

Ovladač umístěný v pravé části přední strany je lehce nakloněn díky celkovému tvarování tiskárny. Je umístěn přibližně v polovině výšky produktu, což může být ergonomicky přijatelnější, než kdyby byl umístěn v dolní části.

Celková velikost tiskárny je (770 × 520 × 740) mm a maximální velikost výtisku je (335 × 200 × 300) mm. Výška vrstvy se může pohybovat od 0,025 mm do 0,3 mm. Díky velkým rozměrům váží tiskárna téměř 48 Kg. [6]



Obr. 2-4 Formlabs Form 3L [6]

2.1.5 DWS Systems XFAB 3500 HD

Tiskárna XFAB 3500 HD je určena především pro výrobu modelů šperků, ze kterých se následně tvoří forma na odlitky. Tento model je kompatibilní pouze s 16 druhy resinů, které výrobce vyrábí a prodává.

Základna i přední část krytu jsou tvořeny kvádry s ostrými hranami, zadní strana krytu je tvořena kružnicí. Tento tvar umožňuje odklápění krytu do zadní strany tiskárny, střed bílého kruhu je osa otáčení. Absence nohou neumožňuje umístit tiskárnu na nerovný povrch.

Neobvyklým způsobem je u tohoto modelu řešen ovladač, který při pohledu na vypnutou tiskárnu není viditelný. Nachází se na přední straně a vyklopí se až při zapnutí tiskárny. V bočních stranách výklopného ovladače se nachází porty pro USB a ethernet. Na první pohled tento vyklápěcí ovladač působí zajímavě, ale je to prvek, který nijak práci s tiskárnou neusnadní a pokud by se mechanismus poškodil, bude pouze práci přidávat. Tisková platforma má v sobě hluboké drážky, které mají zlepšit přilnavost výtisků a snížit tlak mezi FEP folií a platformou. Po dokončení tisku je možné platformu otočit o 90° a přebytečný materiál tak steče zpět do vaničky.

Tiskárna má na svoje velké rozměry (400 × 606 × 742) mm poměrně malý tiskový objem (140 × 140 × 180) mm, naopak cena 275 000 Kč je poměrně vysoká. Tiskárna váží 40 Kg a stejně jako u tiskárny Formlabs Form 3L [6], je i v tomto případě resin vytvrzován pomocí laseru. [7]



Obr. 2-5 DWS Systems XFAB 3500 HD [7]

2.1.6 Flashforge Hunter

Tento model značky Flashforge je v několika ohledech podobný tiskárně XFAB 3500 HD. [7] Výrobce uvádí, že je tiskárna vhodná zejména k výrobě prototypů šperků, ze kterých se následně vyrobí šperk opravdový. Dále je tiskárna zaměřena na stomatologickou digitalizovanou výrobu.

Tiskárna upoutá pozornost především svým dynamickým vzhledem. Hrany jsou zkoseny a lemovány černým rámem. Průhledy jsou díky rámování rozděleny na tři jednotlivé části. Přední i boční stěny krytu jsou výklopné, takže manipulace ve vnitřních prostorech tiskárny není nijak omezena. Krytování částečně zasahuje do zadní stěny tiskárny. Dolní část přední strany je barevně odlišná a opticky tiskárnu nadlehčuje. V této části se také nachází dekorativní prvek, ve kterém je zobrazen název tiskárny. I v tomto případě absence nohou neumožňuje umístění na nerovný povrch.

Stejně jako u tiskárny Anycubic [4] je pojízdný mechanismus tvořen dvěma vodícími dráhami. Tisková platforma je povrchově upravená, navíc obsahuje úchyty, díky kterým se s platformou lépe manipuluje.

Ovladač ve formě dotykového displeje je umístěn v přední části tiskárny, která je utvořena výřezem materiálu. Tento prvek vytvořil přijatelnější náklon ovladače k uživateli. Ethernet a USB port jsou umístěny v zadní části pravé strany, tlačítko, které zapíná a vypíná tiskárnu, je umístěno vedle dotykového displeje. Umístění tlačítka a portů daleko od sebe může být nepraktické, na druhou stranu se tímto způsobem může předejít nechtěnému kontaktu s USB disky.

Celkový rozměr tiskárny (360 × 310 × 565) mm je stejně jako v minulém případě vůči maximální velikosti výtisku (144 × 81 × 150) mm poměrně velký. Cenově se oproti XFAB 3500 HD [7] pohybuje níže, tiskárnu je možné zakoupit za 90 000 Kč. Tiskárna váží přibližně 15 Kg. Rozlišení tisku (1920 × 1080) px je oproti konkurenčním firmám nízké. [8]



Obr. 2-6 Flashforge Hunter [8]

2.1.7 ELEGOO Jupiter

ELEGOO je další ze společností sídlící v Číně. Model Jupiter je v současnosti největší tiskárna značky ELEGOO s maximální velikostí výtisku (277,85 × 156,26 × 300) mm. Výhodou této tiskárny je její cena, která se pohybuje okolo 27 000 Kč, tudíž je dostupná i pro menší firmy a hobby uživatele.

Celé tělo je složené z kovových plechů, které dohromady vytváří pevnou a odolnou konstrukci. Detaily jako úchyt dvířek, nebo madla tiskové platformy jsou hliníkové. Tiskárna má tvar kvádrů. Přední dvířka mají skleněný průhled opatřený folií zabraňující průniku UV záření. Jsou přiznány konstrukční prvky, například šrouby v plechu. Na bočních stranách jsou plastové úchyty, které slouží k pohodlnějšímu přesunu tiskárny. Tento model však váží 40 Kg, tudíž by bylo praktičtější nést tiskárnu ve více lidech, nebo použít vozík. Konstrukce tiskárny stojí na čtyřech polohovatelných nohách.

Tiskárna má v sobě několik prvků, které uživateli usnadňují práci. Vedle vaničky na resin je mechanismus, který automaticky doplňuje materiál, takže je možné tisknout velké modely bez nutnosti obsluhy během procesu výroby. Uvnitř se navíc nachází zabudované LED osvětlení a ventilátor s filtrem.

Ovladač je zapuštěn do spodní části tiskárny s mírným sklonem. USB port, napájení i kolébkový vypínač jsou umístěny na pravé boční straně.

Produkt má celkové rozměry (498 × 358 × 750) mm a na trhu dominuje díky své nízké ceně a maximální velikosti výtisků. Monochromatický LCD displej má rozlišení (5448 × 3064) px. [9]



Obr. 2-7 ELEGOO Jupiter [9]

2.1.8 RAYSHAPE Shape 1+ Dental

Model Shape 1+ Dental od výrobce Rayshape je navržen přímo pro stomatology, ortodontisty a zubní laboranty. Na tiskárně lze vytvářet dočasné zubní náhrady, rovnátka, modely zubů a podobně. Model je kompatibilní s resiny třetích stran, což může být výhodou. I přes specifické zaměření je na tiskárně Rayshape možné tisknout i jiné modely, jako například součástky, figurky a prototypy.

Na první pohled je zřejmé, že výrobce věnoval celkovému vzhledu větší pozornost než výrobci tiskáren z předešlých příkladů. Tělo je i v tomto případě tvořeno kvádrem se zkosenými hranami, ale díky zvoleným materiálům a barvám působí tiskárna exkluzivněji. Základna má matně stříbrný povrch a černý výklopný průhled. Existuje také varianta s matně bílou základnou. Vodící dráhy jsou umístěny v konstrukci zadní stěny, toto uzpůsobení zajišťuje vyšší přesnost tisku. Model má čtyři gumové nožky tlumící vibrace.

V zadní stěně tiskárny je zabudovaný filtrační systém, který zabraňuje úniku nebezpečných látek z materiálu. USB porty jsou jako ve většině ostatních případů umístěny na pravé boční straně. Kolébkový vypínač, napájení a port pro ethernet se nachází na zadní straně.

Ovladač je umístěn ve zkosení plochy základny. Pro lepší odlišení ovládacího prostoru je zkosená plocha černá.

Celkové rozměry tiskárny jsou (420 × 400 × 604) mm. Vzhledem ke své specializaci tiskárna nevyžaduje příliš velký maximální rozměr výtisku, který je (144 × 81 × 90) mm. Rozlišení tisku je (1920 × 1080) px. Cenu výrobce sděluje na vyžádání, někteří distributoři uvádí částku přibližně 250 000 – 300 000 Kč. Celková váha tiskárny je 26 Kg. [10]



Obr. 2-8 RAYSHAPE Shape 1+ Dental [10]

2.1.9 Phrozen Transform

Společnost Phrozen produkuje cenově dostupné tiskárny cílící především na hobby uživatele, kteří rádi tisknou figurky, cosplay předměty a různé herní a filmové sochy. Model Transform je tiskárna s největším tiskovým objemem mezi tiskárnami své třídy.

Konstrukčně se model podobá tiskárně ELEGOO Jupiter [9], obsahuje však několik prvků, kterými se odlišují. V první řadě jsou hrany těla tiskárny zaobleny a stěny nejsou tvořeny jednoduchými plechy, jak je tomu v případě tiskárny Jupiter. Dvířka jsou dvojitá a každé má svůj vlastní akrylový průhled a madlo, které má leskle stříbrný povrch. Dvířka jsou od základny opticky oddělena černým pruhem. Na bočních stranách jsou plastová madla, díky kterým je možné tiskárnu na krátké vzdálenosti přenášet. Model se barevně odlišuje od konkurenčních produktů. Jednotný vzhled narušují postranní ventilátory, které ochlazují systém. Tiskárna stojí na šesti gumových nohách.

Uvnitř tiskárny se nachází pouze vanička, pojízdný mechanismus se dvěma vodícími dráhami a tisková platforma. Tiskárna z důvodu nízké ceny neobsahuje žádné filtry, topné jednotky ani systém automatického doplňování resinu. Tisková platforma má v sobě kulaté otvory, které slouží ke snížení tlaku mezi platformou a FEP folií. Po zavedení produktu na trh si uživatelé stěžovali na obtížnost odstraňování vytvrzeného materiálu z otvorů. Nevýhodou tiskárny je také její hlučnost, která je způsobena velkým množstvím ventilátorů.

Ovladač tiskárny je zapuštěn do přední stěny základny, všechny porty včetně kolébkového vypínače jsou umístěny v zadní straně tiskárny.

Tiskárna má vnější rozměry (380 × 350 × 610) mm a největší možný výtisk může mít až (290 × 160 × 400) mm. Rozlišení monochromatického displeje činí (3840 × 2160) px. Váha včetně vaničky a tiskové platformy činí 27,5 Kg. Tiskárnu lze zakoupit u několika distributorů s cenou od 33 000 do 50 000 Kč. [11,12]



Obr. 2-9 Phrozen Transform [12]

2.1.10 Creality HALOT-SKY 2022

HALOT-SKY je do značné míry kombinací tiskáren Prusa SL1S [3] a Anycubic M3 Plus. [4] Celkový tvar a členění se podobá Prusa SL1S. Velikost, uživatelské rozhraní a cena koresponduje s tiskárnou Anycubic.

Tělo tvořené kvádrem má mírně zaoblené kolmé hrany. Stejně jako tiskárna Prusa SL1S i HALOT-SKY má výklopný akrylový průhled oranžové barvy. Zadní stěna je konstrukcí vyklápěcího mechanismu a pojízdného mechanismu, který má z důvodu rozměrné tiskové platformy dvě vodící dráhy. Úchyt pro manipulaci s krytem vznikl odebráním materiálu v přední straně krytu. Vibrace jsou tlumeny nožkami, které nejsou polohovatelné.

Model je kompatibilní s aplikací Creality Cloud, která umožňuje tiskárnu ovládat a kontrolovat přes mobilní aplikaci mimo dosah domova. Aplikace navíc umožňuje přípravu 3D modelů k tisku a sdílení výtvarů s přáteli.

Ovladač, v podobě dotykového displeje, je netradičně orientován svisle a je umístěn na pravé straně přední stěny. I přes lehké zapuštění směřuje displej kolmo k uživateli, což z ergonomického hlediska není ideální. Porty jsou umístěny na pravé boční straně, kolébkový vypínač včetně napájení na straně zadní.

Tiskárna je díky maximální velikosti výtisku (198 × 123 × 200) mm, vysokému rozlišení monochromatického displeje (5760 × 3600) px a ceně okolo 25 000 Kč velmi atraktivní jak pro začátečníky, tak i zkušené hobby uživatele i malé firmy. Model má celkové rozměry (340 × 292 × 552) mm a váhu 22,45 Kg. [13]



Obr. 2-10 Creality HALOT-SKY 2022 [13]

2.1.11 Závěr designerské analýzy

Z uvedených příkladů je zřejmé, že mezi všemi produkty na trhu existuje určitá podobnost. Ta je způsobena samotnou technologií tiskáren, která vyžaduje určité uspořádání a tvar.

Trh by se dal obecně rozdělit na dva póly výrobců. Na jedné straně jsou velké společnosti s dlouholetou tradicí, jejichž tiskárny mají často určité specializace, a především vyšší cenu. Na druhé straně jsou nové společnosti, nejčastěji čínské, které cílí na širokou veřejnost, malé firmy a hobby uživatele. Výhodou těchto společností je jejich rychlý vývoj, četnost nových modelů a cena.

Většina výrobců příliš nehledí na uspořádání tlačítek, vypínačů a ovladačů. Lepší uspořádání by mohlo zjednodušit a zpříjemnit práci se zařízením.

Pouze u jednoho z příkladů jsme se setkali s vyhříváním komory, které je v našich klimatických podmínkách velmi důležité. Tiskárny jsou často umístěny v garážích, komorách nebo dílnách, ve kterých je v zimním období nízká teplota. Většinu tiskových materiálů je možné používat až od určité teploty, při nižších teplotách tisk často selže, nebo není kvalitní. Samotné topné těleso je poměrně levná záležitost a tento problém by jednoduše vyřešilo.

Dalším opomíjeným bodem je odtok materiálu z tiskové platformy po dokončení výtisku. Jediný model, který touto funkcí disponoval byl XFAB 3500 HD. [7] Možnost platformu naklonit a nechat materiál stéct zpět do vaničky by šetřilo materiál a zároveň by ulehčilo další práci s umýváním resinu, který často vyteče na pracovní plochu pracovní stanice.

V neposlední řadě je nutné myslet na bezpečnost při práci s resinovými tiskárnami. Z materiálu unikají těkavé organické látky, které jsou pro člověka nebezpečné. Je nežádoucí uživatele vystavovat těmto látkám déle, než je potřeba, proto jsou důležité filtry či různé formy odsávání vzduchu z komory tiskárny.

2.2 Technická analýza

Všechny 3D tiskárny se skládají z určitých komponent podle toho, o jakou technologii tisku se jedná. Během vývoje tiskáren vznikaly různé druhy aditivních technologií, některé z nich se používají dodnes, jiné zas příliš úspěšné nebyly. Asi nejvýznamnější se v posledních desetiletích jeví technologie FDM a SLA. Do technologie SLA spadají všechny tiskárny využívající fotopolymerizaci UV resinu a fungují na velice podobných principech. Dají se rozdělit do tří typů podle zdroje UV záření.

2.2.1 Dělení SLA tiskáren

Technologie SLA se vyznačuje vysoce detailními výtisky s jemným povrchem, které se nejčastěji využívají pro výrobu prototypů, šperků, figurek a podobně. Výhodou je zejména rychlost tisku, především u SLA tiskáren typu DLP a LCD, kde je v jeden okamžik vytvrzovaná kompletně celá vrstva, tudíž nezáleží na množství modelů na tiskové ploše, čas tisku se odvíjí pouze od výšky (počtu vrstev) modelů.

Nevýhody technologie SLA vychází z typu materiálu, který využívá. Ve většině případech je fotopolymer po vytvrzení křehký a má omezené využití pro mechanické součásti. Dalším problémem fotopolymerů je jejich toxicita. Materiál nemůže přijít do styku s kůží. Při nedodržování bezpečnosti může uživateli způsobit kontaktní dermatitidu, což je povrchová vyrážka, která se může vyvinout v alergii. Zdravotně závadné jsou také těkavé organické látky (VOC), které z materiálu unikají. Nevýhodou může být i nutnost čištění výtisků od přebytečného materiálu a následné vytvrzování. Tyto úkony se nejčastěji vykonávají v multifunkčních stanicích, které je nutné přikoupit.

SLA

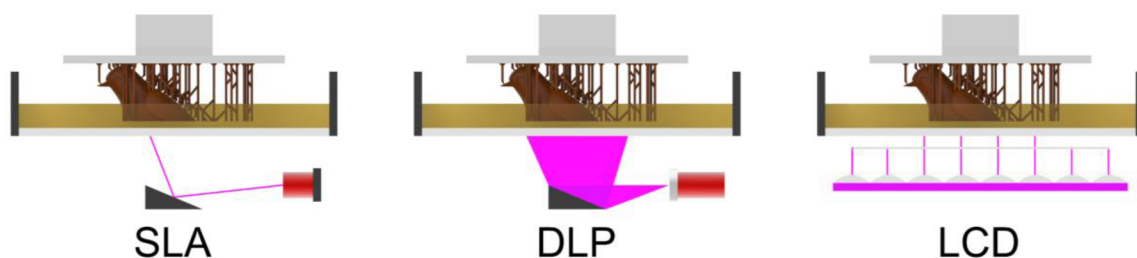
První ze tří typů se stejně jako celá technologie nazývá SLA (stereolitografie). Tiskárny fungují na principu vytvrzování fotopolymeru za pomoci laseru. Pohyb laseru postupně vykreslí a vytvrdí celou plochu vrstvy daného modelu. Pro vytvrzení další vrstvy je potřeba, aby se tisková platforma posunula o tloušťku jedné vrstvy na ose z. Teoretická přesnost odpovídá velikosti molekuly polymeru, nicméně záleží především na průměru daného laseru. Tloušťka vrstvy se běžně pohybuje od 0,01 do 0,3 mm. [14]

DLP

Tiskárny tohoto typu fungují na velice podobném principu, jako SLA tiskárny. Nejzásadnějším rozdílem je zdroj UV záření. DLP tiskárny využívají projektory a soustavy zrcadel, které najednou ozařují celou vrstvu. Nevykreslují tak plochu bod po bodu, jako u stereolitografie. Protože se celá vrstva tiskne současně, je tisk podstatně rychlejší. Výhodné používat tiskárny typu DLP může být například při sériové výrobě, u které máme na tiskové ploše velké množství stejných modelů. Projektory nepracují v křivkách, nýbrž v pixelech. To může být nevýhodou, většina současných tiskáren má ale tak vysoké rozlišení projektorů, že jednotlivé pixely nejsou okem viditelné. [15,16]

LCD (MSLA)

Stejně jako v minulém případě i LCD tiskárny v jeden okamžik ozařují celou vrstvu modelu. U této technologie je UV záření emitováno LED diodami, které jsou umístěny pod LCD displejem. Záření je následně displejem maskováno a vznikají plochy jednotlivých vrstev. Celková kvalita výtisku se odvíjí od rozlišení LCD displeje. Výhodou těchto tiskáren je rychlost a také jejich nižší pořizovací cena, nevýhodou je kratší životnost displeje. [15,16]



Obr. 2-11 Rozdělení technologií SLA

2.2.2 Další technologie 3D tisku

Kromě technologie SLA existuje i několik dalších technologií 3D tisku, které pracují různými principy a využívají jiné materiály. V následujících příkladech jsou uvedeny některé z nich.

FDM

Technologie FDM (Fused Deposition Modeling), někdy také nazývaná jako FFF (Fused Filament Fabrication) je druh aditivní technologie využívající nanášení jednotlivých vrstev termoplastu, který je po natavení vytlačen tryskou pohybující se nejčastěji v ose x .

Materiál je ve výchozím stavu v pevném skupenství, tudíž se s ním manipuluje jednodušeji než například s fotopolymery. Nejčastěji se u technologie FDM setkáváme s termoplasty PLA, ABS, ASA, PET a TPU, některé tiskárny dokážou pracovat i s PMMA, CPE nebo nylonem. Existují také filamenty s různými aditivami imitujícími kov, dřevo nebo kámen.

U výtisků touto technologií je charakteristická viditelně vyšší tloušťka vrstvy, zpravidla od 0,1 mm do 0,3 mm. Velmi často jsou na výtiscích různé chyby a artefakty, které vznikají špatnou údržbou, nekvalitním materiálem nebo nastavením tiskárny.

Velkou výhodou FDM tiskáren je jejich cenová dostupnost, variabilita materiálů a poměrně jednoduchá obsluha. Využívají se k tisku funkčních součástí, jednoduchých prototypů a malých nástrojů. Tiskárny jsou vzhledem k rychlosti a jednoduchosti vhodné pro rapid prototyping, který snižuje náklady a urychluje proces výroby nových produktů. [17]

DED

DED neboli přímé energetické nanášení, je metoda 3D tisku kovových materiálů, která využívá soustředěný zdroj energie, jako je laser, plazmový oblouk nebo elektronový paprsek k roztavení materiálu, který je současně nanášen tryskou. Přídavný materiál může být ve formě prášku nebo drátu, v závislosti na použité metodě.

Hlavní výhodou metod přímého energetického nanášení je možnost tisku nových součástí, u kterých by výroba obráběním vedla k vysokým nákladům a značným ztrátám z hlediska velkého množství odpadního materiálu. Touto technologií lze také provádět opravy či povrchové úpravy dílů již zhotovených z důvodu vylepšení funkce nebo prodloužení jejich životnosti.

3D tisk kovů je označován jako technologie budoucnosti, a to především díky schopnosti vytvořit i tvarově velmi složité součásti požadovaných vlastností. [18]

SLS

Selective Laser Sintering (SLS) pro tisk využívá práškových materiálů, které se pomocí laseru nataví a spojí s předešlou vrstvou. SLS výtisky mají oproti jiným metodám výhodu ve výborných mechanických vlastnostech a v jejich homogenitě. Technologií je možné využívat pro výrobu přesných prototypů a pro produkční výrobu. V některých případech může kompletně nahradit konvenční výrobu. Jelikož je okolo výtisků ze všech stran přebytečný práškový materiál, není u tisku technologií SLS nutné využívat podpor.

Tiskárny SLS pro tisk nejčastěji využívají polyamidy, které jsou odolné vůči mechanickým i chemickým vlivům. Některé SLS tiskárny dokážou pracovat i s kovovými materiály. [19,20]

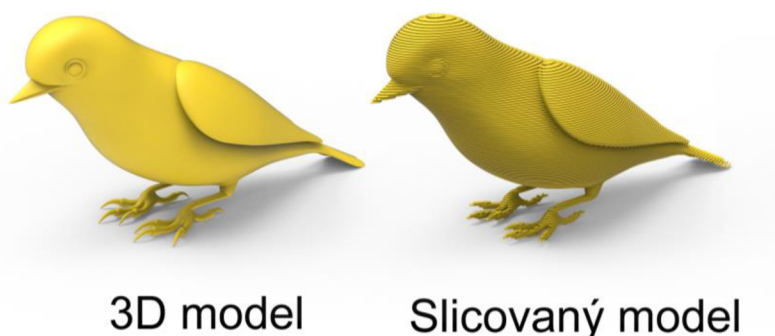
ColorJet Printing je jedna z mála technologií 3D tisku, která umožňuje tisknout fotorealistické modely. Tiskárna používá dvě základní složky, kterými jsou plastové prášky a pojiva, které obsahují pigmenty. Prášek je nanášen v tenkých vrstvách na tiskovou plochu válečkem. Po nanesení každé vrstvy materiálu je pojivo selektivně vstřikováno inkoustovými hlavami, čímž materiál ztuhne.

Nejčastěji se touto technologií tisknou modely produktů, figurky, postavy lidí a domácích mazlíčků. [19,20]

2.2.3 Příprava modelů na tisk

Všechny modely určené pro 3D tisk musí před samotným procesem tisku projít programem, který nazýváme slicer. Těchto programů existuje celá řada, některé společnosti vyvíjejí slicery pouze pro jejich tiskárny, jiné jsou kompatibilní s širokou škálou tiskáren.

Podstata slicerů spočívá v převodu 3D modelů na konkrétní pokyny pro tiskárnu. Slicer nejprve rozdělí objekt na soubor plochých vrstev, v případě FDM tiskáren vrstvy popíše jako lineární pohyby extrudéru 3D tiskárny. U DLP tiskáren slicer funguje podobně, model je namísto lineárních pohybů rozdělen na bitmapy jednotlivých vrstev.



Obr. 2-12 Příklad slicovaného modelu

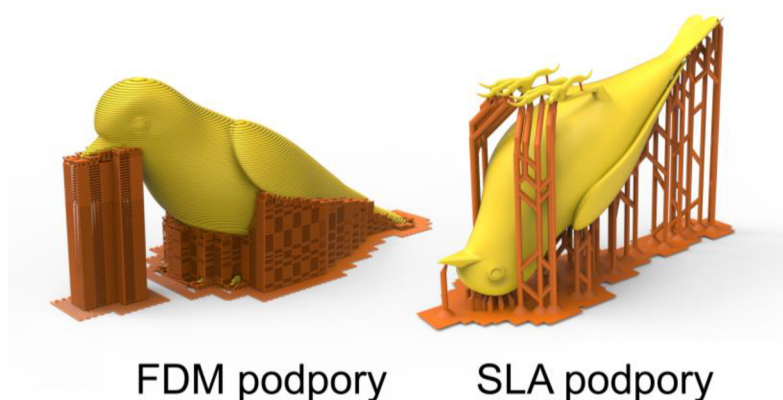
Slicery mají několik funkcí, kterými je možné měnit parametry tiskáren i výtisků. U FDM tiskáren například výška vrstev, rychlost pohybů, počet perimetrů, teplota trysky a podložky, hustota výplně a podobně. U DLP tiskáren tolik možností nastavení není, pracuje se především s výškou vrstvy, délkou ozáření a s vydutěním modelů a následným přidáním děr, kterými bude moci odtéct přebytečný materiál. Hlavní funkce slicerů jsou popsány níže.

Podpory

Většina modelů obsahuje části, například převisy, které by bez podpůrné konstrukce nemohly být vytisknuty. Z těchto důvodů se k modelům přidávají podpory. Jelikož se podpory kontaktně dotýkají finálních výtisků, je žádoucí volit orientaci modelů na tiskové ploše tak, aby případných podpor bylo co nejméně.

Nevýhodou podpor je vznik odpadního materiálu a také zhoršení kvality povrchu finálního výtisku.

Vzhled podpor se u technologií tisku liší. U DLP tiskáren jsou podpory ekonomičtější a zasahují méně do finálního výtisku. [21]

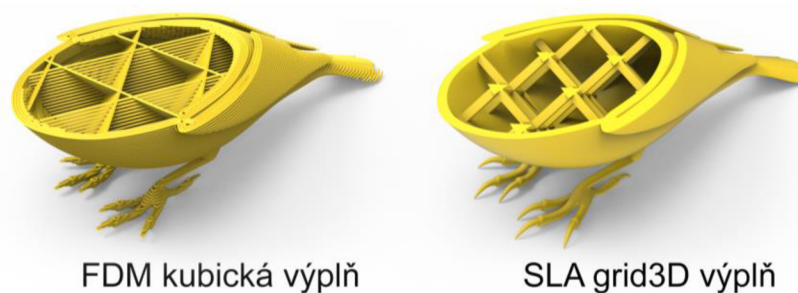


Obr. 2-13 Příklad FDM a SLA podpor

Výplně

Objemné modely je nutné tisknout se 100 % výplní pouze v několika málo případech. Namísto toho se pravidelně využívají výplně, které vnitřní objem modelu vyplní podpěrnou strukturou. Tato struktura napomáhá držet model v celku a brání tvorbě děr a artefaktů. Výplně šetří čas i spotřebovaný materiál.

Ve většině FDM slicerů je možné volit z několika druhů výplní, nejčastěji se používá kubická výplň. SLA výplně nemají tolik tvarových variant, princip tvorby je však stejný. [22]



Obr. 2-14 Příklad FDM a SLA výplně

Teplota

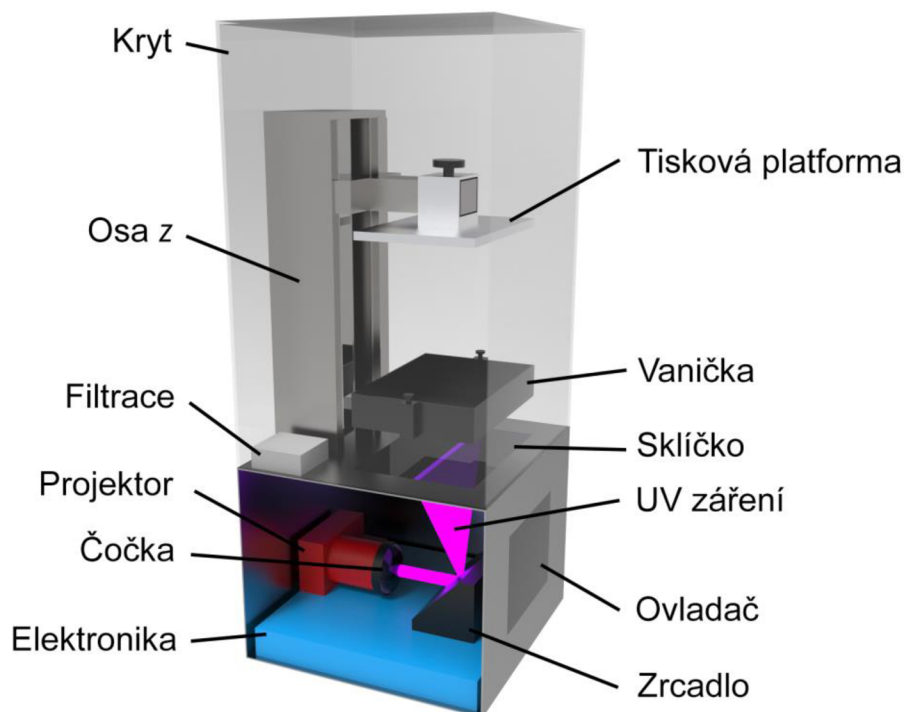
Jelikož FDM tiskárny mohou používat různé druhy termoplastů, je třeba pracovat s teplotou trysky a podložky. Většina výrobců filamentů uvádí, na jaké teplotě je vhodný materiál tisknout. U DLP tiskáren se s teplotou nepracuje, materiál je však nutné udržovat při teplotě nad 20 °C. [17]

Rychlost

Rychlostí tisku se rozumí rychlost pohybu tiskové platformy v ose z a doba, za kterou se jednotlivé vrstvy vytvrdí. Čím rychleji se platforma s výtiskem odlepuje od FEP folie, tím je vyšší pravděpodobnost selhání tisku či vzniku artefaktů ve vrstvách modelu. Rychlost vytváření ovlivňuje kvalita zdroje UV záření, tudíž levnější tiskárny tisknou pomaleji, než tiskárny vyšších cenových tříd.

2.2.4 Komponenty DLP tiskárny

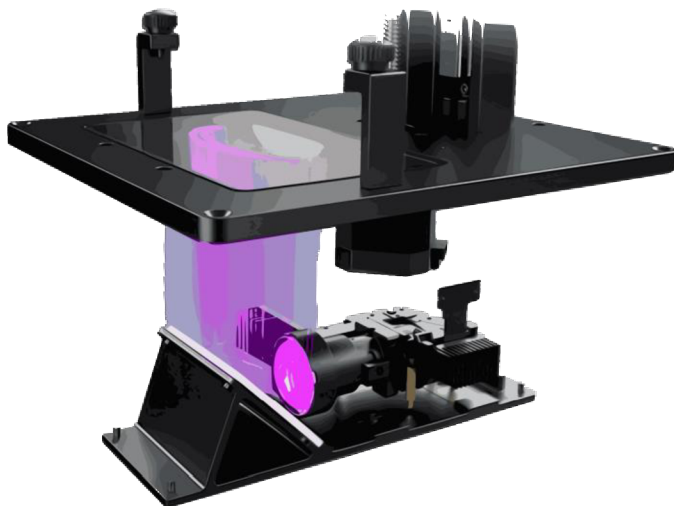
Většina DLP tiskáren se skládá zejména z elementárních konstrukčních a funkčních prvků. Jelikož je princip každé DLP, LCD a SLA tiskárny velmi podobný, celkové uspořádání komponent je ve většině případů stejné. V následujících bodech jsou popsány základní komponenty DLP tiskárny.



Obr. 2-15 Schéma komponent DLP tiskárny

Zdroj UV záření

V případě DLP tiskáren je zdrojem UV záření projektor, který společně s čočkou, soustavou zrcadel a sklíčkem vytváří finální vzhled jednotlivých vrstev. Jelikož projektory pracují v pixelech, velice důležitým parametrem je rozlišení. [23]



Obr. 2-16 Anycubic × Texas Instruments DLP projektor (upraveno) [23]

Vanička na resin

Vaničky se nejčastěji skládají ze samotného těla a protikusu, který má za úkol napnout FEP folii a zamezit úniku resinu na sklíčko. Většina výrobců vyrábí vaničky z hliníku nebo plastu. Vanička by měla mít dostatečný objem vzhledem k tiskovému prostoru. Ve většině případech se vanička ke konstrukci tiskárny přichycuje dvěma šrouby.

Dno tvoří FEP folie, která propouští UV záření a umožňuje tak tisk jednotlivých vrstev. Jelikož na folii během tisku neustále působí tlaky, rychle se opotřebuje. Z těchto důvodů je potřeba folii pravidelně měnit. Folii lze také poškodit neopatrným zacházením. [24]



Obr. 2-17 Vanička na resin ELEGOO [24]

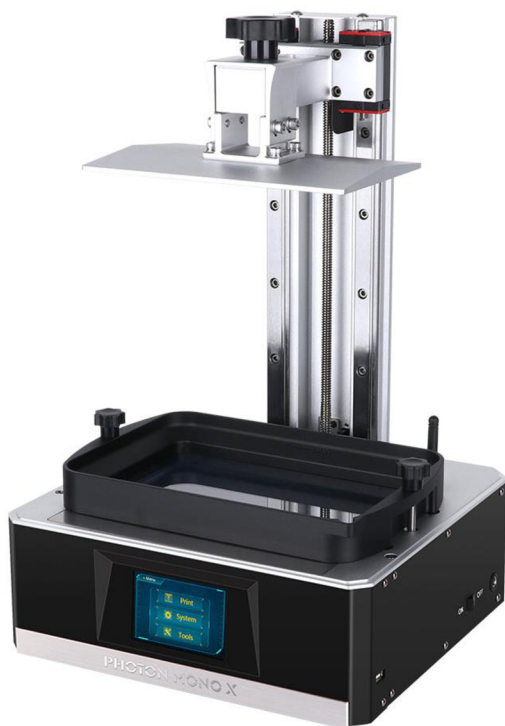
Tisková platforma a osa z

Osa z se skládá z tiskové platformy, rámu, vodících drah, motoru a závitové tyče s trapézovým závitem.

Platforma je společně s FEP folií část, na které přímo probíhá tisk. Vyrábí se nejčastěji z hliníku, který je lehčí a méně zatěžuje osu z. Tiskové platformy některých tiskáren mají povrchové úpravy, které zlepšují přilnavost prvních vrstev a zvyšují tak úspěšnost výtisků. Před prvním tiskem je nutná kalibrace platformy. Nejčastěji se provádí manuálně za pomoci imbusového klíče a listu papíru. Existují tiskárny, které mají kalibraci automatickou.

Platforma se ve směru osy z pohybuje pomocí motoru a závitové tyče. Pro zajištění plynulého pohybu obsahují tiskárny vodící dráhy ve formě lineárního valivého vedení. Menší tiskárny si ve většině případech vystačí pouze s jednou vodící dráhou, rozměrnější mají kvůli větším rozměrům výtisků a celkové váze platformy vodící dráhy dvě.

Přesnost pohybu v ose z je velmi důležitá, jelikož ovlivňuje celkovou kvalitu výtisku. Závisí také na rychlosti pohybu platformy po ose. Jestliže je rychlost příliš vysoká, tlak mezi FEP folií a výtiskem může být tak velký, že se výtisk od platformy odtrhne a zůstane přichycený k FEP folii.



Obr. 2-18 Osa z s tiskovou platformou tiskárny Aycubic Photon Mono X [25]

Ovladač

Téměř u všech DLP tiskáren je ovladačem dotykový displej. Pomocí displeje se ovládají veškeré funkce tiskárny. Valná většina současných výrobců umísťuje displeje do spodních částí tiskáren s mírným zapuštěním.

Vedle displeje bývají umístěny vypínače a USB porty. Některé modely je možné připojit internetu. U těchto tiskáren je možné kontrolovat a ovládat funkce na dálku.

Filtrace a topná tělesa

Některé tiskárny obsahují filtry v podobě malých ventilátorů a aktivního uhlí. Tyto filtry jsou většinou tak malé, že z daleka nedokážou kontaminovaný vzduch přefiltrovat. Aktivní uhlí je navíc nutné po určité době měnit, většina výrobců na to však neupozorňuje.

Méně často se setkáváme s topnými tělesy. Ty jsou potřebné především v chladnějších oblastech, kde je nutné resin zahřát na minimálních 20 °C. S vyšší teplotou resinu (do 35 °C) přicházejí kvalitnější výtisky s menší pravděpodobností selhání tisku. Topná tělesa nejsou finančně nákladná a práci s tiskárnou by do značné míry ulehčila.

Kryt

Kryt má jak funkční, tak i estetickou roli. Chrání vnitřní část tiskárny před světlem, prachem a nečistotami. Kryty bývají buď zcela odnímatelné nebo vestavěné v konstrukci tiskáren.

2.2.5 Technické specifikace

Rozměry tiskáren vychází především z celkového tiskového objemu. Rozměry x a y jsou určeny velikostí tiskové plochy a konstrukce pro osu z . Výšku tiskárny určuje výška základny a osy z . Ve vnitřních prostorách musí být dostatek místa pro manipulaci, není vhodné, aby byl uživatel prostorově omežován. Dále musí být uvnitř tiskárny dostatek místa pro případné filtry, topná tělesa a další zařízení.

Jelikož se s tiskárnami nemanipuluje a jsou umístěné na místě, většinou na pracovním stole, může být váha do určité míry libovolná. Váhově se tiskárny mohou pohybovat od 4 Kg až do několika set kilogramů.

Rozlišení tisku závisí na velikosti tiskové plochy a rozlišení DLP projektoru, kvalitu výtisků určuje velikost pixelů, která se obecně pohybuje od 35 μm do 100 μm .

DLP tiskárny se vyznačují nižší spotřebou energie, než je tomu u FDM tiskáren. To je způsobeno absencí topných těles, které zahřívají podložku a trysku. Jmenovitý výkon se pohybuje okolo 15 W. [28]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Z designerské a technické analýzy vyplynulo několik problémů současných DLP tiskáren. Ve většině případech jsou tyto problémy způsobeny levnou výrobou s co nejjednoduššími výrobními procesy. Na tiskárny se nahlíží spíše jako na výrobní stroj než na produkt, se kterým bude uživatel v blízkém kontaktu. Na druhou stranu nedostatky stávajících tiskáren pro nás mohou být příležitostí.

3.1 Analýza problému

Většina problémů DLP tiskáren vychází především z levné výroby a nebezpečných materiálů, které tiskárna pro tisk využívá. U návrhů tiskáren by se měly zohledňovat aspekty jak technologické, tak lidské, jako například ergonomie, hygiena, bezpečnost a uživatelská přívětivost.

Asi největším problémem celé SLA technologie je toxicita a nebezpečnost resinů. Pokud by existoval materiál, který je zdravotně nezávadný, valnou většinu komplikací s resinovými tiskárnami bychom mohli opomenout. Takový materiál bohužel neexistuje, přesto lze několik problémů vyřešit a práci s tiskárnami usnadnit.

3.2 Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše

Novodobé modely tiskáren disponují různými novými funkcemi, jádro problémů však bývá nevyřešené – tiskárny příliš nezohledňují parametry člověka a jeho bezpečnost při práci.

Nejlepším řešením by bylo udělat tiskárnu, se kterou nebude muset člověk být v kontaktu vůbec. Toto řešení je sice nereálné, ale je možné se ním inspirovat.

Tiskárnu lze tvarově navrhnout tak, aby měl uživatel dostatek prostoru pro práci a nebyl nijak pohybově omezován. Po stranách je potřeba prostoru pro manipulaci s vaničkou, především pokud se jedná o tiskárny s větším tiskovým objemem. Řešením může být odnímatelný kryt, ten s sebou ale přináší řadu dalších problémů. Výška tiskárny musí být navržena tak, že i s využitím maximálních rozměrů výtisku půjde tisková platforma bez větší námahy a překážek odejmout.

Při manipulaci s materiálem, výtisky i odpadem (kontaminované rukavice, zbytky podpor, ubrousky a podobně) je nutné dodržovat určité postupy a bezpečnost. Po dokončení tisku je model včetně tiskové platformy zanesený přebytečným materiálem. Jestliže by tiskárna umožňovala tiskovou platformu naklonit pod určitý úhel, většina přebytečného materiálu by stekla zpět do vaničky. Tímto způsobem je možné ušetřit materiál a mohlo by se předejít potřísnění dalších povrchů a součástí.

Barevné pigmenty některých resinů se usazují na dnu vaničky. Bez důkladného rozmíchání může silná vrstva pigmentů v prvních vrstvách tisk pokazit. Problém by mohl být vyřešen opakovaným pohybem tiskové platformy v ose z, která by materiál rozmíchala.

U velkých, objemných modelů, které se tisknou dlouhou dobu, může bez kontroly materiál ve vaničce dojít. Resiny jsou poměrně nákladné, a proto se chceme těmito situacím vyvarovat. Pokud materiál opravdu dojde, zbylé kapky se vytvrdí na FEP folii a můžou ji trvale poškodit. Některé tiskárny disponují senzorem hladiny materiálu, problém se dá vyřešit i automatickým doplňováním resinu.

Téměř žádný výrobce menších průmyslových a velkých hobby tiskáren nezohledňuje teplotu materiálu. Pokud je tiskárna umístěna v chladném prostředí a teplota resinu klesne pod 20 °C, výtisky mohou být nekvalitní nebo selžou úplně. Do tiskové komory lze umístit menší topné těleso, které by materiál ohřálo na požadovanou teplotu.

Filtry znečištěného vzduchu u levnějších tiskáren většinou chybí, nebo jsou tak neúčinné, že je jejich funkce téměř zanedbatelná. Z materiálu samovolně unikají těkavé organické látky (VOC). Vystavení VOC může způsobit řadu zdravotních komplikací, jako podráždění očí, nosu a krku; bolesti hlavy a ztráta koordinace; nevolnost; poškození jater, ledvin nebo centrálního nervového systému. Studie prokázaly, že VOC unikající z resinů mohou být karcinogenní. Pokud by bylo možné většinu VOC filtrovat, snížily by se zdravotní rizika s nimi spojené. [26]

Ovladač, který je v případech DLP tiskáren dotykový displej, bývá často umístěn do spodní části, kde se také nachází zdroj UV světla a elektronika. Takto umístěný displej není z ergonomického hlediska žádoucí, z výrobního a technologického hlediska je toto řešení nejjednodušší a levné. Bylo by vhodné najít kompromis a na umístění ovladače zapracovat. [33]

3.3 Cíle práce

Hlavním cílem práce je navrhnout DLP tiskárnu, která je určena pro profesionální a náročné hobby uživatele. Tiskový objem musí být dostatečně velký, umožňující tisk středně velkých součástí, prototypů, figurek a podobně. Návrh bude zohledňovat bezpečnost, ergonomii, hygienu a technologii DLP tiskáren.

Z designerské a technologické analýzy vyšlo najevo několik poznatků, problémů i příležitostí, které by měly být v návrhu zohledněny. Dílčími cíli návrhu DLP tiskárny jsou:

- Návrh tvaru a uspořádání tiskárny tak, aby žádná část nepřekážela při manipulaci s vaničkou, platformou, výtisky a ovladačem
- Vytvořit dostatek prostoru uvnitř tiskárny pro pohodlnou práci
- Volba krytu nebo dvířek, které nebude překážet a zároveň umožní neustálou kontrolu průběhu tisků
- Zkonstruování tiskové platformy tak, aby umožnila odkapání přebytečného materiálu
- Zohlednění tiskové teploty, kterou materiál vyžaduje
- Zajištění co nejvyšší bezpečnosti pro uživatele při práci s tiskárnou
- Stanovení rozměrů tisku v ploše xy (256×144) mm a v ose z v rozmezí od 280 mm do 350 mm
- Volba DLP projektoru s rozlišením (3840×2160) px (4K)
- Možnost bezkontaktního promíchávání resinu uvnitř vaničky
- Vhodné umístění ovladače vzhledem k výrobě tiskárny a ergonomii člověka
- Zahrnutí systému automatického doplňování resinu

3.4 Cílová skupina

Oproti FDM technologii jsou výtisky na DLP tiskárnách velmi přesné a mají hladký povrch, proto jsou cílovými skupinami nejčastěji obory stomatologie, šperkařství, designu, a čím dál častěji se s nimi můžeme setkat také u hobby uživatelů.

Návrh bude určen především pro menší firmy a pokročilejší hobby uživatele, kteří vyžadují tisk rozměrnějších prototypů, součástek, figurek, cosplay předmětů a podobně. Přestože je tiskový objem návrhu poměrně velký, technologie je u všech DLP tiskáren stejná, proto bude možné na tiskárně vytvářet i malé, velice přesné modely.

Valná většina uživatelů DLP tiskáren jsou nadšenci 3D tisku, kteří mají podvědomí o fungování aditivních technologií. Často si uživatelé nejprve zakoupí menší 3D tiskárnu a pokud je technologie zaujme, pořídí si stroj větší a nákladnější. Nadšence 3D tisku a firmy využívající tiskárny nalezneme po celém světě, trh tedy není nijak geograficky omezený.

3.5 Základní parametry a legislativní omezení

Vnější rozměry tiskáren vychází z celkového tiskového objemu, tedy z velikosti tisku v ploše xy a z výšky tisku v ose z . Uvnitř tiskárny musí být dostatek prostoru pro manipulaci s vaničkou, platformou a výtisky. Cíl návrhu zahrnuje také topné těleso, filtraci a systém doplňování resinu, tudíž se musí počítat i s prostorem pro tyto komponenty. Velikost dolní části tiskárny určují rozměry DLP projektoru, soustavy zrcadel a elektroniky.

Důležitým parametrem je rozlišení tisku, které určuje celkovou kvalitu a vzhled výtisků. DLP tiskárny pracují s projektory, které mají poměr stran 16: 9. Většina levnějších tiskáren disponuje projektory s rozlišením do (2560×1440) px, dražší tiskárny mají projektory s rozlišením až (3840×2160) px. [27] Ještě důležitějším parametrem je poměr velikosti tiskové plochy ku rozlišení projektoru, který udává velikost jednoho pixelu. LCD tiskárny mají většinou velikost pixelů menší, kontrastní poměr je naopak u DLP tiskáren vyšší. Nelze tedy porovnávat kvalitu tiskáren pouze rozlišením DLP projektoru či LCD displeje.

DLP tiskárny mají poměrně nízkou spotřebu elektrické energie. Jmenovitý výkon se pohybuje okolo 15 W. [28]

S tiskárnami se obecně nemanipuluje, jedná se tedy o stacionární strojní zařízení. Nejčastěji se se zařízením pracuje ve stoje, celkové rozměry tiskárny i stanoviště tomu musí rozměrově odpovídat. Touto problematikou se zabývá norma ČSN EN ISO 14738 (833505) Bezpečnost strojních zařízení – Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení. *Tato mezinárodní norma stanoví zásady pro odvozování rozměrů z antropometrických měření a jejich aplikace v uspořádání pracovních míst u stacionárních strojních zařízení. Je založena na současných ergonomických poznatcích a antropometrických měřeních. Tato mezinárodní norma specifikuje prostorové požadavky pro obsluhu zařízení při běžném provozu a pro polohy vsedě a vstoje. Tato mezinárodní norma nezahrnuje požadavky na údržbářské, opravářské práce a čištění. Tato mezinárodní norma neuvádí doporučení specifická pro obrazovková terminálová pracovní místa u strojního zařízení. Pro tento účel lze využít ISO 9241-5 ve spojení s touto mezinárodní normou. Situacemi, kdy lidé mají být chráněni před nebezpečím, se zabývá ISO 13852.* [29]

3.6 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

Většina DLP tiskáren se skládá z několika elementárních součástí, které se produkují různými výrobními technologiemi. U návrhu tiskárny se předpokládá velkosériová výroba, tudíž je vhodné volit výrobní procesy a technologie takové, které budou finančně nejvýhodnější.

Plastové komponenty by v případě většiny stávajících tiskáren bylo možné vyrobit vstřikováním, odléváním, řezáním nebo ohýbáním. Někteří výrobci, například Průša, využívají vlastní tiskárny k tisku komponent pro další tiskárny. Resinové výrobky jsou křehké, proto je vhodnější se u návrhu držet konvenčních výrobních technologií. [30]

Základnu a tělo je možné vyrobit z ohýbaných plechů. Vaničku včetně tiskové platformy je vhodné odlít a následně provést povrchovou úpravu. Další kovové komponenty, jako vodící dráha a závitová tyč jsou obrobky z oceli. [30]

Trh tiskáren se rapidně posouvá dopředu. Vznikají nové firmy, startupy a modelové řady zaběhlých firem. Díky vysoké konkurenci jsou výrobci nuceni snižovat ceny a tím se tiskárny stávají atraktivnějšími pro více zájemců. Tiskárny jsou dostupné v různých cenových hladinách celosvětově.

Ceny tiskáren jsou určeny především rozlišením tisku, tiskovým objemem a dalšími přídatnými funkcemi, jako například vzduchové filtry, systémy doplňování materiálu a podobně. Většina přídatných prvků je však poměrně nenákladná a nemusí enormně zvyšovat celkovou cenu tiskárny. Pro cenu zásadním prvkem je DLP projektor, který je možné v rozlišení 4k zakoupit přibližně od 30 000 Kč. [27] Jelikož bude návrh nabývat velkých tiskových rozměrů a je určen i pro menší firmy, popřípadě náročné hobby uživatele, cena se bude rámcově pohybovat od 80 000 Kč do 110 000 Kč.

4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

Všechny skici a návrhové varianty vycházejí především ze samotného vnitřního uspořádání tiskárny a z potřeby dalšího prostoru pro přídavné prvky, které byly uvedeny v cílech práce.

Jednotlivé varianty se od sebe odlišují umístěním displeje a přídavných prvků, typem dvířek a celkovým tvarováním těla tiskárny. Pro tiskárnu těchto rozměrů je možné efektivně využít tři různé typy dvířek. První z možností jsou dvířka jednokřídlá, která se otevírají v celé ploše na jednu stranu. Dalšími typy jsou dvířka dvoukřídlá, která se v polovině šířky tiskárny půlí a každá část se otevírá na opačnou stranu a výklopná dvířka, která se zvedají do horní části tiskárny.

Displej je u většiny variant umístěn buď v pravém bočním panelu tiskárny, nebo nad horní hranou dvířek. Obě tyto varianty jsou ergonomicky přijatelnější než displej nacházející se v dolní části tiskárny. V případě tiskárny s bočním panelem se dá tento prostor využít právě pro umístění displeje, u tiskáren s panelem v zadní části je výhodnější umístit displej nad horní hranu dvířek, kde musí vzniknout dodatečný objem materiálu, ve kterém bude ovladač umístěn.



Obr. 4-1 Průběžné pracovní varianty

4.1 Varianta 1

První varianta je utvořena jednoduchým kvádrem s rádiusy na horizontálních hranách. Kvádr má největší rozměr v podélném směru, díky čemuž vznikl dostatečný prostor pro manipulaci s tiskovou platformou a výtisky.



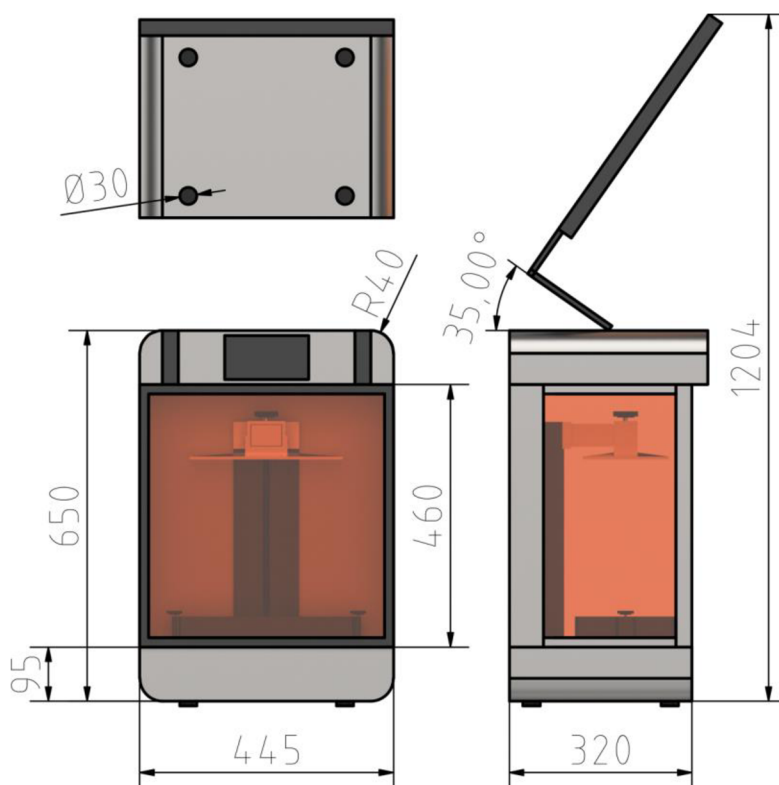
Obr. 4-2 Pracovní modifikace varianty 1

U modifikací této varianty se pracovalo i s dalšími typy dvířek, umístěním displeje a tvarováním podstavy tiskárny.



Obr. 4-3 Otevřené pracovní modifikace varianty 1

Výsledná varianta má displej umístěný nad horní hranou průhledu v prostoru, který vznikl tvarováním ramen výklopných dvířek. Tento typ dvířek může být vhodný pro pracoviště, které mají omezenou pracovní plochu, naopak jej nelze využít v místech, kde jsou například poličky a nástěnné skříně. Varianta má dominantní průhledovou část, která se skládá z předního výklopného průhledu a dalších dvou statických průhledů po stranách. Materiál z přední plochy dolní části tiskárny je vybrán, aby umožnil vzniku úchytu pro prsty uživatele. Celá konstrukce tiskárny je usazena na čtyřech polohovatelných gumových nožkách.



Obr. 4-4 Rozměrové řešení varianty 1

Kvůli symetrii a celkové čistotě návrhu byla hloubka tiskárny zvětšena, aby vznikl prostor pro přídatné prvky, kterými jsou například filtry vzduchu, topná tělesa a systém doplňování materiálu. Z důvodu zvýšení stability tiskové platformy je konstrukce osy z částečně zapuštěna do zadní stěny, zároveň je celková konstrukce zpevněna materiálem v horní části.



Obr. 4-5 Perspektivní pohledy varianty 1



Obr. 4-6 Ergonomický pohled varianty 1

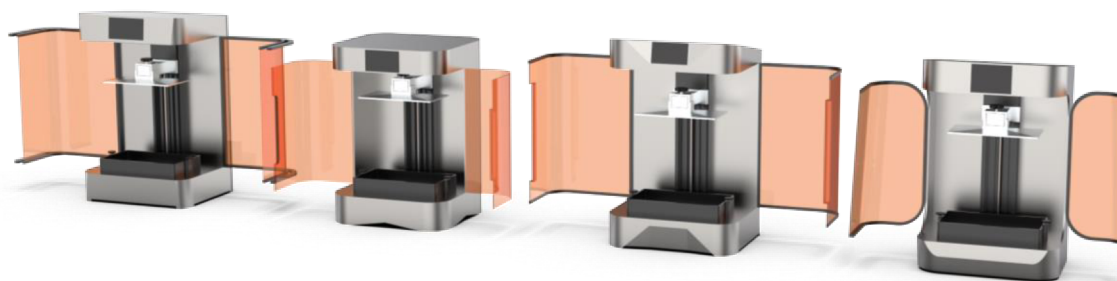
4.2 Varianta 2

Druhá varianta stejně jako předešlá varianta vznikla z jednoduchého kvádrů, v tomto případě jsou však rádiusy na vertikálních hranách. I v tomto případě dominuje výška, která umožňuje pohodlnou manipulaci uvnitř tiskového prostoru.



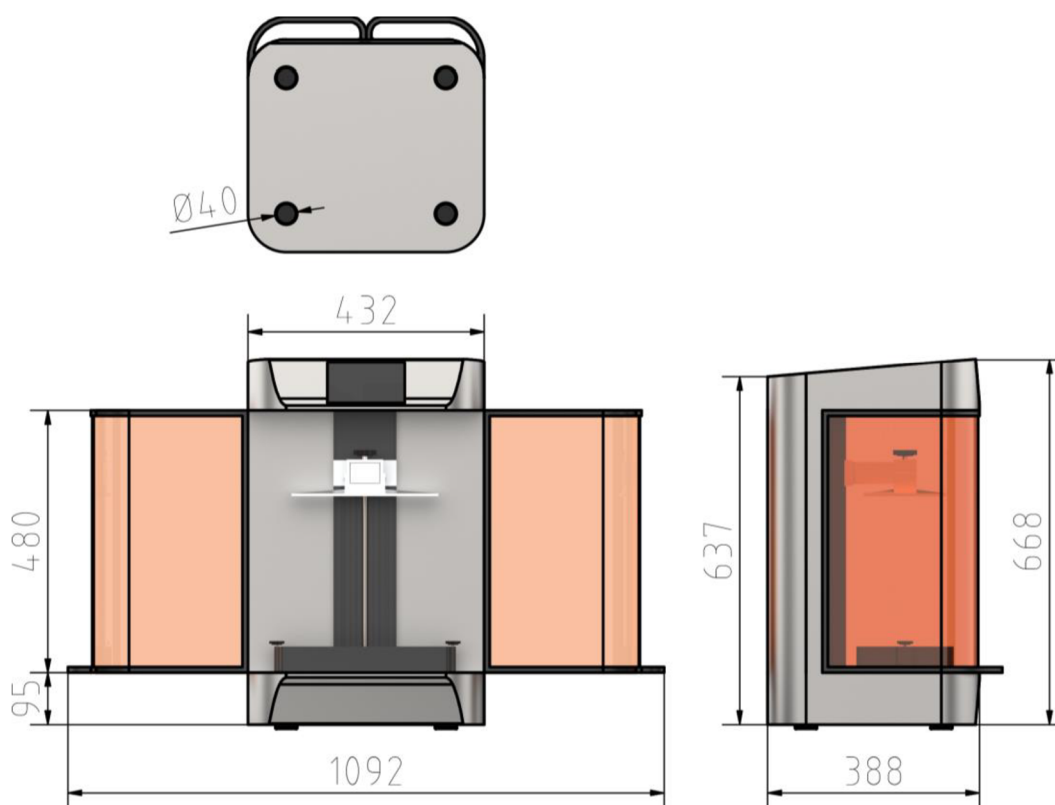
Obr. 4-7 Pracovní modifikace varianty 2

Každá modifikace se v některých ohledech od finální varianty liší. V první řadě se pracovalo s umístěním displeje a úhlem, pod kterým je zapuštěn do těla tiskárny. Dalšími prvky jsou úchyty dvířek, které musí být intuitivní a pohodlné při užívání. V neposlední řadě se pracovalo na tvaru dolní pasáže a na celkovém usazení tiskárny.



Obr. 4-8 Otevřené pracovní modifikace varianty 2

Výsledná varianta má horní i dolní přední stěnu zrcadlově zkosenou, v horním zkosení je umístěn dotykový displej. Průhled je tvořen dvoukřídlými dvířky s osami otáčení v zadním bloku. Protážení dvířek do zadní části vytvořilo průhled umožňující kontrolu průběhu tisku ze všech stran, zároveň se zvětšil manipulační prostor uvnitř tiskárny. Úchyty navazují na rám dvířek a nijak nenarušují celkovou čistotu návrhu, při otevření tiskárny fungují jako prvky zabraňující poškození průhledu.

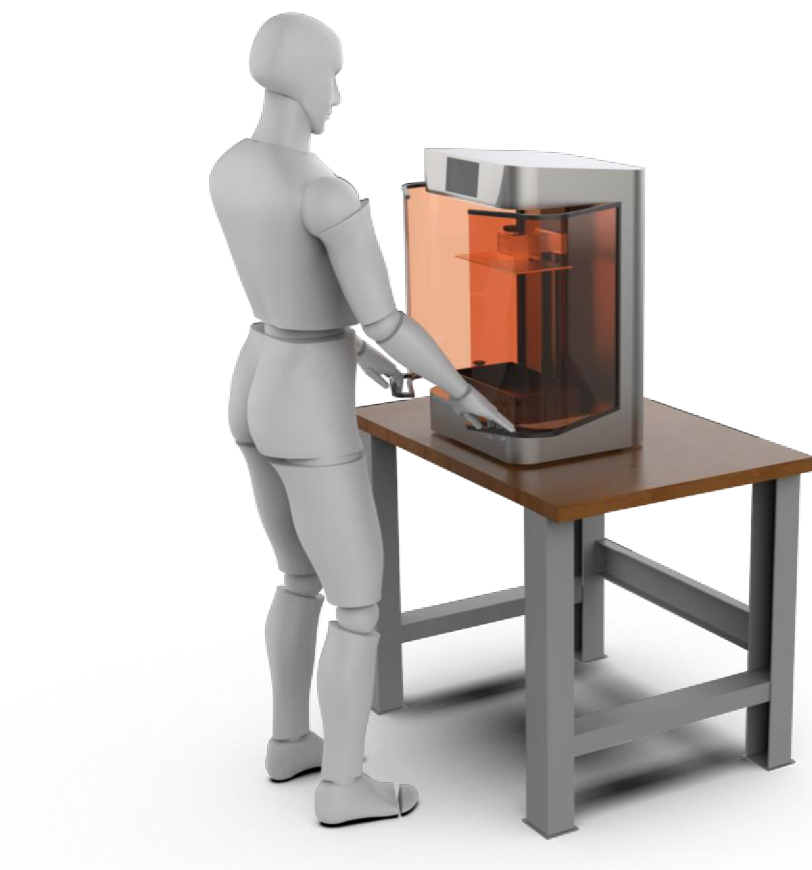


Obr. 4-9 Rozměrové řešení varianty 2

Materiál v horní části tiskárny celkově zpevňuje konstrukci a tím zvyšuje stabilitu tisku. Konstrukce je usazena na gumových nožkách, které tlumí vibrace a vyrovnávají nerovnosti pracovní plochy. Další přídavné prvky jsou umístěny v zadním bloku tiskárny.



Obr. 4-10 Perspektivní pohledy varianty 2



Obr. 4-11 Ergonomický pohled varianty 2

4.3 Varianta 3

Tvarování třetí varianty stejně jako v předešlých případech vychází z kvádrů. Tento návrh se však odlišuje proporcemi, celkovým tvarováním a uspořádáním prvků.



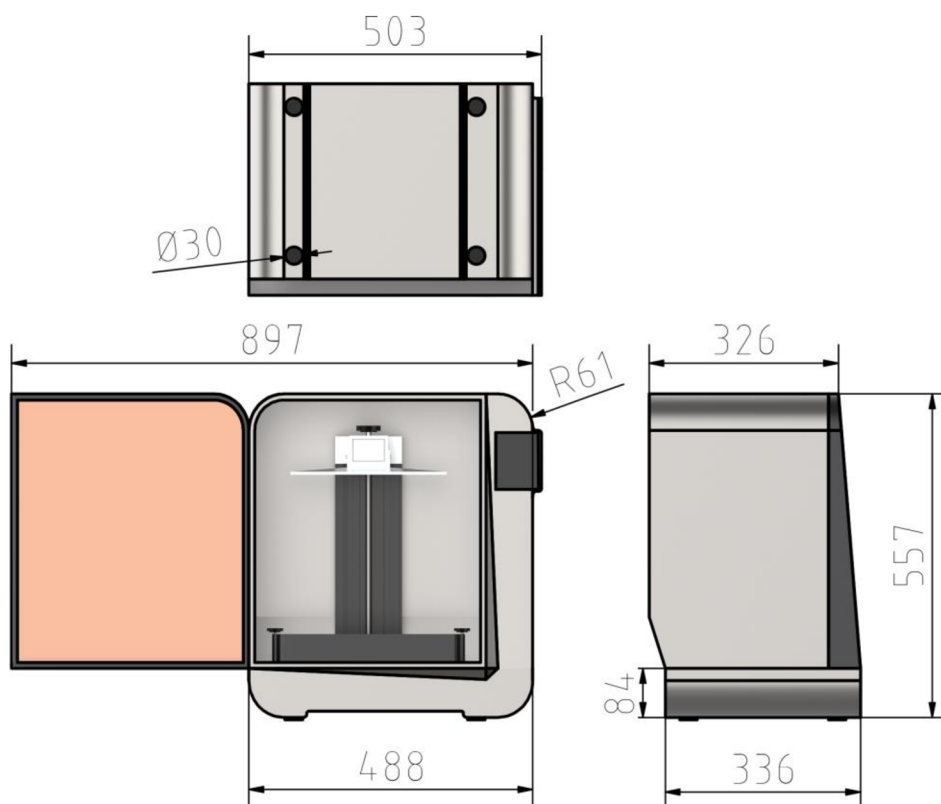
Obr. 4-12 Pracovní modifikace varianty 3

Modifikace obsahují dekorativnější elementy a protichůdné rádiusy, které byly postupně zjednodušeny a umožnily tak vzniku finální varianty. Pracovalo se také na umístění displeje, který se ve všech případech nachází na pravém bočním panelu.



Obr. 4-13 Otevřené pracovní modifikace varianty 3

Jednoduchý kvádr je narušen zaoblením na horizontálních hranách. Přední plocha, včetně dvířek, je nakloněna do zadní části. V dolní části zadní stěny je odebrání materiálu, které opticky dorovnává přední náklon a celkově tiskárnu odlehčuje. Výsledný návrh disponuje jednokřídlými dvířky, které mají osu rotace v levé boční stěně. Tato varianta může díky svému uspořádání využít otevírací tip-on mechanismus, který z velké části nahrazuje úchyt a zároveň nijak nenarušuje celkový vzhled tiskárny. Pro otevření dvířek stačí jednoduše zatlačit. Materiál okolo dvířek je částečně odebraný z důvodu vzniku úchyty a zároveň optického znázornění místa stisku pro otevření.

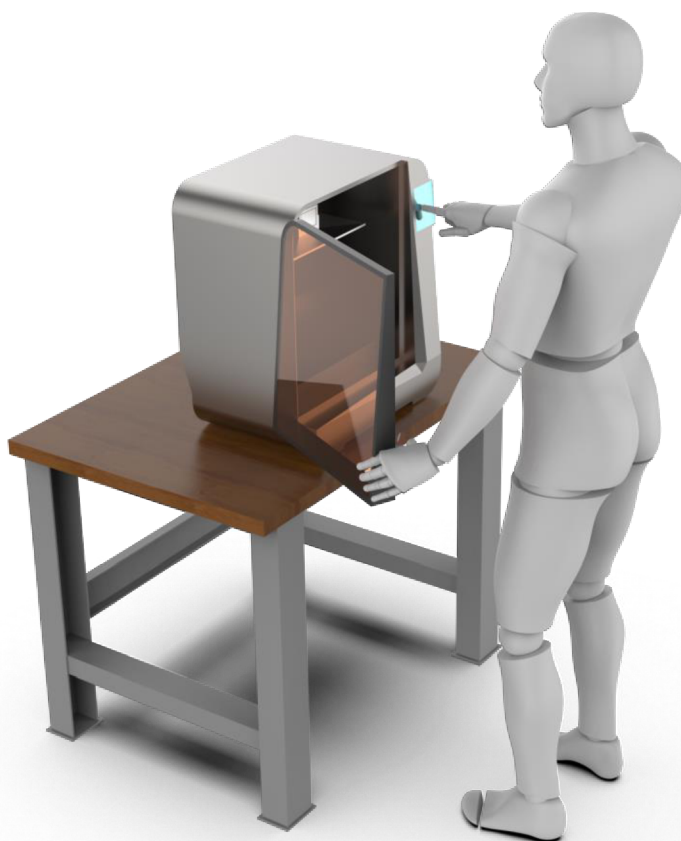


Obr. 4-14 Rozměrové řešení varianty 3

Displej je umístěn v pravém bočním panelu. Z praktických i vizuálních důvodů je částečně vytažen do pravé strany, díky čemuž v boční stěně vznikl nový tvarový prvek, který rozbíjí jednodolitost kvádrů. Další přídatné prvky jsou umístěny v pravém bloku tiskárny. Odebráním materiálu z dolní části vznikly dvě podélné nožky. Samotné nožky jsou opatřeny gumovými válečky, které tlumí vibrace a vyrovnávají nerovnosti povrchu.



Obr. 4-15 Perspektivní pohledy varianty 3



Obr. 4-16 Ergonomický pohled varianty 3

5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Výsledný koncepční design DLP 3D tiskárny vychází z variantní studie návrhu číslo tři. Základem této varianty je jednoduchý kubus podpořený několika tvarovými prvky, které návrh odlišují od většiny konkurenčních produktů.

5.1 Vnější tvarování

Celkové tvarování návrhu je ovlivněno především samotnou podstatou DLP technologie a tvarováním vnitřních komponent. Konstrukce se skládá z prostoru vymezeného pro samotný tisk a dále z bočního panelu, ve kterém jsou umístěny vzduchové filtry, topné těleso a ovladač. Dominantním prvkem je boční vysunutí materiálu narušující jednolitost. Díky tomuto prvku vznikl ovládací panel. Součástí ovládacího panelu je dotykový display, hlavní kolébkový vypínač, USB-A a USB-C port.

Přední plocha je zkosená pod úhlem 4° . Toto zkosení vytváří lepší zorné a ergonomické podmínky pro uživatele, zároveň celkově podporuje tvarování návrhu. Odebrání materiálu ve spodní třetině zadní stěny opticky dorovnává přední zkosení. V této ploše je umístěný napájecí síťový konektor a port pro ethernet.



Obr. 5-1 Finální návrh, perspektivní pohled 1

Boční horizontální hrany jsou zaoblené. Dolní část tiskárny je utvořena zakřivenou plochou, která opticky odlehčuje. Ve vzniklých dolních ploškách jsou čtyři polohovatelné gumové nohy.



Obr. 5-2 Finální návrh, perspektivní pohled 2

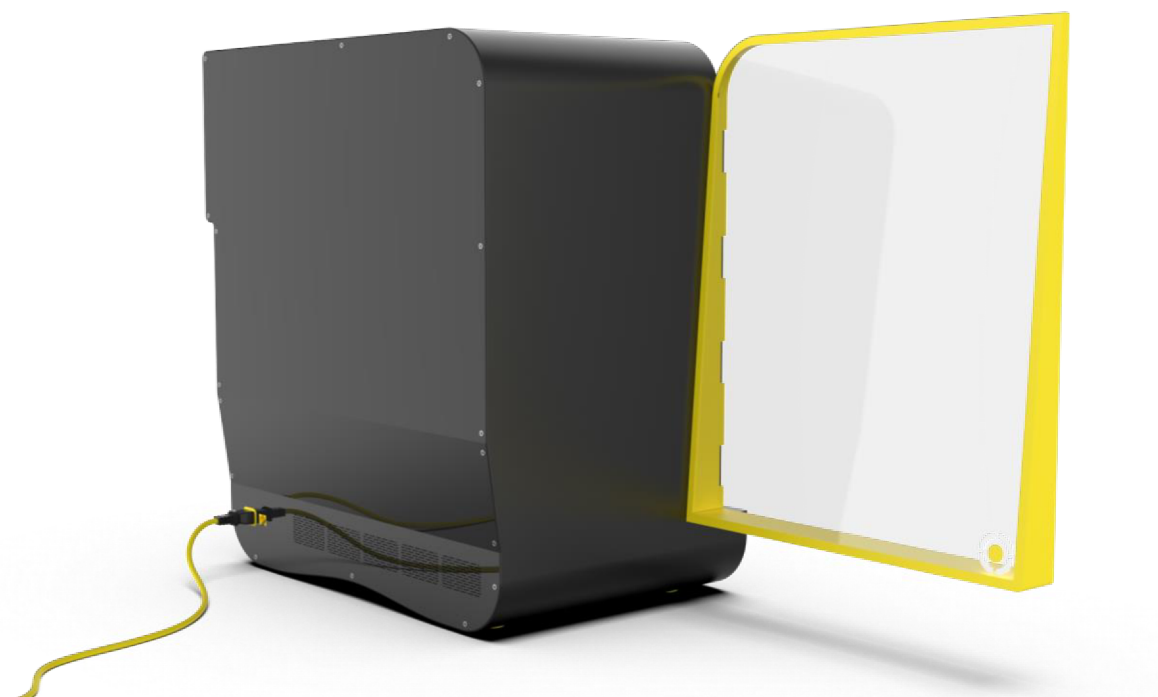
Ventilační otvory jsou umístěny jak v pravé boční, tak v zadní dolní stěně. Tvar těchto prvků je odvozen od tvarování veškerých svislých vnitřních komponent (otvor osy z, osvětlení, ventilace). Vnější ventilační otvory jsou členěny do menších segmentů. Tyto segmenty opticky nenarušují pevnost materiálu. Krytem jsou jednokřídlá dvířka s průhledem v celé ploše. Dvířka nijak nevyčnívají ze základního objemu a nenarušují tvarovou čistotu návrhu.



Obr. 5-3 Finální návrh, čelní pohled



Obr. 5-4 Finální návrh, otevřená dvířka 1



Obr. 5-5 Finální návrh, otevřená dvířka 2

5.2 Tvarování vnitřních komponent

Jelikož většina DLP tiskáren funguje na stejném principu, vnitřní uspořádání komponent je mezi konkurencí velice podobné. Veškeré uspořádání i tvarování vnitřních komponent návrhu koresponduje s požadavky na pohodlnou a bezpečnou obsluhu zařízení. Velmi důležitým prvkem návrhu je tisková platforma osy z. Tvarování usazení platformy je navrženo tak, že umožňuje rotaci okolo středu hvězdy o 20° v obou směrech. Další nedílnou součástí je vanička na resin. Na rozdíl od většiny konkurenčních produktů, tato vanička umožňuje jednoduché doplňování materiálu přímo z lahve za pomoci hydrostatického tlaku. Prvky osvětlení, ventilace a otvoru osy z využívají tvarového principu, který se opakuje a utváří ucelenou kompozici.

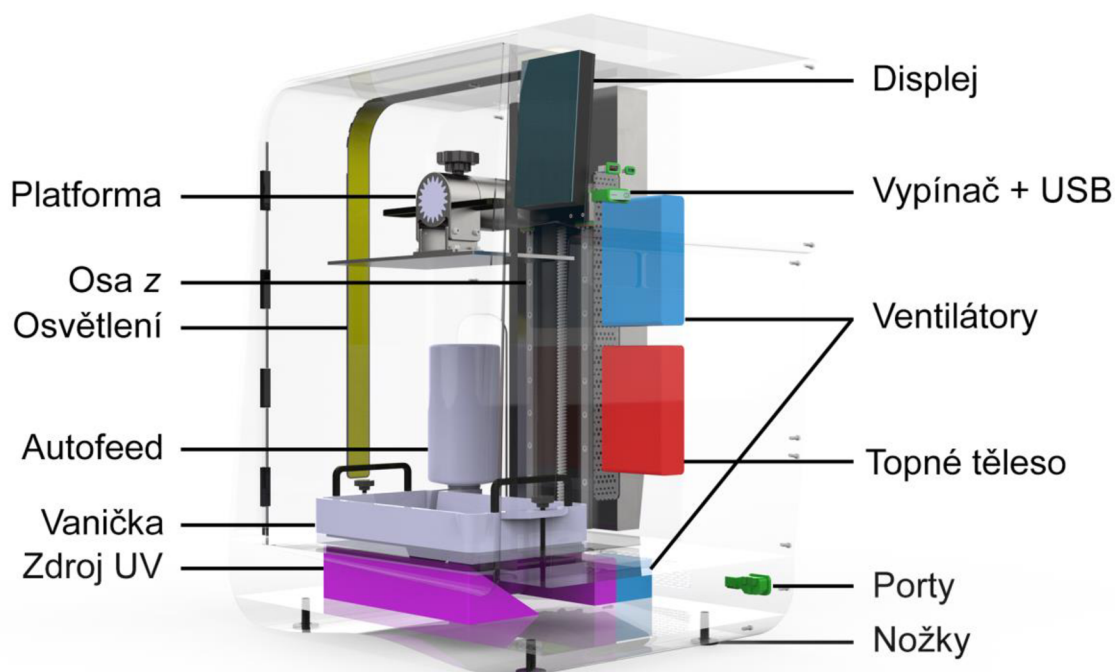


Obr. 5-6 Finální návrh, otevřená dvířka 3

6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

6.1 Popis

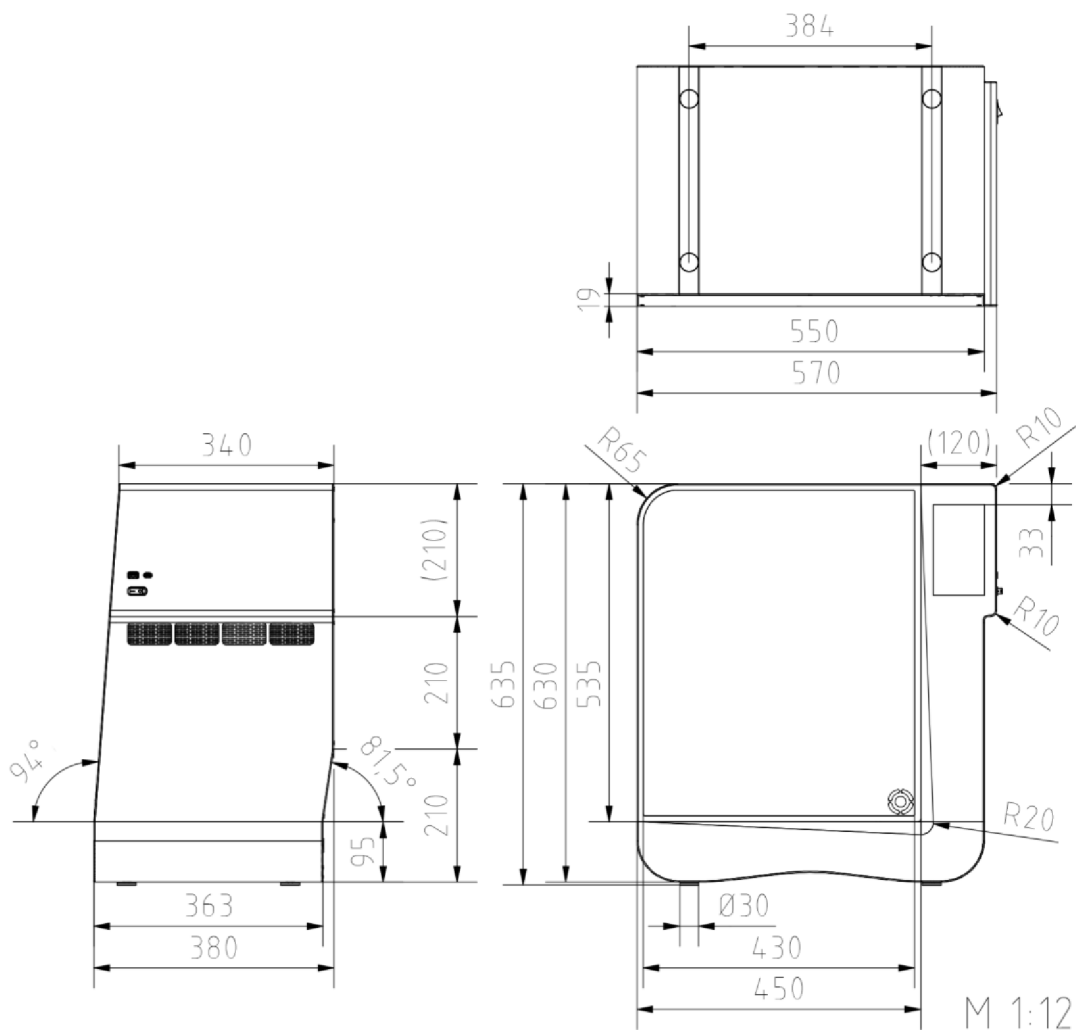
Uspořádání a tvarování návrhu je ve velké míře závislé na principu technologie DLP tiskáren. Návrh je členěn do tří celků, každý z nich zastává určité funkce. První částí je prostor pod tiskovou komorou, ve které je umístěn zdroj UV záření, základní deska včetně elektroniky, síťový port, port pro ethernet a ventilátor, který ochlazuje systém v průběhu tisků. Druhou částí je tisková komora. V tomto prostoru jsou umístěny veškeré komponenty, které přímo souvisí se samotným tiskem, tj. vanička na materiál, osa z včetně tiskové platformy a systém doplňování materiálu. V komoře je integrované osvětlení, které zjednodušuje kontrolu průběhu tisku, případně údržbu zařízení. Poslední částí je pravý boční panel. V tomto panelu je umístěn ovladač v podobě dotykového displeje, vypínač a USB porty. Uvnitř panelu se nacházejí filtrační ventilátory a topné těleso.



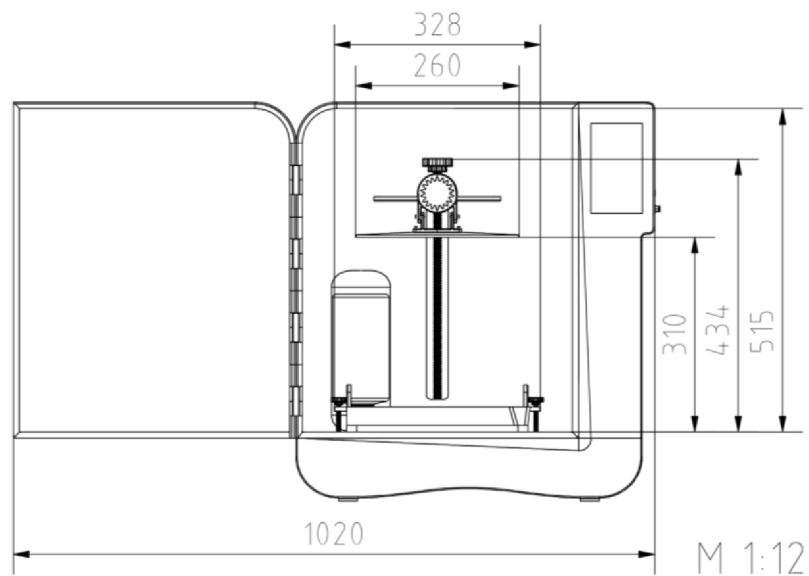
Obr. 6-1 Schématický popis návrhu

6.2 Rozměrové řešení

Rozměry komory jsou přímo odvozené od rozměrů tiskového prostoru. Nad maximální výškou tiskové platformy je přidán dostatečný prostor zajišťující pohodlnou manipulaci s platformou a samotnými výtisky. Zadní část tiskárny je zvětšena z důvodu umístění konstrukce osy z. Pravý boční panel je dostatečně široký, aby do něj bylo možné vložit display o rozměrech (81 × 144) mm. Celkový rozměr finálního návrhu činí (570 × 380 × 635) mm.



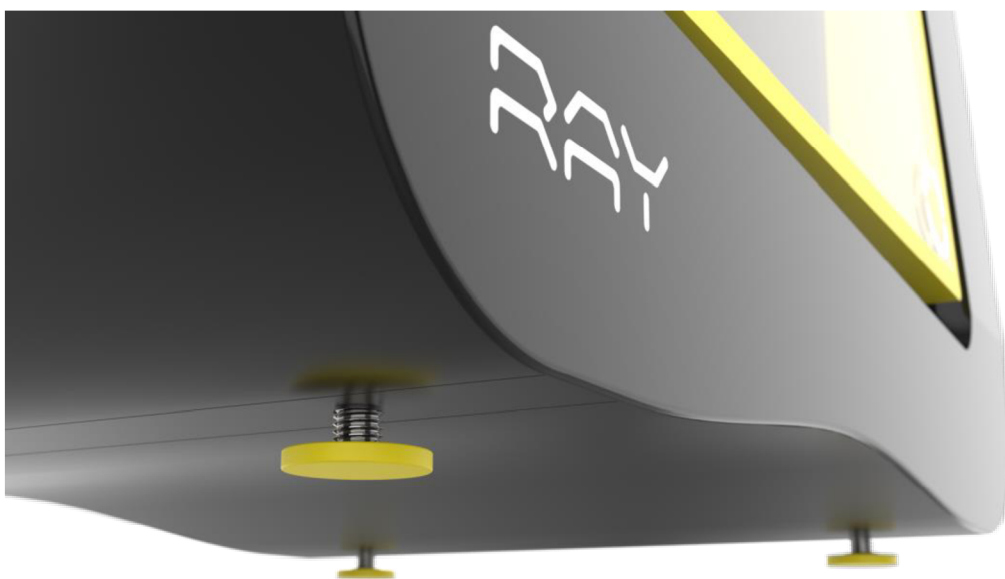
Obr. 6-2 Rozměrové řešení návrhu, zavřená varianta



Obr. 6-3 Rozměrové řešení návrhu, otevřená varianta

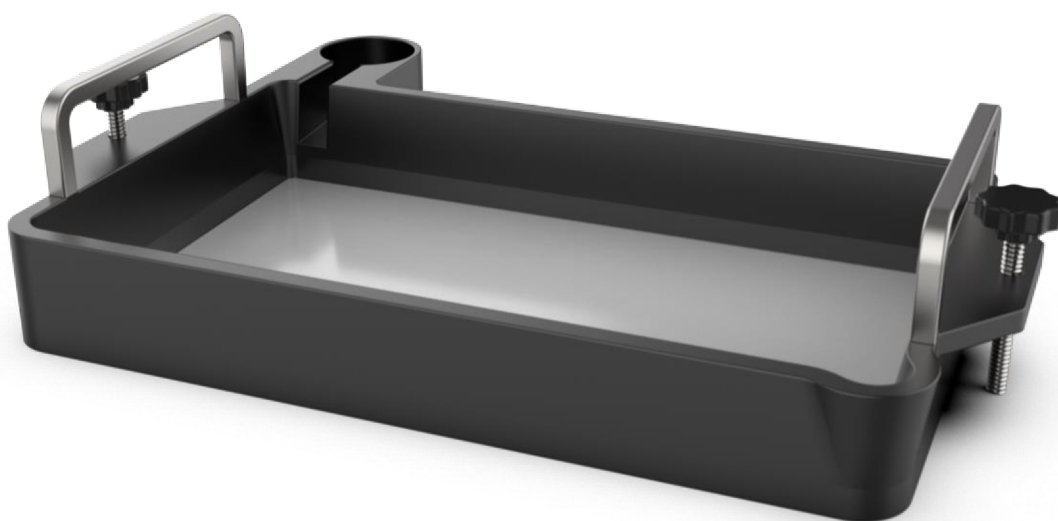
6.3 Vnitřní mechanismy a komponenty

Uvnitř prostoru pod tiskovou komorou je umístěna veškerá elektronika včetně zdroje UV záření v podobě DLP projektoru. Vedle projektoru je vestavěný transformátor, který nemusí být umístěn vedle zařízení externě. Součástí elektroniky je navíc ventilátor. Tento ventilátor systém ochlazuje a zabraňuje přehřívání zařízení. V zadní části prostoru se nachází krokový motor sloužící jako pohon závitové tyče osy z. Ve spodním plášti tiskárny jsou čtyři otvory se závity, ve kterých jsou umístěny polohovatelné nožky. Napájecí síťový konektor a port pro ethernet se nacházejí v zadní stěně tohoto prostoru.

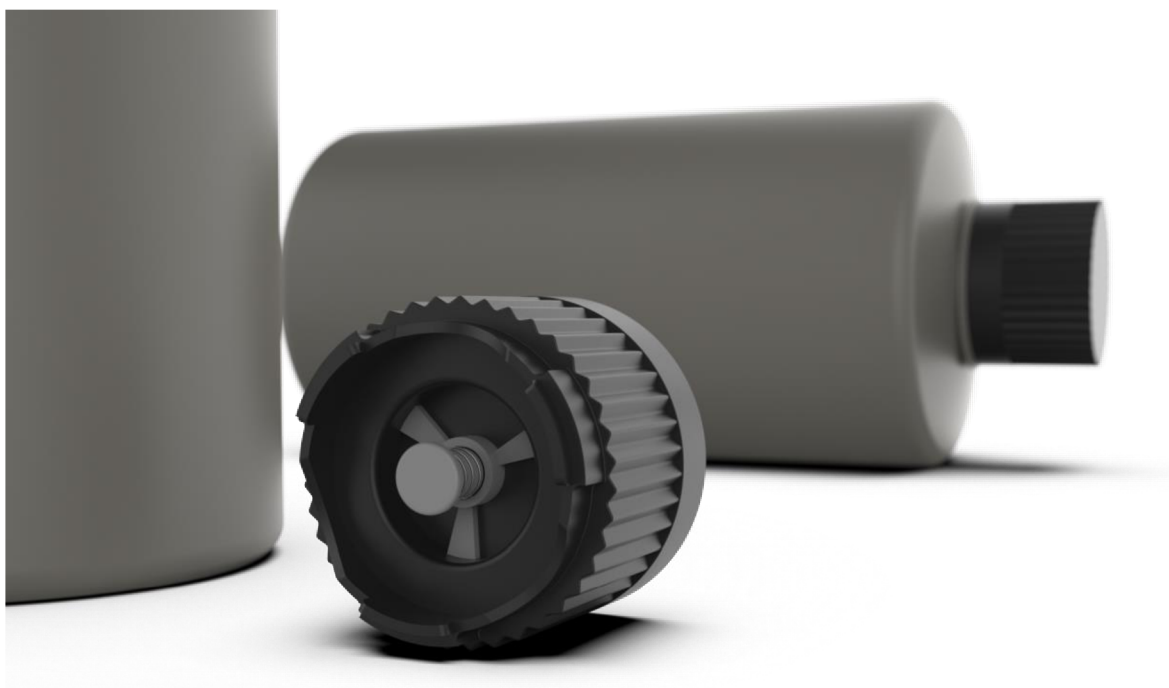


Obr. 6-4 Detail nožek tiskárny

Součástí tiskové komory jsou komponenty, které přichází ke styku s uživatelem nejčastěji. Z těchto důvodů je nutné rozmýšlet nad tvarováním, váhou a celkovou přívětivostí z hlediska ergonomie, hygieny a bezpečnosti. Vanička je umístěna v dolní části komory. Součástí vaničky je systém, který zajišťuje automatické doplňování materiálu skrze hydrostatický tlak a upravené víčko, není tedy nutné využívat složitějších mechanismů. FEP folie se k vaničce připevňuje pomocí dvou upínacích desek a šroubů. Pro výměnu poškozené folie stačí upínací desky odmontovat a folii vyměnit. Pro zajištění pevného spojení vaničky s konstrukcí jsou využity šrouby s plastovou hlavou. Vanička je opatřena dvěma madly, které mají za úkol ulehčit manipulaci během práce.

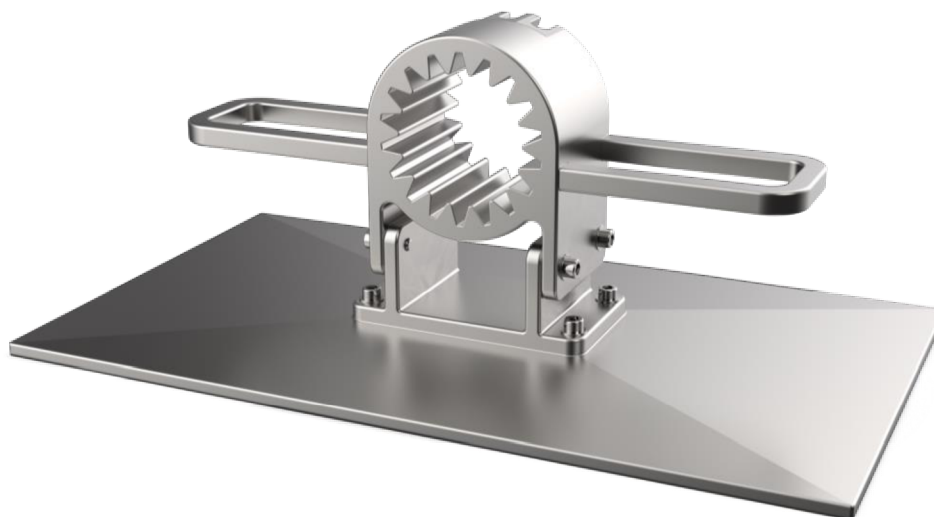


Obr. 6-5 Vanička



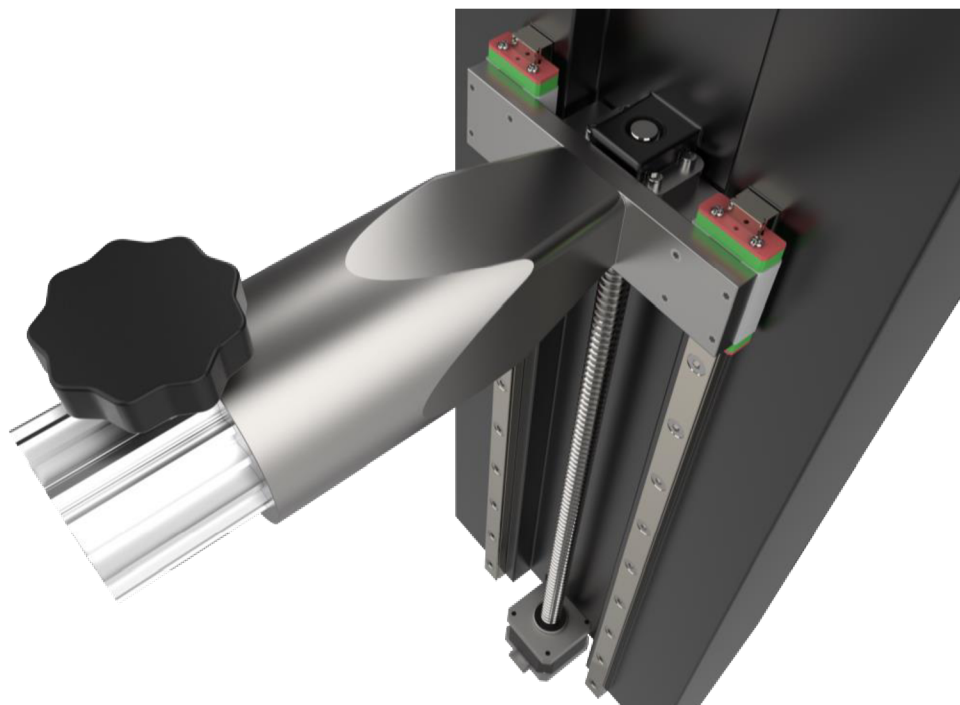
Obr. 6-6 Víčko systému doplňování materiálu

Dalším důležitým prvkem je tisková platforma, která je usazena na konstrukci osy z. Platforma je zkonstruována tak, aby umožnila otočení okolo středu o 20° v obou směrech. Díky tomuto prvku je možné po dokončení výtisku platformu naklonit a nechat přebytečný materiál stéct zpět do vaničky. Stejně jako u vaničky, i platforma je opatřena dvěma madly, které usnadní manipulaci.



Obr. 6-7 Tisková platforma

Konstrukce osy z je částečně skrytá, viditelná je pouze závitová tyč. Samotná konstrukce se skládá z usazení platformy s tvarovým prvkem umožňující naklonění, dvou kolejnic lineárního vedení s vozíčky MGN12, trapézové závitové tyče M12 a přídavného materiálu, který konstrukci zpevňuje.



Obr. 6-8 Osa z

Uvnitř komory je zabudované osvětlení, které je možné ovládat prostřednictvím uživatelského rozhraní dotykového displeje. Návrh disponuje filtračním systémem a topným tělesem, který reguluje teplotu uvnitř komory. Průduchy těchto systémů jsou umístěny na pravé vnitřní stěně komory a na pravé vnější stěně zařízení.



Obr. 6-9 Detail osvětlení

V pravé horní části zařízení je umístěn ovladač ve formě dotykového displeje orientovaného na výšku. Display má poměr stran 16:9 a uhlopříčku 6,5 palců. V pravé stěně vedle ovladače jsou dva porty pro USB flash disk, typu A a typu C. Pod porty se nachází centrální kolébkový vypínač.



Obr. 6-10 Detail ovládacího panelu

6.4 Materiálové řešení

Vnější konstrukce tiskárny je členěna na plechové a plastové části. Postranní plášť je vyroben z ohýbaných hliníkových plechů typu EN AW-1070A (Al99.7). [34] Tento materiál je vhodný především pro aplikace vyžadující velmi dobrou tvarovatelnost, odolnost proti korozi a vysokou reflexi po eloxování. Další výhodou je možnost povrchové úpravy práškovým lakováním. Nevýhodou materiálu může být nízká snášenlivost namáhání, nicméně v aplikaci u DLP tiskárny se setkáváme s minimálním zátěží materiálu.

Přední a zadní stěna je vyrobena z plastu, konkrétně byl zvolen plast ABS. Tento materiál je odolný vůči UV záření, vysoké teplotě a mechanickým rázům. Platem lze vyrábět tvarově složitější prvky, jako je například prolis vedle dvířek, případně rádiusy po stranách.

Průhled je možné vyrobit z plexiskla (PMMA), případně ze skleněné desky. V případě DLP tiskárny je nutné, aby byla tato vrstva materiálu průhledná a zároveň nepropouštěla UV záření. Několik výrobců nabízí barevné desky z PMMA, které jsou UV nepropustné. V případě čirého PMMA a skla je nutné průhled opatřit UV filtrem navíc.

Vnitřní komponenty jako vanička a tisková platforma jsou vyrobeny z hliníkových odlitků EN-AC 46000. [35] Využití tento materiál je výhodné z důvodu nižší váhy, jelikož s těmito komponenty uživatel přímo pracuje a uchopuje je. Díky lehčí tiskové platformě je navíc méně namáhaná osa z.

6.5 Technologie

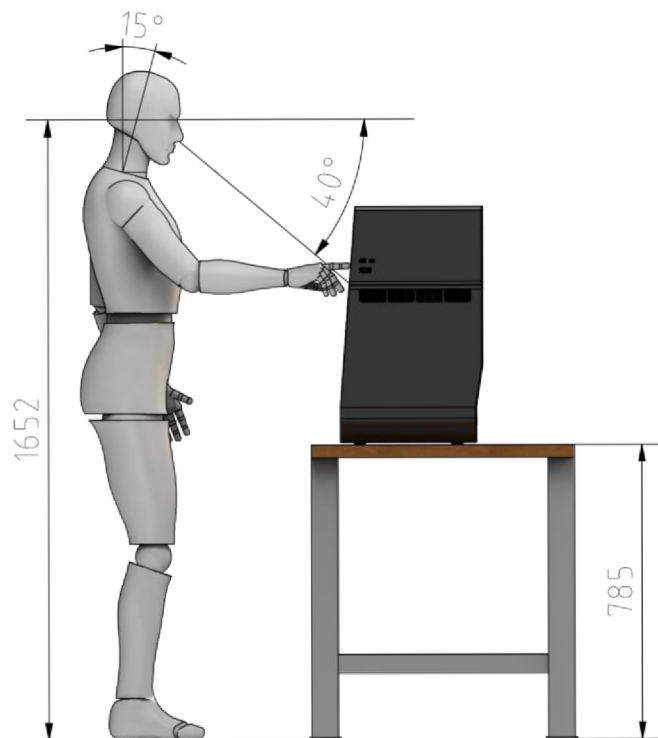
Vzhledem k předpokladu velkosériové výroby je možné pro plastové části zařízení využít metody vstřikování do formy. Tato metoda je ve velkých sériích finančně výhodná a zároveň umožňuje výrobu vysoce přesných, tvarově složitých součástí.

Hliníkové plechy je možné tvarovat ohýbáním. Jednotlivé plechy jsou propojeny šrouby a tvarovými spoji. Výhodou těchto spojů je jednoduchá rozebíratelnost během servisu či recyklace. Samotná konstrukce tiskárny bude vyrobena ze svařované ocelové klece, na kterou budou hliníkové plechy připevněny.

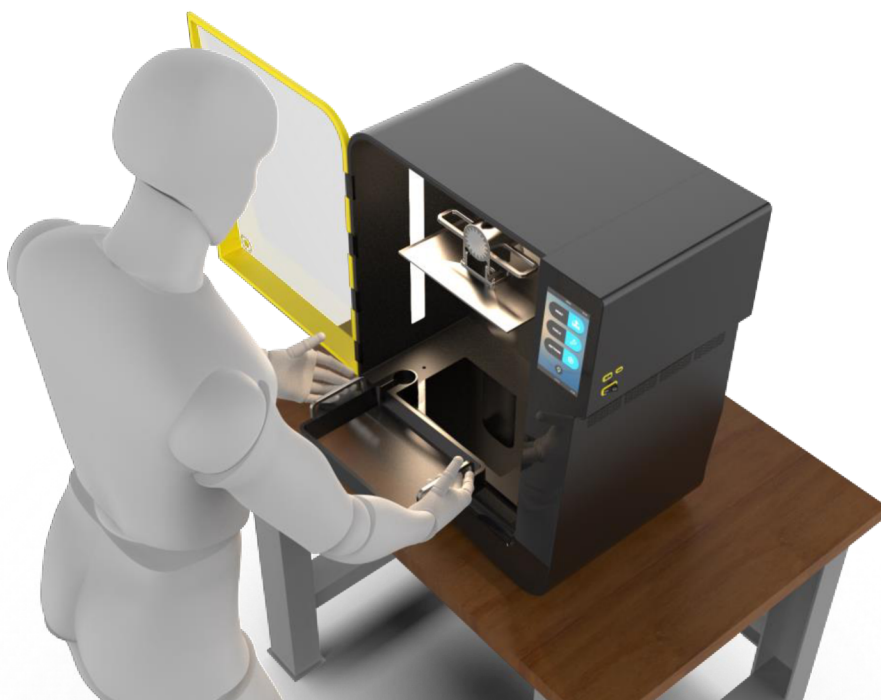
Vanička včetně tiskové platformy mohou být vyrobeny z obrobených hliníkových odlitků.

6.6 Ergonomie

Z hlediska ergonomie je pro uživatele nejdůležitější tvarování platformy a vaničky, forma otevírání dvířek a v neposlední řadě umístění displeje.



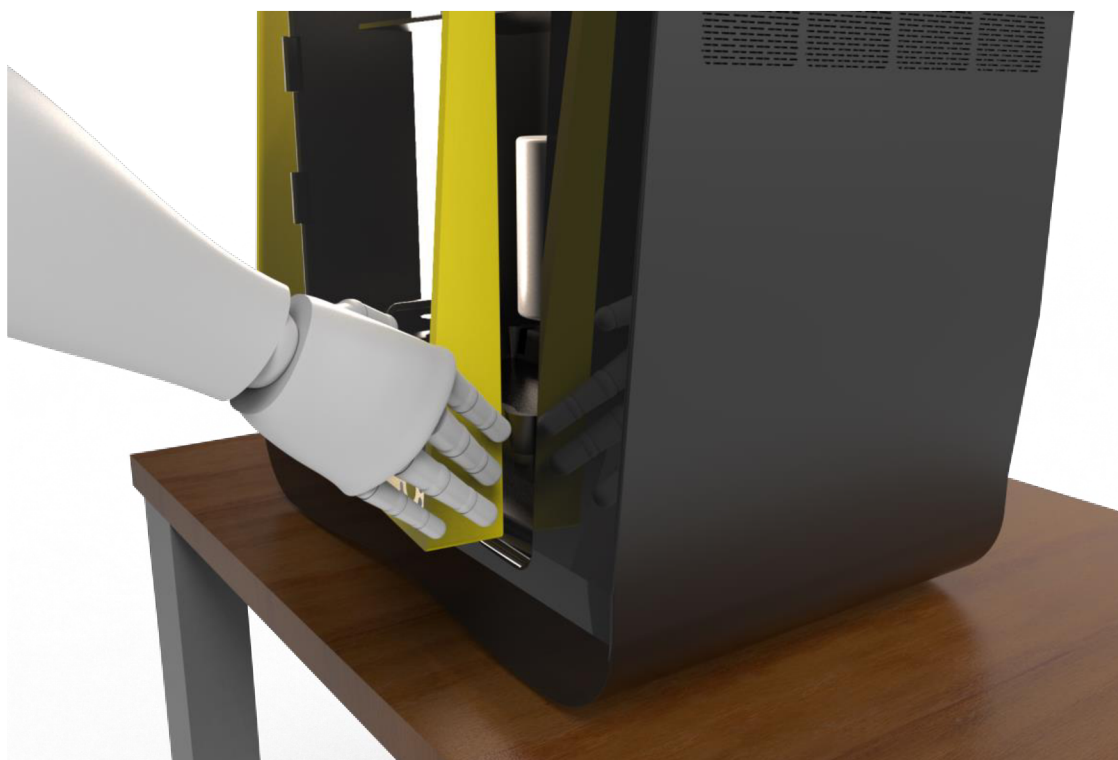
Obr. 6-11 Ergonomie



Obr. 6-12 Perspektivní pohled s vaničkou

Tisková platforma je navržena tak, aby byla její váha co nejnižší. Vzhledem k větším rozměrům je platforma navíc opatřena dvěma madly, které zjednoduší manipulaci s platformou a výtisky. Pevné spojení mezi platformou a osou zajišťuje šroub s plastovou hlavou. Nad platformou je dostatek prostoru pro manipulaci uvnitř tiskové komory.

Jednokřídlá dvířka jsou usazena na čtyřech zabudovaných sklopných pantech, které umožňují rotaci o 180°. Dvířka disponují tip-on mechanismem, který umožňuje otvírání dvířek s absencí úchytů či madel. Tvarový prvek okolo dvířek uživatele opticky navádí do pravého dolního rohu dvířek, kde je navíc znázorněn bod stisku. Po stisknutí se tip-on mechanismus aktivuje a dvířka se částečně otevřou.



Obr. 6-13 Detail otevírání dvířek

Displej je umístěný v pravé horní části zařízení. Nachází se ve výšce 460 mm od hrany pracovní plochy. Toto umístění umožňuje uživateli pracovat s displejem ve výšce pracovní roviny, zároveň je výhodnější vzhledem k zorným podmínkám.

6.7 Bezpečnost a hygiena

Asi největším problémem při zacházení s DLP 3D tiskárnami je bezpečnost. Určitými prvky návrhu je možné rizika spojené s prací se zařízením snížit, nicméně faktor nebezpečnosti tiskových materiálů zůstává. Z těchto důvodů je nutné se zařízením pracovat v dobře větrané místnosti, ideálně mimo obytné prostory. Uživatel se musí před kontaktem s resinem chránit například nitrilovými rukavicemi, respirátorem a ochrannými brýlemi. Pokud by uživatel přišel přímo do styku s resinem, mohlo by dojít k podráždění pokožky, plic, očí a podobně. V nejhorších případech může dojít k oslepnutí nebo chronické kontaktní dermatitidě.

Při manipulaci s resinem je třeba dbát na fakt, že se jedná o kapalinu, která často odkapává a zanáší pracovní plochu včetně samotné tiskárny. Jestliže k zanesení dojde, je třeba potřísněnou plochu vyčistit isopropanolem, nebo jinými prostředky na podobné bázi. Pokud by se tak nestalo, je pravděpodobné, že po delším časovém úseku by se toto potřísnění vytvrdilo a plocha by byla nenávratně poškozena. Z těchto důvodů je žádoucí tiskárnu umístit do temné místnosti, kde během dne neproniká sluneční svit.

6.8 Udržitelnost

V otázce udržitelnosti je možné problematiku DLP tiskáren rozdělit do dvou částí. Celková konstrukce, která je ve velké míře vyrobena z hliníkových plechů a plastových součástí z ABS, je poměrně dobře recyklovatelná. Návrh je vytvořen z několika větších segmentů, které jsou spojeny šrouby, s rozebíratelností by tedy neměl být problém.

Z hlediska udržitelnosti je problematičtější výroba a využívání resinů. Tyto resiny jsou reaktoplasty, které po vytvrzení nelze nijak recyklovat a dále využívat. Likvidace je energeticky náročná a má negativní dopad na životní prostředí.

7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

7.1 Barevné řešení

Návrh je z hlediska barevného členění rozdělen do dvou barevných celků. U hliníkového těla včetně přední a zadní ABS stěny byla zvolena uhlově černá RAL 9005. Jelikož se jedná o výrobní zařízení, které je nejčastěji využíváno v laboratořích, dílnách a podobně, je možné volit výrazné barvy, které na produkt upozornují.

Dvířka a lemování veškerých portů je v každé variantě ve výrazném, kontrastním zbarvení. Pro varianty byly použity barvy zinkově žlutá RAL 1018, žluto oranžová RAL 2000 a světle modrá RAL 5012. Finální varianta má kontrastní prvky v barvě zinkově žluté RAL 1018.



Obr. 7-1 Použité barvy RAL

Barevné odlišení dvířek a portů je výhodné především z hlediska uživatelské přívětivosti, všechny funkční prvky jsou na první pohled odlišitelné od samotného těla tiskárny.

Průhled je čirý bez výrazného zbarvení. Z důvodu ochrany tiskové komory před UV zářením je opatřený UV filtrem, který je lehce zbarven do odstínu šedi.



Obr. 7-2 Barevné varianty

7.2 Grafické řešení

Grafika je na zařízení užitá především v uživatelském rozhraní dotykového displeje. Dalšími grafickými prvky jsou logotyp a některé funkční prvky, jako například bod stisku na dvířkách, hvězda v usazení tiskové platformy a podobně.

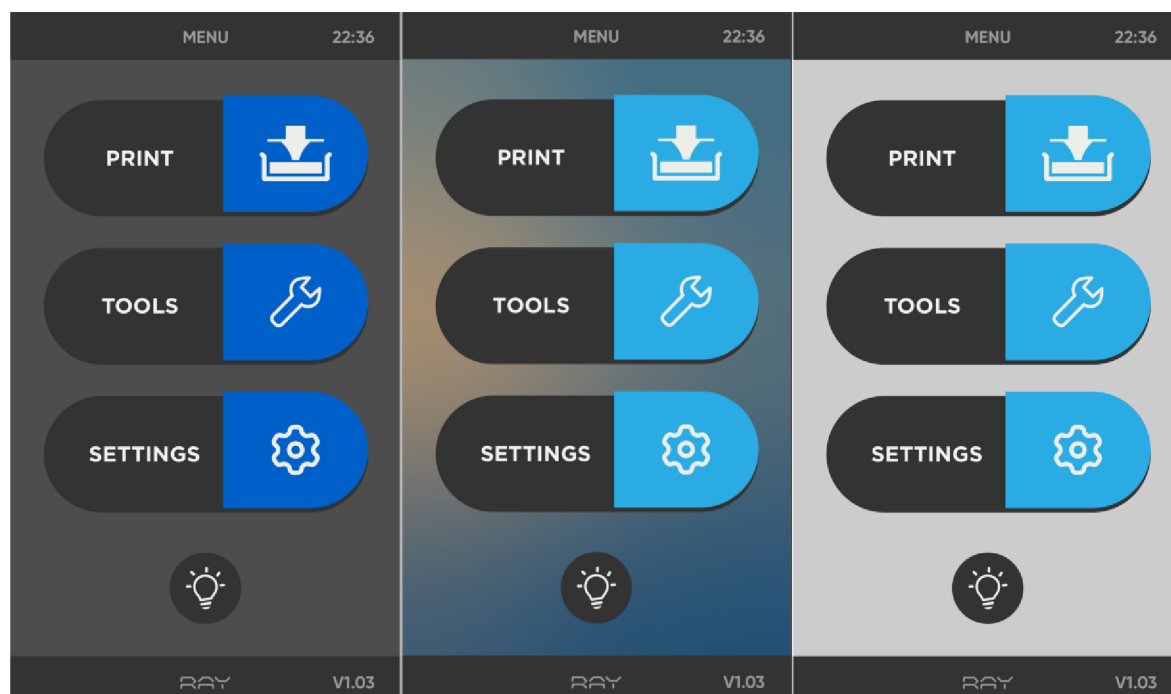
7.2.1 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní by mělo být co nejvíce intuitivní a jednoznačné. Z těchto důvodů byla volena grafika displeje s jednoduchými ikonami. Každá ikona má své ohraničení, ve kterém je umístěn název dané funkce včetně jednoduché ilustrace. V horní liště je zobrazen nadpis konkrétního prostoru rozhraní včetně aktuálního času.

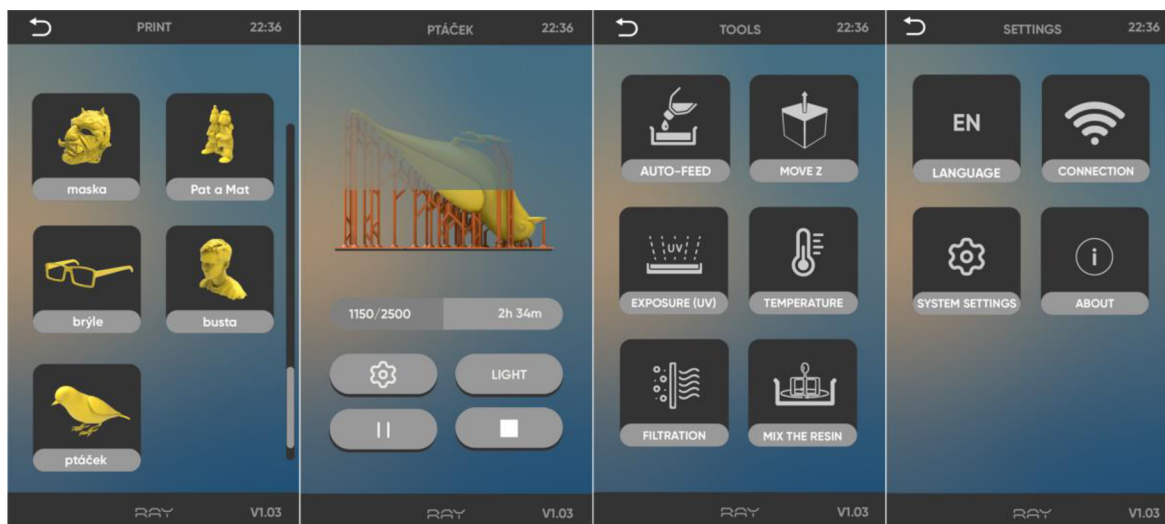
Po rozkliknutí konkrétní funkce se uživatel dostane na další stranu rozhraní. Základními funkcemi rozhraní jsou tisk, nástroje a nastavení.

Po zvolení ikony tisku se zobrazí jednotlivé modely, které jsou nahrány na USB disku, včetně názvu a miniatury. Jakmile uživatel vybere požadovaný model, tisk se spustí.

Nástroje umožňují kontrolu nad veškerými funkcemi tiskárny. V nastavení je možné měnit jazyk rozhraní, ovládat parametry tisku a internetové připojení. Rozhraní nabízí také tmavou a světlou variantu.



Obr. 7-3 Barevné varianty uživatelského rozhraní

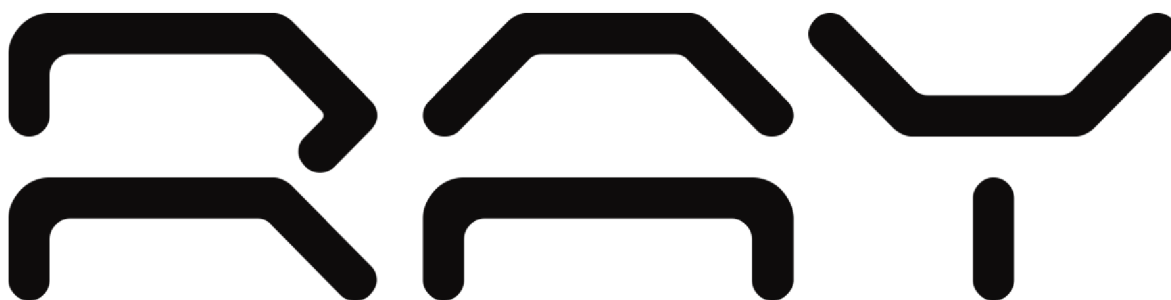


Obr. 7-4 Uživatelské rozhraní

7.2.2 Logotyp

Název tiskárny vznikl z anglického slova RAY, v překladu paprsek. Tento název odráží technologii DLP tiskáren, které využívají paprsků UV záření k vytvrzování fotopolymérů. Paprsky jsou znázorněny v samotném logotypu a dohromady utváří celé slovo RAY. Tento prvek je natolik výrazný, že logotyp neobsahuje žádnou další značku či ilustraci. Pokud na logotyp nahlédneme vertikálně, můžeme jej vnímat jako jednotlivé vrstvy výtisku, které jsou na sebe skládány.

Základem logotypu je font Kaylon, který byl následně upraven, aby více vyhovoval účelům návrhu 3D tiskárny.



Obr. 7-5 Logotyp

7.2.3 Obalový materiál

Součástí návrhu je obalový materiál v podobě krabičky na lahev resinu. Výhodou tohoto obalu je využití i po rozbalení, jelikož umožňuje opakované vyjímání a ukládání lahve. Díky tvarovému prvku v horní a dolní ploše je možné krabičky skládat na sebe. Pro jednodušší rozlišitelnost konkrétní barvy resinu je na každé krabičce grafický prvek ve formě barevného proužku a hvězdy, která reflektuje grafický prvek usazení platformy na osu z.



Obr. 7-6 Obal na lahev resinu

8 DISKUZE

8.1 Psychologická funkce

Jednoduché členění návrhu DLP tiskárny do tří segmentů má z hlediska psychologie a uživatelské přívětivosti kladný dopad. Tímto rozdělením vznikla část tisku, ovládání a vnitřní elektroniky. Pro uživatele je tedy velice snadné tyto části odlišit a dokáže s nimi efektivně pracovat.

Návrh je tvarován tak, aby bylo na první pohled zřejmé, že se jedná o statické zařízení, které je dlouhodobě usazeno na pracovní ploše. Funkční prvky lze odlišit od těla tiskárny díky výrazné, kontrastní barvě, která na tyto prvky na první pohled upozorňuje. Konstrukce je navržena tak, aby z ní uživatel pociťoval jistotu, stabilitu a odolnost vůči vnějším vlivům.

8.2 Sociální funkce

Pro širokou veřejnost bývají obecně 3D tiskárny vnímány jako složitá zařízení s obtížnou obsluhou. Tento návrh je z podstaty samotné technologie DLP a velikosti tiskové komory určen především pro uživatele, kteří s 3D tiskem zkušenosti mají.

Z hlediska obsluhy je zařízení velice intuitivní a jednoduché. Veškeré funkce jsou ovládány přímo z dotykového displeje. Další pracovní úkony, jako je výměna resinu, odnímání výtisků od tiskové plochy, čištění zanesených ploch a podobně, musí uživatel provádět manuálně. Problematická může být skutečnost, že příliš mnoho výrobců neuvádí rizika, které souvisejí s prací s resinem. Při nedodržení bezpečnostních opatřeních ve většině případů dojde k podráždění pokožky a plic, vyrážce, dermatitidě a podobně.

V tiskařských komunitách jsou DLP tiskárny oblíbené především díky detailním a přesným výtiskům.

8.3 Ekonomická funkce

Životnost tiskárny se odvíjí od životnosti DLP projektoru, jakožto nejpodstatnější součásti celého zařízení. Většina výrobců uvádí životnost projektoru okolo 20 000 pracovních hodin. Jelikož je doba osvětlení jednotlivých vrstev nejčastěji v řádu několika málo sekund, zařízení by mělo být schopné pracovat několik let od zakoupení. FEP folie, která je připevněna na dnu vaničky, je spotřební součást, kterou je nutno měnit při jakémkoliv mechanickém poškození. Vzhledem k rychlé inovaci, kterou 3D tisk zažívá, je spíše otázkou času, kdy bude technologicky tato tiskárna natolik zastaralá, že ji bude výhodné vyměnit.

8.4 Marketingová analýza

Jelikož se trh s 3D tiskárnami neustále rozšiřuje, je žádoucí, aby produkt zákazníka upozornil na první pohled. Z povahy produktu je možné jej propagovat na strojírenských veletrzích, v odborných časopisech a člancích, katalozích a podobně.



Obr. 8-1 SWOT analýza

8.5 Cílová skupina

Cílovou skupinou navržené DLP 3D tiskárny mohou být menší firmy či hobby uživatelé vyžadující tisk rozměrnějších prototypů, součástek, figurek, dekorací a podobně. Jelikož se jedná o zařízení vyžadující náročnější obsluhu, je vhodné, aby měl uživatel předešlé zkušenosti s 3D tiskem.

8.6 Cenová hladina

Celková cena se odvíjí od ceny a kvality jednotlivých komponent. Jelikož je v návrhu zahrnut DLP projektor s rozlišením (3840 × 2160) px, celková cena produktu výrazně vzroste. Po sumarizaci a sečtení veškerých nákladů na výrobu by se cena 3D tiskárny RAY mohla pohybovat v rozmezí od 80 000 Kč do 110 000 Kč.

9 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout DLP 3D tiskárnu kladoucí důraz na bezpečnost, intuitivní ovládání a ergonomii. Podstatným bodem zadání je větší velikost tiskového prostoru, od které se návrh celkově odvíjí. Po provedení designerské a technické analýzy, která zkoumala problematiku ve všech ohledech, byly nalezeny nedostatky a problémy současných produktů a technologie DLP jako takové. Nedostatky stávajících tiskáren vytvořily příležitosti pro inovace, které byly realizovány především v dílčích cílech práce.

Komplikací při zacházení s DLP tiskárnami jsou tiskové materiály (resiny), které se používají při tvorbě výtisků. Tyto materiály jsou pro uživatele nebezpečné ve vícero ohledech, tj. při kontaktu s pokožkou, očima, při vdechnutí a tak dále. Většina současných výrobců na tuto skutečnost neupozorňuje a uživatelé tím pádem nevědomě poškozují své zdraví. Z těchto důvodů je vhodné omezit kontakt uživatele s resiny na co nejkratší časový úsek.

Největší inovací návrhu je úprava konstrukce usazení platformy osy z, která umožňuje otáčení okolo středu o 20° v obou směrech. Náklon je dostatečně velký na to, aby přebytečný materiál, který po každém výtisku platformu zanáší, stekl zpět do vaničky. Tento prvek šetří materiál, zároveň ve velké míře zamezuje nechtěnému odkapávání resinu při následné manipulaci s platformou.

Dalším prvkem, který přímo plyne ze zadání práce je systém automatického doplňování resinu. Tento problém byl vyřešen poměrně jednoduchým způsobem využívající lahev s materiálem, upravené víčko a hydrostatický tlak. Řešení zajišťuje neustálý přísun materiálu do vaničky, bez nutnosti obsluhy.

Návrh obsahuje několik prvků zpříjemňující práci se zařízením. Pohodlnou kontrolu průběhu tisků umožňuje integrované osvětlení umístěné uvnitř tiskové komory. Dále jsou vedle tiskové komory umístěny ventilátory se vzduchovými filtry. Filtry ze vzduchu zachytávají VOC, které se uvolňují z resinu. Ve velké míře byl kladen důraz na vizuální podobu uživatelského rozhraní, jehož výsledná podoba koresponduje s celkovým návrhem.

Z hlediska materiálového členění je návrh rozdělen do dvou segmentů. Boční hliníkové stěny jsou odolné především vůči mechanickým rázům. Přední stěna, jež může přijít do kontaktu s tiskovým materiálem, je plastová. V otázce volby barev zvítězila varianta černého těla s kontrastními prvky žluté barvy, které na sebe upozorňují a lze je na první pohled odlišit.

Vzhledem ke konkurenci je návrh tvarem i barevností natolik odlišný, že upoutá na první pohled. Výsledná varianta dosáhla všech vytyčených cílů a přinesla několik inovativních řešení. I přes veškeré inovace a dosažení stanovených cílů se v otázce technologie DLP tisku vyskytuje několik komplikací, které bohužel nelze samotným návrhem vyřešit. Příkladem těchto komplikací může být užívání tiskových resinů, náročnost zacházení se zařízením a podobně.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. Sculpteo [online]. Villejuif (France): Sculpteo, ©2020 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>
2. HISTORIE 3D TISKU. Fakulta strojní ČVUT [online]. Praha: ČVUT, ©2014-2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/historie-3d-tisk/>
3. Original Prusa SL1S SPEED 3D tiskárna. Prusa Research by Josef Prusa [online]. Praha: Prusa Research, ©2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-sl1s-speed-3d-tiskarna/>
4. Anycubic Photon M3 Plus. Anycubic [online]. Shenzen: ANYCUBIC 3D Printing, ©2022 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.anycubic.com/collections/3d-printers/products/photon-m3-plus>
5. Xtreme 8K. Etec [online]. Dearborn (Michigan): ENVISIONTEC US, ©2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://etec.desktopmetal.com/product/x8k>
6. Form 3L. Formlabs [online]. Somerville (Massachusetts): Formlabs, ©2019 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/form-3l/>
7. XFAB 3500 HD. 3d printworx Europac 3D [online]. Whitchurch (England): Europac 3D, ©2017 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://europac3d.com/3d-printers/dws-uk/dws-xfab-3500hd-jewellery/>
8. Hunter DLP Printer. Flashforge [online]. Zhejiang: Zhejiang Flashforge 3D Technology, ©2020 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.flashforge.com/product-detail/flashforge-hunter-dlp-3d-printer-dental-impression-jewelry-printing>
9. ELEGOO Jupiter Resin 3D Printer with 12.8" 6K Mono LCD. ELEGOO [online]. Shenzhen: ELEGOO, ©2022 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.elegoo.com/collections/3d-printing/products/elegoo-jupiter-resin-3d-printer-6k-mono-msla-3d-printer>
10. Professional Chair-side DLP Dental 3D Printers: Shape 1+ Dental. RAYSHAPE [online]. Suzhou (China): RAYSHAPE, ©2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.rayshape3d.com/shape-1-plus-dental>
11. Phrozen Transform FAST 3D Printer (Sonic Edition). Ultimate 3D Printing Store [online]. Odessa (Florida): Ultimate 3D Printing Store, ©2019 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://ultimate3dprintingstore.com/products/phrozen-transform-fast-sonic-edition>

12. Phrozen Transform Fast. FEPshop [online]. Groningen (The Netherlands): FEPshop - 3D Printers & More, ©2019 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://fepshop.com/shop/printers/phrozen-transform-fast/>
13. HALOT-SKY 2022. Creality [online]. Shenzhen: Shenzhen Creality 3D Technology, ©2022 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.creality.com/products/halot-sky-3d-printer?spm=..page_1967279.products_display_1.1&spm_prev=..index.header_1.1
14. Rozdělení technologií SLA. Fakulta strojní ČVUT [online]. Praha: ČVUT, ©2014-2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologie-3dtisk/sla-3dtisk/>
15. Types of 3D Printing : SLA, First 3D Printer. FabWeaver [online]. Seoul (South Korea): fabWeaver, ©2022 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://blog.fabweaver.com/3d-printing-technology-sla-first-3d-printer>
16. DLP a LCD 3D tisk. Cotu [online]. Praha: cotu [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/148/dlp-a-lcd-3d-tisk>
17. 3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna?. Svethardware [online]. Brno: oXyShop, ©2019 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457>
18. 3D tisk kovových materiálů. Messer [online]. Praha: Messer Technogas, ©2020 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/documents/921887/4129314/3D+tisk+kovov%C3%BDch+materi%C3%A1%C5%AF.pdf/7ed4c0ca-6db6-c00f-3f6b-b1a7a4e14b5e?version=1.1&t=1598345889857&download=true>
19. TECHNOLOGIE 3D TISKU. 3dtisk-online [online]. Brno: 3dtisk-online [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.3dtisk-online.cz/3d-tisk-brno-technologie-3d-tisku/>
20. Přehled technologií 3D tisku. Dk metal [online]. Libhošť: DKMP, ©2018 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>
21. Slicer (3D printing), 2001-. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, ©2022 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Slicer_\(3D_printing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Slicer_(3D_printing))
22. KOČÍ, Jakub. Vše co potřebujete znát o tiskových výplních. Prusa Research by Josef Prusa [online]. Praha: Prusa Research, 2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://blog.prusa3d.com/cs/vse-co-potrebuje-znat-o-tiskovych-vyplnich_43579/
23. ANYCUBIC Photon D2 large size dlp lcd dental resin 3d printer in china: DLP. In: Alibaba.com [online]. Hangzhou: Alibaba.com, © 1999-2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/ANYCUBIC-Photon-D2-large-size-dlp_1600175697413.html

24. Náhradní kovová nádrž na resin (2 ks). 3DJake [online]. Paldau: niceshops, © 2010-2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.3djake.cz/elegoo/nahradni-kovova-nadrz-na-resin-2-ks>
25. ANYCUBIC Photon Mono X. Anycubic [online]. Shenzhen: ANYCUBIC, © 2022 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.anycubic.com/collections/anycubic-photon-3d-printers/products/photon-mono-x-resin-printer>
26. Is UV resin toxic? Risks and safety measures explained. Wevolver [online]. Michigan: Wevolver, © 2022 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/is-uv-resin-toxic-risks-and-safety-measures-explained>
27. ZS 4K UV led DLP 3d 3840 * 2160 projector and 3D printer use dlp optical module. Alibaba.com [online]. Hangzhou: Alibaba.com, © 1999-2023 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/ZS-4K-UV-led-DLP-3d_1700000400116.html
28. Anycubic Photon Ultra: The First Affordable Consumer DLP 3D Printer. All3DP [online]. Munich (Germany): All3DP, © 2021 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://all3dp.com/4/anycubic-photon-ultra-the-first-affordable-consumer-dlp-3d-printer/>
29. ČSN EN ISO 14738 (833505) Bezpečnost strojních zařízení - Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení. Technor [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, ©2009 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-14738-833505-230968.html#>
30. FRISCHHERZ, Adolf, Paul SKOP a Jiří KNOUREK, 2004. Technologie zpracování kovů 1: základní poznatky. 5. vyd. Praha: SNTL. ISBN 9788090265554.
31. Jupiter: Automatic Resin Feeding. ELEGOO [online]. Shenzhen: ELEGOO, ©2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.elegoo.com/blogs/jupiter/jupiter-automatic-resin-feeding>
32. FRISCHHERZ, Adolf, Paul SKOP a Jiří KNOUREK, 2004. Technologie zpracování kovů 1: základní poznatky. 5. vyd. Praha: SNTL. ISBN 9788090265554.
33. RUBÍNOVÁ, Dana, 2006. Ergonomie. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 8021433132
34. EN AW-1070A (Al99.7). Proal [online]. Ostrava: NPS PROAL, 2019 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-1070a/>
35. Odlitky z hliníku. Čz a.s [online]. Strakonice: ČZ, 2022 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <http://www.czas.cz/?PageId=203>

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

11.1 Seznam použitých zkratek

<i>DLP</i>	Digital Light Processing
<i>3D</i>	three dimensional, trojrozměrný prostor
<i>UV</i>	ultraviolet, ultrafialové záření
<i>SLA</i>	Stereolitografie
<i>SLS</i>	Selective Laser Sintering
<i>FDM</i>	Fused Deposition Modeling
<i>LCD</i>	Liquid Crystal Display
<i>FEP</i>	fluoretylpropylen
<i>USB</i>	Universal Serial Bus
<i>LFS</i>	Low Force Stereolithography
<i>VOC</i>	Volatile Organic Compound
<i>LED</i>	Light-Emitting Diode
<i>FFF</i>	Fused Filament Fabrication
<i>PLA</i>	polylactic acid, kyselina polymléčná
<i>ABS</i>	Akrylonitrilbutadienstyren
<i>ASA</i>	Akrylonitril-Styren-Akryl
<i>PET</i>	Polyetyléntereftalát
<i>TPU</i>	Termoplastický polyuretan
<i>PMMA</i>	Polymethylmetakrylát
<i>CPE</i>	Chlorinated Polyethylene, kopolyester
<i>DED</i>	Directed Energy Deposition
<i>CPJ</i>	ColorJet Printing

<i>4K</i>	rozlišení (3840 × 2160) px
<i>MGN</i>	Posuvné ložisko
<i>USB-C</i>	Universal Serial Bus Type-C
<i>USB-A</i>	Universal Serial Bus Type-A
<i>SWOT</i>	Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats
<i>M</i>	metrický závit
<i>Kč</i>	koruna česká

11.2 Seznam použitých veličin

x, y, z	osy trojrozměrného prostoru
mm	milimetr, jednotka délky
px	pixely
Kg	kilogram, jednotka hmotnosti
W	watt, jednotka výkonu
μm	mikrometr, jednotka délky
$^{\circ}C$	stupeň Celsia
$^{\circ}$	úhlový stupeň

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Prusa SLS1 [3].....	17
Obr. 2-2 Anycubic Photon M3 Plus [4].....	18
Obr. 2-3 Etec Xtreme 8K [5]	19
Obr. 2-4 Formlabs Form 3L [6].....	20
Obr. 2-5 DWS Systems XFAB 3500 HD [7]	21
Obr. 2-6 Flashforge Hunter [8].....	22
Obr. 2-7 ELEGOO Jupiter [9].....	23
Obr. 2-8 RAYSHAPE Shape 1+ Dental [10]	24
Obr. 2-9 Phrozen Transform [12]	26
Obr. 2-10 Creality HALOT-SKY 2022 [13]	27
Obr. 2-11 Rozdělení technologií SLA.....	30
Obr. 2-12 Příklad slicovaného modelu	32
Obr. 2-13 Příklad FDM a SLA podpor.....	33
Obr. 2-14 Příklad FDM a SLA výplně	33
Obr. 2-15 Schéma komponent DLP tiskárny.....	34
Obr. 2-16 Anycubic × Texas Instruments DLP projektor (upraveno) [23].....	35
Obr. 2-17 Vanička na resin ELEGOO [24].....	35
Obr. 2-18 Osa z s tiskovou platformou tiskárny Anycubic Photon Mono X [25].....	36
Obr. 4-1 Průběžné pracovní varianty	43
Obr. 4-2 Pracovní modifikace varianty 1	44
Obr. 4-3 Otevřené pracovní modifikace varianty 1	44
Obr. 4-4 Rozměrové řešení varianty 1.....	45
Obr. 4-5 Perspektivní pohledy varianty 1	46
Obr. 4-6 Ergonomický pohled varianty 1	46
Obr. 4-7 Pracovní modifikace varianty 2.....	47
Obr. 4-8 Otevřené pracovní modifikace varianty 2	47
Obr. 4-9 Rozměrové řešení varianty 2.....	48
Obr. 4-10 Perspektivní pohledy varianty 2	49

Obr. 4-11 Ergonomický pohled varianty 2	49
Obr. 4-12 Pracovní modifikace varianty 3	50
Obr. 4-13 Otevřené pracovní modifikace varianty 3	50
Obr. 4-14 Rozměrové řešení varianty 3.....	51
Obr. 4-15 Perspektivní pohledy varianty 3	52
Obr. 4-16 Ergonomický pohled varianty 3	52
Obr. 5-1 Finální návrh, perspektivní pohled 1.....	53
Obr. 5-2 Finální návrh, perspektivní pohled 2.....	54
Obr. 5-3 Finální návrh, čelní pohled.....	54
Obr. 5-4 Finální návrh, otevřená dvířka 1.....	55
Obr. 5-5 Finální návrh, otevřená dvířka 2.....	55
Obr. 5-6 Finální návrh, otevřená dvířka 3.....	56
Obr. 6-1 Schématický popis návrhu.....	57
Obr. 6-2 Rozměrové řešení návrhu, zavřená varianta.....	58
Obr. 6-3 Rozměrové řešení návrhu, otevřená varianta	59
Obr. 6-4 Detail nožek tiskárny	59
Obr. 6-5 Vanička.....	60
Obr. 6-6 Víčko systému doplňování materiálu.....	60
Obr. 6-7 Tisková platforma	61
Obr. 6-8 Osa z.....	61
Obr. 6-9 Detail osvětlení	62
Obr. 6-10 Detail ovládacího panelu.....	62
Obr. 6-11 Ergonomie.....	64
Obr. 6-12 Perspektivní pohled s vaničkou.....	64
Obr. 6-13 Detail otevírání dvířek	65
Obr. 7-1 Použité barvy RAL.....	67
Obr. 7-2 Barevné varianty	67
Obr. 7-3 Barevné varianty uživatelského rozhraní.....	68
Obr. 7-4 Uživatelské rozhraní.....	69
Obr. 7-5 Logotyp	69

Obr. 7-6 Obal na lahev resinu	70
Obr. 8-1 SWOT analýza.....	72

13 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšený sumarizační poster (A4)

Fotografie modelu

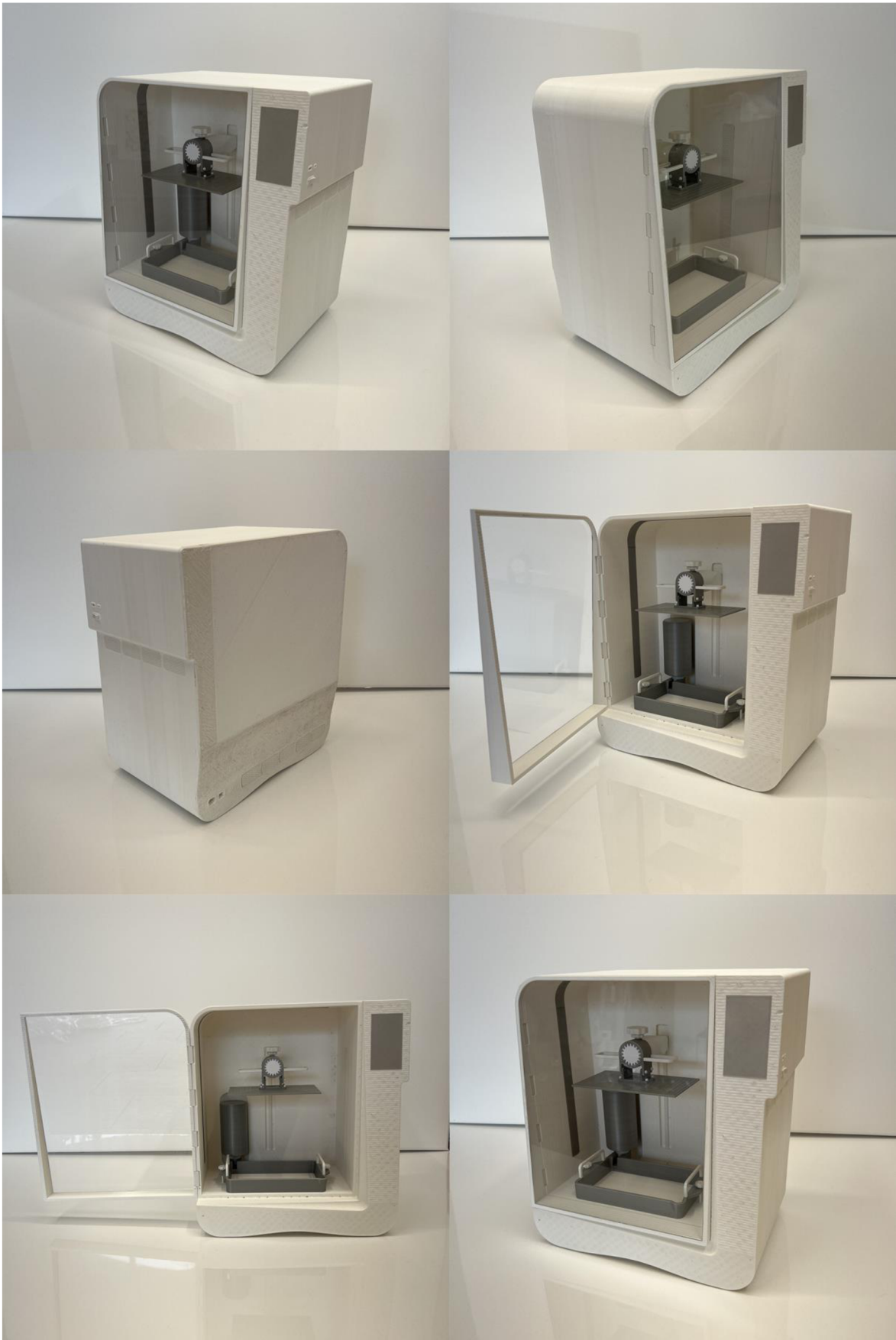
Sumarizační poster (A1)

Video modelu


Fyzický model (M 1:2)

Portfolio

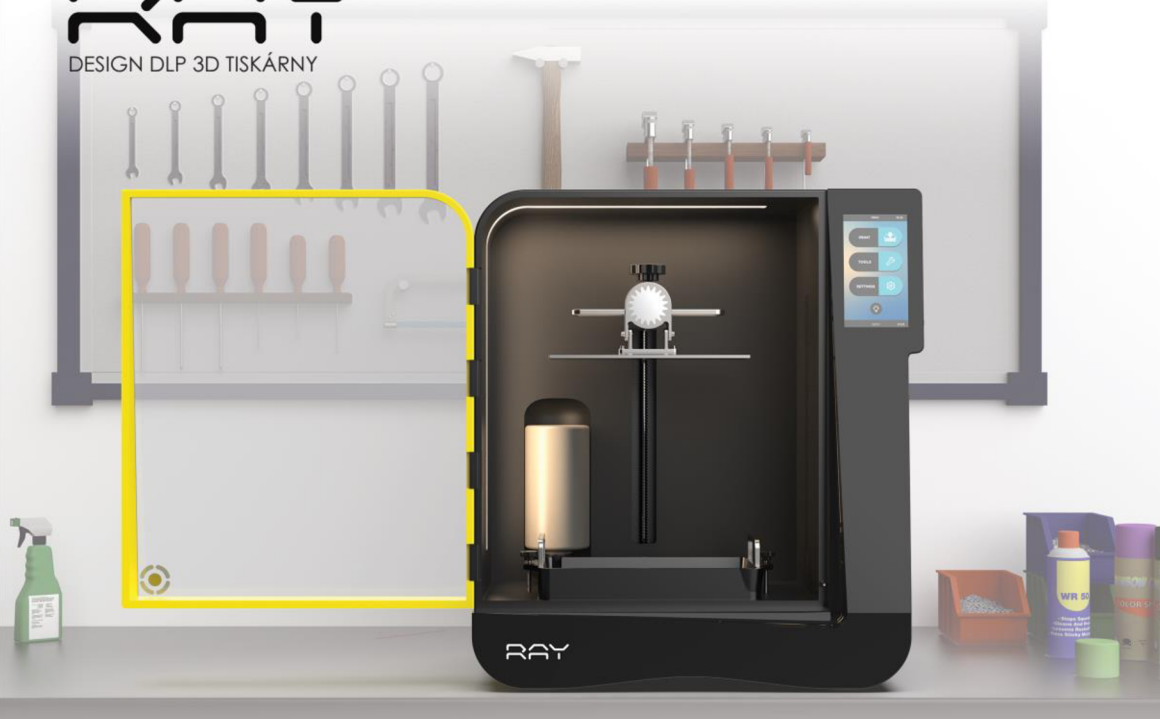
FOTOGRAFIE MODELU



ZMENŠENÝ SUMARIZAČNÍ POSTER




DESIGN DLP 3D TISKÁRNY



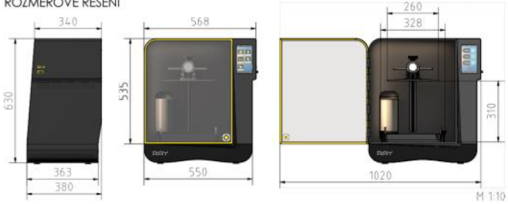
RAY je DLP 3D tiskárna určená pro profesionální a pokročilejší hobby uživatele. Uplatnění může nalézt v oblastech designu, šperkařství, stomatologie, modelářství a podobně.

S tiskovým objemem (310 × 256 × 144) mm návrh spadá do kategorie středně velkých tiskáren. Celkové rozměry produktu jsou (570 × 380 × 635) mm. Výsledný vzhled výrobků se přímo odvíjí od rozlišení DLP projektoru. Návrh disponuje projektoem s rozlišením (3840 × 2160) px.

ERGONOMIE



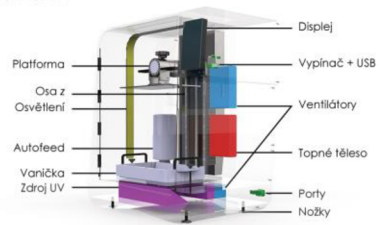
ROZMĚROVÉ ŘEŠENÍ




Design na sebe upozorňuje nevědním tvarováním a výraznými kontrastními prvky. Celkové tvarování respektuje požadavky jak technologické, tak ergonomické.

V návrhu bylo provedeno několik inovativních řešení problémů technologie DLP tisku, které mají za úkol práci se zařízením zpříjemnit. Nejvýraznější inovace byla provedena v úpravě tiskové platformy umožňující náklon do stran. Toto řešení zajišťuje odtok přebytečného materiálu zpět do vanyčky.

SCHEMA KOMPONENT



GRAFICKÉ ŘEŠENÍ



DESIGN DLP/SLA 3D TISKÁRNY / BAKALÁŘSKÁ PRÁCE / Autor: Filip Drčmánek / Vedoucí práce: akad. soch. Josef Škládek ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2022/23

