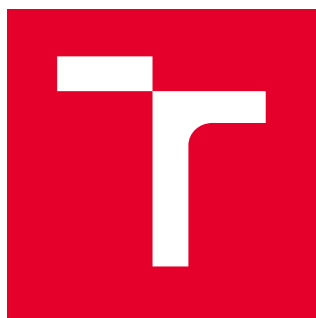




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN PŘÍSTROJE PRO RECYKLACI PLASTŮ ZE 3D TISKÁREN

DESIGN OF PLASTIC RECYCLING MACHINE FROM 3D PRINTERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Bláha

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

akad. soch. Josef Sládek, ArtD.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Bc. Lukáš Bláha
Studijní program:	Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	akad. soch. Josef Sládek, ArtD.
Akademický rok:	2025/26

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 diplomové práce:

Design přístroje pro recyklaci plastů ze 3D tiskáren

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Plasty jsou univerzální a nepostradatelné materiály, hojně využívané v různých oblastech průmyslu. Nadměrná výroba plastových produktů s sebou přináší také mnoho plastového odpadu, který je však v mnoha případech možné znovu zpracovat. Podobně je na tom 3D tisk – aditivní technologie, která navzdory své vysoké efektivitě produkuje také značné množství odpadního filamentu (nepovedené výtisky, podpěry apod., které často končí ve směsném odpadu). Jejich lokální recyklace a zpracování představuje příležitost k udržitelnému řešení, které může snížit nutnost častého pořizování nových filamentů. Žádoucí je přiblížení procesu recyklace v konceptním a tvarovém řešení.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem je návrh přístroje pro zpracování plastového odpadu ze 3D tisku, který dokáže recyklovat vstupní materiál do podoby nového filamentu pro opětovné použití. Důraz bude kladen na ucelený a inovativní design zařízení s využitím existujících funkčních komponent.

Dílčí cíle diplomové práce:

- zmapovat současný trh (identifikovat aktuální trendy a technologie),
- definovat parametry přístroje a typy recyklovaných plastů,
- prokázat funkčnost, ergonomičnost a výrobitelnost návrhu,
- realizovat fyzický model.

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

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

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

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/magisterske-studium-ukoncení/>

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 diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2025/26

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je průmyslový návrh krytování zařízení pro lokální recyklaci plastového odpadu ze 3D tisku. Projekt vznikl ve spolupráci s aditivním centrem Protolab při VŠB-TU v Ostravě s cílem transformovat stávající otevřenou konstrukci s komponentami do podoby celistvého, bezpečného a uživatelsky přívětivého produktu. Konstrukční a tvarové řešení vychází z předcházející technické a uživatelské analýzy. Sestava krytů kombinuje technologii aditivní výroby s laserem řezaným plexisklem, což cílí na snadnou produkci a údržbu. Inovativním prvkem je výklopný zásobník se sníženou plnicí výškou, který usnadňuje dávkování vstupního materiálu a zamezuje úniku prachových částic. Návrh zařízení dále zahrnuje intuitivní dotykové rozhraní, vizuální sdělovač, bezpečnostní prvky a účinné odstínění vnitřních elektrických a teplovodivých komponent. Přínosem je kompaktní a kultivovaný prototyp zařízení vhodný pro laboratorní i edukativní účely.

KLÍČOVÁ SLOVA

Extrudér filamentu, krytování, plastový odpad ze 3D tisku, lokální recyklace, průmyslový design

ABSTRACT

The topic of this master's thesis is an industrial design of enclosure for a local 3D printing plastic waste recycling device. The project was developed in cooperation with the Protolab additive center at VŠB-TU in Ostrava, aiming to transform the existing open structure and its components into a cohesive, safe and user-friendly product. The structural and formal design is based on a preceding technical and user analysis. The casing assembly combines additive manufacturing technology with laser-cut plexiglass, targeting easy production and maintenance. An innovative feature is a tilting hopper with a reduced filling height, which facilitates the dosing of input material and prevents the escape of dust particles. Besides, the design of the device includes an intuitive touch interface, a visual status indicator, safety features and effective shielding of internal electrical and heat-conducting components. The outcome of this work is a compact and refined device prototype suitable for both laboratory and educational purposes.

KEYWORDS

Filament extruder, enclosure, 3D printing plastic waste, local recycling, industrial design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BLÁHA, Lukáš. *Design přístroje pro recyklaci plastů ze 3D tiskáren*. Online, diplomová práce. Josef SLÁDEK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2026. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/173709>. [cit. 2026-04-18].

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu práce panu akad. soch. Josefu Sládkovi, ArtD. za odborné vedení, lidský přístup a nosné připomínky k mé práci.

Poděkování patří také panu Ing. Lukáši Jančarovi a Ing. Dominiku Krišákovi z firmy Protolab při VŠB v Ostravě za příležitost, spolupráci a volnou ruku při návrhu krytování vyvíjeného extrudéru.

Závěrem bych chtěl poděkovat také svým rodičům a všem blízkým za motivující zázemí, nekonečnou trpělivost a pochopení.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením pana akad. soch. Josefa Sládka, Art. D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů. Pro účely jazykové korektury a překladů byly pro psaní této práce využity nástroje umělé inteligence. Veškerý odborný obsah, myšlenky, koncepční a finální řešení jsou mým původním autorským dílem.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	16
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	17
2.1	Rešeršní metody	17
2.1.1	Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů	17
2.1.2	Primární a sekundární zdroje	17
2.1.3	Rešeršní požadavek a strategie	18
2.1.4	Výběr relevantních informačních pramenů	18
2.1.5	Výsledky	20
2.2	Rešerše na stav techniky	21
2.2.1	Motivační analýza	21
2.2.2	Designérská analýza	28
2.2.3	Technická analýza filament extruderu	51
2.2.4	Ergonomie	66
2.3	Shrnutí hlavních zjištění	70
2.4	Identifikace novosti a příležitostí	70
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	72
3.1	Vymezení problému	72
3.1.1	Název a druh produktu	72
3.1.2	Specifikace zákazníka a motivace	72
3.1.3	Specifikace spotřebitele	73
3.1.4	Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií	74
3.1.5	Vymezení atributů a cílů produktu	75
3.2	Cíl práce	76
3.2.1	Hlavní cíl	76
3.2.2	Dílčí cíle	76
4	KONCEPČNÍ NÁVRH	78
4.1	Analýza cílů a specifikace omezení	78
4.2	Technická funkční analýza	79
4.2.1	Specifikace vnitřních komponent	81
4.3	Návrh alternativních řešení	85
4.3.1	Varianta 1	85
4.3.2	Varianta 2	87
4.3.3	Varianta 3	89

4.4	Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího	92
4.4.1	Zhodnocení variant	92
5	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH	93
5.1	Matematický model	93
5.2	Určení tvarů, rozměrů a materiálů	95
5.2.1	Tvar	95
5.2.2	Rozměry	101
5.2.3	Materiály a výroba	102
5.3	Odhad výrobních nákladů a objemu výroby	104
5.3.1	Odhad ceny	104
6	DETAILNÍ NÁVRH	105
6.1	Tvarové řešení	105
6.1.1	Technické řešení	106
6.2	Ergonomické řešení	115
6.2.1	Manipulace se zásobníkem	115
6.2.2	Kryt mísící komory	119
6.2.3	Dvířka a vnitřní komponenty	121
6.2.4	Ovládací a stavový panel	126
6.3	Barevné a grafické řešení	132
6.4	Udržitelnost produktu	141
6.4.1	Řešení koncepčního návrh krytu drtičky	143
6.5	Hodnocení klíčových parametrů	148
7	ZÁVĚR	150
8	VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV	152
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	153
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	164
11	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	167
12	SEZNAM TABULEK	172
13	SEZNAM PŘÍLOH	173
14	PŘÍLOHY	174

1 ÚVOD

Aditivní technologie se v posledním desetiletí stala symbolem moderní průmyslové výroby a digitální kreativity. To, co bylo dříve výsadou úzké skupiny výzkumných pracovišť, dnes běžně nacházíme jak na univerzitách, tak na středních školách, v malých vývojových centrech a domácnostech nevyjímaje. Rozmach 3D tisku, zejména s technologií FDM, kde jsou vstupními materiály například PLA, PETG, ABS, ASA a podobně, přinesl svobodu v prototypování a možnost realizovat složité geometrie, které byly dříve nevyrobitelné.

S technologickou revolucí však ruku v ruce přichází i stinná stránka v podobě narůstajícího objemu specifického plastového odpadu. Na cestě k finálnímu a funkčnímu produktu uživatele často doprovází mnoho nepovedených výtisků, podpěr, výplní či jednorázových prototypů. Tento odpadní materiál, ač stále velmi hodnotný, často končí v běžném směsném odpadu, neboť standardní systémy třídění si s ním neumí efektivně poradit.

Téma otevírá příležitost k řešení udržitelnosti a podpoře cirkulární ekonomiky zejména v prostředí lokálních dílen a laboratoří s větší produkcí plastového odpadu. Hlavní hybnou myšlenkou je lokální recyklace, kde by z odpadu, vzniklého přímo u tiskárny, bylo možné znovu vytvořit nový vstupní materiál pro další tisk. Tento uzavřený cyklus přímo v místě produkce odpadu šetří nejen z části materiál, především však může významně snížit environmetální zátěž těchto plastů na prostředí a zavčas podchytit možný potenciálně narůstající problém.

Současná řešení tzv. filament makerů stále doprovází některá úskalí. Opomíjeny jsou například aspekty uživatelského komfortu a přívětivosti. Přístroj pro výrobu druhotného filamentu tak působí spíše jako složité zařízení náročné ke kontrole i manipulaci, které jsou určeny spíš pro experty než pro běžné studenty, učitele či laiky.

Diplomová práce se zaměřuje na design zařízení s cílem tyto bariéry výrazně zredukovat. Unikátní příležitostí je také spolupráce s aditivním centrem Protolab při VŠB v Ostravě, které nabídlo možnost spolupráce na vývoji funkčním prototypu recyklačního zařízení. Jejich vyvíjený extrudér filamentu dokáže zpracovávat různé druhy FDM plastů, včetně práškového nylonu používaného technologií SLS.

Hlavní vizí je transformovat vstupní hrubou konstrukci v produkt, který se stane přirozenou součástí každé inovativní laboratoře. Práce se zaměřuje zejména na podobu vnějšího krytování úzce spojeného s ergonomií ovládání, bezpečnou manipulací a intuitivním způsobem interakce člověka se širokou škálou komponent. Ambicí je nejen přizpůsobit přístroj uživateli, aby jej podpořil v zodpovědném přístupu k použitým plastovým materiálům, ale i s myšlenkou přijít s vizuálně přesvědčivým nástrojem pro udržitelnou budoucnost.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Rešeršní metody

Pro objektivní zmapování problematiky krytování (casingu) byla provedena důkladná systematická rešerše, jejímž cílem bylo identifikovat zejména technické a vizuální trendy u stávajících řešení konkurence a definovat ergonomické požadavky pro vývoj opláštění v souladu s limity zadané konstrukce a funkcí. Důležitým aspektem bylo také vymezení limitů materiálů a spojů, v neposlední řadě též prozkoumání bezpečnostní odvětví v souladu s normami a ochranou zdraví člověka především.

Vzhledem k vývojové povaze práce, stavěné přímo na zadané konstrukci s vnitřním mechanismem dodané aditivním centrem Protolab při VŠB se sídlem v Ostravě, bylo ve snaze celý návrh krytu řešit také v souladu s principy User Centered Designu (UCD) [1] s důrazem na intuitivnost a potřeby široké škály koncových uživatelů. Rešerše tak neanalyzovala pouze stroje jako izolované objekty, ale se zaměřením na celý procesní řetězec recyklace v lokálním prostředí – od drcení plastového odpadu až po finální navíjení struny. Komplexní analýza procesů umožnila odhalit kritické slabiny současných řešení, jakými jsou například nekompaktnost, tepelná nestabilita, chybějící ochrana před tepelnými prvky, složitější ovládání či omezenou servisní přístupnost k vnitřním komponentám.

2.1.1 Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů

První podkapitola se zabývá výběrem vhodných informačních pramenů v kontextu vývoje recyklačního zařízení na výrobu filamentu za pomoci vyhledávání s využitím klíčových termínů zaměřených na optimalizaci krytování zařízení a intuitivní manipulaci s ním. Mezi použité výrazy tak patřilo „extrudér filamentu“, „3D tisk“, „krytování“, „ergonomie“, „user-friendly design“, „přístupnost a údržba“ či „dávkování plastového odpadu“, které byly kombinovány se synonymy a anglickými ekvivalenty.

2.1.2 Primární a sekundární zdroje

Jako primární zdroje byly využity produktové katalogy výrobců recyklačních zařízení, odborné či vědecké články, patenty a populárně-naučná videa. Využity byly také cenné poznatky z praxe od kooperujícího aditivního centra Protolab, pro něhož návrh krytování vzniká, včetně zadávacích digitálních dat hliníkové konstrukce a vnitřního mechanismu.

Sekundárními zdroji se staly webové stránky dodavatelů a bibliografické databáze Primo, jmenovitě VUT PRIMO, Elsevier, SciHub, Google Patents či ProQuest, které poskytly přístup k odborným, vědeckým článkům, patentovým záznamům či závěrečným pracím. K těmto zdrojům byly doplněny také technické listy výrobců a katalogové listy (k extrudérům Felfil Evo, 3devo Filament Maker, Filabot atd.). Pro ilustraci praktických řešení byly rovněž zařazeny vybrané videonahrávky dokumentující vývoj a fungování prototypy stejných recyklačních zařízení.

Preferovány byly publikace z let 2021–2024 a vyhledávání bylo prováděno primárně v anglickém jazyce pro zajištění maximální aktuálnosti, globálnějšího pokrytí a přesnosti zjištěných informací.

2.1.3 Rešeršní požadavek a strategie

V rámci efektivní výtěžnosti informačních databází byly aplikovány dvě hlavní rešeršní strategie, jmenovitě strategie stavebních kamenů a strategie rostoucí perly. Tento metodický postup umožnil systematicky zúžit a segregovat pouze relevantní zdroje, které přímo souvisejí s problematikou designu krytu a ergonomie recyklačního zařízení.

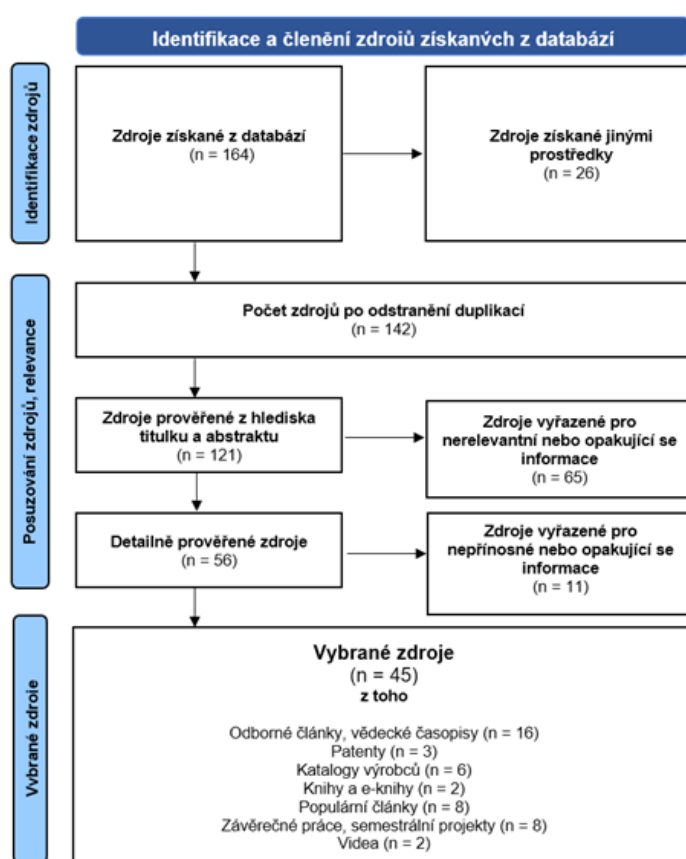
Strategie stavebních kamenů byla využita k řešení složitých vyhledávacích dotazů prostřednictvím dekompozice na klíčové pojmy propojované Booleovskými operátory (např. AND, OR, NOT). Po analýze výsledků se počet relevantních pramenů zredukoval na 34. Souběžně byla uplatněna také strategie rostoucí perly, která umožnila přesnější zacílení na klíčová témata (pomocí asociací), jako jsou uživatelská přívětivost, ergonomie a konstrukční specifika krytování apod. Tato strategie byla prioritně využita v databázi Science Direct. Například výchozí dotaz „filament extruder“ generoval celkem 27 683 záznamů, avšak jeho postupné zpřesnění na „filament extruder case design“ snížilo množinu na 14 671 položek. Finální konkretizace dotazu na „filament extruder case design ergonomics“ zúžila výsledky na 69 pramenů.

2.1.4 Výběr relevantních informačních pramenů

Proces selekce relevantních informačních pramenů byl realizován s cílem vytvořit ucelenou a odbornou rešeršní bázi, která bude sloužit jako podklad pro analytickou a návrhovou část diplomové práce. Celkově bylo v rámci rešeršní fáze vyhledáno 164 záznamů z odborných databází a 26 pramenů z dalších zdrojů, jako jsou katalogy výrobců či videa, přičemž k tomuto vyhledávání dopomohly zvolené digitální databáze. Po následném odstranění duplicit zůstalo k dalšímu posouzení 142 potenciálních záznamů, které byly podrobeny analýze titulů a abstraktů, na jejímž základě bylo 121 záznamů vyhodnoceno jako relevantních.

K detailnímu prověření obsahu plných textů postoupilo 56 dokumentů, z nichž bylo následně 11 vyřazeno z důvodu nedostatečného přínosu pro specifické potřeby vývoje krytování. Do finální rešerše bylo nakonec zařazeno 45 zdrojů, které svým charakterem pokrývají široké spektrum odbornosti a technických parametrů.

Nejvíce zastoupenou skupinu tvoří 16 odborných článků a vědeckých časopisů následovaných 8 závěrečnými pracemi a stejným počtem 8 populárně-naučných textů. Tuto dále doplňuje 6 katalogů výrobců, 3 patentové záznamy konstrukčních řešení, 2 knihy a dvojice videonahrávek dokumentujících vývoj a fungování prototypů recyklačních zařízení. Celý tento systematický postup selekce je názorně zobrazen v PRISMA diagramu níže.



Obr. 2-1 Proces zpracování získaných zdrojů zvýrazněný v PRISMA diagramu

2.1.5 Výsledky

V této části byly všechny finálně vybrané prameny importovány do citačního manažeru Citace PRO spolu se zachycením veškerých bibliografických údajů. Ve snaze o kategorizaci byl každý zdroj systematicky přiřazen do vlastního oddílu odkazující na klíčové aspekty pro vývoje krytování: **krytování přístroje** (tvarové varianty a materiály), **optimalizace konstrukce** (tuhost a zjednodušení dílů), **ergonomie a uživatelský komfort** (rozmístění prvků), **bezpečnost** (normy a ochrana), **přístup a údržba** (revize a demontáž), **dávkování** (řízení průtoku materiálu) a **sféry využití** (edukační a poloprofesionální nasazení).

Výsledky těchto analýz umožnily identifikovat slabé stránky dosavadní literatury a zaměřit návrh krytování recyklačního extrudéru na oblasti s největším přínosem. Řeč je o poznatcích o konstrukci zařízení, bezpečnostních opatřeních, potřebě ergonomického rozvržení ovládacích prvků a trendech v recyklaci polymerních materiálů. Potvrzena byla potřeba efektivního krytování z hlediska údržby, ochrany uživatele před poraněním vlivem vysokých teplot či elektrickým proudem. Výzkum rovněž ukázal, že současná řešení trpí na nedostatečné zamezení úniku plastových částic z násypky a také na neintuitivní manipulaci s přístroji.

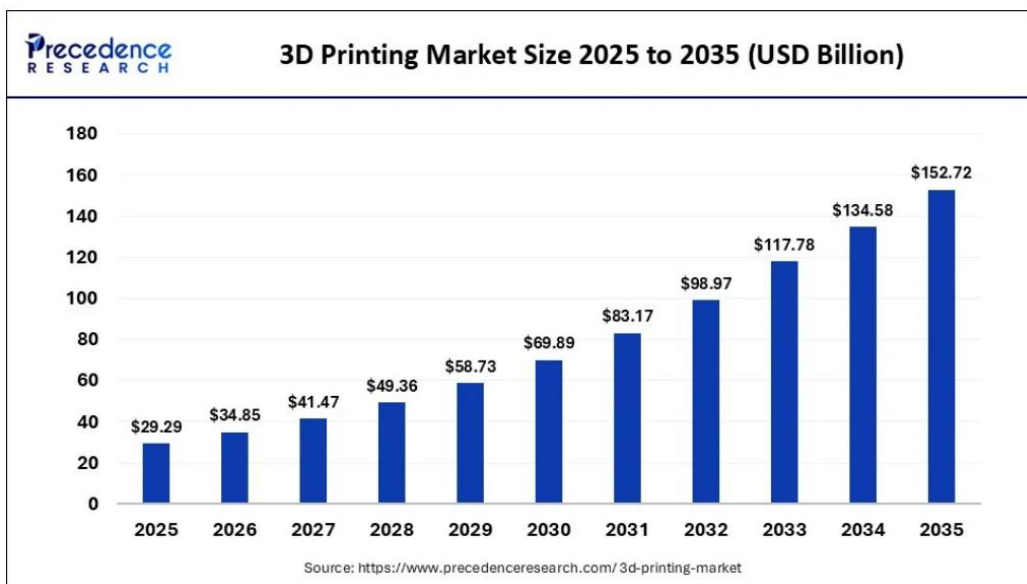
2.2 Rešerše na stav techniky

Tato kapitola je zaměřena na podrobnou rešerši současného stavu techniky v oblasti zařízení pro lokální recyklaci a zpracování plastového odpadu ze 3D tiskáren. Cílem je zmapovat stávající konstrukční řešení tzv. filament makerů (extrudérů filamentu), identifikovat jejich funkční parametry a vizuální trendy na současném trhu. Analýza zahrnuje jak komerčně dostupná řešení, tak některé i vývojové prototypy.

2.2.1 Motivační analýza

Nárůst produkce a environmentální dopady

3D tisk se jako součást aditivní výroby stal v posledních dvou desetiletích významným a nepostradatelným prvkem v oblastech automobilového a leteckého průmyslu, zdravotnictví, stavebnictví, strojírenství či průmyslu obecně. Technologie umožňující velice efektivně převádět CAD data do trojrozměrné podoby si našla svou oblibu mezi zákazníky díky výrazně nižším nákladům na kusovou výrobu a výsledné kvalitě zpracování [2]. Vysoký potenciál a konkurenceschopnost této inovace se odráží ve výsledku celosvětového průzkumu z roku 2025, kde data poukazují na rostoucí zájem o 3D tisk včetně očekávaného vývoje trhu na následujících 10 letech s průměrným ročním nárůstem o téměř 18 % [3].



Obr. 2-2 Očekávaný vývoj trhu se 3D tiskem, dostupné z [3]

S rozvojem je však spojen i narůstající objem plastového odpadu, často v důsledku nepodařených výtisků a nutných podpůrných struktur. Konkrétně odpad typický pro FDM tisk [4] tvoří přibližně 34 % z celkového objemu využitého plastu [5].

Zásadním problémem zůstává, že odpad generovaný z FDM procesů se běžně nerecykluje, a to především kvůli absenci identifikačních kódů (tzv. resin codes), které by určily přesné materiálové složení objektů [5]. Rozsah budoucí výzvy dokládá i fakt, že produkce materiálu PLA strmě roste a do roku 2027 se očekává překročení hranice 2,4 milionu metrických tun [5].



Obr. 2-3 Recyklovaný PLA filament, dostupné z [6]

Podobný scénář platí také pro tiskovou technologii SLS [4] s rozdílem, že hlavní podíl odpadu představuje znehodnocený práškový materiál. Polyamid, nebo také nylon, zastupuje 95 % všech polymerů spotřebovaných v rámci této technologie. Průměrný SLS systém se dávákuje přibližně 20 kg prášku, přičemž vytížené zařízení vygeneruje až 50 kg odpadního prášku měsíčně [7]. Zásadním problémem je, že zhruba 25 % prášku se během procesu výroby znehodnotí vlivem tepelné degradace (částečně slinují) a tuto část prášku není vhodné použít bez namixování s nepoužitým práškem pro další, plnohodnotný tisk metodou SLS [7]. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně SLS materiálů, která se pohybuje okolo 3000 Kč za kilogram [8], se jedná o vysoce hodnotný odpad.

Silnou motivací však zůstává, že oba materiály je možné za určitých podmínek znovu zpracovat, natavit a přetvořit v plnohodnotný vstupní materiál pro FDM tisk [5] [4].



Obr. 2-4 Tištěný díl z recyklovaného filamentu z PA, dostupné z [9]

Mechanické vlastnosti recyklovaných plastů ze 3DP

Opětovné zpracování polymerů v aditivní výrobě s sebou nese určité změny ve vnitřní struktuře v důsledku opakované tepelné a mechanické expozice. U materiálu PLA dochází při recyklaci drtiny k rozpadu polymerních řetězců vedoucí k snížení molekulové hmotnosti [5]. Pevnost však zůstává prvních pár cyklů dostatečně stabilní pro tisk nenamáhaných dílů. K výrazné degradaci mechanických vlastností poté dochází po zhruba 5 cyklech [5].

Přesnější studii ohledně testování poskytl odborný článek *Recycled PLA for 3D Printing* [10], kde autoři porovnávali vlastnosti dílů tištěných z komerčních a recyklovaných (odpadních) PLA filamentů, konkrétně viskozitu, modul pružnosti a pevnost v tahu v průběhu několika re-extruzních cyklů. Výsledky ukázaly, že i přes opakovanou reextruzi lze zachovat relativně stabilní mechanické vlastnosti, pokud je použit homogenní (čistý) vstupní materiál [10].

Sample Label	$E(\text{MPa})$	$TS(\sigma, \text{MPa})$	$\varepsilon_b(\%)$
1-PLA-C	1553 ± 105	46.3 ± 5.9	4.08 ± 0.60
2-PLA-C	1571 ± 125	43.0 ± 2.8	4.10 ± 0.10
3-PLA-C	1530 ± 140	37.3 ± 4.6	3.55 ± 0.50
4-PLA-C	1540 ± 66	36.7 ± 8.3	3.73 ± 1.10
5-PLA-C	1572 ± 87	34.2 ± 3.6	3.31 ± 1.18
1-PLA-M	1500 ± 58	33.4 ± 4.5	3.50 ± 0.90
2-PLA-M	1610 ± 70	33.3 ± 5.0	3.41 ± 0.97
3-PLA-M	1527 ± 120	33.7 ± 3.9	3.78 ± 0.82
4-PLA-M	1615 ± 125	27.7 ± 2.1	2.06 ± 0.20

Obr. 2-5 Mechanické vlastnosti recyklovaných PLA vzorků z různých odpadních zdrojů (PLA-C – komerční filamenty, PLA-M – směsný odpad z 3D tisku), dostupné z [10]

U odpadního polyamidu (nejčastěji typ PA11 či PA12) z technologie SLS jsou změny vlastností dány především tepelnou historií materiálu v tiskové komoře. Filament vyrobený z tohoto odpadu vykazuje v porovnání s novým materiálem nižší mechanické parametry [7], přesto si však uchovává dostatečnou houževnatost pro výrobu prototypů. Pro zachování lepších vlastností se v praxi často využívá míchání tohoto odpadu s aditivou nebo čistým, nepoužitým polyamidem [7].

Uživatelská bariéra a provozní rizika

Mnoho případů současných konkurenčních produktů na trhu spojuje jeden kritickým problém týkající se nutného vysokého prahu odbornosti. Některá zařízení připomínají spíše nedokončené prototypy s viditelnou kabeláží (viz. Obr. 2-7), které mohou vyvolat v laickém uživateli pocit nejistoty a obavu z poškození stroje či úrazu. Jiné přístroje mají charakter otevřených sestav postrádající některé bezpečnostní prvky a kompaktnost (viz. Obr. 2-6).



Obr. 2-6 Stavebnicový extrudér filamentu ARTME3D, dostupné z [11]

Nedostatkem některých druhů filament makerů je absence intuitivního rozhraní a jasné vizuální zpětné vazby o stavu procesu. Některá řešení rovněž často opomíjejí servisní přístupnost, která je žádoucí při nutných provozních zásazích, jakými jsou zaseknutí materiálu v mechanismu či potřeba vyčištění násypky.



Obr. 2-7 Kompaktní extrudér filamentu Felfil, dostupné z [12]

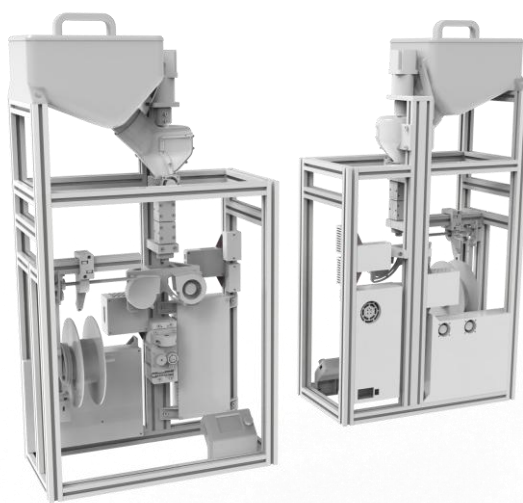
Provozním faktorem ke zmínění je také vyšší prašnost, zejména při plnění jemným nylonovým prachem uvolňující mikročástice do ovzduší. V uzavřených prostorách laboratoří tak může tento prach představovat jak zdravotní riziko pro dýchací cesty obsluhy, tak způsobuje kontaminaci okolí včetně zanesení některých komponent přístroje.



Obr. 2-8 Fáze tisku na SLS tiskárně – plnění přístroje práškem; post-processing; čištění přístroje, dostupné z [13]

Z hlediska tepelné bezpečnosti vyžaduje proces tavení stabilní teploty často přesahující 200 °C [5] [7]. Mnohé dostupné „filament makery“ postrádají dostatečné tepelné odstínění topných bloků a trysky. Odkryté horké části nepředstavují jen riziko popálení obsluhy, ale způsobují také výrazné tepelné sálání do okolí, což může negativně ovlivňovat stabilitu procesu chlazení vytlačované struny.

Cílem designérského zásahu je tedy transformace holého rámu s vnitřním mechanismem v kompaktní, bezpečný a profesionálně působící produkt, který tyto výše zmíněné bariéry kompenzuje. Stanovené požadavky na zvýšení standardu bezpečnosti a intuitivní ovládání jsou v kombinaci s moderním, funkčním vzhledem pro nejen pro aditivní centrum Protolab, jakožto koncového zákazníka, klíčové.



Obr. 2-9 Vstupní hliníková konstrukce osazena komponentami, CAD model

Pro bližší pochopení problematiky ergonomie s důrazem na rozhraní mezi člověkem a strojem publikace F. Tosiho – *Design for Ergonomics* [14]. V dokumentu zde shrnuty principy konstrukce ovládacích prvků, doporučené výšky, dosahy a zorné úhly, které lze snadno aplikovat na rozvržení displeje, ovládání a servisní přístupnost extrudéru. Text zároveň akcentoval důležitost rozlišitelnosti ovládacích prvků a jejich logické seskupení.

ROZMĚRY	MUŽI			ŽENY		
	5°	50°	95°	5°	50°	95°
výška	1625	1740	1855	1505	1610	1710
výška očí (ve stoje)	1515	1630	1745	1405	1505	1610
výška loktů (ve stoje)	1005	1090	1180	930	1005	1085
výška (v sedě)	850	910	965	795	850	910
výška očí (v sedě)	735	790	845	685	740	795
výška loktů (v sedě)	195	245	295	185	235	280
šířka hlavy	145	155	165	135	145	150
maximální výška úchopu (ve stoje)	1925	2060	2190	1790	1905	2020
maximální výška úchopu (v sedě)	1145	1245	1340	1060	1150	1235

Obr. 2-10 Hlavní antropometrické míry dospělé populace mezi 19 až 65 lety, přeloženo, dostupné z [14]

2.2.2 Designérská analýza

Tato část práce detailně rozebírá současná řešení filament makerů dostupných na trhu. Každý z produktů je podroben analýze z hlediska vzhledu, použitých materiálů, funkčnosti, bezpečnosti, spolehlivosti a cenové relace.

ARTME 3D filament extruder MK3

Zařízení, původně sestavené německým Davidem Thönnemem [15], představu úspěšný produkt mezi stolními extrudéry s architekturou otevřené DIY stavebnice. Komerčně hojně prodávaný přístroj je znám především díky své cenové dostupnosti a možnostem dodatečných uživatelských úprav (open-source customizace), neboť některé komponenty jsou volně dostupné ke stažení online [16].

Konstrukční základ tvoří skelet z hliníkových profilů, který stroji již na první pohled dodává osobitý charakter a zajišťuje pohodlný přístup ke všem součástkám. Produkt vsází zcela logicky na vertikální řazení komponent, od násypky až po extrudér, že něhož je struna vedena bokem, kde je navíjena na špulku [16]. Vzhledem ke konceptu je zjevné, že kompaktnost je zde silně podřízena funkci a že vizuální schránka je značně neucelená a odhalená podobně jako u tiskáren Průša řady MK [17]. Kabelové svazky jsou často viditelně přiznány podobně jako motory a horký extrudér.



Obr. 2-11 ARTME 3D filament extruder MK3, dostupné z [11]

Absence jakéhokoliv vnějšího opláštění může vyvolávat nedůvěru ve stabilitu a bezpečnost při manipulaci se zařízením. Otevřená konstrukce sice může fungovat jako názorný, edukativní příklad recyklačního procesu, ale postrádá ochranu proti sálavému teplu z topných těles přesahující teploty až 300° [16] (kromě tubusu držící izolaci okolo topných těles) a nekryje rotující části. Dokonce i manuál výslovně varuje před rizikem popálení [18].

Podobně chybí také víko násypky, které může mít vliv na vypadávání vstupního materiálu ven či prostup vlhkosti do plastu přímo ovlivňující jeho mechanické vlastnosti [11].

Z pohledu ovládání a ergonomie jsou veškeré ovládací prvky usměrněny do spodní části osazené displejem, otočným knoflíkem a resetovacím tlačítkem, podobně jak už starších tiskáren Průša řady MK1 – MK3 [17]. Ačkoliv se jedná už o technicky zastaralé rozhraní, v rámci komunity 3D tisku jde o funkční evergreen. Výhodou tohoto systému obecně je rozsáhlá komunitní podpora na sociálních sítích, která umožňuje rychlé řešení technických problémů [19].

Zařízení zpracovává jak granulovaný plast, tak drcený FDM plast a umožňuje výrobu filamentu v domácích podmínkách i malovýrobních firmách o standardní tloušťce 1,75 až 2,85 mm podle zvolené trysky [16]. Pracuje s běžnými tiskovými materiály jako PLA, PETG či ABS [20]. Produkt je nabízen v základním bílém barevném provedení, kombinuje tištěné díly z PETG s nosnou konstrukcí z černých, anodizovaných hliníkových profilů [16]. Celkové rozměry činí 458 x 656 x 312 mm (D x V x Š) [18].

Navzdory tomu, že je produkt velmi žádaný a během posledních několika verzí „dospěl k funkční dokonalosti“, stále působí vizuálně jako pokročilý prototyp než finální komerční produkt. Pořizovací cena se pohybuje okolo 23 000 Kč [11].

Oblíbený je dokonce natolik, že se původním návrhem inspirovalo mnoho dalších lidí, kteří představili své klony [21]. Spekuluje se také na použití některých identických součástech v nedávno představeném domácím filament extrudéru LOOP [15].

LOOP Filament Recycler

Přístroj od společnosti LOOP [22] představuje vcelku ambiciózní řešení, které v jediném vertikálním šasi zprostředkovává proces drcení, extruze a automatického navíjení. Na trhu je produkt prezentován jako high-end zařízení vhodné pro každého domácího kutila a nadšence do 3D tisku, avšak i navzdory dotaženému vzhledu a všestrannosti jej však provází určité kontroverze.

Základem konstrukce je hliníková slitina obklopená eloxovaným hliníkovým krytem, které jako celek připomínají prémiovou počítačovou skříň. Na první pohled působí řešení dost minimalisticky a nadčasově, přesto však celá schránka prošla v posledním roce zásadním změnou. Zatímco původní verze z roku 2024 pro minulý rok [23] sázela na organičtější, zaoblené tvary s (viz. Obr. 2-12), současný návrh připravovaný pro předprodej v letošním roce [22] znatelně „zhranatěl“ a přešel k více industriálnímu vzhledu boxovitého charakteru, který mimo jiné působí spíše jako prezentační render než reálný produkt (viz. Obr. 2-13). Tento posun vzhledu má evidentně za cíl podpořit utilitaritu a robustnost přístroje.



Obr. 2-12 LOOP Filament Recycler, připravovaná verze pro rok 2025, dostupné z [23]

Uzavřená konstrukce zařízení LOOP výrazně zamezuje riziku náhodného kontaktu s horkými částmi nebo rotujícími komponenty [22]. Boky přístroje jsou osazeny chladicími otvory s osmi ventilátory pro udržení stabilního výkonu. Nadstandardním prvkem je integrovaný drtič (mixér s ocelovými noži) krytý hliníkovou předsádkou, která tlumí zvuk štěpení materiálu pod deklarovanou hranici 65 dB [22]. Násypka o objemu 1,2 litru disponuje průzorem z temperovaného skla a usnadňuje tak uživateli kontrolu nad stavem materiálu v reálném čase bez nutnosti odklápění [22]. Zařízení dále obsahuje čistící filtry s aktivním uhlím pro zachycení výparů, což může být při provozu v domácím prostředí žádoucí. Celkové rozměrech produktu činí 406 x 690 x 254 mm (D x V x Š) [22].

Z hlediska ovládání sází LOOP na plně automatický provoz. Zařízení je schopno zpracovat běžné materiály jako PLA, ABS a PETG [20] do podoby strun o průměru 1,75 mm nebo 2,85 mm [22]. Uživatel si zvolí požadovaný průměr struny a systém v reálném čase měří průměr extruze s deklarovanou přesností 0,01 mm v průměru struny. Přestože jsou specifikace působivé, vyvolávají v komunitě určitou nedůvěru. Na rozdíl o jiných konkurenčních produktů totiž společnost doposud nepředstavila žádné reálné demonstrativní video z provozu, přestože si dle webu již někteří zájemci produkt v předprodeji zakoupili [24]. Cena zařízení se v předobjednávkách pohybovala mezi 38 000 Kč a 60 000 Kč, řadí se tak do dražší cenové relace [23].

LOOP Filament Recycler nabízí vizuálně přitažlivý, čistý produkt ve snaze o integraci všech recyklačních etap do jediného celku. Navzdory proklamované technologické vyspělosti však produkt stále postrádá hmatatelný důkaz ověřující správnou funkci. Absence fyzických ukázek a vysoká cena způsobují, že zařízení v očích veřejnosti i nadále působí spíše skeptickým dojmem.



Obr. 2-13 LOOP Filament Recycler, redesignovaná verze pro rok 2026, dostupné z [22]

Felfil Evo & Spooler+

Sestava od italské společnosti Felfil [25] představuje modulární řešení skládající se ze samostatné jednotky extrudéru (Evo) a navíječe (Spooler). Podobně jako u produktu ARTME 3D [16] nebo tiskáren Průša [17], i tento produkt má původ v komunitním projektu, postaveném na vlastní elektronice s názvem Felfilino [25].

Základem je hliníková šasi s výrazně zaoblenými hranami v kombinaci s bočním krytím z plexiskel. Vizuální dojem je však rozporuplný právě kvůli transparentním částem odhalujícím vnitřní elektroniku a kabeláž [26]. Minimalisticky laděný produkt vsází na horizontální řazení komponent v podobě modulární linky, která vyžaduje lineární prostor přibližně 1000 x 180 x 100 mm [26]. Aby jednotky vzhledem ke své nízké váze (10 kg) [26] neklouzaly, je v rámci stability osazena konstrukce pryžovými patkami.

Extrudér disponuje násypkou o objemu 1 litr, která je u verze Evo tvořena dvoudílným plastovým tubusem. Podobně jako u jiných stolních řešení, i zde postrádá základní verze těsnicí víko či širší násypku pro jednodušší dávkování [26]. Samostatný navíjecí systém (spooler) je osazen automatickým senzorem filamentu, který v reálném čase koriguje rychlost odtahu v závislosti na rychlosti extruze. Mezi extruzní a navíjecí jednotkou je navíc umístěn modul sloužící k pozvolnému dochlazování struny, které po něm klouže do vtahovacího mechanismu spooleru (viz. Obr. 2-14).



Obr. 2-14 Felfil Evo & Spooler (kompletní sestava vč. kluzného modulu), dostupné z [26]

Ovládání extruzní i navíjecí jednotky je realizováno skrze dvojici samostatných displejů umístěných na čelních panelech. Rozhraní nabízí intuitivní kalibraci a přednastavené režimy (Soft, Medium, Hard) pro různé typy polymerů [25], přičemž pohyb v systému je realizován pomocí otočného knoflíku, opět podobně jako u starších tiskáren Průša MK1 – MK3 [17].

Benefitem sestavy je modularita umožňující flexibilní uspořádání. Na druhou stranu, poskládání sestavy, navíc v horizontální uspořádání, a následná synchronizace jednotek vyžaduje určitou preciznost, zkušenost a znalost chování přístroje a extrudovaného plastu.

Sestava zpracovává širokou škálu termoplastů, od PLA, ABS, PETG [20], Nylon, měkký TPU apod. při teplotách do 250 °C s možností úpravy až na 300 °C. Zařízení standardně extruduje struny o průměru 1,75 nebo 2,85 mm [26]. Rozměry jednotky činí 470 x 380 x 250 mm (D x V x Š) [26]. [26]



Obr. 2-15 Barevná řešení extruzních jednotek Felfil Evo, dostupné z [25]

Set Felfil Evo & Spooler představuje oblíbený produkt, který se z původní vysokoškolské práce úspěšně přetransformoval do podoby open-source komerčního produktu [27]. Z hlediska ucelenosti vizuálu však verze s průhledným žlutým a transparentním plexisklem nepůsobí zrovna přesvědčivě a čistě pro zákazníka očekávajícího určitou výrazovou dospělost a homogenitu. Trochu hravější vzhled kompenzuje možnost vlastní montáže či otevřenost řídicí elektroniky pro komunitní vývoj [27]. Na druhou stranu vzhledem ke členění a rozměrům je směřován spíše pro domácí použití. Cena za sestavu extrudéru a navíječe činí 35 000 Kč [26].

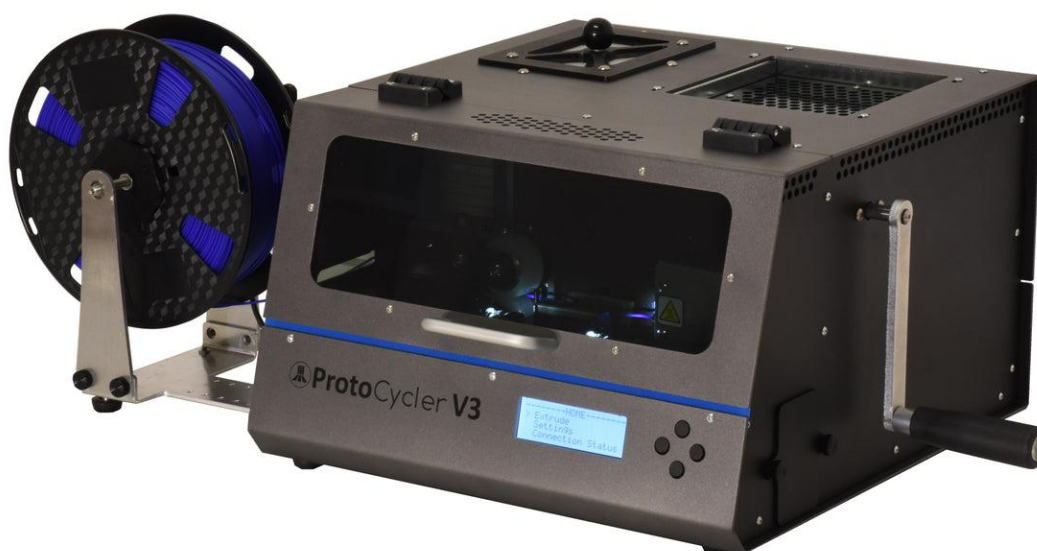
ProtoCycler V3

Zařízení od kanadské společnosti ReDeTec [28] představuje nejvýraznějšího zástupce integrovaných systémů typu 3v1 na trhu. Produkt tak podobně jako LOOP [22] kombinuje drtič, extrudér i navíjecí mechanismus. Díky unikátní patentované technologii MixFlow a získání přísných bezpečnostních certifikací [28] se ProtoCycler profiluje jako prémiové řešení navržené primárně pro školní prostředí a moderní dílny.

Konstrukční základ tvoří robustní šasi z broušeného hliníku dodávající stroji určitou prémiovost a industriální charakter. Ve snaze o transparentnost a tepelnou stálost, žádoucí zejména při procesu extruze je vertikální drtič a horizontální extrudér zakryté výklopnými transparentními víky [28].

V oblasti bezpečnosti ProtoCycler dominuje trhu jako jediný systém s plnou certifikací UL/CSA [29]. Uzavřená konstrukce tak účinně izoluje horké zóny extrudéru a pohyblivé součástky od uživatele. S váhou 20 kg a rozměry 381 x 229 x 356 mm (D x V x Š) jde o velmi stabilní stolní jednotku [28].

Klíčovým a zároveň kontroverzním prvkem je integrovaný mechanický drtič, který je u verze V3 prezentován jako volitelný doplněk [41]. Ten je osazen pouze manuální boční klikou, což je i vzhledem k cenové relaci nedostačující. Recyklace většího množství plastového odpadu tak vyžaduje značnou fyzickou aktivitu uživatele, mimo jiné značně ubírá také v této cenové kategorii na výsledné prémiovosti produktu. Integrovaný navíječ (spooler) s automatickým rozvaděčem [30] pak zajišťují rovnoměrný návin na cívku podobně jako u konkurence.



Obr. 2-16 Filament maker ProtoCycler V3, dostupné z [28]

Významnou novinkou verze V3 je využití AI řídicího systému [28], který má za úkol automaticky korigovat a upravovat parametry extrudované struny. Manuální ovládání je realizováno skrze displej a čtveřici mechanických tlačítek situovaných v dolní části předního panelu [31]. Kromě toho, že se panel nachází příliš nízko a s nepraktickým sklonem téměř kolmo ke stolu, by se dalo očekávat, že vzhledem k vysoké cenové relaci bude použit pokročilejší, ku příkladu dotykový displej [31]. Ten by mohl ukazovat více názorně a graficky například statistiky extruze apod.

Zařízení dokáže opět pracovat s širokou škálou termoplastů (PLA, ABS, PETG, Nylon) [20] a umožňuje výrobu struny o průměru 1,75 mm [28]. Produkt navíc umožňuje experimentovat s různými směsmi plastů, což otevírá nové možnosti pro výzkum recyklovaných materiálů.

ProtoCycler V3 představuje produkt s důrazem na ekologii, praktičnost a integraci drcení, extruze a navíjení materiálu v jednom. [32] Navzdory své technologické vyspělosti a industriálnímu hliníkovému krytování však v ergonomické rovině stále vykazuje rysy spíše inženýrského experimentu. S cenou přesahující 200 000 Kč [28] jde o investici pro velké instituce, kde je prioritou hlavně bezpečnost a spolehlivost systému.

3devo (ONE & TWO)

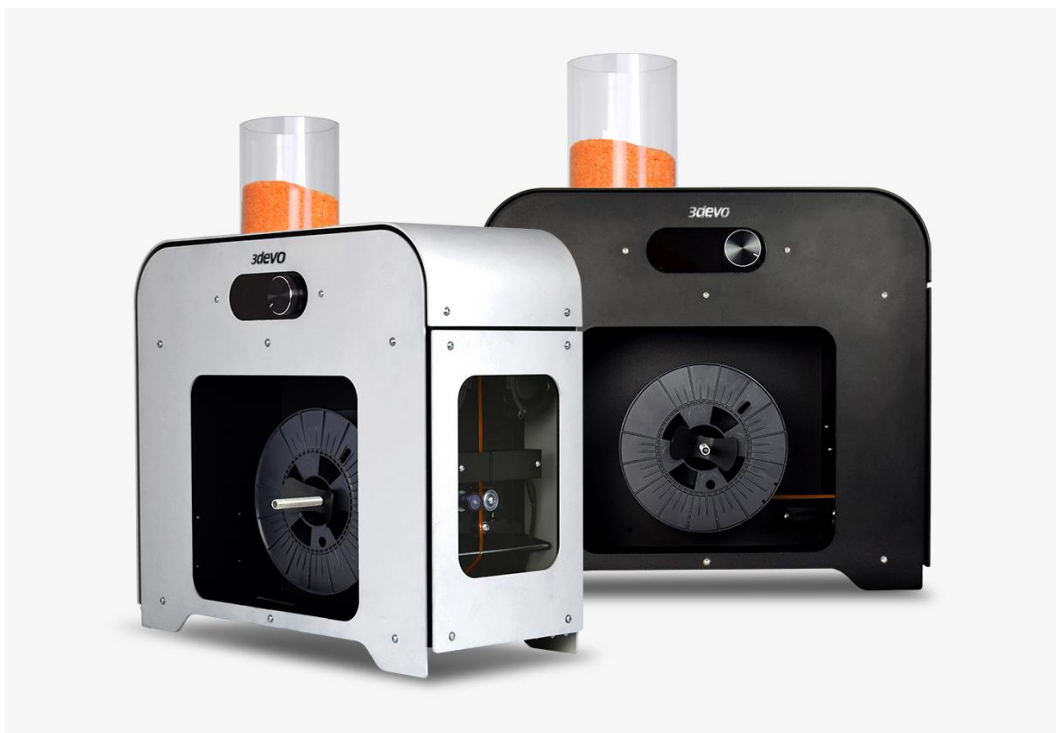
Nizozemská společnost 3devo [33] představila v segmentu stolní recyklace pomyslný zlatý standard recyklačních zařízení. Nabízí technologicky nejvyspělejší ekosystém určený pro výzkum, vzdělávání i malosériovou výrobu v poměru cena výkon. Podobně jako produkt ProtoCycler V3 [28] se 3devo na trhu profiluje jako high-end řešení, které na rozdíl od levnější konkurence nepůsobí jako vylepšená stavebnice, nýbrž jako plnohodnotný, vizuálně dotažený produkt.



Obr. 2-17 Rodina produktů od 3devo, zleva drtička plastu (SHR3D IT), sušička (AIRID), extrudér 3devo ONE, dostupné z [34]

Hlavní konstrukce extruzních jednotek sází na vertikální jednodílnou architekturu s minimem výstupků, která v jediném šasi integruje proces tavení, extruze, chlazení i navíjení. Šasi je tvořeno kombinací lakovaného kovu a nerezové oceli dodávající stroji profesionální charakter [33] [35].

3devo je plně uzavřený systém, kromě vstupu pro cívku je veškerá mechanika je skryta za magnetickými dvířky a je tak sníženo riziko popálení nebo náhodnému doteku rukou s elektrickými komponentami [33][35]. Stroj je dále vybaven aktivním chlazením a bezpečnostními senzory, na rozdíl od drtičky či sušičky mu však chybí dedikované Emergency Stop tlačítko pro okamžité přerušení provozu [36] [37]. Navzdory štíhlé vertikální kompozici je stabilita zaručena, a to díky robustní základně.



Obr. 2-18 Filament maker 3devo ONE ve dvou barevných provedeních, dostupné z [33]

3devo má v nabídce hned několik produktů, od samostatné drtičky (SHR3D IT) a sušičky drtiny (AIRID) (viz. Obr. 2-17), až po dvě generace jednotek extrudérů [34]. První z nich je 3devo ONE (viz. Obr. 2-18). Jedná se o starší, stále žádanou verze, která sází na jednodušší ovládání. Dostupná v modelech Composer (pro běžné plasty) a Precision (pro vysokou rozměrovou přesnost) [33].

3devo TWO (viz. Obr. 2-19) patří bez nejnovější generaci s plnou samoregulací provozu. Hlavním rozdílem je velký dotykový displej, Wi-Fi konektivita a integrace cloudové platformy DevoVision pro vzdálený monitoring a analýzu dat v reálném čase [35].

Ergonomickým benefitem je umístění všech ovládacích prvků v horní a střední části stroje, to je oproti ProtoCycleru [28] či ARTME [11] výrazně pohodlnější pro obsluhu např. ve stoje. Stroj disponuje čtyřmi topnými zónami dosahujícími teploty až 450 °C a umožňuje tak zpracovávat kromě běžných polymerů také PEEK či PEI [38]. Rozměry přístroje jsou 506 x 540 x 216 mm (D x V x Š) [33].



Obr. 2-19 Filament maker 3devo TWO ve dvou barevných provedeních, dostupné z [35]

3devo filament makery představuje vizuálně i funkčně vespělý produkt, který se řadí do kategorie profesionálních stolních extrudérů v souladu s použitými materiály a atraktivním barevným provedením v tmavě modré, černé a bílé [33][35]. Nevýhodou může být vysoká pořizovací cena, která se v závislosti na konfiguraci pohybuje okolo 150 000 Kč [39]. V této cenové relaci by se také dala očekávat větší všestrannost, např. ve formě integrovaného drtiče a sušičky v jednom.

Filabot EX6

Sestava od americké společnosti Triex [40] představuje v kategorii stolních recyklátorů produkt zaměřený na maximální výkon, který se pyšní zejména svou industriální architekturou. Na první pohled však vizuálním pojetím připomíná spíše zmenšenou halovou extruzní linku než běžné laboratorní zařízení.

Konstrukce EX6 sází na modulární koncepci. Proces rozdělen do samostatných jednotek od extrudéru, přes chladicí cestu, až po navíječ [40]. Šasi extrudéru je tvořena ohýbanými kovovými plechy s přiznanými spoji. Kryt je jednoduše nalakován zeleno-černou barvou a posázen výraznými ventilačními otvory [40], které pokrývají téměř polovinu jeho plochy. Evidentní je menší snaha o kompletní zakrytí veškerých komponent, na druhou stranu je tak záměrně podpořen dojem robustnosti a odolnosti v provozu. Rozměry extrudéru činí 754 x 231 x 213 mm (D x V x Š) [41].

Problematickou se zde stává odhalená konstrukce a nedostatečná izolace kovových prvků. Polehčující je alespoň značení, které výslovně varuje před rizikem popálení od horkých povrchů [41]. Další výrazným ergonomickým i bezpečnostním nedostatkem v porovnání s evropskou konkurencí v podobné cenové relaci (např. 3devo) [34] je absence dedikovaného nouzového tlačítka. Stabilita je díky masivní konstrukci a vysoké hmotnosti na skvělé úrovni [41], avšak modularita celého setu vyžaduje značný prostor na pracovním stole. Praktickou záležitostí je trychtýřová násypka s víkem a dvojice úchytů pro přenos zařízení [42].



Obr. 2-20 Extrudér Filabot EX6, dostupné z [40]

Z pohledu ovládání využívá EX6 kombinaci analogových ovládacích prvků s digitálně řízenými regulátory teploty [42]. Rozhraní je dostačující v dílenském prostředí, avšak v laboratořích a ve výukových centrech může postrádat určitý uživatelský komfort podobně jako už větších dotykových displejů v rámci sběru dat apod. Nevýhodou, zejména v této cenové relaci, je fakt, že uživatel musí manuálně nastavovat a synchronizovat každou část linky zvlášť. To vyžaduje zkušenost a hlubší znalost procesu extruze. Zařízení zpracovává široké spektrum termoplastů, od PLA, PETG, ABS [20] až po technické polymery s vysokou viskozitou.

Filabot EX6 je přístroj, který svou architekturou úspěšně transformoval principy velkých průmyslových linek do stolního měřítka. V oblasti uživatelského designu a integrované bezpečnosti však zaostává za současnými standardy. Jeho extrémně vysoká pořizovací cena přesahující v plném setu 400 000 Kč [40] neodpovídá integrovaným technologiím (analogové budíky, potenciometry, manuální synchronizace jednotek). Vzhledem k ceně by se také dala očekávat větší kompaktnost a integrovaná všestrannost.

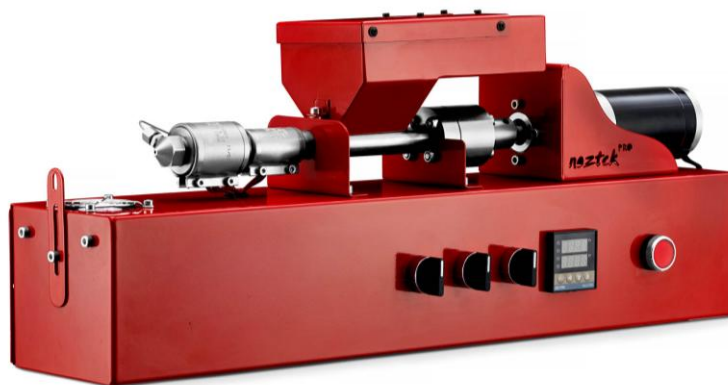


Obr. 2-21 Sestava extrudéru Filabot EX6, navíječem a kluzným (dochlazovacím) modulem, dostupné z [40]

Noztek

Britská společnost Noztek Innovations [43] se v segmentu stolní extruze profiluje jako výrobce vysoce odolných a variabilních systémů určených primárně pro materiálový výzkum a farmaceutický průmysl. Podobně jako americký Filabot [40], i Noztek sází také na modulární koncepci 3v1. V porovnání s ním nabízí uhlazenější, čistější průmyslový design a širší škálu modelů pro specifické užití.

Kryt samostatného extrudéru je tvořen ocelovými plechy s charakteristickým červeným práškovým lakováním. V nabídce jsou také šasi v bílém a nerezovém provedení v závislosti na verzi. Identický je taky branding v podobě vyřezaného loga v pravé horní části krytu. Produkt je striktně modulární, skládá se ze samostatného extrudéru, chladicího modulu a navíjecího zařízení [44]. Oproti konkurenčním, horizontálně řazeným produktům Noztek jednoznačně dominuje v potřebném volném prostoru na stole, který může dosahovat až 1,5 m.



Obr. 2-22 Filament extruder Noztek PRO, dostupné z [45]

Uzavřená kovová konstrukce ve spodní poskytuje adekvátní ochranu před elektrickými součástkami, nicméně horizontálně orientovaná otevřená tryska s topnými tělesy bez jakékoliv izolace není příliš bezpečná a vyžaduje tak větší obezřetnost při práci. Dokonce manuály varují před rizikem popálení a radí používat ochranné pomůcky. Vyšší hmotnost (10 až 32 kg v závislosti na modelu) [45] [46] zajišťuje lepší stabilitu, stroj tak navíc lépe pohlcuje vibrace.



Obr. 2-23 Filament extruder Noztek TOUCH, dostupné z [46]

V nabídce firmy jsou k dispozici 3 vlnkové modely lišící se zejména v úrovni automatizace a výkonu. První z nich, Noztek PRO (viz. Obr. 2-22) disponuje pevným nastavením otáček a umožňuje manuální regulaci pouze pomocí analogových přepínačů. Naopak Noztek TOUCH (viz. Obr. 2-23) je verzí, která je již osazena dotykovým displejem, je možné regulovat rychlost motoru apod. Třetím nejvyspělejším bratrem je Noztek Xcalibur Servo (viz. Obr. 2-24) patří mezi high-end systém s výkonnými servo motory, planetovou převodovkou a schopností tavit i technické polymery (PEEK, PEI) [38].

Zatímco základní modely využívají jednoduché regulátory s digitálními ukazateli a analogovými přepínači, vyšší řady (Touch, Nexus, Excalibur) zahrnují už plně dotykové rozhraní [44]. Model Xcalibur navíc disponují dedikovaným Emergency Stop tlačítkem, které u základních modelů řady Pro i Touch chybí. Stroje navíc vynikají teplotním rozsahem (standardně 300 až 600 °C) [47] a vysokým krouticím momentem umožňující zpracování drcených a granulovaných plastů i práškových směsí. Rozměry samotného extrudéru TOUCH jsou přibližně 600 x 230 x 120 mm (D x V x Š) [46].



Obr. 2-24 Filament extruder Noztek Excalibur, dostupné z [48]

Stroje od společnosti Noztek jsou zářným příkladem poctivého strojírenství v laboratorním měřítku. Řešení jsou funkční, barevně sjednocený a v kontextu modulárních systémů působí rozhodně kompaktněji než Filabot [40]. Cena se v závislosti na konfiguraci pohybuje od 45 000 Kč [45] za model Pro až po částky přesahující 430 000 Kč [44] za plně vybavenou linku typu (viz. Obr. 2-25). Zajímavostí je, že firma Noztek jako jedna z mála vyvíjí specializované šneky pro farmacie a míchání kompozitů, konkrétně na modelu FusionX [49].



Obr. 2-25 Kompletní modulární sestava pro extruzi a navíjení filamentu od firmy Noztek, dostupné z [44]

RoboDigg Desktop SJ25

Zařízení od čínské společnosti RobotDigg [50] zastává zřejmě nejvýraznější odklon od uživatelské přívětivosti v kategorii stolních extrudérů. Zatímco ostatní výrobci se snaží o integraci a zabalení komponent do funkčního, estetického kabátku, vzhled je u SJ25 řešen až na druhém, možná na posledním místě. Svou architekturou i rozměry balancuje na hraně mezi uživatelsky přívětivým přístrojem a těžkým dílenským vybavením, které nepřipomíná náhodou.

Z konstrukčního hlediska jde o nevýrazný krabicový vizuál, který nabourává už jen horizontální trubice s topnými prvky, motor a široká násypka z nerezové oceli [51]. Šasi je tvořeno ocelovými plechy s hrubým průmyslovým lakováním v pastelové zeleni, které nezahrnuje žádné zaoblení či estetické doplňky.

Z hlediska bezpečnosti může být pro uživatele rizikový. Kromě částečně otevřené konstrukce odhalující kabeláž od motoru a tepelná článků motoru představuje hlavní problém absence řádné izolace topných těles. Kromě toho dochází také velkým tepelným ztrátám. Dále absence dedikovaného Emergency Stop tlačítka je u stroje s výkonem 1,8 kW v laboratorním prostředí taktéž zarážející. Celková hmotnost činí zhruba 40 kg [50].



Obr. 2-26 RoboDigg Desktop SJ25, dostupné z [50]

Interakce probíhá skrze samostatné analogové regulátory teploty pro každou zónu a robustní otočné ovladače, které jsou spolu s digitálními budíky rozmístěny na čelním panelu [51]. SJ25 je dimenzován pro materiály jako PE, PVC, PLA či ABS [20] a díky výkonnému motoru si hravě poradí jak s práškovým, tak drceným filamentem. Teplotní maximum je 300 °C. Rozměry samotného extrudéru jsou přibližně 1100 x 500 x 250 mm (D x V x Š) [50].

Navzdory papírově vysokému výkonu a nízké ceně (cca 20 000 Kč) se RobotDigg SJ25 v reálném provozu ukazuje jako ne zcela funkční pro spolehlivou produkci [50]. Zkušenosti z praxe naznačují, že je stroj vhodný spíše pro experimentování [51]. Uživatelé v recenzích upozorňují na extrémně dlouhou dobu nahřívání a mechanickou nespolehlivost (nekvalitní extruze) [51]. Produkt je příkladem nedotaženého pokusu být konkurenceschopný.

3Dpany C1

Zařízení od čínské společnosti 3DPANY [52] představuje cenově dostupnější alternativu k profesionálním systémům s vertikálním uspořádáním. Produkt je navržen jako kompaktní jednotka, která v rámci jednoho šasi integruje proces extruze, chlazení, měření extrudované struny i poloautomatické navíjení.

Konstrukce je tvořena vertikální monolitickou architekturou vizuálně velmi blízkou nizozemskému produktu 3devo [34]. Šasi kombinuje ocelový rámu s plastovými kryty z boku. Zatímco ocel zajišťuje žádanou tuhost, vnější plastové záklopy působí v porovnání s konkurencí subtilním až chatrným dojmem. Materiálová volba však umožňuje udržet hmotnost na příznivých 13 kg, což činí přístroj snadno přenosným. Rozměry produktu činí 480 x 480 x 200 mm (D x V x Š) [52].



Obr. 2-27 Filament extruder 3Dpany C1, dostupné z [52]

Z hlediska bezpečnosti sice téměř uzavřený systém snižuje riziko popálení od extrudéru, avšak na první pohled poněkud kontroverzním prvkem je šestice chladicích ventilátorů umístěných na boku přímo v dráze struny [53]. Jejich plné odhalení sice působí technicistně, ale mohou představovat bezpečnostní riziko, kdy by uživatel mohl při protahování struny nechtěně zasáhnout prstem do rotujících lopatek [53].

Klíčovým prvkem je laserový senzor průměru struny spolupracující s AI algoritmem pro kompenzaci průměru v reálném čase [52] [53]. Dle uživatelských zkušeností je významným negativem v oblasti servisu je fakt, že výrobce nenabízí žádné náhradní díly (např. trysky, tepelné články apod.) . V případě opotřebení nebo zásadní poruchy je stroj odkázán k alternativní opravě. Zajímavostí je také původ přidružených drtiček, které jsou dle uživatelských zkušeností pouze upravenými průmyslovými mlýnky na kávu. To vyvolává pochybnosti o jejich životnosti při drcení např. tvrdších polymerů [54].

Interakce probíhá skrze 4,3“ dotykový displej [52]. Přestože rozhraní vypadá moderně, uživatelé si stěžují na jeho přecitlivělost a neintuitivní ovládání, kdy při nastavování rychlosti může hodnota nechtěně přeskočit. Softwarové rozhraní prý navíc obsahuje neintuitivní popisky [51]. Stroj pracuje s teplotou až do 400 °C, může tak pracovat s širokou škálou materiálů, od PLA až po PEEK [38]. Zkušenosti z praxe však naznačují, že pro dosažení stabilní kvality je nutné dodržovat poměr cca 20 % recyklátu a 80 % čistého granulátu (při vyšším podílu recyklovaného materiálu údajně kvalita struny prudce klesá) [54].

3DPANY C1 je konkurenceschopný, avšak v mnoha ohledech problematický produkt. Jedná se o zjevný pokus napodobit nizozemský 3devo [34] nepříliš přesvědčivým dojmem. V komunitě panuje značný skepticismus ohledně dlouhodobé výdrže šneku a schopnosti stroje plynule zpracovávat tvrdé plasty, pro které se zdá být poddimenzovaný [54]. Také absence náhradních dílů staví tento přístroj do pozice nepříliš šťastné investice, i přes relativně nízkou cenu 30 000 Kč [55].

Polystruder XR^{PRO}

Americký startup Polystruder [56] přichází na trh s modulárním ekosystémem přístrojů k recyklaci filamentů, který ze současné konkurence vyčnívá svým osobitým charakterem. Zatímco předchozí někteří předchůdci sázely na surový industriální vzhled, řada XR Pro představuje vizuálně nejpropracovanější a nejvíce hravý koncept v celém dosavadním srovnání.

Design celého ekosystému (viz. Obr. 2-30) je sjednocen do kompaktního horizontálního modulu s výrazným barevným akcentem v antracitové barvě v kombinaci s bledě modrou a fialovou. Kryt je vyroben ze vstřikovaného plastu uchyceného na vnitřní ocelovou konstrukci [57]. Naprosto ikonickým prvkem je reliéfní struktura čelního a bočních panelů imitující dlaždice. Tento vzor dodává produktu unikátní haptický charakter, navíc připomíná strukturu výplní tisků, rozbíjí stereotyp rovných ploch a pravděpodobně také šetří materiál.



Obr. 2-28 Polystruder XR PRO, dostupné z [57]

Extrudér XR Pro je vybaven malým displejem, několika ovládacími tlačítky a trojicí digitálních panelů ukazujících zřejmě stav teploty jednotlivých topných článků [57]. Za zmínku stojí také integrace Emergency stop tlačítka na horní část krytu poblíž ovládacích prvků (viz Obr. 2-29). V rámci vizuálního vyčištění prostoru by mohlo pomoci sjednotit více analogových prvků a integrovat je do většího, dotykového displeje.

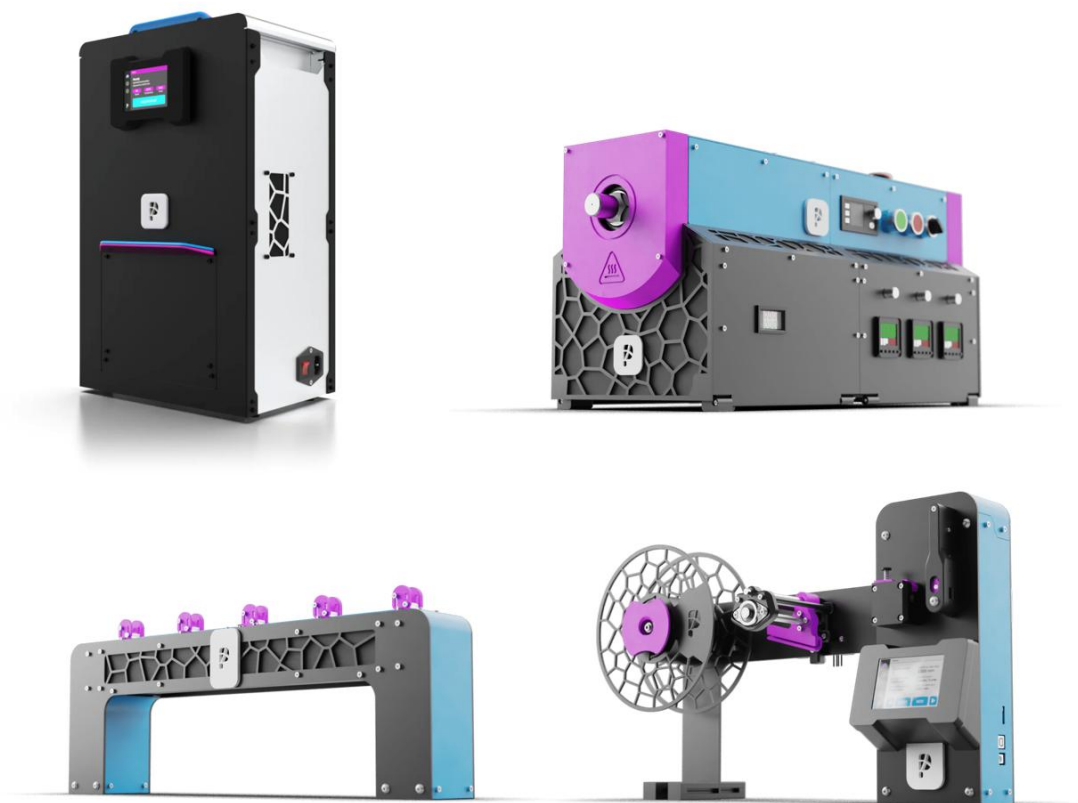
I přes svůj hravý vzhled jde o technicky vyspělé zařízení. Extrudér disponuje vysoce výkonným šnekem z nitridované oceli a je schopen dosáhnout teploty až 450 °C [57]. To jej staví na úroveň profesionálních strojů typu 3devo [34] umožňujících zpracování technických polymerů jako např. PEI či PEEK [38]. Součástí systému je inteligentní senzorika pro automatické navíjení a monitoring průměru struny, která výrazně zvyšuje uživatelský komfort.



Obr. 2-29 Polystruder XR PRO, boční pohled s ovládacími prvky, dostupné z [57]

Systém krytu je navržen jako plně uzavřený, v renderech však není viditelná násypka. Předpokládá se však, že trychtýř bude snímatelný. Veškerá mechanika i horké části jsou skryty pod kryty, aby se eliminovalo riziko popálení [57]. Rozměry momentálně známé nejsou, pouze fakt, že se jedná o stolní zařízení. Hrubý odhad je 400 x 300 x 200 mm (D x V x Š).

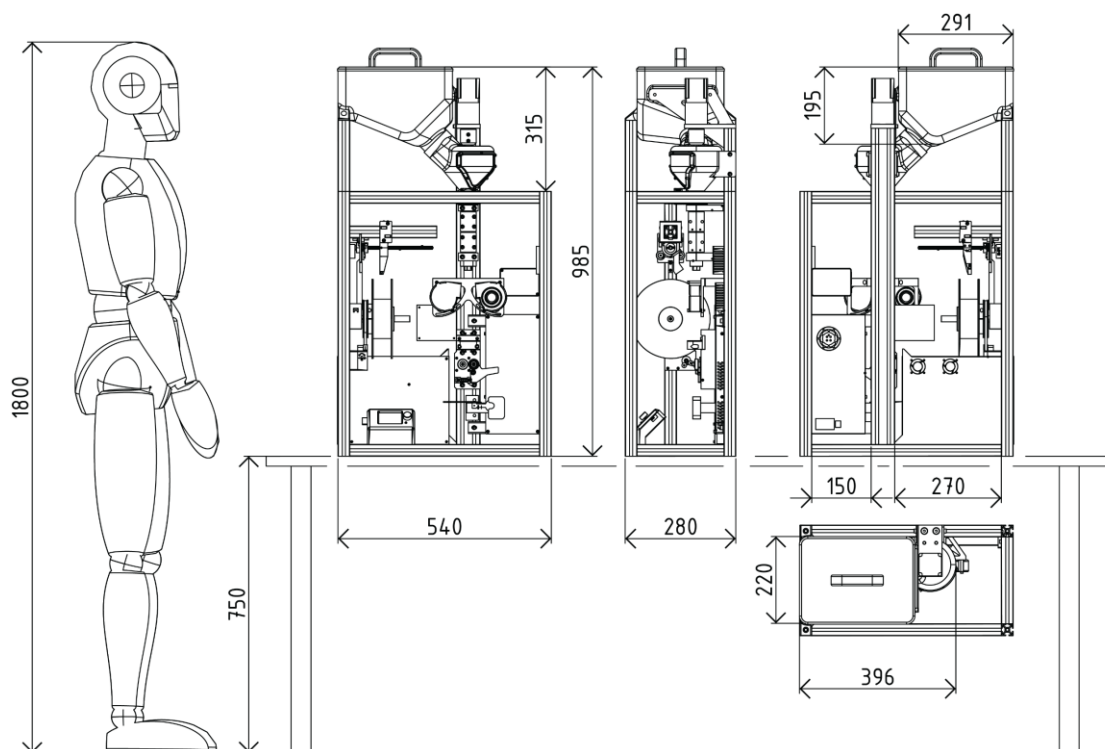
Polystruder XR^{PRO} představuje zářný příklad toho, jak lze průmyslovou technologii polidštit skrze kvalitní vizáž. Je to produkt, který se nebojí přiznat svou high-tech povahu skrze barvy a textury, zároveň však zůstává seriózním nástrojem pro malosériovou výrobu. Hlavní výzvou pro tento produkt bude reálná dostupnost a obhajitelnost ceny v konkurenčním prostředí.



Obr. 2-30 Rodina Polystruder modulů (zleva nahoře drtič, extrudér, chladič, navijec), dostupné z [56]

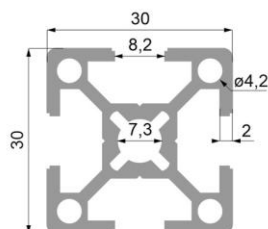
2.2.3 Technická analýza filament extruderu

Vstupní rozměry konstrukce



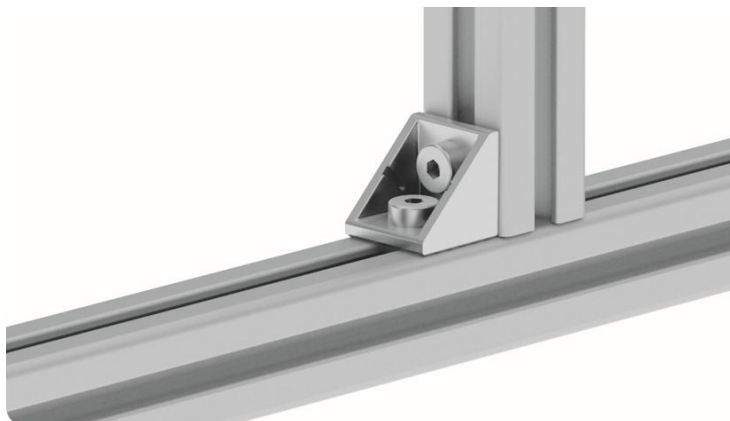
Obr. 2-1 Rozměrové schéma vstupní konstrukce prototypu filament extruderu

V rámci spolupráce na vývoji krytování prototypu filament extruderu byla od aditivního centra Protolab poskytnuta CAD data. Vstupní model obsahoval rám z hliníkových profilů typu K3030 spolu s vnitřním mechanismem uspořádaným převážně vertikálně, jehož polohu bylo během navrhování nutné respektovat. Podobně závazné byly také rozměry konstrukce, konstrukční profily však bylo možné částečně modifikovat, či přidávat, zůstal pouze požadavek zachování kvádrové struktury z hlediska zachování pevnosti a větší variabilitě. S ostatními komponentami (elektroboxy a navíjecí mechanismus) bylo možné částečně manipulovat dle potřeby, komponenta však musí navazovat na nosný rám kvůli způsobu spojení.



Obr. 2-2 Schéma použitého profilu K3030 (průřez), dostupné z [58]

Existuje několik sofistikovaných způsobů, jak spolu konstrukční profily spojovat. V případě nejčastějších spojů na kolmo, které jsou zároveň použité i v této práci, se využívá vnějších rohových úhelníků s otvory. Alternativně lze použít spoje jako vnitřní rohový úhelník, rohové (kubické) spojovníky nebo paralelní konektory k propojení vzpěr v požadovaném úhlu [59].



Obr. 2-3 Aplikace rohového úhelníku, dostupné z [59]

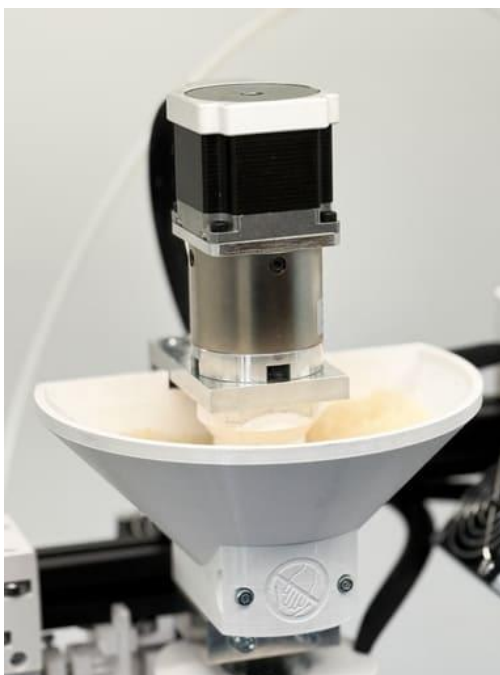
Spojovací úhelník (rohovník) je s příslušným profilem spojen pomocí šroubů, nejčastější s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem [60], a maticí určených k zasunutí a následné aretaci v drážkách profilu a pevné stažení úhelníku a profilu k sobě. Takových matic pro širokou škálu aplikací existuje hned několik typů [61]. Od posuvných matic, která se nasouvá z boku do profilu, přes T-matice, které projdou drážkou a jejich aretaci dochází při pootočení, až po matice s odpruženou kuličkou či plíškem, které lze do drážky nacvaknout a správně napozicovat přes spojování.



Obr. 2-4 Různé druhy matic do konstrukčních profilů, přeloženo, dostupné z [61]

Násypka a podávání

Proces podávání vstupního materiálu do extruzního ústrojí je zajištěn prostřednictvím uzavřené násypky jejíž vnitřní geometrie vychází z tvaru trychtýře. Pro přísun materiálu se využívá elektronický systém podávání systému principu gravitačního podávání. Z tohoto důvodu je potřeba návrhu dostatečný sklon stěn a optimální velikost koncového výstupního otvoru, čímž se efektivně předchází vzniku překážek a zasekávání materiálu při jeho posunu. K minimalizaci tření a podpoře optimálního skluzu částic je navíc kladen důraz na maximální hladkost vnitřních ploch zásobníku [62].

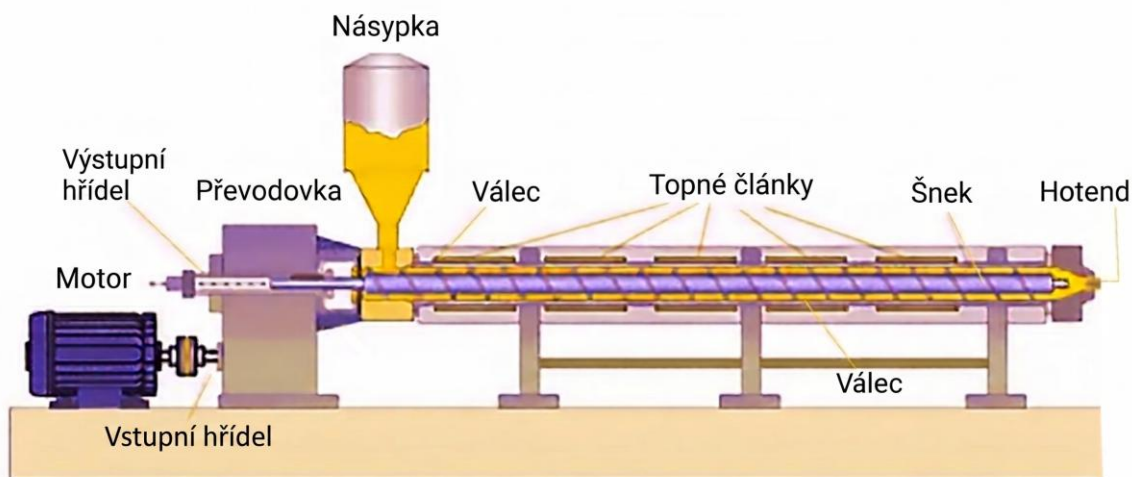


Obr. 2-5 Násypka filament extrudéru ARTME3D MK3S+, dostupné z [19]

Jako vstupní surovinu lze využít široké spektrum materiálů s ohledem na jejich specifické vlastnosti, známé druhy FDM plastů (PLA, PETG, ABS...) [63], dále standardní průmyslový granulát nebo sypký polyamidový (PA) prášek [4]. Pro zajištění stabilní extruze je nezbytné, aby zpracovávaný materiál vykazoval, pokud možno, konzistentní a podobnou velikostní frakci. Dalším požadavkem pro kvalitní výstup je rovněž čistota a suchost vstupního materiálu, aby nedocházelo zbytečně k degradaci struny z hlediska mechanických vlastností [64].

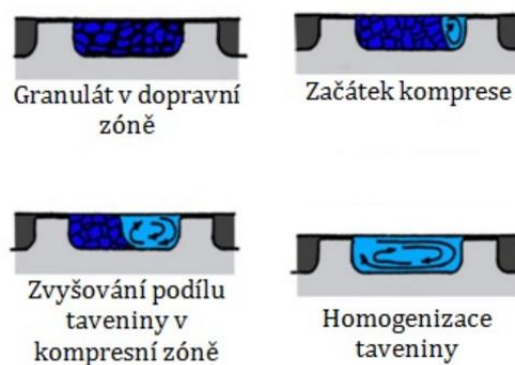
Tavící část

Tavící ústrojí představuje funkční jádro celého zařízení. Skládá se z několika klíčových komponent, jmenovitě tavicí trubice, vytlačovacího šneku, soustavy topných článků a zakončovacího prvku v podobě hotendu, jehož tryska přímo definuje finální extruzní průměr vytlačované struny [65].



Obr. 2-6 Průřez horizontálním extrudérem, upraveno, dostupné z [65]

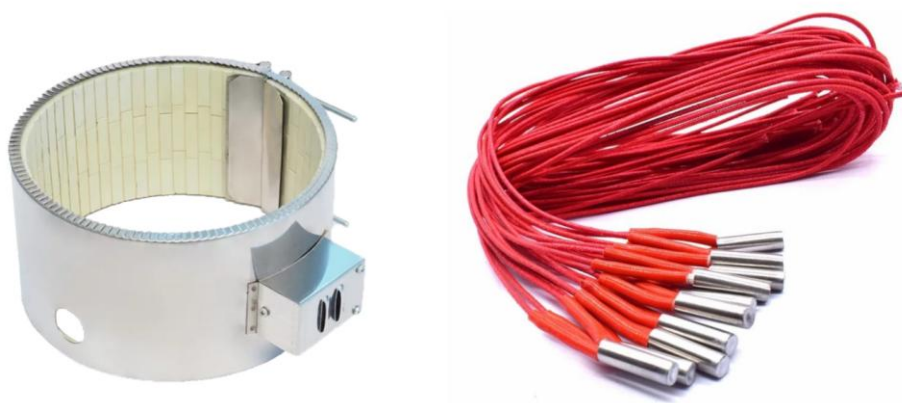
Proces plastifikace materiálu uvnitř tavicí trubice je rozdělen do tří funkčních zón, jmenovitě se jedná o vstup, kompresi a homogenizaci [66]. Plynulý transport materiálu a samotné tavení materiálu zajišťuje rotující šnek, jehož geometrie a materiálové složení musí dlouhodobě odolávat mechanickému namáhání i abrazivnímu opotřebení. Materiály pro výrobu šneku mohou být ocel, měď, hliník nebo titan [67].



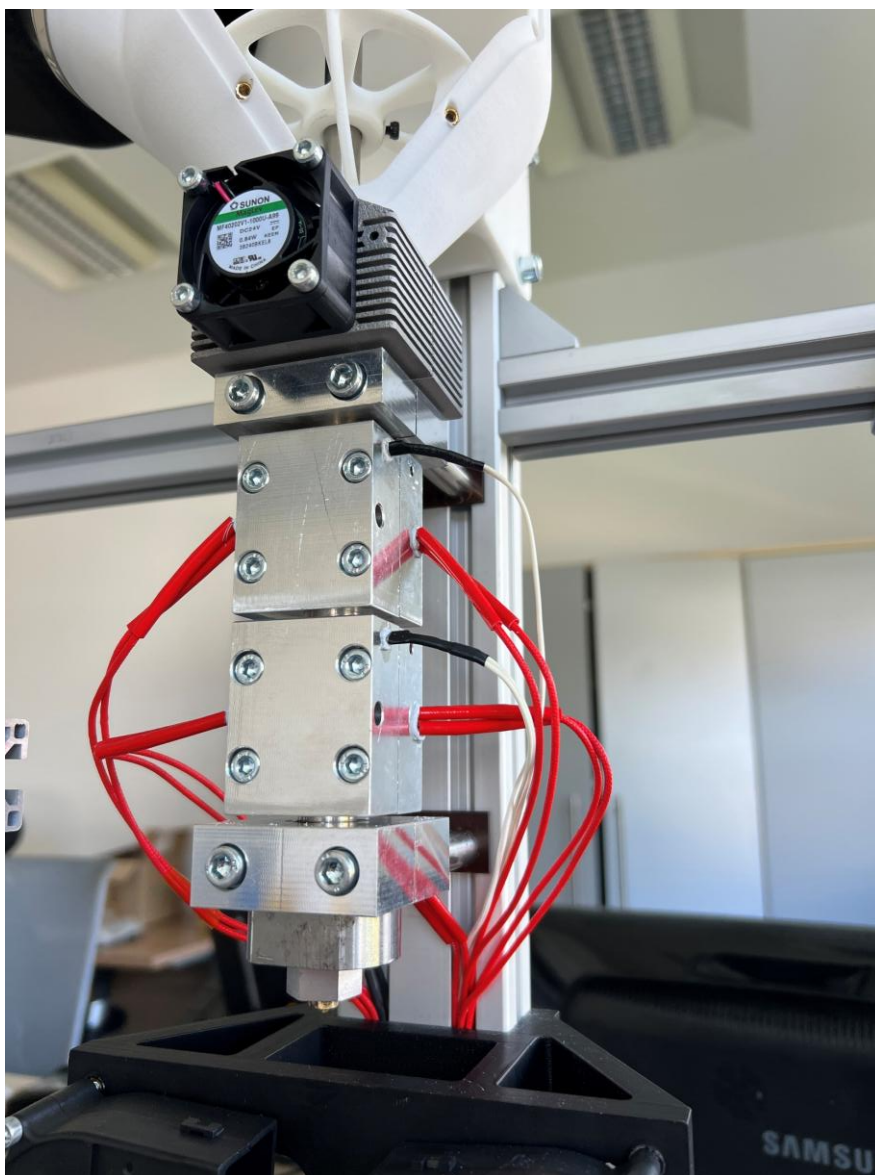
Obr. 2-7 Schéma fází tavení granulátu s použitím třízónového šneku, upraveno, dostupné z [66]

Potřebnou tepelnou energii dodávají soustavy topných článků vytvářející specifické teplotní zóny. Ty jsou závislé na typu zpracovávaného polymeru, jelikož materiály jako PLA, PETG, ABS nebo různé varianty PA vyžadují diametrálně odlišné procesní teploty. Po vzoru 3D tisku můžeme pozorovat rozdíl v extruzních (tiskových) teplotách extrudéru, když pro PLA je potřebná teplota nahřátí min. 180 °C, kdežto pro odolnější ABS je potřeba minimální teplota pro extruzi 210 °C [63].

Jako efektivní zdroje tepla se v těchto aplikacích uplatňují například keramické topné články [68] nebo kompaktní keramické topné pasy [69]. Kontinuální a přesné měření teploty uvnitř systému obstarávají integrované termistory (např. NTC sondy), které předávají data centrální řídicí jednotce pro okamžitou zpětnovazební regulaci [70]. Z důvodu maximalizace tepelné účinnosti a primárně kvůli zajištění bezpečnosti obsluhy je nezbytné celou tavicí zónu opatřit adekvátní tepelnou izolací.



Obr. 2-8 Topný pas s keramickou izolací [69] a keramické topné těleso pro 3D tiskárny [68]

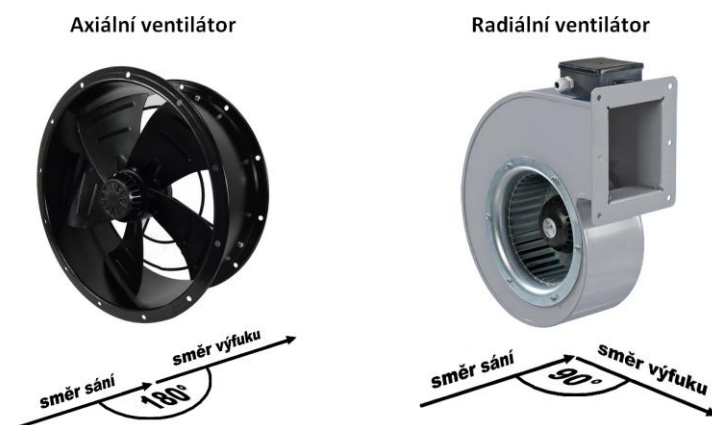


Obr. 2-9 Sestava topných článků v řešeném filament extrudéru, fotografie z výroby

Z hlediska celkového dispozičního řešení lze extrudéry dělit na horizontální a vertikální. Obě orientace přinášejí specifické výhody a nevýhody. Zatímco horizontální uspořádání je běžným průmyslovým standardem pro dlouhé výrobní linky, vertikální orientace nabízí výraznou úsporu zastavěné plochy a efektivní využití gravitace při toku taveniny dolů [71]. Tento vertikální přístup je tak výhodný právě u prostorově limitovaných stolních nebo laboratorních zařízení.

Chladicí část a ventilace

Vytlačenou strunu je potřeba ihned po extruzi řízeně ochlazovat, aby si zachovala svůj kruhový průřez a požadovaný průměr. K tomuto účelu se standardně využívá vzduchové chlazení pomocí ventilátorů. Z hlediska konstrukce a směru proudění vzduchu lze v těchto systémech aplikovat ventilátory axiální nebo radiální (dmychadlové) [72]. Zatímco axiální ventilátory nasávají i vyfukují vzduch paralelně s osou rotace rotoru, radiální varianty nasávají vzduch středem a následně jej odstředivou silou směřují kolmo k ose otáčení [72]. Dmychadlové řešení tak umožňuje mnohem přesnější a koncentrovanější proudění vzduchu do konkrétního místa.



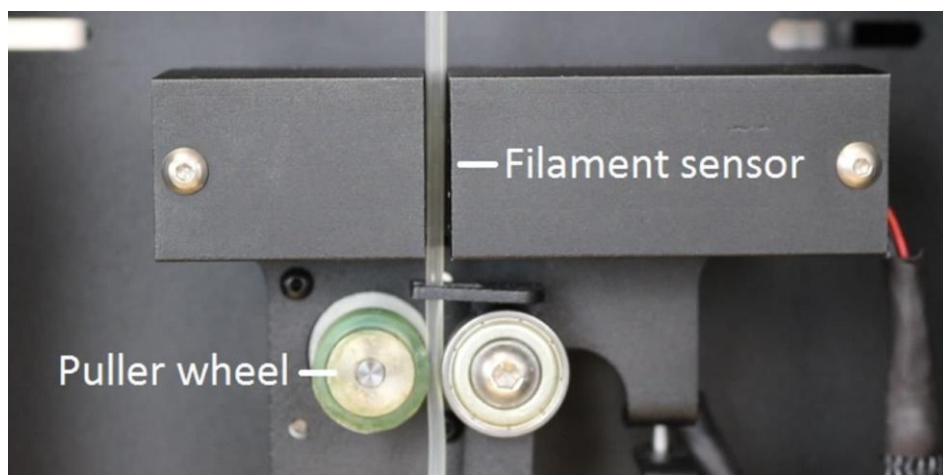
Obr. 2-10 Axiální a radiální ventilátor, dostupné z [72]

Pro dosažení optimálních výsledků je chladicí proces rozdělen do několika na sebe navazujících zón za pomoci soustavy více ventilátorů v závislosti na požadované toleranci a jednotná tloušťka finálního filamentu. Jednotná tloušťka a tvar však také závisí na účinnosti předepínání struny pomocí vtahovacího mechanismu (viz. Vtahovací a kalibrační část).

U uzavřených přístrojů je obecně nutné řešit rovněž celkovou termoregulaci a ventilaci vnitřního pracovního prostoru. Z toho důvodu jsou do vnějších plášťů přístrojů integrovány ventilační otvory odvádějící přebytečné teplo mimo uzavřený prostor [73]. Ty zahrnují nasávací mřížky pro přívod chladného okolního vzduchu a odtahové průduchy pro odvod naakumulovaného tepla z vnitrobloku.

Vtahovací a kalibrační část

Po manuálním zavedení vytlačované struny do sestavy vtahovacích kladek následuje proces předepínání materiálu. Hlavním cílem této fáze je ustálení jednolitého průměru vlákna, čehož je dosahováno přesnou synchronizací rychlosti tahu s otáčkami vytlačovacího šneku [74] a v předchozí části zmíněným řízeným chlazením. Mechanismus vtahovacích kladek (viz. Obr. 2-11) přitom musí zajistit plynulý posuv struny bez narušení jejího profilu a zamezit jejímu prokluzování.



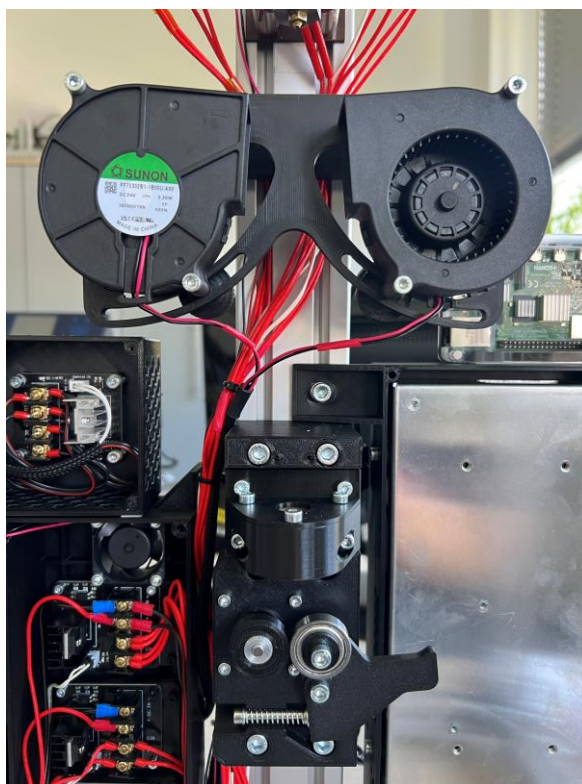
Obr. 2-11 Vtahovací mechanismus posouvající strunu a filament senzor, dostupné z [74]

Co se nároků na průměr filamentu týče, většina současných konvenčních FDM tiskáren od předních výrobců, jakými jsou například Prusa Research, Bambu Lab nebo Creality, je primárně uzpůsobena pro práci s filamentem o průměru 1,75 mm [75]. Na trhu se však stále sem tam vyskytují i zařízení, například tiskárny značky Ultimaker, vyžadující pro svůj provoz strunu o větším průměru 2,85 mm [76]. Extruzní a vtahovací systém tak musí být schopen tyto specifické rozměry spolehlivě a konzistentně produkovat.

Aby byla zaručena vysoká kvalita výstupního materiálu, je naprosto kritická neustálá kontrola průměru struny a udržení úzkých výrobních tolerancí [77]. Samotná kalibrace a kontrola rozměrů může být konstrukčně řešena mechanickou cestou, nicméně pro dosažení vyšší přesnosti se dnes uplatňuje spíše digitální řízení. K tomu se využívají například bezkontaktní laserové či optické kalibrační senzory, které kontinuálně monitorují tloušťku procházející struny a poskytují řídicí jednotce data pro okamžitou zpětnovazební korekci rychlosti odtahu [78].



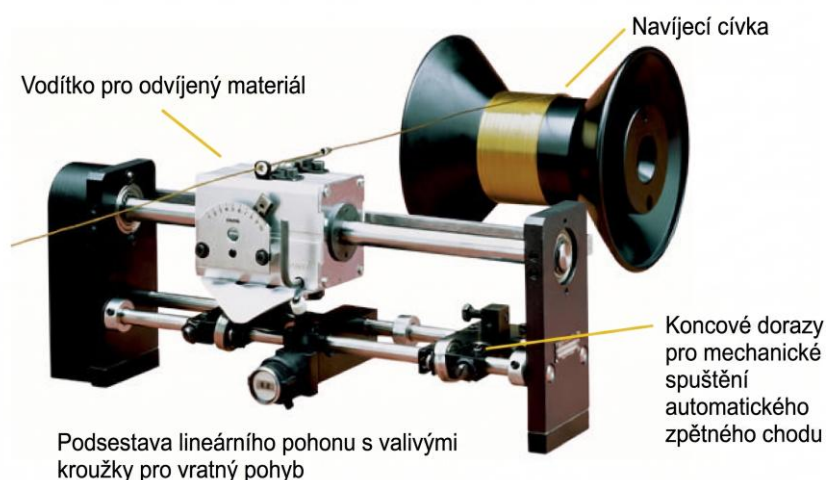
Obr. 2-12 Digitální senzor tloušťky filamentu, dostupné z [78]



Obr. 2-13 Radiální radiátory a vťahovací mechanismus v rámci řešeného filament extrudéru, fotografie z výroby

Navíjecí část

Po průchodu kalibrací je struna vedena do navíjecího raménka. Jeho plynulý lineární pohyb zleva doprava zajišťuje rovnoměrné uložení závitů těsně vedle sebe a efektivně brání zamotání vlákna [79]. Zásadní je synchronizace rychlosti navíjení s odtahem vtahovacího mechanismu. Elektromechanicky tento problém řeší výkyvné kompenzační vahadlo osazené potenciometrem [80]. Průvės struny fyzicky mění úhel vahadla, čímž vzniká signál pro okamžitou a plynulou korekci otáček motoru cívky.



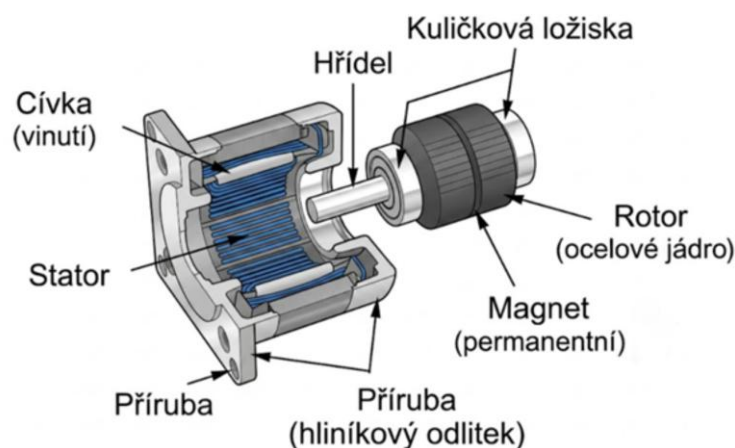
Obr. 2-14 Schéma sofistikovaného navíjecího mechanismus. dostupné z [79]

Po počátečním manuálním zavedení struny funguje poté navíjení automaticky. Pokročilé průmyslové systémy, které strunu zachytí a zavedou zcela samočinně, sice existují, pro prostorově limitované stolní extrudéry jsou však kvůli své konstrukční složitosti neadekvátní.

Pohonné jednotky

Srdcem pohonného systému přístroje jsou krokové motory, které se v této aplikaci uplatňují především pro svůj vysoký točivý moment a schopnost vysoce přesného řízení otáček i polohy [81]. Jejich činnost je striktně synchronizována s řízením topných článků, čímž se bezpečně předchází spuštění mechanického posuvu před dosažením optimální teploty taveniny.

Hlavní krokový motor obstarává primární transport zpracovávaného plastu uvnitř tavicí trubice. Prostřednictvím přesně řízeného otáčení šneku zajišťuje plynulé vytlačování materiálu z koncové trysky [82]. Na tento primární uzel navazují další krokové motory, které pohánějí sekundární mechanismy stroje. Konkrétně obsluhují vtažovací ústrojí a kompletní navíjecí jednotku, u které řídí jak samotnou rotaci sběrné cívky, tak i synchronizovaný lineární posuv vodícího raménka (viz. Obr. 2-13).



Obr. 2-15 Schéma krokového motoru, upraveno, dostupné z [82]

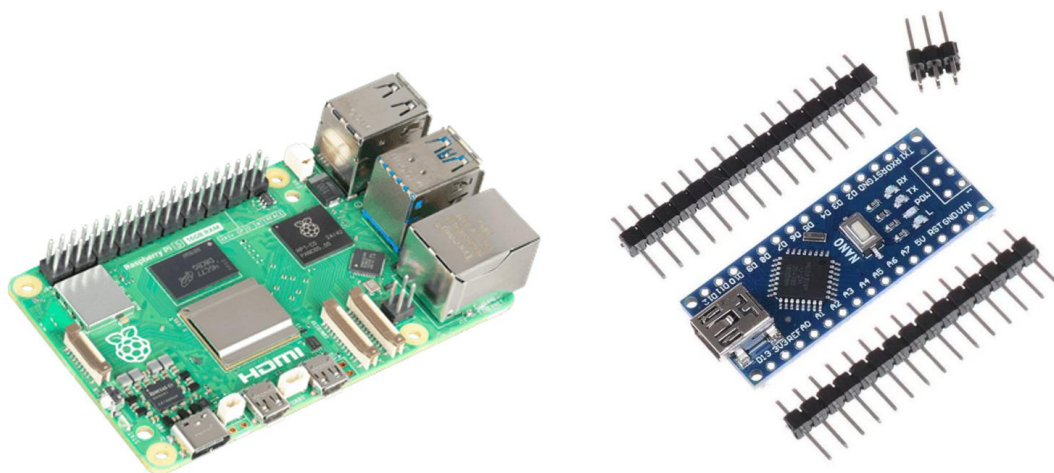
Napájení a řídicí jednotka

Elektrické napájení celého přístroje primárně zajišťuje **hlavní spínaný zdroj**, který transformuje síťové napětí AC 230 V na provozních DC 24 V [83]. Tento okruh je pro potřeby dalších komponent doplněn o sekundární step-down měniče napětí. Ty podle specifických požadavků koncových prvků dále snižují vstupní napětí na úroveň 12 V nebo 5 V [81].



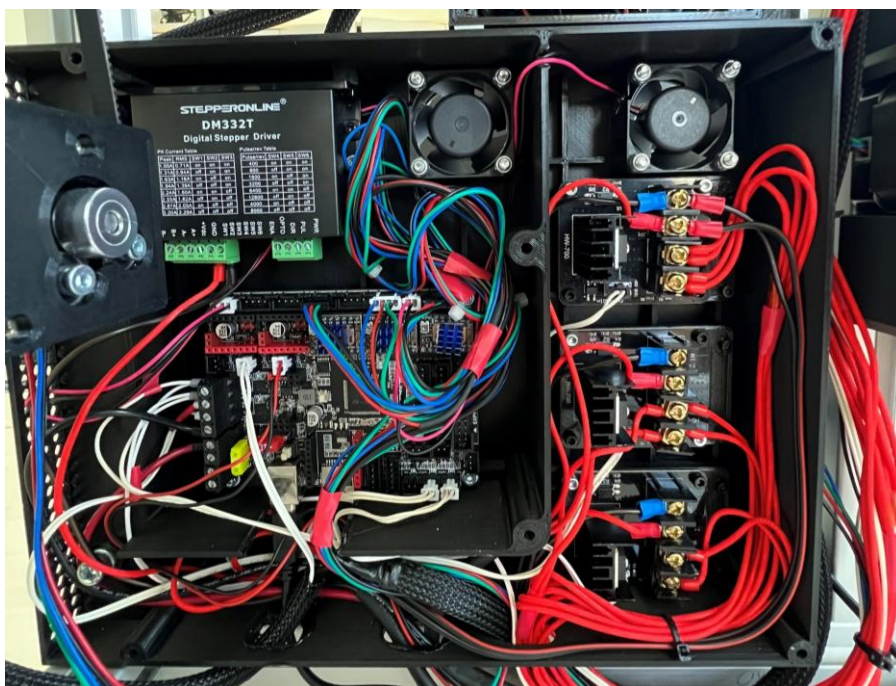
Obr. 2-16 Spínaný zdroj Mean Well 24V, dostupné z [83]

Mozkem celého systému je **řídící jednotka**, reprezentovaná například platformami typu Arduino nebo Raspberry Pi, jež je napájena napětím v rozmezí 5 až 12 V [84] [85]. Její primární funkcí je komplexní synchronizace extruzního procesu. Zajišťuje regulaci teplot, řídí otáčky šneku i rychlost navíjení a současně komunikuje s displejem, ventilátory, senzorikou a případně i s osvětlením [86].



Obr. 2-17 Řídící moduly Raspberry Pi 5 (vlevo) a Arduino UNO (vpravo), dostupné z [84] [85]

Pro bezpečné spínání prvků s vysokým proudovým odběrem, zde konkrétně topné články, využívá řídící jednotka výkonové spínací tranzistory. Ty fungují jako elektronické přepínače, které na základě nízkonapěťového signálu z řídící desky plynule a bezpečně spínají proud dodávaný z hlavního zdroje do konkrétní zátěže [87].



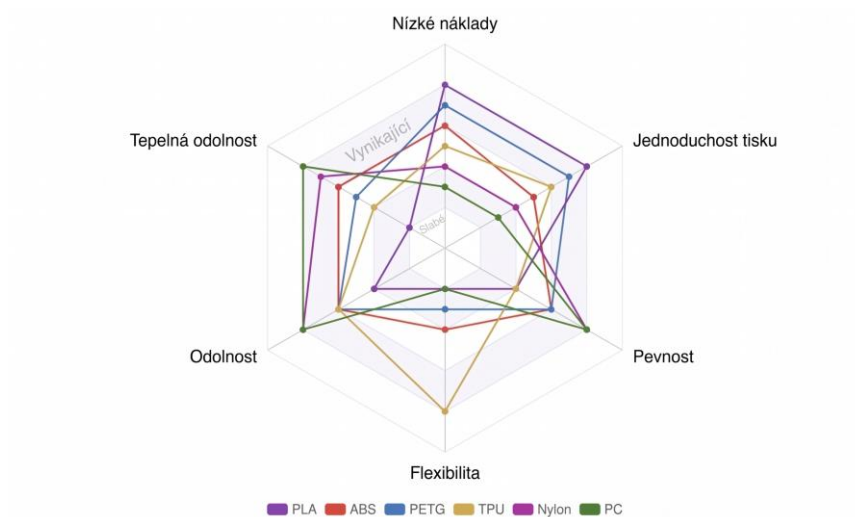
Obr. 2-18 Elektrobox se třemi spínacími tranzistory (vpravo pod ventilátorem), fotografie z výroby

Materiály opláštění a vnitřních krytů

Volba materiálů pro vnější opláštění a vnitřní krytování se odvíjí od jejich konkrétního umístění a funkčního významu v rámci sestavy. Tradiční plechové díly sice vynikají vysokou mechanickou robustností, avšak jejich značná tepelná vodivost představuje bezpečnostní riziko z hlediska možného popálení obsluhy.

Výhodnější alternativou jsou proto průmyslové polymery jako ABS či ASA [20], které nabízejí výborné tepelně-mechanické vlastnosti a jsou ideální pro produkci technologií vstřikování plastů [63]. Další vhodnou variantu představuje materiál PETG. Ten se vyznačuje dobrou odolností vůči sálavému teplu, vysokou houževnatostí, a navíc jej lze efektivně zpracovávat nejen vstřikováním, ale i konvenční metodou FDM 3D tisku [20][63].

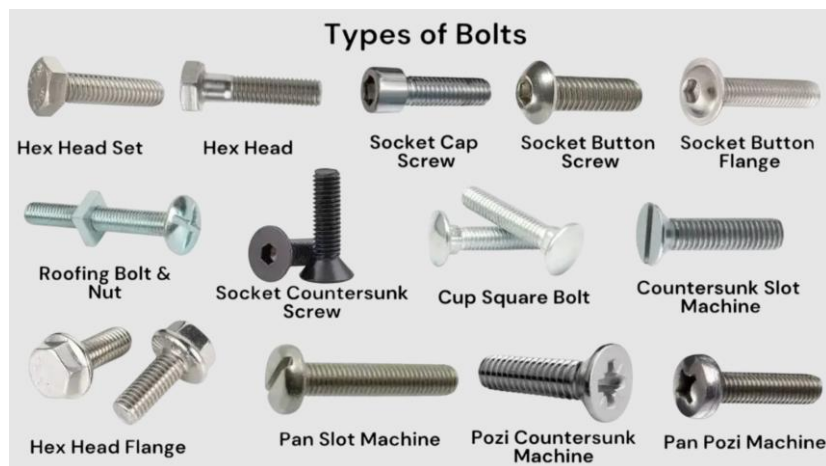
Úkolem vnitřních i vnějších krytů je komplexní ochrana uživatele. Vzhledem k tomu, že procesní teploty na povrchu tavicího ústrojí extrudéru mohou dosahovat hodnot až 400 °C [34], je naprosto nezbytné tyto prvky spolehlivě odizolovat a omezit k nim přístup. Odstínění je nutné uplatnit také pro elektricky vodivé prvky přístroje pomocí krytů, dedikovaných elektroboxů či kabelových kanálů.



Obr. 2-19 Schéma vlastností polymerních materiálů, upraveno, dostupné z [63]

Spojovací systémy a dorazy

Pro spojení většiny komponent s rámem přístroje je uvažováno použití standardizovaného spojovacího materiálu, konkrétně metrických šroubů s vnitřním šestihranem [88]. Dle konkrétního umístění je možné využít varianty s válcovou hlavou při možnosti zahloubení, s půlkulatou hlavou pro pohledové části exteriéru či se sníženou plochou hlavou do prostorově stísněných pohledových lokací.



Obr. 2-20 Různé druhy spojovacího materiálu s metrickým závitem, dostupné z [88]

Pro vzájemné spojování mechanicky nenamáhaných plastových dílů krytování lze použít i jednoduché vruty do plastu s kónusovou hlavou. Vedle standardních matic se k vytvoření odolného vnitřního závitu v plastových dílech hojně používají také mosazné tepelně zápusťné vložky s vnitřním závitem [89]. Při fixaci křehkých materiálů je naprosto nezbytné použití měkkých podložek pro bezpečné rozložení přitlačné síly šroubu a prevenci vzniku prasklin.



Obr. 2-21 Závětová mosazná vložka, dostupné z [89]

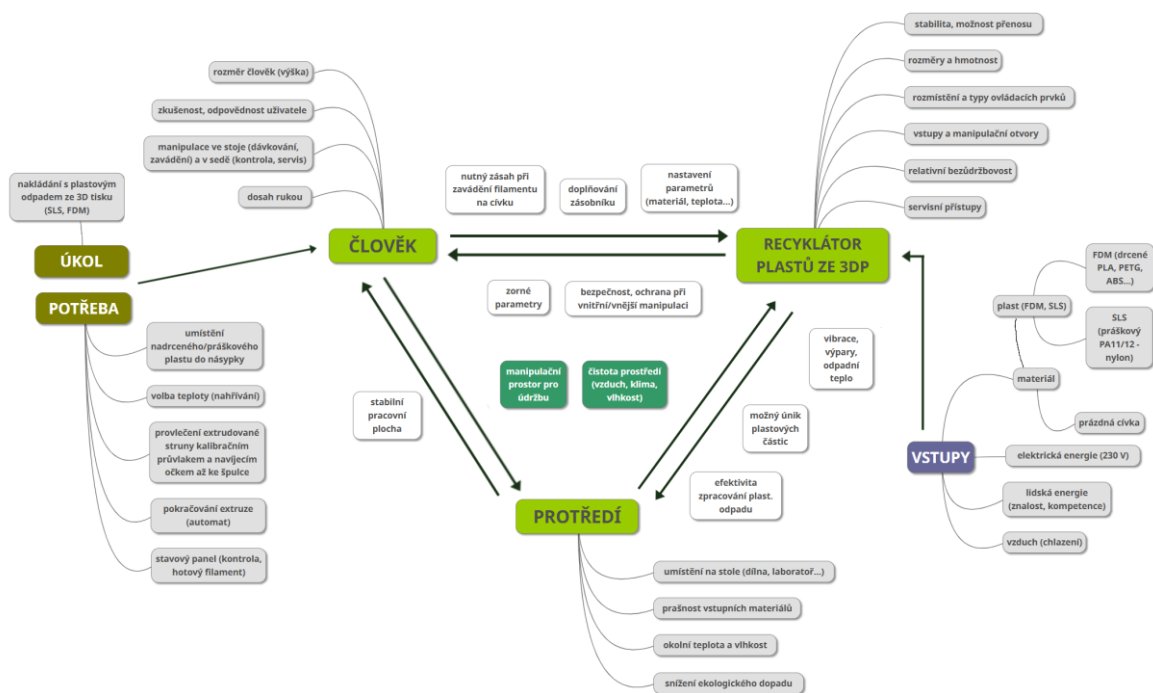
K zajištění celkové stability přístroje na pracovní ploše a pro vymezení koncových poloh pohyblivých částí se využívají dorazy a dosedací nočky. Ty se vyrábějí z flexibilních a ořuvzdorných materiálů, jako jsou pryž, TPU nebo nylon. Klíčovým mechanickým parametrem je u nich úroveň tvrdosti, která se v technické praxi standardně definuje pomocí stupnice Shore [90].



Obr. 2-22 Stupnice tvrdosti Shore u měkkých polymerů, dostupné z [90]

2.2.4 Ergonomie

V této části práce jsou popsány technické aspekty, s nimiž interaguje uživatel během provozu. Kapitoly definuje používané ovladače a sdělovače, dále veškerá vstupní zařízení a možnosti fyzické manipulace s přístrojem, přístupnost a bezpečnost v souladu s normami.



Obr. 2-23 Schéma vzájemných vztahů člověk s přístrojem (extrudérem) a prostředím

Ovladače, sdělovače a vstupy

Interakce člověk s přístrojem je realizována také skrze ovládací prvky. Ty lze z hlediska charakteru spínání a přenosu signálu rozdělit na analogové a digitální [91]. Mezi standardní analogové rozhraní patří mechanické spínače a tlačítka, jež se podle funkčního principu dělí na momentální (momentary) či zajištěná (maintained) [92], včetně nezbytného bezpečnostního „emergency“ tlačítka pro okamžité přerušování chodu přístroje [93]. Stále častěji se však tyto fyzické prvky doplňují nebo nahrazují komplexními digitálními panely [94].



Obr. 2-24 Rozvržení ovládacího panelu u novějších tiskáren Prusa, dostupné z [94]

Vizuální a informační zpětnou vazbu poskytují sdělovače. Hlavním prvkem bývá zobrazovací displej. Ten může být buď nedotýkový nebo dotýkový, který efektivně nahrazuje funkce některých mechanických tlačítek v závislosti na softwaru [95].

Pro rychlou a intuitivní vizuální kontrolu stavu přístroje z větší vzdálenosti se využívají LED diody. Ty pomocí specifického barevného kódování jednoznačně indikují aktuální provozní fázi stroje, jmenovitě například nahřívání, extruzi, chybový stav či chlazení [96]. Tento vizuální sdělovač může být doplněn také o akustickou signalizaci (např. piezo bzučák), která uživatele zvukově upozorní na dokončení úlohy či případnou poruchu [95].



Obr. 2-25 Emergency stop tlačítko, dostupné z [93]

Fyzická konektivita a napájení zařízení jsou řešeny přes příslušné vstupní porty. Hlavní přívod elektrické energie zajišťuje standardní trojžilový kabel s ochranným vodičem. Datová komunikace probíhá primárně skrze USB porty, které jsou nezbytné pro systémové ladění, sběr dat či aktualizace firmwaru [97]. Pro potřeby zapojení do lokální sítě a plnohodnotné vzdálené správy disponuje přístroj rovněž ethernetovým konektorem pro stabilnější spojení [97].

Bezpečnost a údržba

Z hlediska ergonomie a obsluhy je přístroj navržen s ohledem na snadnou a bezpečnou manipulaci realizovanou integrací systému úchytů. Při návrhu servisních a revizních otvorů je kladen důraz na logickou rozebíratelnost krytů a dostatečný manipulační prostor pro rutinní údržbu. Minimální rozměry těchto přístupových otvorů jsou definovány normou ČSN EN 547-2+A1 [98] spolu s antropometrickými údaji z normy ČSN EN 547-3+A1 [99]. Z níž například početně vychází, že minimální rozměry pro přístupový otvor pro obě předloktí až po loket jsou 360 x 240 x 170 mm (šířka x výška x hloubka).

Bezpečnost provozu závisí také na volbě materiálů. Veškeré komponenty v blízkosti extruzní hlavy musí splňovat nároky na dlouhodobou mechanickou odolnost, a především na tepelnou stabilitu, aby nedošlo k roztavení či poničení. Klíčovým aspektem ochrany uživatele je jednoznačné vizuální značení. Součástky představující přímé tepelné riziko (jmenovitě např. topný blok obalený izolační vrstvou) je vhodné barevně odlišit od okolí, typicky výstražnou červenou barvou nebo varovnými symboly viditelných na první pohled dle normy ČSN EN 61310-2.



Obr. 2-26 Mezinárodní grafický symbol upozorňující na horký povrch, dostupné z [100]

Další požadavky na vizuální, možnou akustickou či hmatovou indikaci rizik u strojních zařízení specifikuje norma řady ČSN EN 61310-1, kde je mimo jiné popsáno použití signalizačních barev a jejich standardizovaný význam [101]. Nadřazeným bezpečnostním prvkem celého systému pak zůstává tlačítko nouzového zastavení (emergency stop), jehož konstrukční zásady a funkce se řídí normou ČSN EN ISO 13850. Podle této normy je vhodné se řídit tzv. *kategorií zastavení 0* pro úplné vypnutí elektrického napájení elektromotorů a jiných elektrických součástí. Takové tlačítko by mělo být přímo uživatelsky dostupné a je umísťováno mezi 0,6 a 1,7 m od země [102].

Barva	Význam		
	Bezpečnost osob nebo prostředí	Stav strojího zařízení/postupu	Stav zařízení
Červená	Nebezpečí/zákaz	Nouzový	Poruchový
Oranžová/žlutá	Výstraha/varování	Abnormální	Abnormální
Zelená	Bezpečné	Normální	Normální
Modrá	Povinný význam		
Bílá Šedá Černá	Žádný specifický význam není přiřazen		

Obr. 2-27 Význam barev pro kódování – všeobecné zásady, dostupné z [101]

2.3 Shrnutí hlavních zjištění

Rešeršní analýza potvrdila, že lokální zpracování odpadního plastu ze 3D tisku přímo v místě jeho vzniku je technologicky reálným a stále více poptávaným řešením. Nárůst objemu aditivní výroby s sebou přináší i nezanedbatelné množství odpadu v podobě nepovedených FDM výtisků či nedegradovaného prášku z SLS systémů (např. PA11 a PA12). S tím roste i snaha o udržitelnost a lokální řešení rostoucí problematiky již v zárodku.

V předchozí kapitole byla zmapována oblast recyklačních zařízení pro zpracování plastového odpadu ze 3D tisku (tzv. filament extrudérů), která se aktuálně vyskytují na trhu nebo ve fázi vývoje. Analýza odhalila značné rozdíly v přístupu ke konstrukci a designu. Na jedné straně stojí profesionální uzavřené systémy (např. 3devo), které se vyznačují čistými tvary opláštění. Tyto přístroje ukrývají veškerou mechaniku i kabeláž a využívají dotykové displeje s grafickým rozhraním. Na opačném spektru se nachází cenově dostupnější stavebnicové kity (Felfil, ARTME, RobotDigg), které spoléhají buď na nechráněnou rámovou konstrukci z hliníkových profilů s odhalenými topnými zónami a samostatnými moduly, jež je nutné manuálně synchronizovat, nebo na nekompaktní řešení, pro jejichž provoz je nutné vymezit prostor celého stolu.

Z hlediska bezpečnosti ukázala analýza na kritické nedostatky většiny modulárních řešení. Odkryté tavicí bloky, chybějící Emergency Stop tlačítka či nechráněné pohyblivé součásti představují pro uživatele značné riziko. Extrémní teploty, které jsou nutné pro zpracování technických plastů, tak nejsou uživatelsky nijak odstíněny.

Dále se jako problematická ukázala i samotná interakce uživatele se zařízením. Otevřené násypky bez vík, zejména při práci se sypkými či práškovými materiály (např. zbylý PA prášek z SLS tisku), vedou ke zvýšené prašnosti v okolí, což může mít negativní vliv jak na zdraví uživatele, tak na životnost samotné elektroniky. Zařízení rovněž často nedisponují dostatečnou zpětnou vazbou.

2.4 Identifikace novosti a příležitostí

Na základě shrnutí hlavních zjištění patří mezi hlavními identifikovanými problémy stávajících řešení nedostatečná bezpečnost vycházející z absence důmyslného krytování a složitější obsluha způsobená místy příliš technicistně laděnou koncepcí přístroje. Příležitostí pro inovaci bude proto návrh systému krytování, které bude jak funkční, tak esteticky propracované a uživatelsky přívětivé podobně jako produkty od značky Prusa.

Z hlediska využití hliníkové konstrukce zadané firmou Protolab se nabízí využití plastových dílů vhodné pro své nízkou hmotnost, flexibilitu a dobré izolační vlastnosti, neboť nový krytový systém musí primárně zajistit striktní ochranu uživatele před teplovodivými, elektrickými či mechanickými prvky zařízení. Při návrhu krytové nástavby je nutné dbát také na dostatečnou stabilitu, umisťovat těžší prvky co nejnižší a brát v úvahu dostatečně širokou základnu. Nedílnou součástí návrhu bude také zajištění adekvátního manipulačního prostoru pro obě ruce prostřednictvím velkých revizních dvířek či otvorů.

Značný potenciál k inovaci se nachází též v oblasti uživatelského rozhraní a elektroniky, kde se otevírá prostor pro využití programovatelných řídicích modulů, jmenovitě například Raspberry Pi či Arduino, které firma Protolab plánuje využít. Jednoduché interakci s přístrojem a vyčištění pracovního panelu dopomůže také dotykový displej využívající jednoduchého a spolehlivého softwaru.

Následnou komunikaci přístroje s uživatelem pak zajistí integrovaná vizuální či zvuková signalizace stavů. Vzhledem k použití produktu v laboratorních podmínkách či školách bude pro celkovou modernizaci nezbytné začlenit také Ethernet port pro snadnou konektivitu a vzdálenou správu celého zařízení. Zcela stěžejním bezpečnostním prvkem, který u mnoha současných strojů chybí, bude též integrace dedikovaného Emergency tlačítka.

V souvislosti se spoluprací s firmou Protolab při VŠB bude kromě ohledu na zadanou konstrukci a vnitřní komponenty řešena také výzva v podobě vývoje bezprašného dávkovacího systému pro přemísťování jemného SLS prášku násypky, které dokáže efektivně zabránit úniku mikročástic do dýchacích cest uživatele a vnitřního prostoru přístroje. S tím úzce souvisí i návrh ventilačních průduchů a pasivního odvětrávání tak, aby nedocházelo k jejich zanášení.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Vymezení problému

S rostoucí integrací aditivní výroby do výzkumných a výukových center stoupá produkce plastového odpadu, ať už z FDM tisku, nebo ve formě nedegradovaného PA prášku ze systémů SLS. Ačkoliv snaha o lokální recyklaci sílí, současná komerční i open-source zařízení vykazují zásadní nedostatky, které brání jejich bezpečnému profesionálnímu nasazení. Některá stávající řešení připomínají spíše technologické prototypy s roztržitým ovládáním a absencí adekvátního krytování, než funkčně a foremně dotažené produkty. U odkrytých tavicích zón s teplotami až 400 °C hrozí riziko popálení, přičemž u mnoha modelů chybí i základní tlačítko nouzového zastavení. Zpracování sypkých polyamidů v otevřených násypkách (řešený u konkrétního přístroje firmy Protolab) navíc uvolňuje do okolí mikročástice škodlivé jak pro člověka, tak pro stroj. Hlavním úkolem této práce je proto transformovat výchozí holý technologický rám do podoby celistvého, bezpečného a ergonomicky propracovaného zařízení s ohledem pro praktické využití širokou škálou uživatelů.

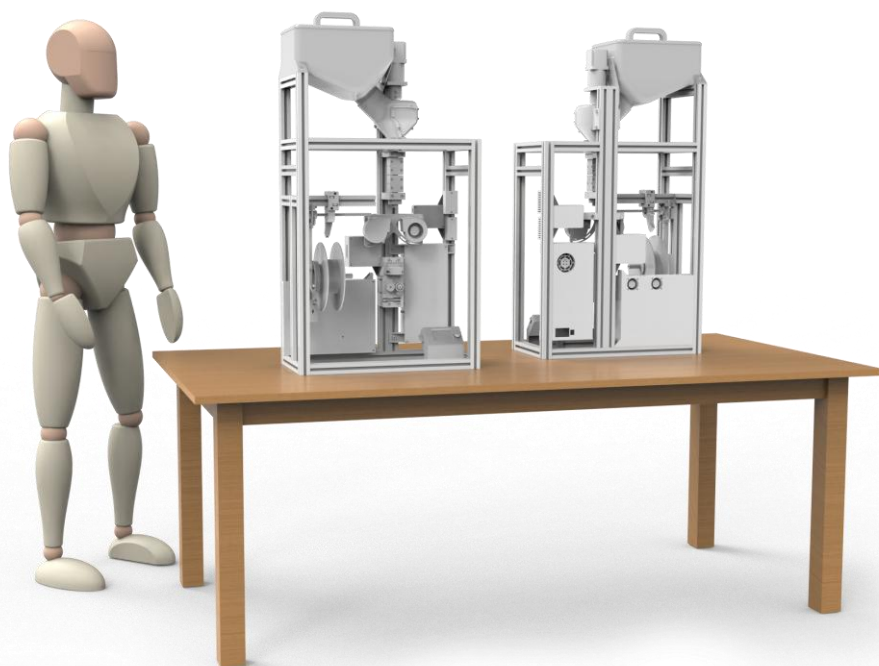
3.1.1 Název a druh produktu

Diplomová práce se zabývá optimalizací recyklačního zařízení k jednoduššímu, lokálnímu způsobu zpracování různých druhů plastového odpadu, které nejdou třídit běžným způsobem. Tzv. filament extrudér (filament maker) má za cíl zpracovat plastové zbytky přímo v místě jejich vzniku a přeměnit je na použitelný, tvarově a mechanicky stálý vstupní materiál pro druhotné zpracování v oblasti 3DP. Kategoricky se jedná o průmyslové, investiční zboží s cílem budoucího prodeje licencí.

3.1.2 Specifikace zákazníka a motivace

Primárním zákazníkem tohoto projektu je Centrum 3D tisku Protolab působící při VŠB-TU v Ostravě specializující se na 3D tisk plastů, kovů či kompozitů a současně generující významné množství plastového odpadu (zejména práškového polyamidu).

V reakci na to zahájilo aditivní centrum vývoj prototypu zařízení umožňující právě výše zmíněné odpadní plasty zpracovávat, a to do výsledné podoby druhotného filamentu vhodného pro nejrozšířenější FDM tisk. Současný řešením tohoto extrudéru plastové struny je hrubá konstrukce s funkčním mechanismem, který byl podroben testům funkčnosti a spolehlivosti.



Obr. 3-1 Základní konstrukce extrudéru filamentu včetně komponent, porovnání s ergonomem

Na základě dohodnuté spolupráce byla odsouhlasena možnost podílení se na vývoji krytování (opláštění) přístroje zahrnující estetické, ergonomické a funkční úpravy zasahující mj. do oblasti dávkování, ovládání přístroje, manipulace s přístrojem apod.

Paralelně s vývojem extrudéru je firmou Protolab konstruována také drtička na termoplasty typu PLA, PETG, ABS apod., jejíž návrh zákrytu pohybujících se komponent, ovládacích prvků a úchopů je také předmětem zájmu, avšak pouze koncepčně (viz. kap. 6.4.1 Řešení koncepčního návrh krytu drtičky).

3.1.3 Specifikace spotřebitele

Spotřebiteli jsou zejména výzkumné a inovativní laboratoře, sdílené dílny a vzdělávací instituce, které využívají 3D tisk v rámci výuky, prototypování či výzkumných účelů. Patří sem aditivní laboratoře Protolab či Prusa Research, dále FabLaby, univerzitní dílny či menší firmy s vlastní 3D tiskovou infrastrukturou.

Mezi uživatele zařízení lze zařadit techniky, laboratorní pracovníky, operátory 3D tisku, dále učitele, studenty či nadšence v oblasti aditivních technologií. Návrh krytu spolu s ovládacími prvky a komponentami určených k manipulaci musí reflektovat rozdílnou úroveň zkušeností všech uživatelů a zaručit bezpečnost i při častějším střídání operátorů přístroje.



Obr. 3-2 Aditivní centra – Protolab, StrojLAB, FabLAB, Prusa Research

3.1.4 Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií

PRIMÁRNÍ A SEKUNDÁRNÍ TRH

Primární trh tvoří aditivní laboratoře, střední a vysoké školy technického zaměření, dále sdílené díly (FABlab, StrojLAB, ProtoLAB atp.) či prototypovací a vývojová centra.

Sekundárním trhem mohou být recyklační centra zpracovávající plastový odpad, samotní výrobci filamentů, kteří by mohli využívat toto kompaktní zařízení pro testování materiálů, a školicí centra s demonstrací kompletního cyklu výroby filamentu z odpadních plastů.

Předběžný zájem o produkt projevilo také několik českých firem, jmenovitě HMC engineering s.r.o., SODEKO Tools, s.r.o., OZO Ostrava, s.r.o., STOPSAU, s.r.o. Moravskoslezská Technologická Agentura, z.s. Dále probíhá komunikace s firmou Prusa Research.

ODHAD PRODEJNÍ CENY

Co se specifikace produktu týče, jedná se o průmyslový investiční přístroj v cenové kategorii pohybující se odhadem přibližně mezi 1900–2500 € (cca 45 000 – 60 000 Kč), což jej řadí do relace dostupného vybavení do menších laboratoří a výzkumných institucí.

Cílem je dosáhnout rovnováhy mezi technickou vyspělostí přístroje, podpořit koncept modularity (stavebnicový systém) a v neposlední řadě také udržitelnost, např. v podobě tisku krytu z recyklovaných materiálů. Zařízení má být mj. konkurence schopné vůči existujícím extrudérům (filament makerům).

PRODUKCE A PŘEDPOKLÁDANÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

Ohledně výroby se počítá spíše s kusovou výrobou zhruba 10–20 ks ročně v závislosti na zakázkové kompletaci nebo preference uživatelského sestavení (stavebnice). Mezi předpokládané použité výrobní technologie k výrobě krytování patří laserové řezání plexiskel a také 3D tisk, eventuálně je na místě také přechod k náhradě technologií vstřikováním plastů v případě větší, sériové výroby.

3.1.5 Vymezení atributů a cílů produktu

Na základě přechodí analýzy zákazníka, spotřebitelů a technických omezení byly definovány klíčové atributy a jmenovité cíle produktu a následně zaznamenány do tabulky níže a Jednotlivé charakteristiky byly přiřazeny dle vztahu k produktu do sekce cílů, omezení, funkce či prostředků.

Charakteristika	Cíle	Omezení	Funkce	Prostředky
Spolupráce s aditivním centrem Protolab	✓			✓
Respektování rozměrů a materiálů ALU základní konstrukce		✓		
Výhradně vertikální (gravitační) uspořádání vnitřních komponent		✓		
Systém funkčního krytování přístroje s důrazem na ergonomii	✓			✓
Kompatibilita s více typy plastů – PLA, PETG, ABS, PA11, PA12	✓	✓	✓	
Efektivní výroba druhotného filamentu pro FDM tisk	✓		✓	
Podpora cirkulární ekonomiky, udržitelnosti a soběstačnosti	✓		✓	
Lokálního zpracování FDM/SLS odpadu	✓			
Snadná revize, servisovatelnost, rozebíratelnost	✓			
Bezpečnost uživatele při práci a manipulaci s přístrojem	✓			
Přidání průhledových oken/dvířek pro revizi (násypka, extrudér, navíjení)				✓
Integrace modelů pro snadné přenášení				✓
Riziko úniku plastových částic do stroje/dýchacích cest uživatele		✓		
Systém bezprašného dávkování materiálu do násypky	✓	✓		✓
Ochrana uživatele před dotekem elektronických součástí	✓	✓		
Vhodné umístění a rozsah ventilačních otvorů		✓		✓
Jednoduché a intuitivní ovládání	✓			
Integrovaný systém pro sdělení aktuálního stavu (vizuálně)	✓			✓
Přehledný stavový panel (vizuální sdělovač, nouzové tlačítko)	✓			✓

Obr. 3-3 Vymezení atributů a cílů produktu

3.2 Cíl práce

3.2.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je navrhnout systém krytování přístroje pro přeměnu odpadního plastu ze 3D tiskáren na druhotný filament určený pro FDM tisk s ohledem na dodanou konstrukci s rozmístěnými vnitřními komponentami tak, aby byl zajištěn funkční, bezpečný provoz a také zároveň byla zajištěna intuitivnost ovládání pro různou škálu uživatelů.

3.2.2 Dílčí cíle

Mezi dílčí cíle patří **zmapování současného trhu s existujícími přístroji pro výrobu druhotného filamentu** a identifikovat aktuální technologie. Spolu s nimi je potřeba též definovat technické parametry přístroje a typy plastů určených k recyklaci.

Návrh systému krytu podporuje **snadný přístup k vnitřním komponentám** v rámci běžné manipulace (plnění, protahování struny a práce s cívkou) a také v případě servisu. Půjde snadno odnímat díky připojení k rámu pomocí standardizovaných spojovacích prvků.

Mezi dalšími cíli je zařazena **optimalizace zásobníku** (násypky) pro dávkování přístroje drceným nebo práškovým plastem. Součástí úpravy násypky je návrh výklopného systému zásobníku za účelem snížení dávkovacího otvoru do výšky, která bude vyhovovat průměrně vysokému člověku. Sklopný dávkovací systém s sebou nese také potřebu umístění vstupního otvoru a regulačního šuplíku pro regulaci přísunu plastu do mísící komory.

S úpravou dále souvisí také **vytvoření bezprašného systému dávkování pro práškový polyamid** (nylonu) tak, aby nezanášel zbylé komponenty přístroje (ventilátory, tepelné prvky, průzory) a zároveň redukoval příležitost se dostat do dýchacích cest uživatele.

Důležitá je také vizuální kontrola procesu. Přestože se jedná o poloautomatické zařízení, zejména z počátku a na konci procesu extruze je nutné ověřit, zda se v zásobníku nachází dostatek vstupního plastu či zda se vlákno navíjí správným způsobem. Z toho důvodu se mezi další dílčí cíle řadí návrh **vhodného umístění průhledových oken** navazujících na systém plastového krytu. S tím souvisí také **vhodné umístění revizních** (průhledových) **dvířek** v oblasti extrudéru a navíjecí části přístroje tak, aby bylo možné sledovat tok materiálu bez nutnosti otevírání. Samotný kryt musí zároveň účinně zabraňovat nahodilému dotyku uživatel s tepelnými či pohyblivými komponentami a nedošlo k poranění.

Dalším dílčím cílem z hlediska **manipulace** jsou adekvátní, vhodně zakomponované **úchopy** do těla zařízení pro optimální přenos, širokou základnou zajišťující stabilitu během práce s přístrojem.

Nelze opomenout také dílčí cíl týkající se **intuitivního ovládání** přizpůsobenému i nezkušeným uživatelům. Návrh ovládacího panelu bude obsahovat dotykový displej vhodně umístěný vzhledem k ovládání v sedě, dále spínací a nouzová tlačítka a v neposlední řadě stavový indikátor ve formě světelných prvků signalizujících aktuální fázi recyklačního procesu a včasné upozorňujících na případné selhání fáze procesu.

Výstupem bude funkční **prototyp**, kde bude důležitým faktorem prokázání funkčnosti, vyrobitelnosti a ergonomičnosti celku s důrazem na logické uspořádání krytového systému v souladu s funkcí přístroje. Realizováno bude **opláštění (krytová nástavba)** v reálném měřítku, dále poster s vyobrazením způsobu práce s přístrojem a s ukázkou funkce stavového panelu.

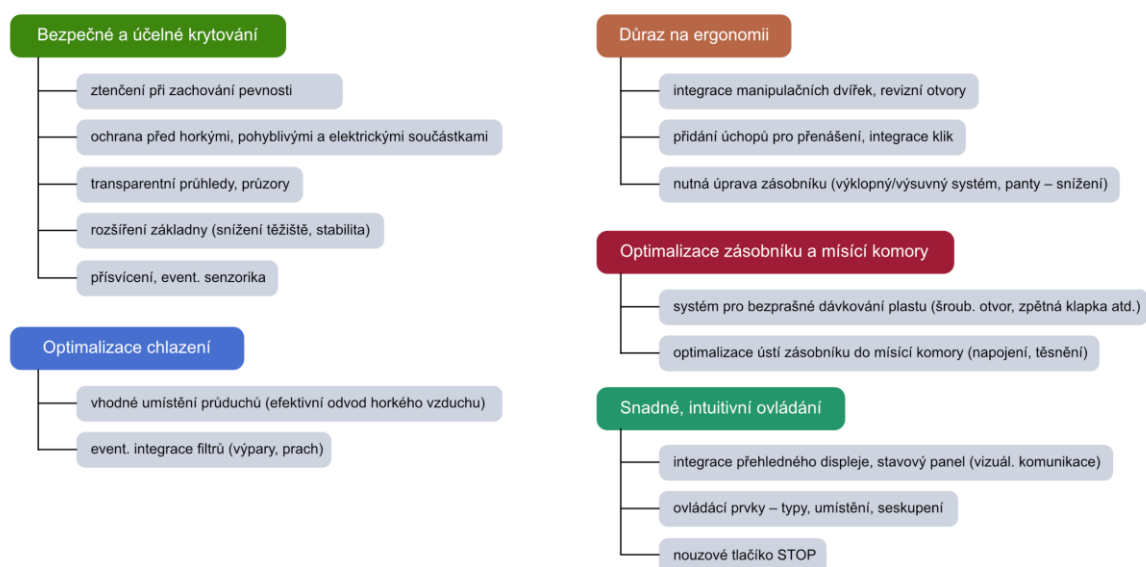
V rámci spolupráce s Protolabem a ucelenosti tématu bude jako součást této práce řešen koncepčně fyzicky nerealizovaný návrh opláštění drtičky na FDM plasty jakožto průmyslového zařízení umožňující nadrtit plastové zbytky typu PLA, PETG, ABS apod. na požadovanou frakci, které slouží jako jeden z možných vstupních materiálů.

4 KONCEPČNÍ NÁVRH

V návaznosti na předchozí designérské a technické analýzy je v této kapitole zpracována trojice variant systému krytování extrudéru filamentu, kde každá z nich vyobrazuje odlišný přístup ke tvarovému či vizuálnímu řešení v závislosti na stanovených požadavcích.

4.1 Analýza cílů a specifikace omezení

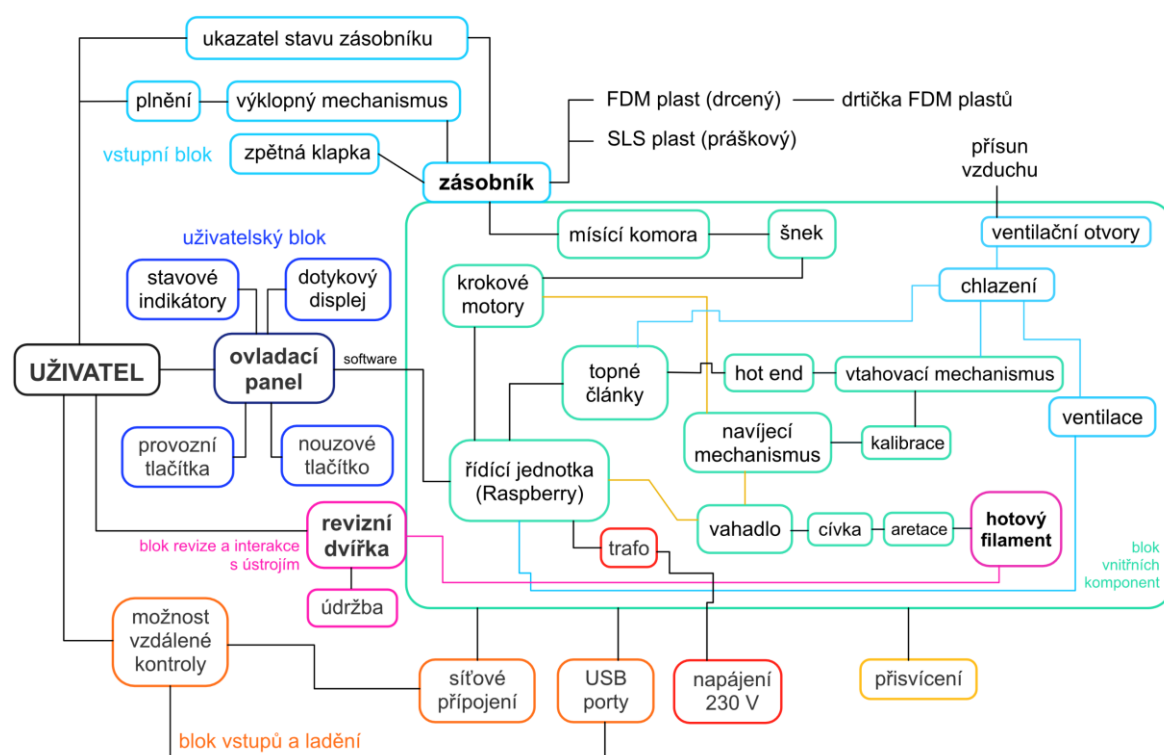
Tato podkapitola shrnuje poznatky z atributů a cílů produktu stanovených v předchozí kapitole. Klíčové inovace byly začleněny do několika důležitých podskupin, které bylo podstatné zohlednit při vývoji systému krytu přístroje v kontextu s interakcí se člověkem.



Obr. 4-1 Strom cílů

4.2 Technická funkční analýza

Na základě předchozí technické analýzy byl vytvořen podrobný glassbox popisující veškeré části extrudéru filamentu včetně funkčních vnitřních komponent. Níže uvedené průhledové schéma vyobrazuje konkrétní vztahové interakce mezi uživatelem s přístrojem, jmenovitě způsob ovládání zařízení, řízení teploty a extruze pomocí displeje a tlačítek, napájecí a komunikační sběrnice, dále způsob dávkování a také revizní otvor (dvířka) pro vizuální kontrolu, počáteční dopomoc přístroje při startu extruze a následnému vyjímání hotového filamentu.



Obr. 4-2 Glassbox

Tvarové řešení krytu a příslušných komponent vychází z existující struktury rámu ve tvaru kvádra, přičemž chronologie a pozice vnitřních komponent, kromě nutné úpravy násypky, zůstává stejná. Z hlediska návrhu výsledného krytování glassbox určuje, které části musí být uživatelsky přístupné a vizuálně kontrolovatelné a které naopak vyžadují z bezpečnostního hlediska určité odstínění (tepelné, pohyblivé prvky apod.).

Vstupní blok zahrnuje zásobník na plast, kde je kladen důraz na funkční výklopný mechanismus snižující polohu zásobníku do uživatelsky přívětivější polohy. Se zásobníkem souvisí také potřeba inovace způsobu dávkování zásobníku v podobě upraveného otvoru zajišťujícího bezprašné vsypání obsahu dovnitř a také zpětná klapka (šuplíček) u ústí násypky zabráňující nežádoucímu vypadávání zbytkového materiálu ven při vyklápění. Důležitá je také kontrola stavu zásobníku realizovaná například přes malý průzor.

Uživatelský blok navazuje chronologicky na plnění zásobníku a zahrnuje veškeré prvky umožňují nastavení a spouštění samotného procesu extruze. Hlavním rozhraním je ovládací panel skládající se z dotykového displeje, kde je možné nastavit požadované parametry pro extruzi struny (typ zpracovávaného plastu, teplota topných článků, rychlost extruze apod.). Dalšími ovládacími prvky jsou spouštěcí, resetovací a nouzové tlačítko potřebné při nutnosti okamžité zastavení pohonů a ohřevu. Během interakce s přístrojem je nutné uživatele v reálném čase informovat o stavu (fázi přístroje), o což se starají stavové indikátory.

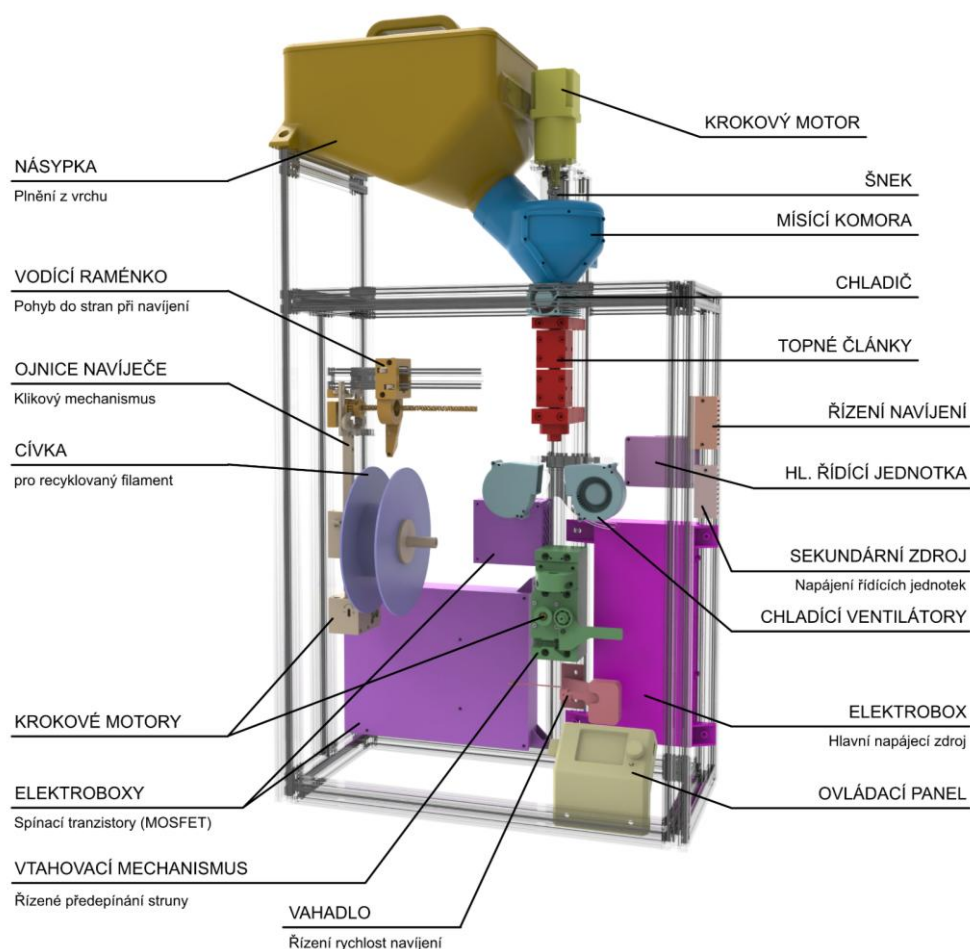
Po nastavení požadovaných hodnot zařízení se zahajuje proces extruze probíhající v rámci **bloku vnitřních komponent**. Rozdrcený plast nebo prášek je dávkován do mísící komory, odkud je posouván šnekem do tavicí komory. Nově vzniklou strunu vycházející z hot endu je nutné uživatelsky prostrčit vtahovacím mechanismem a kalibračním průvlakem, dále vahadlem regulujícím rychlost navíjení, a nakonec jej zavést přes navíjecí mechanismus až k cívce. Poté již systém běží automaticky, krokové motory v součinnosti s vtahovačem jsou regulovány řídicí jednotkou. Ta je zároveň zodpovědná za chlazení nově vznikající struny a zachování jejího průměru.

Blok revize a údržby souvisí úzce s předchozím blokem z hlediska manipulace s novou strunou. Revizní otvor či spíše dvířka mají své uplatnění také při průběžném dohledu nad procesem extruze (transparentní průzor) nebo při nutnosti oprav (poruchy). Blok tak definuje jak bezpečný a účelný přístup ke komponentám, tak i k hotovému filamentu.

Poslední **blok vstupů a ladění** poukazuje na možnost propojení zařízení s internetovou sítí či počítačem, jehož účelem je vzdáleného ovládání či ladění (zahrnuje monitoring provozních dat a jejich shromažďování za účelem zlepšení výsledků extruze, dále aktualizace firmwaru, servis apod.). Přístroj je napájen ze sítě 230 V a disponuje transformátory a spínacími tranzistory, které zásobují topné články, krokové motory, ventilaci a další elektroniku včetně řídicí jednotky Raspberry Pi zodpovědné za hladký chod veškerých komponent v zařízení.

4.2.1 Specifikace vnitřních komponent

V návaznosti na předchozí podkapitolu je tato část věnována rozboru vnitřních komponent upevněných v rámu, který tvoří hliníkové profily typu K3030. Zásobník a systém krytů přístroje jsou zamýšleny jako plastové výtisky, pravděpodobně z PETG či PLA. U revizních dvířek a ostatních průzorů se předpokládá použití plexiskla (PMMA). Ostatní elektronické komponenty jsou definovány níže pod Obr. 4-3.



Obr. 4-3 Schéma vstupních vnitřních komponent

Vstupy a napájení

- Síťový vstup AC 230 V – hlavní kolébkový vypínač, pojistka 10 A
- USB port – nahrávání aktualizací firmwaru, bootování, diagnostika
- Ethernet port – RJ-45, pevné připojení k lokální síti, vzdálená správa

Řídící jednotka (ŘJ)

- Raspberry Pi 4 Model B
 - CPU Broadcom BCM2711 4x1,5 GHz; 4 GB RAM
 - SD karta 32-64 GB (operační systém, záznam provozních dat)
 - Wifi 2,4/5 GHz; gigabitový Ethernet port; Bluetooth 5.0; USB 3.0
- Arduino Nano R3
 - CPU ATmega328P; 20 MHz, 2 KB SRAM, 32 KB ROM
 - řízení rychlosti navíjení dle odpovědi potenciometru
 - napájen externím zdrojem (5 V)

Elektrické zdroje a výkonové zdroje

- Hlavní spínaný zdroj
 - MEAN WELL LRS-350-24
 - výstup 24 V DC / 14,6 A (350 W)
 - trvalé stabilizované napájení elektronických a mechanických komponent
- Napájecí zdroj Raspberry Pi 4
 - MEAN WELL RS-15-5
 - výstup 5 V DC / 3 A (15 W)
- Spínací tranzistor (MOSFET modul, např. typ IRLZ744N)
 - Spínání proudu dodávaného hlavním zdrojem do konkrétní zátěže
 - Regulace výkonu – topné články, ventilátory, motory apod.
- Potenciometr vahadla
 - rotační, 10 k Ω
 - ovládán vahadlem (regulace otáček navíjení)

Uživatelské rozhraní

- Velkokapacitní dotykový displej
 - BIGTREETECH HDMI5 V1.2
 - Rozlišení 800 x 480 px (5“)
 - Rozhraní HDMI, USB – kompatibilní s jednotkou Raspberry
- Stavové indikátory
 - LED panel s difuzorem
 - napájeno 5 V (vývod z jednotky Raspberry)

- RGB (optická signalizace – nahřívání, extruze, chyba)

Ovládací tlačítka

- ON/OFF spínač
 - Ø cca 25 mm; s podsvíceným piktogram
- RESET spínač
 - Ø cca 15 mm; s piktogramem
- EMERGENCY tlačítko
 - Tvar „hříbu“; Ø 20-35 mm; s mechanickou aretací

Pohon, extruze a navíjení

- Krokové motory
 - NEMA 17
 - délka 40 mm; krouticí moment 0,4–0,5 Nm
 - vtahovací a navíjecí mechanismu
 - NEMA 23
 - délka 113 mm, krouticí moment až 3 Nm
 - pohon šneku
- Driver motoru
 - Typ TMC2209; 2–2,8 A
 - s chladičem; přesnost až 256 mikrokroků
- Šnek (šroub)
 - Ø 12 mm, délka 190 mm; ocelový, povrchově kalený
 - doprava materiálu z mísící komory k trysce

Topné prvky, senzory a chladicí systém

- Keramické topné těleso (kazeta) E3D
 - 24 V, 40 W; Ø 6 mm, délka 23 mm
 - patrona z nerezové oceli, vhodné též pro 3D tiskárny
 - řízen pulzním signálem přes MOSFET moduly

Teplotní senzory

- Termistor EPCOS B57560G104F

- Ø 2,3 mm, rozsah teplot od - 55–200 °C, tolerance 1 %
- Dmychadlový ventilátor GDSTIME
 - radiální vedení vzduchu, 24 V, 75x75x20 mm
 - chlazení extrudované struny
- Ventilátory Sunon MF40202V1
 - axiální vedení vzduchu, 24 V, 40x40x20 mm
 - chlazení elektronických komponent (odvod tepla z Al chladičů)

4.3 Návrh alternativních řešení

Tato kapitola představuje trojici alternativních variant krytu extrudéru filamentu vycházejících z předchozích přístupů k technickému a tvarovému řešení. Rozměry jednotlivých variant jsou obdobné, neboť vychází z víceméně pevně dané konstrukce, rozměry a částečně i umístěním vnitřních komponent. Každý z konceptů se liší přístupem ke členění jednotlivých prvků krytu dle pozice a způsobu otevírání dvířek, polohy ovládacího panelu, tvaru násypky, umístění a velikosti úchytů či šířky základny.

4.3.1 Varianta 1

První varianta krytu je pojatá ryze geometricky spolu s ostřejšími liniemi, které logicky navazují na pravoúhlý rám extrudéru. Tělo je tak tvořeno z větší části z lichoběžníkových ploch a trojúhelníkových zkoseních, které se opakují se jak v oblasti hlavního krytu, tak v rámci zásobníku.

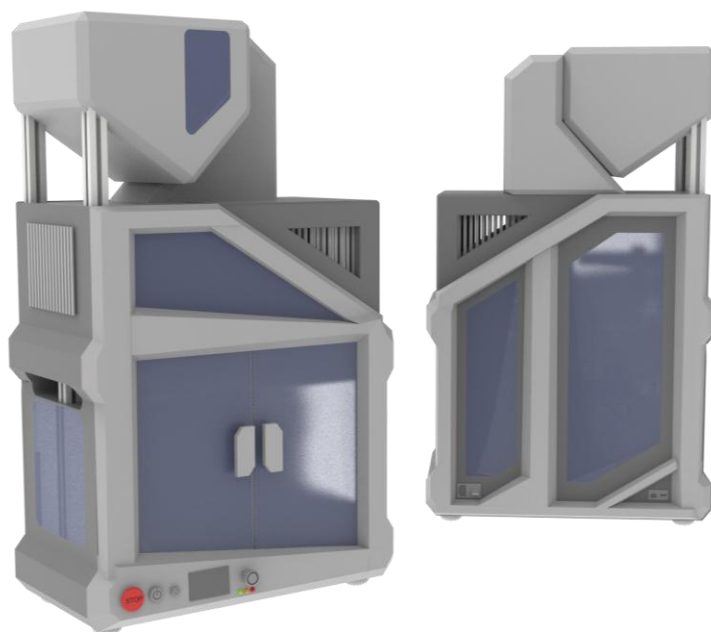
Základna s kompaktním půdorysem o rozměrech 592 x 337 mm spolu s výškou 1025 mm vytváří střízlivou, racionálně působící kompozici ideální pro všestranné technické zázemí.

Zásobník lichoběžníkového tvaru kopíruje stejné technické úkoly, které jsou použité ve spodní, hlavní části krytu. Zásobník je navíc doplněn o šikmý průzor pro kontrolu stavu materiálu.

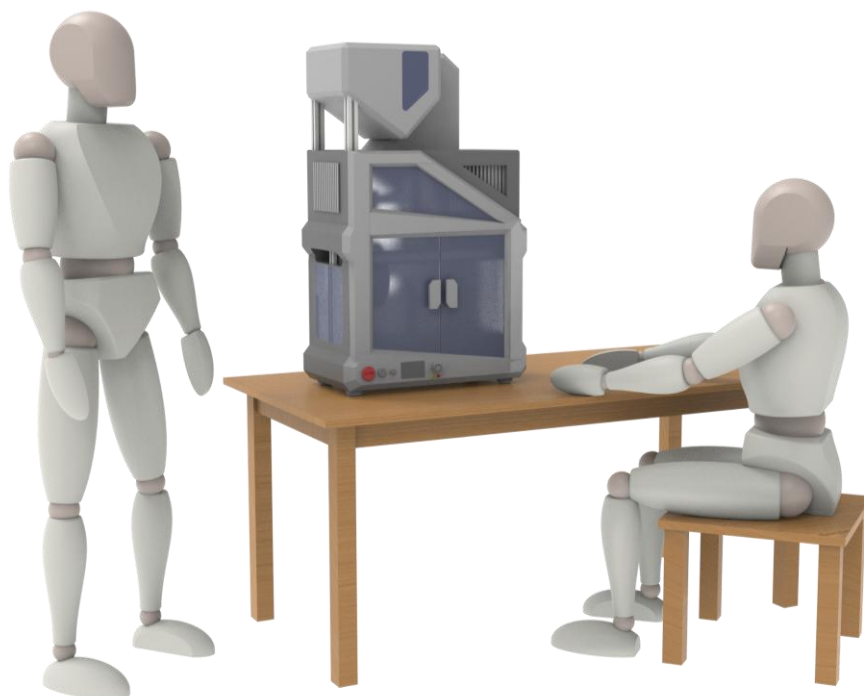
Ovládací panel je umístěn ve spodní čelní části se stavovými diodami, displejem a spínacími tlačítky po levé straně, což je výhodou zejména pro manipulaci v sedě.

Co se chladicích otvorů týče, ty jsou navrženy formou mřížek (průduchů). Jejich pozice jsou výhradně v místech výdechů ventilátorů nebo u mřížek výdechů elektroboxů.

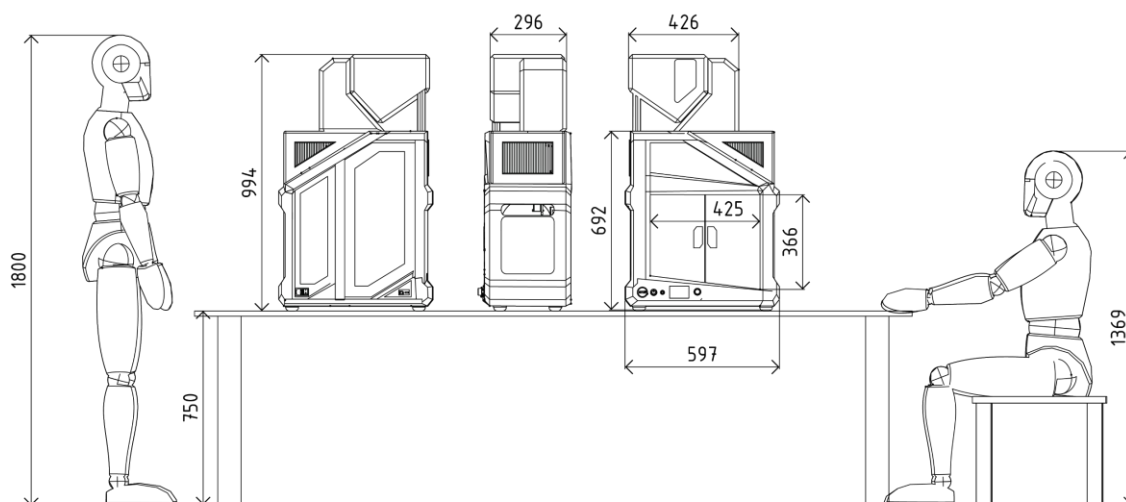
V rámci manipulace s přístrojem disponuje zdejší návrh také vystouplými bočními prvky, které funguje zároveň jako úchyty. Pro snadnější přístup k vnitřním komponentám byla navržena dvojité transparentní dvířka, která je možné dle potřeby otevřít částečně nebo jako celek.



Obr. 4-4 Varianta I – pohledy



Obr. 4-5 Varianta I – pracovní pozice



Obr. 4-6 Varianta I – rozměry

4.3.2 Varianta 2

Druhá varianta krytu extrudéru pracuje více s organickou stránkou. Návrh zahrnuje plynulejší, aerodynamické linie, jejichž smyslem je představit směr toku materiálu spolu s prouděním vzduchu z přístroje. Tělo krytu se skládá z měkce zaoblených ploch obíhajících okolo základní konstrukce, kde v horní a spodní části vytváří tvary pomyslných podkov.

Platforma o rozměrech 760 x 360 mm představuje pevný, robustní základ, který spolu s výškou 1005 mm tvoří stabilně působící kompozici přístroje.

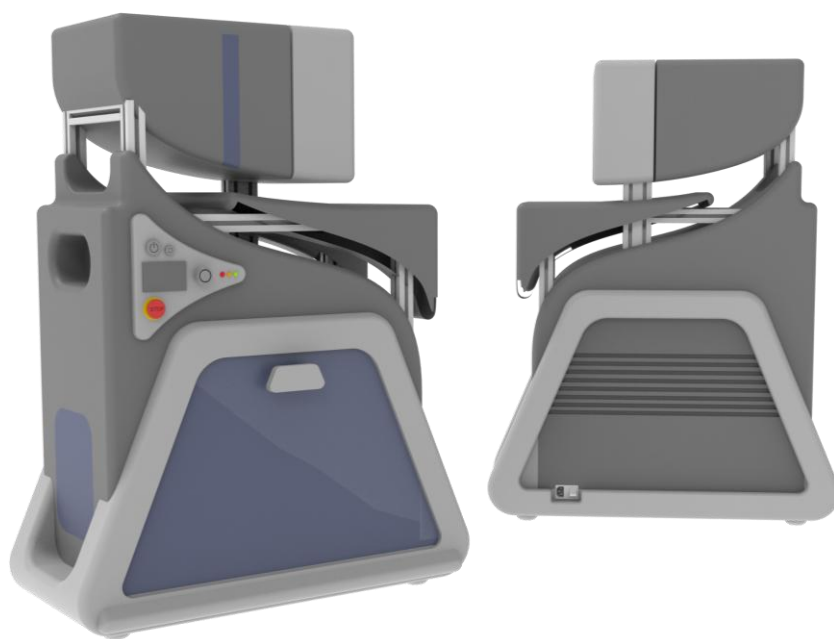
Tvar zásobníku vychází ze zaobleného obdélníku, jehož tvar přímo navazuje na airflow linii viditelnou z profilu zařízení. Čelní stranu lemuje svislý průhled opět pro kontrolu stavu materiálu.

Ovládací panel se sloučeným prvky (displej, spínací tlačítka, stavové diody) se nachází lehce nad dvířky jako možný kompromis mezi možnostmi pohodlně ovládat zařízení ve stoje i v sedě.

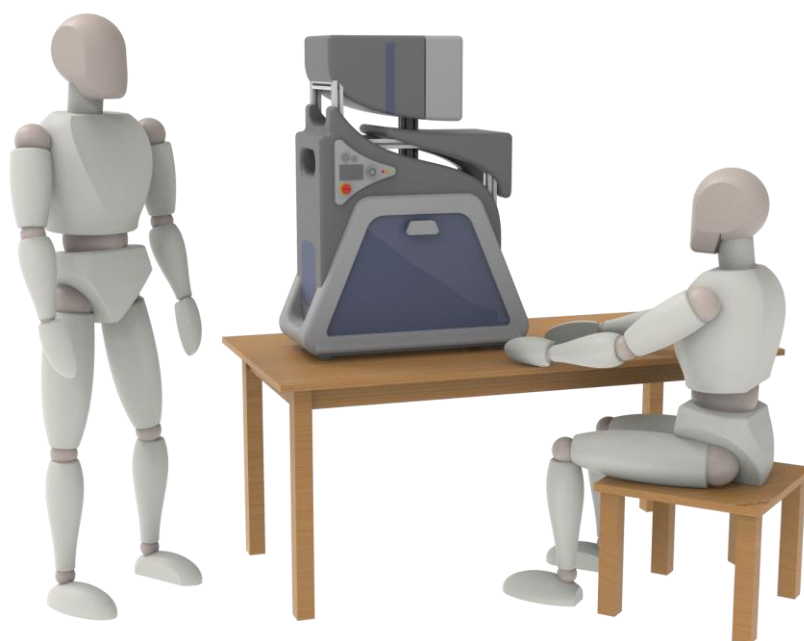
Umístění ventilačních otvorů vychází z lokace výdechů ventilátorů. Horizontální mřížky se tak nacházející zejména v zadní části, zároveň také na boku nad průhledovými okénky.

Pro možnost manipulace do v této variantě zakomponované také úchyty, které využívají vzniklého tvaru podkovy v horní části přístroje v souvislosti s vestavným řešením. Návrh obecně pracuje s menším množstvím průhledových oken za účelem redukce zanášení vnitřních komponent prachem.

Signifikantním prvkem této varianty jsou padající revizní dvířka ve tvaru lichoběžníku s horizontálně uloženými panty ve spodní části, jejichž výhodou je zabránění nahodilému zavírání dvířek s typickými vertikálně uloženými panty.

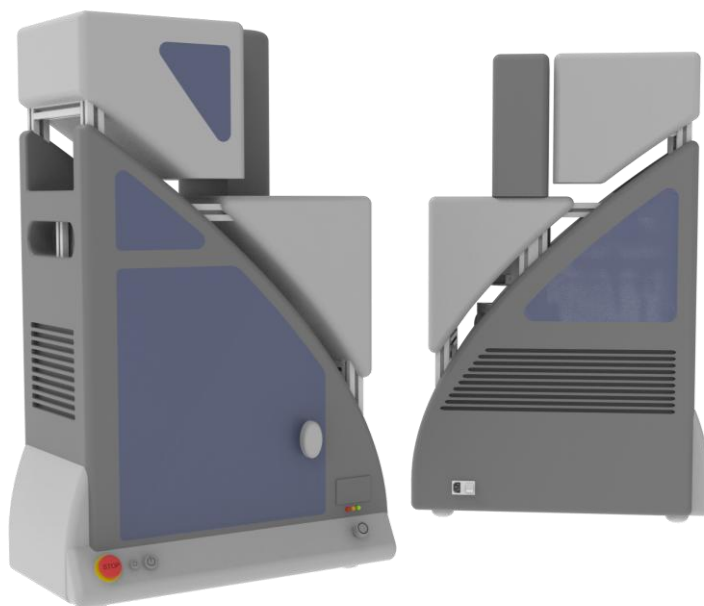


Obr. 4-7 Varianta II – pohledy



Obr. 4-8 Varianta II – pracovní pozice

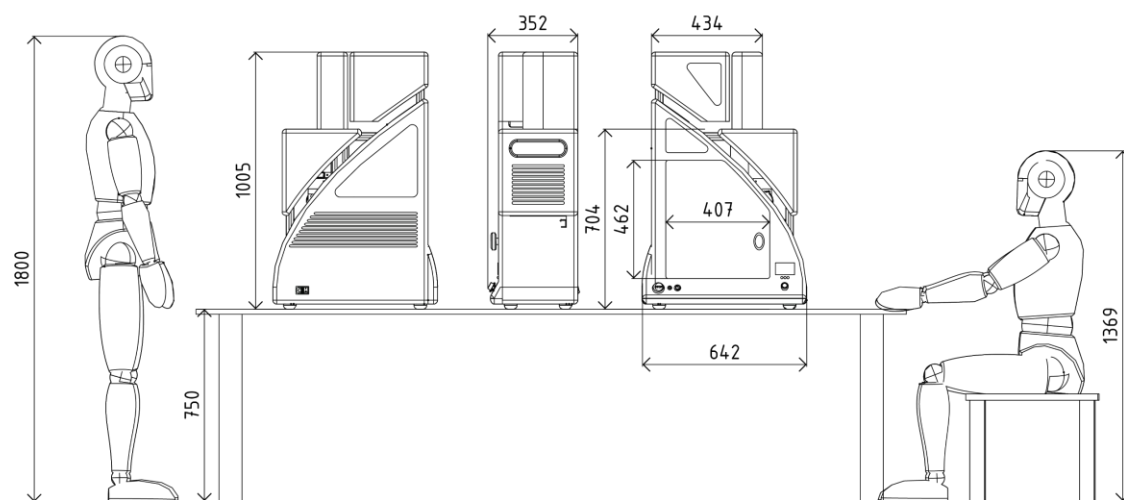
Navzdory menšímu množství průhledových oken disponuje návrh jedním prostorným průhledem v podobě jednoduchých dvířek, skrze které je umožněn plnohodnotný dohled nad procesem.



Obr. 4-10 Varianta III – pohledy



Obr. 4-11 Varianta III – pracovní pozice



Obr. 4-12 Varianta III – rozměry

4.4 Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího

4.4.1 Zhodnocení variant

Pro výběr finálního řešení byla sestavena hodnotící tabulka (viz. Tab. 4-1), která porovnává tři výše popsané varianty na základě dvanácti kritérií technického i estetického charakteru. Jednotlivé parametry byly bodovány na škále 1–10 dle naplnění konkrétního parametru. Výslednou variantou s největší potenciálem pro rozvoj a pokračování k předběžnému návrhu vyšla varianta I s 93 body.

Tab. 4-1 Hodnocení variant dle technických a estetických kritérií

KRITÉRIUM HODNOCENÍ	var. I	var. II	var. III
Odklon tvarové řešení od zadaného rámu	6	8	7
Technologická nenáročnost sestavení	8	6	7
Jednoduchost výroby dílů	8	5	6
Stabilita a pevnost	8	9	8
Kompaktnost zařízení	9	5	5
Servisní přístupnost	9	8	8
Umístění ovládacích prvků	8	7	8
Vyšší krytí vnitřních součástí oproti odlehčené konstrukci	8	6	6
Těsnost vůči prachu/plastu	8	5	6
Efektivita proudění vzduchu zařízení (airflow)	7	9	8
Vizuální čistota	8	6	7
Odlišnost od jiných filament makerů	6	9	8
SOUČET BODŮ	93	83	84

Prvním krokem byl výpočet hmotnosti samotného rámu. Při lineární hustotě hliníkového profilu K3030 $\rho = 0,85 \text{ kg/m}$ a celkové použité délce 8,54 metrů vyšla celková hmotnost 7,26 kg. Pro tyto účely byl využit vzorec níže.

$$m_{\text{rám}} = \rho_{K3030} \times l_{\text{celk.}}$$

Následně bylo potřeba vypočítat hmotnosti vnitřních komponent (m_i) včetně ochranných boxů. Dle CAD modelu byly stanoveny objemy těles (V_i), které byly následně dosazeny spolu s hustotou PETG při poloviční výplni (cca $0,63 \text{ g/cm}^3$) do výpočtu jednotlivých hmotností komponent (viz. Tab. 5-1) s využitím vzorce níže.

$$m_i = \rho_{PETG(50\%)} \times V_i$$

Tab. 5-1 Tabulka hmotností komponent a rámu pro výpočet statických momentů ke stanovení celkového těžiště

Komponenta	Hmotnost (kg)	Výška středu od stolu (mm)	Statický moment (kg*mm)
Rám K3030 (celkem 8,54 m)	7,26	425	3085,50
Zásobník (prázdný)	0,60	920	552,00
Mísící komora	0,15	734	110,10
Motor NEMA 23	1,50	900	1350,00
Motor NEMA 17	0,70	205	143,50
Topné články, šnekové ústrojí	0,90	568	511,20
Chladicí zóna, ventilátory	0,25	418	104,50
Elektrobox (vč. zdroje)	0,95	206	195,70
Elektrobox (vč. tranzistorů)	0,60	141	84,60
Malé elektroboxy (Raspberry+Arduino)	0,40	400	160,00
Vtahovací mechanismus	0,42	250	105,00
Navíjecí raménko, vč. cívky (prázdné)	0,52	565	565,52
CELKEM	14,25	5732	6967,62

Do tabulky výše byly zaznamenány jednotlivé hmotnosti včetně rámu, z jejichž součtu vyšla celková hmotnost 14,25 kg. K výpočtu celkového těžiště (y_c) je kromě souhrnné hmotnosti potřeba znát také celkový statický moment ($M_{celk.}$). Ten se vypočítá jednotlivě ze svislých výšek středů komponent od základny (h_i) a příslušné hmotnosti (m_i), dle vzorce níže.

$$M_i = h_i \times m_i$$

Celková těžiště (y_c) bylo vypočítáno jako podíl součtů statických momentů a celkové hmotnosti dle vzorce níže:

$$y_c = \frac{\sum(m_i \times h_i)}{\sum m_i} = \frac{6967,6}{14,25} \approx 488,9 \text{ mm}$$

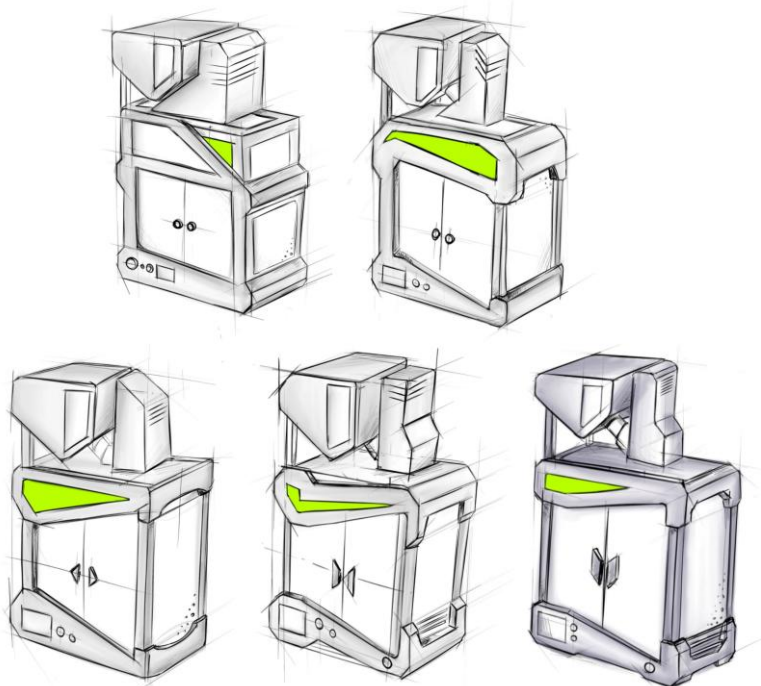
Výpočty ukazují, že dosavadní výška těžiště konstrukce se základními komponentami se nachází lehce pod polovinou celkové výšky (985 mm). Z toho vyplývá, že v rámci nastávající optimalizace návrhu vnějšího opláštění a souvisejících přídavných prvků bude na místě si dát pozor na rovnoměrné rozložení váhy po celém povrchu, popřípadě hmotnost nad těžištěm vykompenzovat vespodu, aby nedošlo k nežádoucímu posunu těžiště a narušení stability. Takový přístup by měl zajistit zachování provozní stability a bezpečnost při manipulaci. Výpočet je pouze informativní, není na něm početně vystaveno následné řešení.

5.2 Určení tvarů, rozměrů a materiálů

5.2.1 Tvar

VÝVOJ SYSTÉM KRYTU

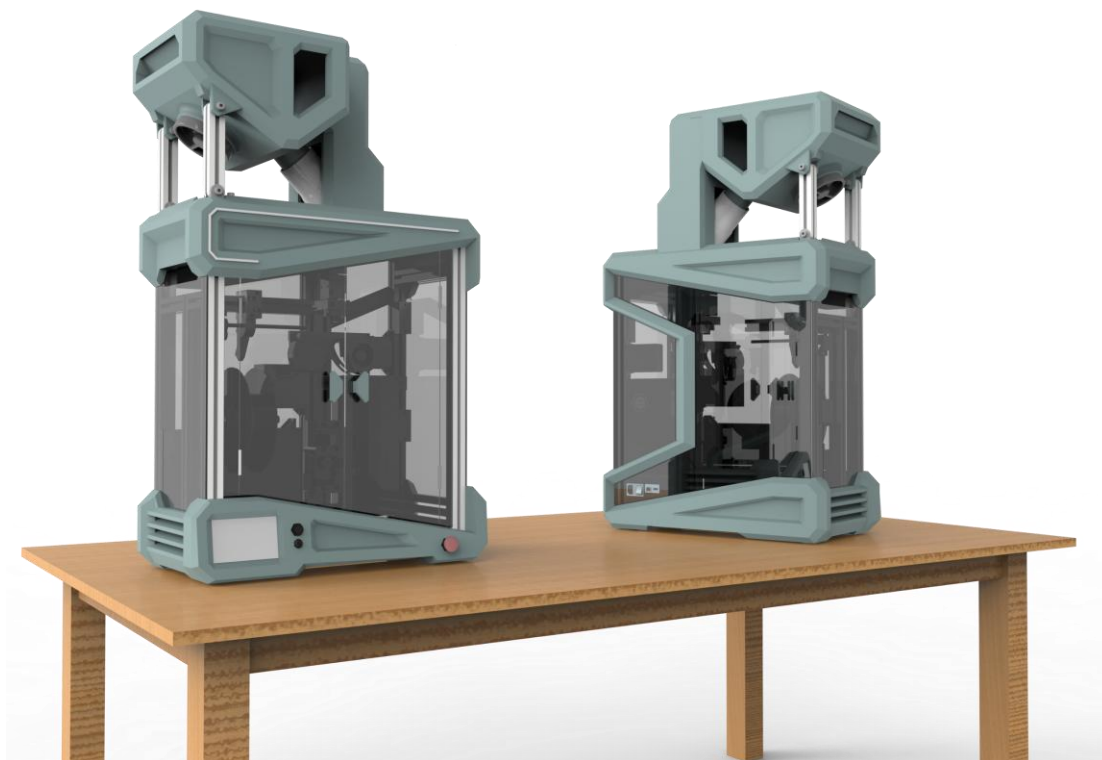
Vítěznou variantu bylo nutné tvarově zjednodušit a odlehčit. Původně navržená krytová nástavba působila až příliš členitým a tvarově nahuštěným dojmem i přesto, že se snažila logicky navazovat koncepčně na zadanou geometrii rámu. Klíčové v této optimalizaci zůstalo zachování pevnosti, aby výsledné opláštění nepůsobilo příliš subtilně a nadále tak plnilo i svou ochrannou funkci. Během experimentování byly postupně redukovány robustní vertikální prvky, zejména v oblasti bočnic. Cílem tohoto odlehčení bylo nejen snížit těžiště a potřebný materiál, ale také provzdušnit a uklidnit celkový tvarový vizuál.



Obr. 5-2 Fáze rozvoje zvolené varianty

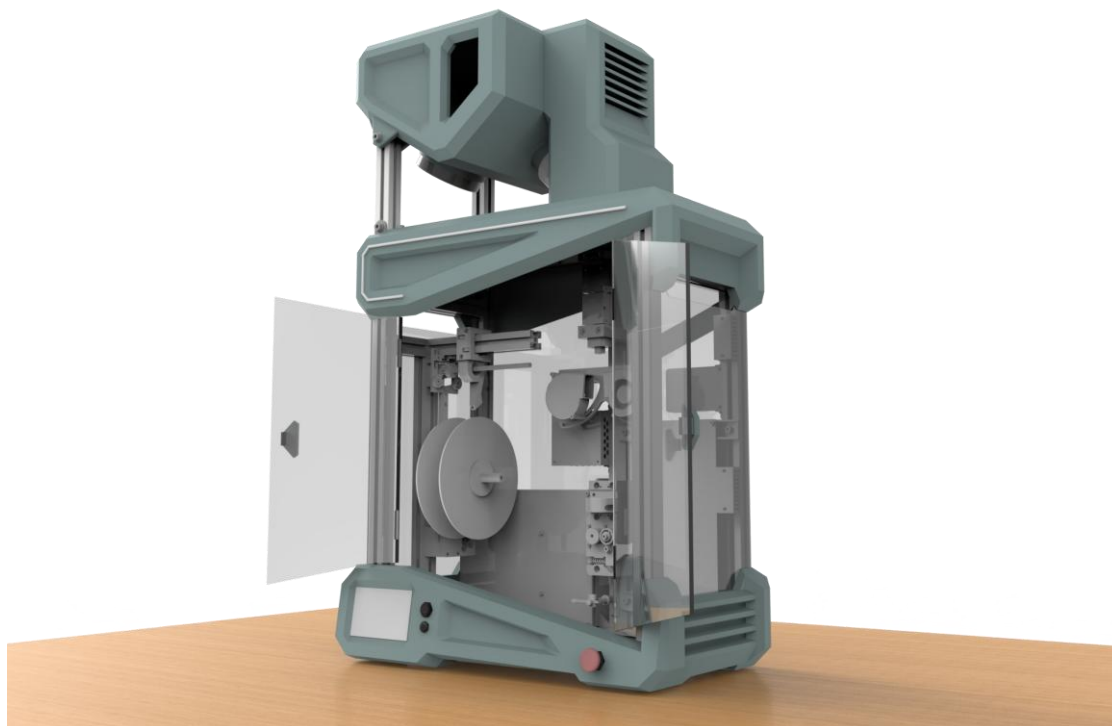
Do vrchních pasáží opláštění byly zakomponovány vestavné úchopy tvořené otvory zasahujícími do vnitřního rámu stroje. Klíčovým aspektem při jejich definování pak bylo nalezení adekvátní ergonomické výšky pro zajištění jisté a komfortní manipulace při občasném přenášení zařízení.

Z postupného účelového omezování použitého materiálu vzešel optimalizovaný systém krytování, který koncentruje hmotu v horní a spodní části bloku, a naopak ubírá ze střední části. Vzešlý ostrý industriální charakter krytu (předsádky) byl v následující konečné fázi opatřen navíc prolisy vytvářející patřičný efekt hloubky materiálu, mimo jiné také jeho úspory. Zbylé obnažené plochy jsou zaklopeny průhlednými deskami. Uvažováno bylo také nad provedením a dispozicí ventilačních otvorů, které jsou integrovány jak do transparentních výplní, tak do předsazených částí krytování. Totožné tvarosloví převzal včetně prolisů převzal také zásobník a přilehlý kryt mísící komory.



Obr. 5-3 Optimalizovaný předběžný návrh systému krytu

Nedílnou součástí také viditelné průhledné pasáže, jejichž původním záměrem bylo umožnění uživatelskému dohledu nad stavem a správnou funkcí vnitřních komponent během procesu. Mezi takové úseky patří průzor v oblasti zásobníku, dále boční, vrchní a spodní záklopy, a nakonec významná dvoukřídlá dvířka převzatá z původní vybrané varianty, jejichž konečný tvar se odvíjí přímo od finální geometrie vrchní a spodní předsádky. Vzhledem k ostrému charakteru hran bylo však potřeba některé nebezpečné hrany upravit.



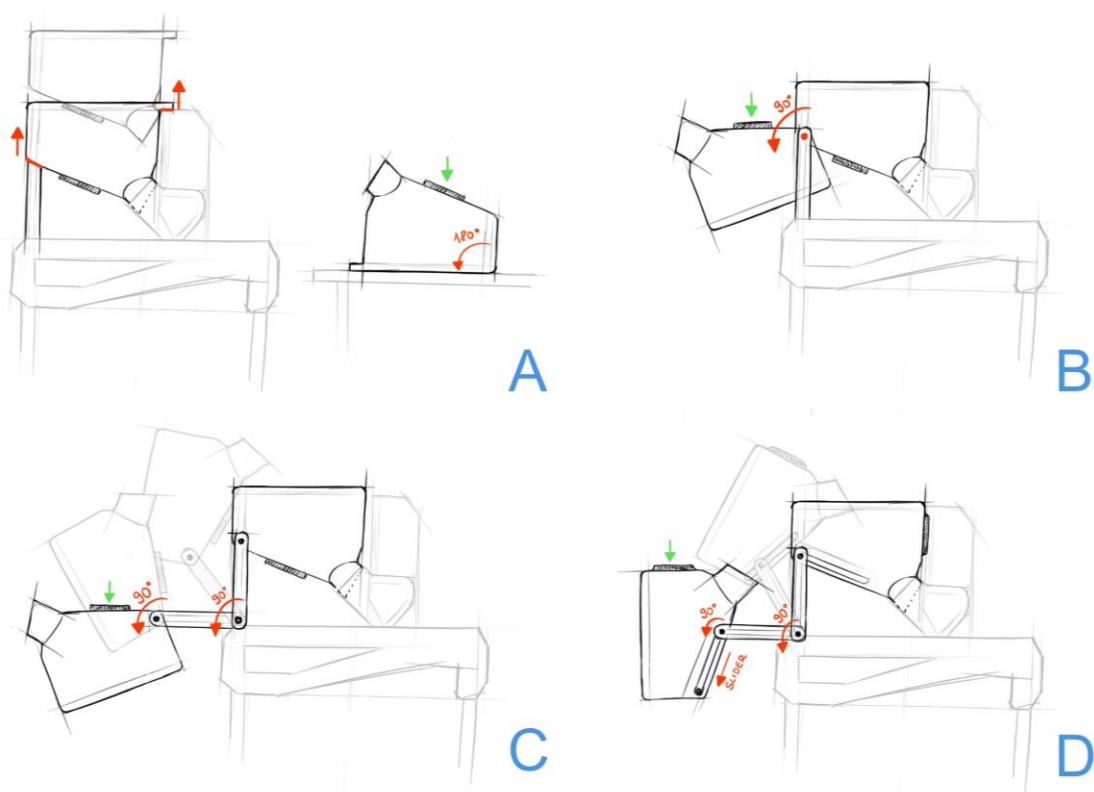
Obr. 5-4 Detail transparentních sekcí

VÝVOJ ZÁSOBNÍKU

První iterace zásobníku navržené firmou byla připevněna napevno ke konstrukci. Původně spíše násypka se snímatelným horním víkem však nevyhovovala ergonomickým požadavkům a bylo proto na místě uvažovat o úpravě s cílem snížit dávkovací plochu pro širší škálu uživatelů. To dalo za vznik čtyřem variantám (viz. Obr. 5-6) pantových a bezpantových systémů rozdílných v technologii a výškách finálního snížení, z nichž byl vybrán jednoduchý dvojpantový systém, který umožňuje snížit dávkovací plochu až o 280 mm.

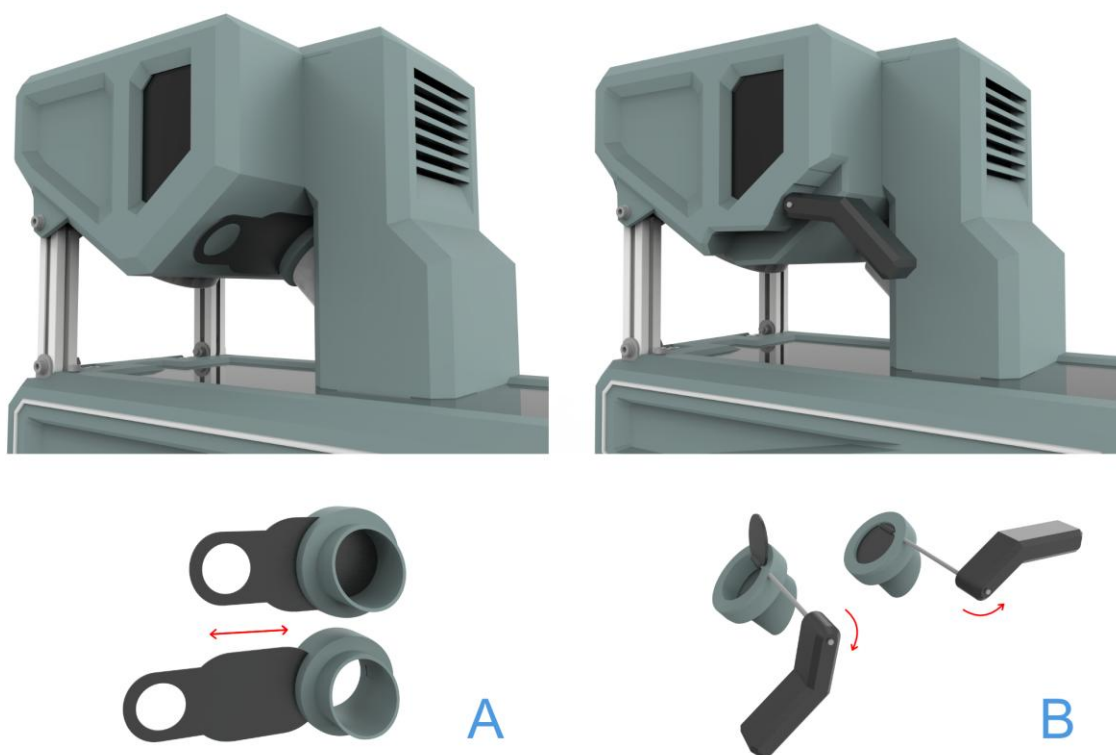


Obr. 5-5 Původní podoba zásobníku (násypky)



Obr. 5-6 Varianty optimalizace zásobníku; A – plně snímatelný, plnění zespoda, B – jednopantový výklopný systém, plnění zespoda, C – dvojpantový výklopný systém, plnění zespoda, D – kombinovaný (panty a posuvník), boční plnění

Aby zásobník při výklopu nenarážel do krytu a zároveň vedl přírubu zásobníku správně do ústí mísící komory, bylo potřeba trajektorii pohybu navrženého zásobníku vymezit oboustrannými dorazy. S novým způsobem vyklápění vzešla také problematika troušení zbytkového materiálu při přetáčení vany zásobníku, která dala za vznik dvojici návrhů týkajících se dočasného ucpání výstupu příruby. Prvním návrhem byl šuplíkový mechanismus, který kromě úplného odstavení toku plastového materiálu mohl také regulovat jeho průtok do mísící komory. Vzhledem k limitovaným rozměrům by však na realizaci tohoto mechanismu nebyl dostatek místa. Proto byla upřednostněna druhá, alternativní varianta klapkového systému tvarově inspirovaná ventily motoru v automobilech, se dvěma polohami, kterou by bylo možné integrovat přímo do násypky a šetřit tak prostor.



Obr. 5-7 Způsoby blokování nežádoucího vypadávání plastu přírubou při překlápění; varianta A – šuplíková komora, varianta B – páková klapka

UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ

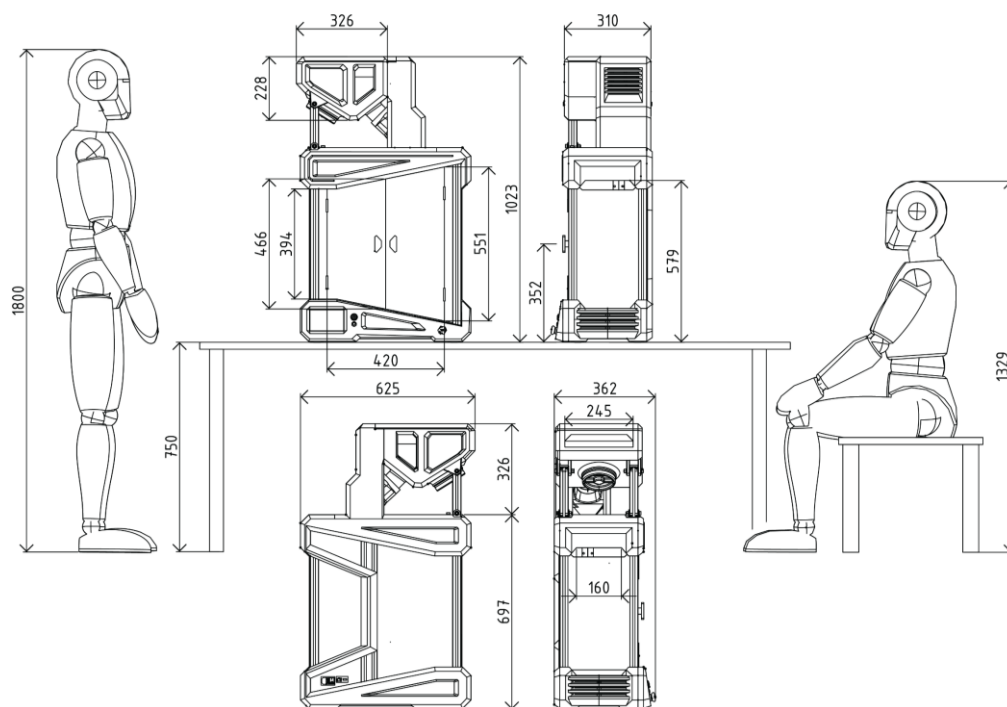
Součástí předběžného návrhu jsou také ovládací prvky spolu s dotykovým displejem, jejichž definitivní, sjednocené místo se nachází ve spodní pasáži přístroje pod dvířky nad úrovní desky stolu. Toto pásmo bylo zvoleno z praktických důvodů vzhledem k častějšímu ovládání v sedě. Pro plošný, trojúhelníkový stavový panel určený pro vizuální informování uživatele byla zvolena definitivní oblast nad dvířky, kde bylo ve snaze umístění panelu v adekvátní výšce jak pro stojícího i sedícího uživatele zároveň.

BEZPEČNOST A OCHRANA UŽIVATELE

Vzhledem ke koncepci práce byla pozornost věnována kromě vnějšímu systému krytování s ohledem na bezpečnost také vnitřním prostorům. V rámci předběžného návrhu byly vytipovány potenciálně nebezpečné zóny, kde hrozí riziko nahodilého kontaktu uživatele se součástkami, k čemuž může dojít během manipulace se strunou. Z toho důvodu je na místě především úvaha nad vytvořením skořepiny pro izolaci tepelných článků. Návrh dále zahrnuje řešení krytů elektronických modulů a systém pro efektivní uspořádání kabelů, který má za úkol vznést do vnitřních prostor potřebný řád.

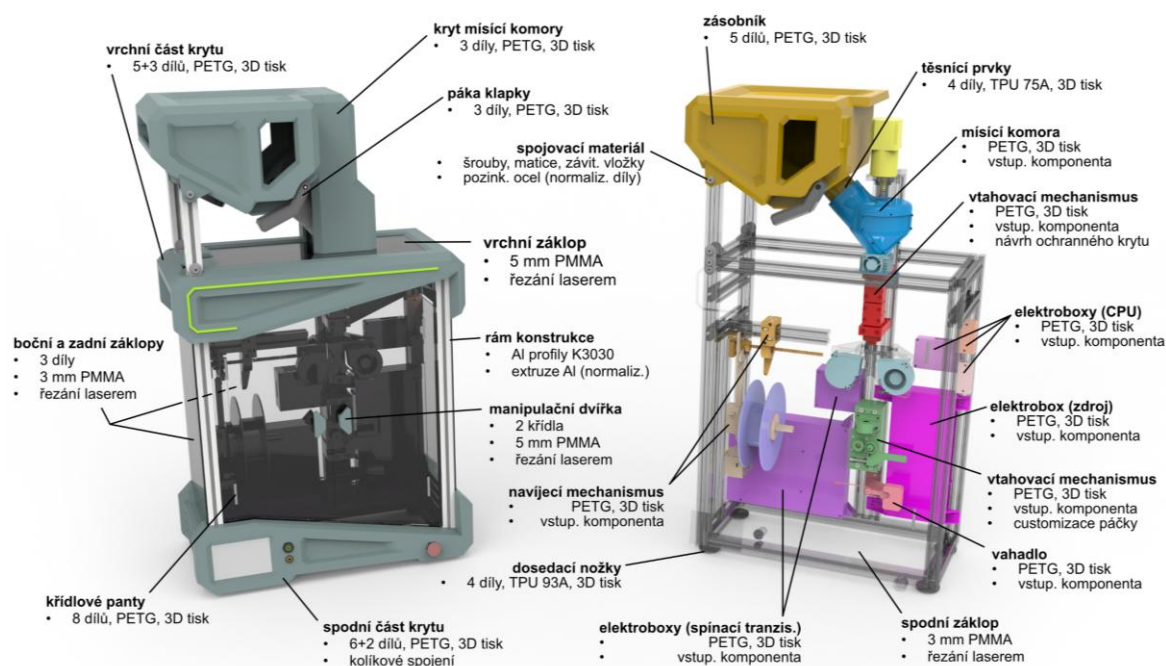
5.2.2 Rozměry

Rozměry předběžného návrhu krytování vycházejí logicky ze vstupní konstrukce. Základní rozměry celku činí 1023 x 625 x 310 mm, celkový systém pláště je členěn do třech sekcí. Jmenovitě se jedná o vrchní nástavbu nad blokem zahrnující zásobník o předběžné velikosti 326 x 228 x 310 mm doléhající na snímatelný kryt mísící komory a dále vrchní část bloku se světelným panelem a úchyty pro ruce o šířce 160 mm. Vrchní část krytu je následně propojena zadní spojnici se spodní částí krytu, kde je integrovaný ovládací panel a z boku signifikantní ventilační mřížky. Plošné záklopy, jako jsou stříška, dno, bočnice a zád, jsou tvořeny průhledným plexisklem o tloušťkách 3 a 5 mm. Podobně stavěná dvoukřídlá dvířka, opatřena madly s polohou ve výšce 352 mm, jsou lichoběžníkového tvaru s pevnou šířkou 420 mm a variabilní výškou od 394 mm do 551 mm.



Obr. 5-8 Rozměrové řešení předběžného návrhu

5.2.3 Materiály a výroba



Obr. 5-9 Schéma popisující materiály a způsob výroby vybraných komponent

NOSNÝ SKELET

Základní kostru zařízení tvoří rámová konstrukce z hliníkových profilů typu K3030 v různých délkách. Zmíněné profily byly zvoleny pro svou dostupnost, vysokou tuhost při současném zachování nízké hmotnosti a všestrannost umožňující snadnou montáž vnitřních i vnějších komponent. Jedná o sériově extrudovaný konstrukční materiál řezaný pomocí CNC strojů do požadovaných délek. Jednotlivé kusy lze spojovat standardně pomocí šroubů a široké škály úhelníků a vnějších spojovníků, v případě požadavku na atypický spoje je možné profily provrtat naskrz či opatřit závitem.

VNĚJŠÍ SYSTÉM KRYTOVÁNÍ

Veškeré díly vnějšího krytování byly navrženy z materiálu PETG tištěné na FDM 3D tiskárně. Vybraný termoplast byl zvolen pro svou mechanickou a tepelnou odolnost a vyšší houževnatost vzhledem k integraci některých funkčních ploch přístroje (úchyty, spodní nosná část krytu, výklopný zásobník apod.). V rámci sériové výroby se počítá s možným nahrazením FDM 3DP technologii vstřikováním plastů (injection molding).

Plošné záklopy, kryjící bočnice, zadí, stříšku a dno přístroje, jsou tvořeny z čirého polymethylakrylátu (PMMA) vyřezaného laserem do požadovaných tvarů. Krycí PMMA (bočnice a zadí) jsou navrženy z 3 mm plexiskla, naopak pro díly funkční, zahrnující nosnou stříšku, dno a dvojici dvířek, bylo vybráno plexisklo s tloušťkou 5 mm.

VNITŘNÍ KOMPONENTY A KRYTOVÁNÍ

Nosná těla vnitřních mechanismů, jmenovitě mísící komora, vtahovací mechanismus, konzola pro ventilátory, vahadlo a navíjecí mechanismus, jsou spolu s několika elektroboxy jsou realizovány taktéž z PETG metodou 3D tisku. Zmíněné uskupení vnitřních komponent bylo součástí vstupních dat od firmy Protolab, k němuž byl dodatečně ze stejného materiálu navržen také ochranný kryt pro tepelné články a několik krytů (záslepek) pro odstínění odhalených zadních částí elektrických ploch a koncovek (displej, stavový panel, tlačítka apod.). V poslední řadě byly do vnitrobloku integrovány také kabelové klipy vyrobené též z flexibilního PETG tištěné na 3D tiskárně.

Dále pro realizace atypických pryžových součástí přístroje, jakou jsou unikátní kroužková těsnění, vymezovací kroužky či protiskluzové nožky, byl navržen flexibilní termoplastický polyuretan (TPU) o různých tvrdostech v závislosti na místě použití.

SPOJOVACÍ MATERIÁL

Spojení jednotlivých dílů konstrukčních profilů k sobě a vnějšího systému krytu (nástavby) k hliníkovému rámu je realizováno pomocí normalizovaných spojovacích prvků, konkrétně šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem či šroubů s půlkulatou hlavou a vnitřním šestihranem z pozinkované oceli. Uvažuje se taktéž použití otočných a zásuvných kamenů pro drážkové systémy, rohových úhelníků a v neposledních řadě také mosazných vložek s vnitřním metrickým závitem.

5.3 Odhad výrobních nákladů a objemu výroby

5.3.1 Odhad ceny

Odhad ceny předběžného návrhu se pohybuje okolo 37 000 Kč (viz. Tab. 5-1). Započítány jsou veškeré elektronické komponenty, konstrukce z hliníkových profilů K3030, spojovací materiál a veškerý spotřební materiál pro aditivní výrobu krytování. Částka reprezentuje pouze čisté investiční náklady na pořízení hardwaru pro realizaci plně funkčního prototypu, protože do celkové sumy není zahrnuta hodnota lidské práce během kompletace, programováním řídicích jednotek, testování apod. Bezprostředně po uvedení se zvažuje kusová výroba zhruba 10–20 kusů za rok, dle úspěšnosti a funkčnosti prototypu.

Tab. 5-2 Odhad cen nákupu veškerých komponent

KOMPONENTY	CENA
Rám (konstrukční profily K3030)	2 500 Kč
Spojovací materiál (šrouby, matice, úhelníky, panty)	4 700 Kč
Krokové motory	3 200 Kč
Šnek extrudéru, vložka, hotend + topné elementy vč. izolace	7 200 Kč
Chladicí ústrojí (ventilátory)	750 Kč
Elektroboxy (napájení, měnič 230 V, tranzistorový, Raspberry)	3 300 Kč
Hlavní řídicí jednotka – Raspberry Pi	1 200 Kč
Řídicí jednotka navíjení – Arduino Nano R3	800 Kč
Vahadlo s potenciometrem pro regulaci otáček	400 Kč
Vtahovací mechanismus (kladky, mechanika, pružiny)	1 500 Kč
Navíjecí mechanismus (kladka, řemen, osa, uchycení, ližiny)	2 000 Kč
Ovládací panel (dotykový displej, tlačítka, reset, emergency)	1 800 Kč
Stavové panely (LED pruhy)	400 Kč
Mechanika zásobník (panty, klapka, šrouby, těsnění, adaptér)	800 Kč
Průzory, dvířka, boky skříně – PMMA (čiré)	2 200 Kč
Kryt, násypka, elektroboxy – dle spotřeby filamentu (PETG)	3 200 Kč
Veškerá kabeláž, konektory, svorky	1 200 Kč
ODHADOVANÁ CENA CELKEM	37 150 Kč

6 DETAILNÍ NÁVRH

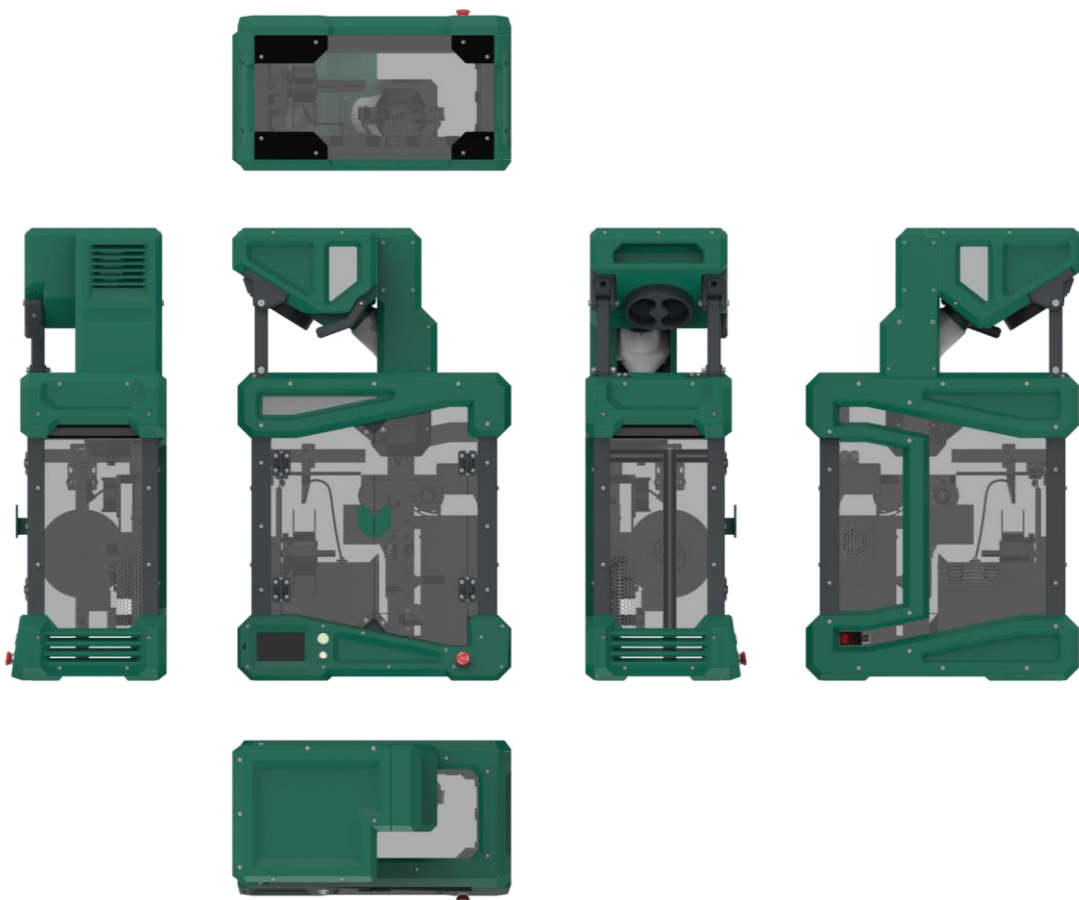
6.1 Tvarové řešení

Finální řešení se od předběžného návrhu liší zejména ve větší vizuální sofistikovanosti s důrazem na vyrobiteľnost a bezpečnost. Přestože byla z předchozího návrhu převzata signifikantní ostrá industriální forma předsádky s výraznými úhly a prolisy, v konečném návrhu určeného k realizaci jsou veškeré úkosy i prohlubně zaobleny a uceleny do více familiární podoby. Podobných úprav se dočkaly také průzory nebo dvířka, které kvůli bezpečnosti prošly v podobě sražení a následného zaoblení hran. Finální vzhled celkového systému krytování byl tak vyčištěn a sjednocen s důrazem na symetrii horní a dolní části krytové nástavby.

Z hlediska vyrobiteľnosti a potřeby zrealizovat funkční prototyp bylo na místě zohlednit také způsob členění jednotlivých tištěných i na laseru řezaných dílů. Související snadná demontovatelnost navíc dala za vznik myšlence realizovat stavebnicový systém (nástavby), kde každá sekce, od zásobníku až pod spodní část je tvořena z několika dílů spojených šrouby k sobě nebo rovnou ke konstrukci v závislosti na funkci. To zajistí mimo jiné také snadnější opravitelnost při výměně komponent či jednodušší údržbu.



Obr. 6-1 Finální návrh (perspektivní pohledy)



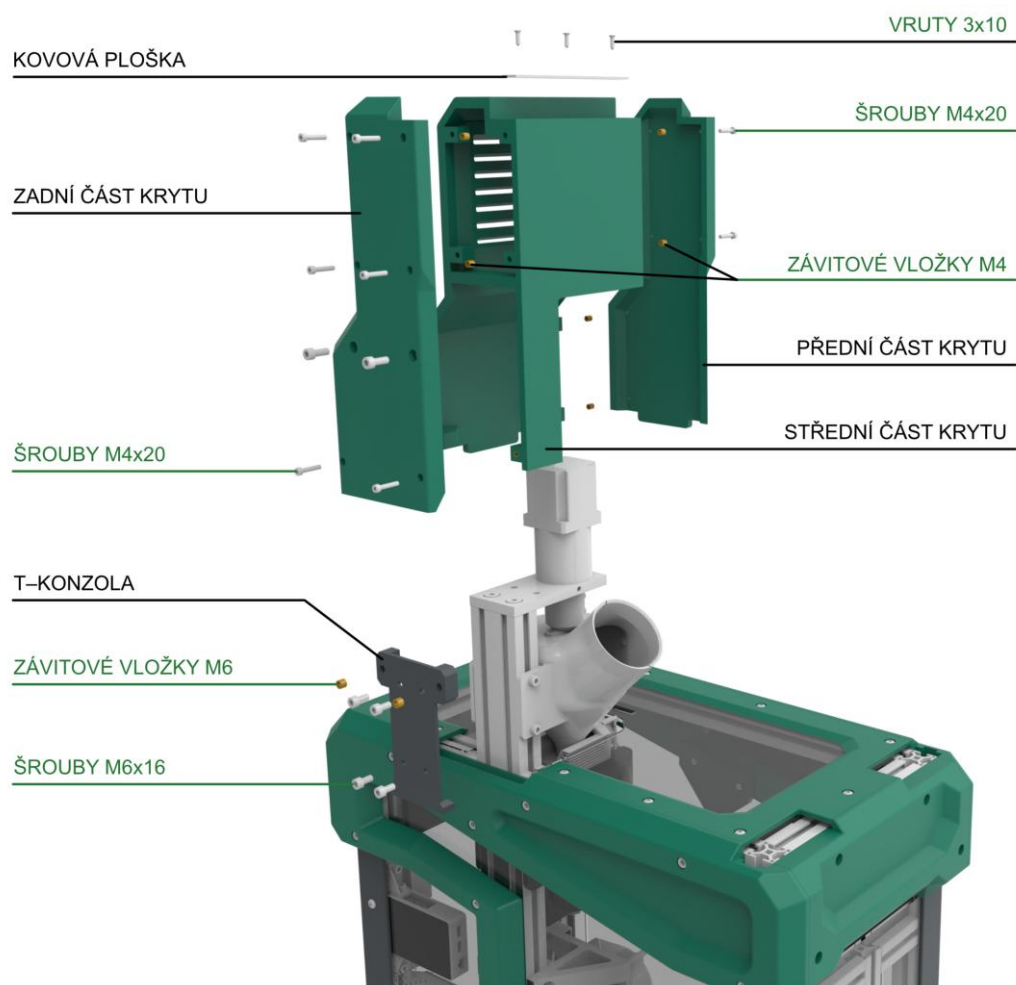
Obr. 6-2 Schéma finálního návrhu (rozklad na ortogonální pohledy)

6.1.1 Technické řešení

ČLENĚNÍ SESTAVY

Komplexní krytová nástavba je členěna do několika sekcí. Většina komponent byla vyrobena technologií 3D tisku z materiálu PETG (tyrkysová a antracitová barva), zatímco zbylé, plošné základy jsou původem z PMMA (transparentního plexiskla) řezaného na laseru.

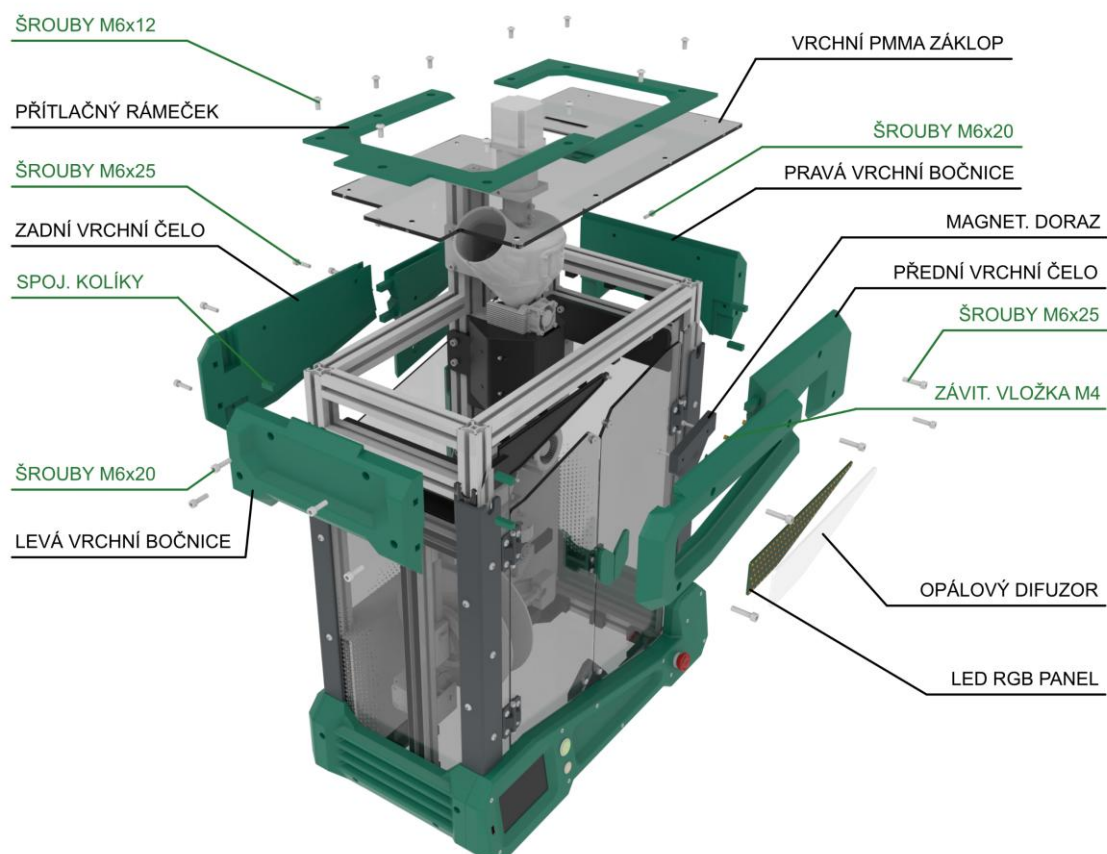
V nejvyšším bodě přístroje najdeme výklopný zásobník s průzory pro kontrolu hladiny vstupního materiálu. Kompletně tištěný zásobník se skládá z vany a víka. Na tělo zásobníku je připevněna dále dvojice pantů a ramének, které určují směr rotace vyklápění a páčka s klapkou uzavírající přírubu při vyklápění.



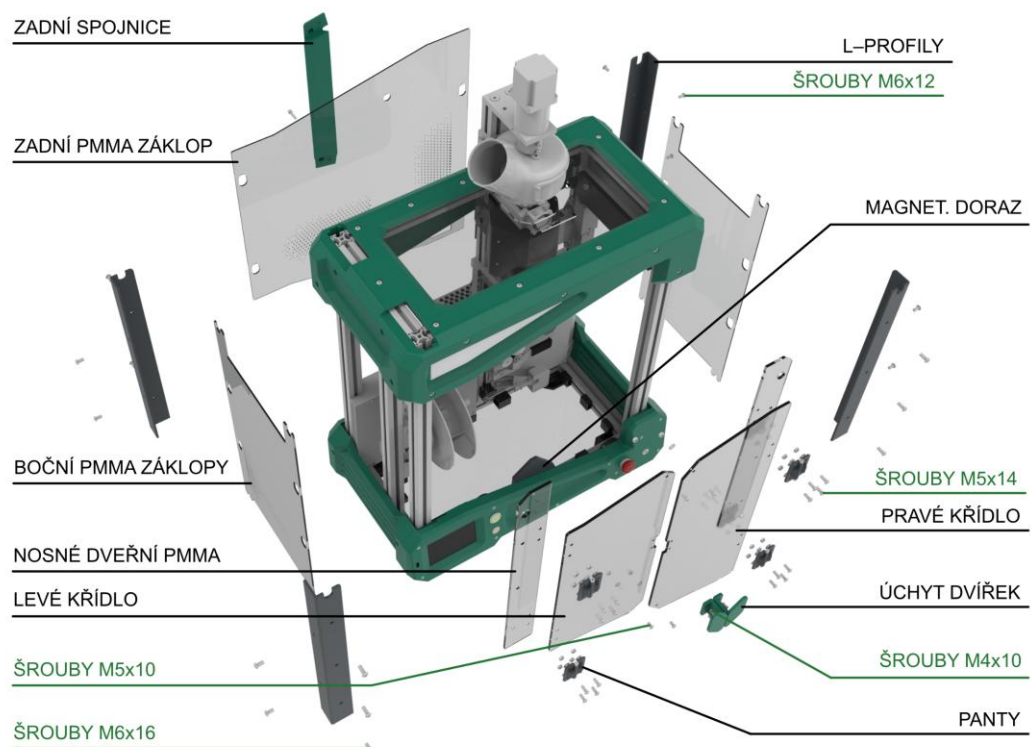
Obr. 6-4 Rozbor dílů – kryt mísicí komory

Vrchní a spodní část krytu hlavního bloku je propojena vertikální spojnící, který kromě přitlačné funkce také zezadu vizuálně obě části krytů vizuálně propojuje.

Ve střední pasáži hlavního bloku najdeme zejména plošné díly (záklopy) z 3 mm silného plexiskla, jmenovitě zad' a obě bočnice. Přední část bloku zahrnuje dvojice lichoběžníkových dvířek se dvěma křídly z 5 mm PMMA, 4 tištěné panty, dvojici úchytů a několik magnetických a mechanických dorazů. Rohy bloků jsou v rámci bezpečnosti opatřeny čtveřicí vertikálních tištěných L-profilů fixujících PMMA záklopy k rámu.



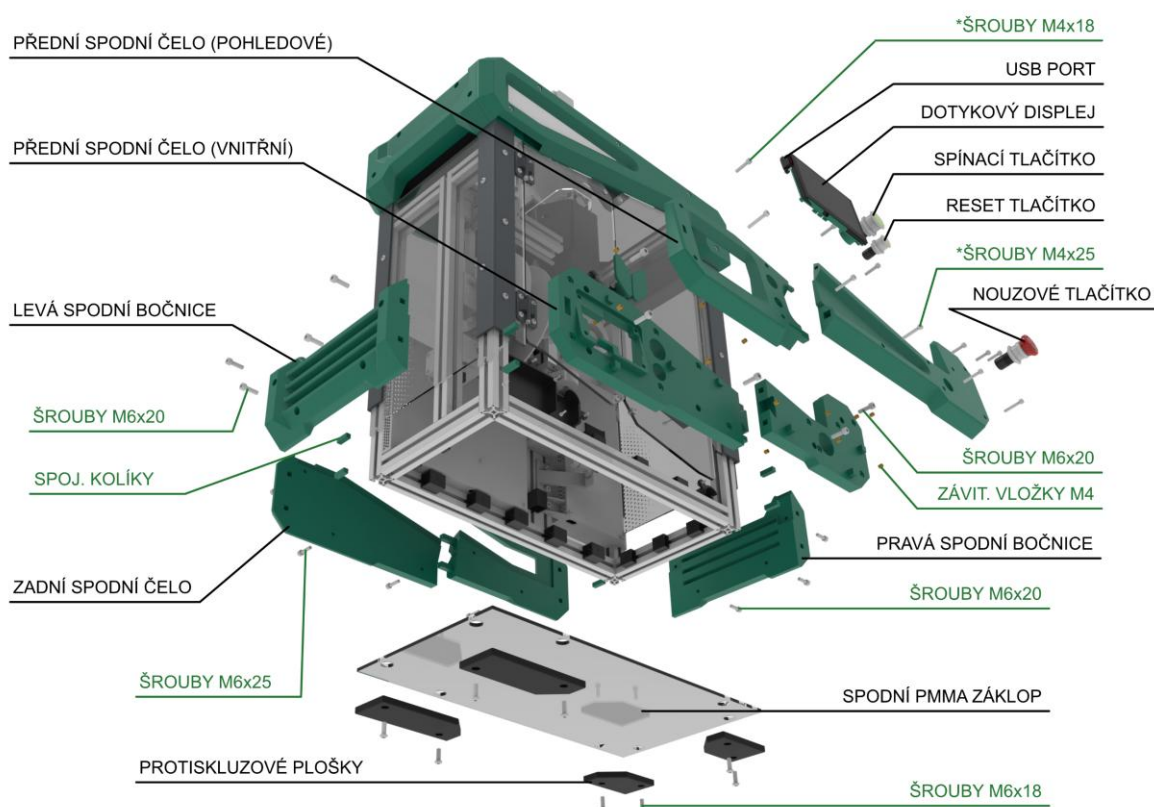
Obr. 6-5 Rozbor dílů – vrchní část



Obr. 6-6 Rozbor dílů – střední část

Důležitá, spodní část krytu hlavního bloku se skládá celkem z 5 dílů, z nichž 3 byly opět navrženy a tištěny napůl kvůli limitaci velikosti tiskové podložky. Dvojice symetrických bočnice disponuje ventilačními otvory umožňující proudění vzduchu do vnitrobloku. V zadní části se nachází výkroj pro napájecí kabel a datové připojení. Přední část se skládá z vnitřní a vnější, pohledové skořepiny. Zatímco vnitřní protikus je spojen s nosnou konstrukcí a zbytkem tištěných komponent, vnější protikus dodává přednímu čelu potřebný náklon pro lepší viditelnost při ovládání. Najedeme zde displej s USB portem a dvojicí tlačítek pro zapínání a reset po levé části a v pravé části se zase nalezneme nouzové tlačítko.

Dno krytu hlavního bloku disponuje záklopem ze 5 mm silného PMMA a čtveřicí dosedacích, protiskluzových plošek tištěných pro změnu z TPU 95A. Z podobného, měkčího materiálu (TPU 85A) byla vytvořena také atypická těsnění, např. mezi víkem a vanou zásobníku, těsnění mezi přírubou a zásobníkem a neposlední řadě také vymezovací (kónické) těsnění mezi přírubou a ústím mísící komory.



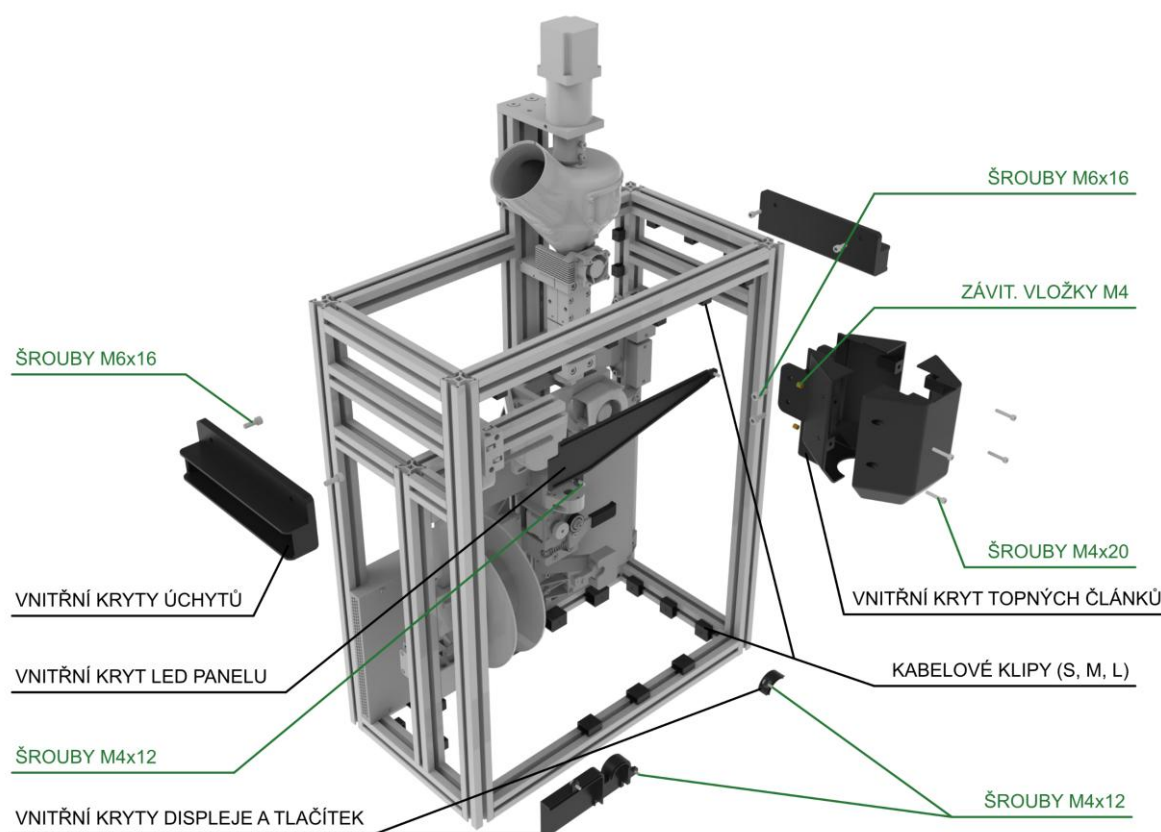
Obr. 6-7 Rozbor dílů – spodní část

Co se spojovacího materiálu týče, v návrhu i při realizaci byly v případě použity metrické šrouby s vnitřním šestihranem o velikostech M4, M6 a M8. Typy s válcovou hlavou byly použity pro zápusné otvory u komponent s dostatečnou tloušťkou materiálu, naopak typy s půlkulatou hlavou byly přiznané z tenkostěnných komponent, dvířek, pantů, krycích profilů a podobně.

Pro upevnění systému krytů k rámu byly použity šrouby M6 s válcovou hlavou spolu s otočným kamenem do drážek konstrukčních profilů. K zajištění hladkého průchodu skrz materiál byly určité otvory v plexisklech patřičně přizpůsobeny.

V případech vzájemného spojení tištěných kusů, jmenovitě víka s vanou zásobníku a příruby, krytu mísící komory a předního spodního čela s ovládacím panelem, bylo použito šroubů M4 a M6 s válcovou hlavou a příslušnými závitovými zápusnými vložkami s vnitřním závitem.

Součástí řešení byl také návrh krytů vybraných vnitřních komponent tištěných též z PETG, konkrétně krytu tepelných článků s vnitřní izolační vrstvou a zadních krytů LED panelu, displeje a tlačítek. Pro sofistikovanější vedení kabelových svazků byl vytvořen také nacvakávací systém klipů do drážek profilů K3030 ve třech velikost (S, M, L).



Obr. 6-8 Rozbor dílů – vnitřní část bloku

FINÁLNÍ ROZMĚROVÉ ŘEŠENÍ

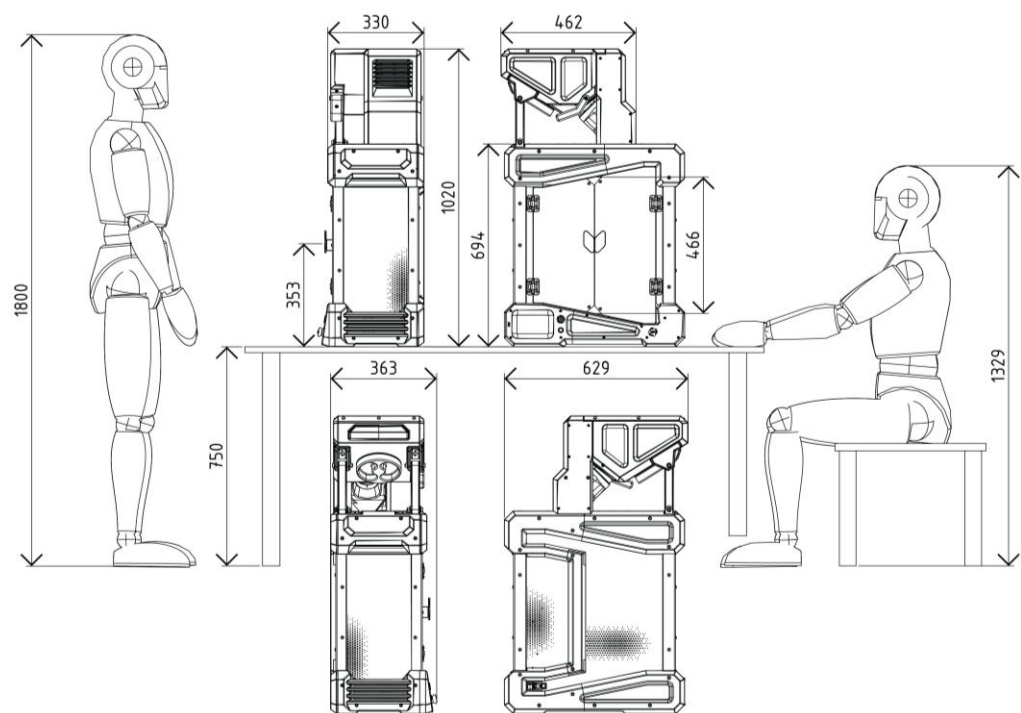
Celkové rozměry finálního návrhu činí 1020 x 629 x 363 mm (výška x šířka x hloubka). Zařízení je konstruováno pro umístění a provoz na stole či pracovní desce, kde bylo počítáno s průměrnou výškou nábytku 750 mm. Výšky veškerých úchopů jsou proto počítány od desky.

Plnicí sekce zahrnuje sklopný zásobník a snímatelný kryt mísící komory (viz. Obr. 6-4). Rozměry zásobníku činí 325 x 310 x 226 mm, přičemž jeho vnitřní objem činí 9,6 dm³. Navazující kryt mísící komory má rozměry 326 x 136 x 196 mm. Velikost průzorového okna ve tvaru klínu 142 mm x 62 mm x 3 mm. Páčku ovládající vnitřní klapku s rozměry 133 x 25 x 41 mm je možné aretovat (otáčet) do dvou poloh svírající úhel 160 °. Dvojice ramen spojující zásobník se zbytkem konstrukce činí 30 x 30 x 181 mm. Celý zásobník je díky sofistikovanému vyklápěcímu systému možné vyklopit až o 192 °. Průměr příruby zásobníku činí 72 mm. Šroubovací víko zásobníku s průměrem závitu 140 mm má vnější průměr 153 mm a výšku 30 mm.

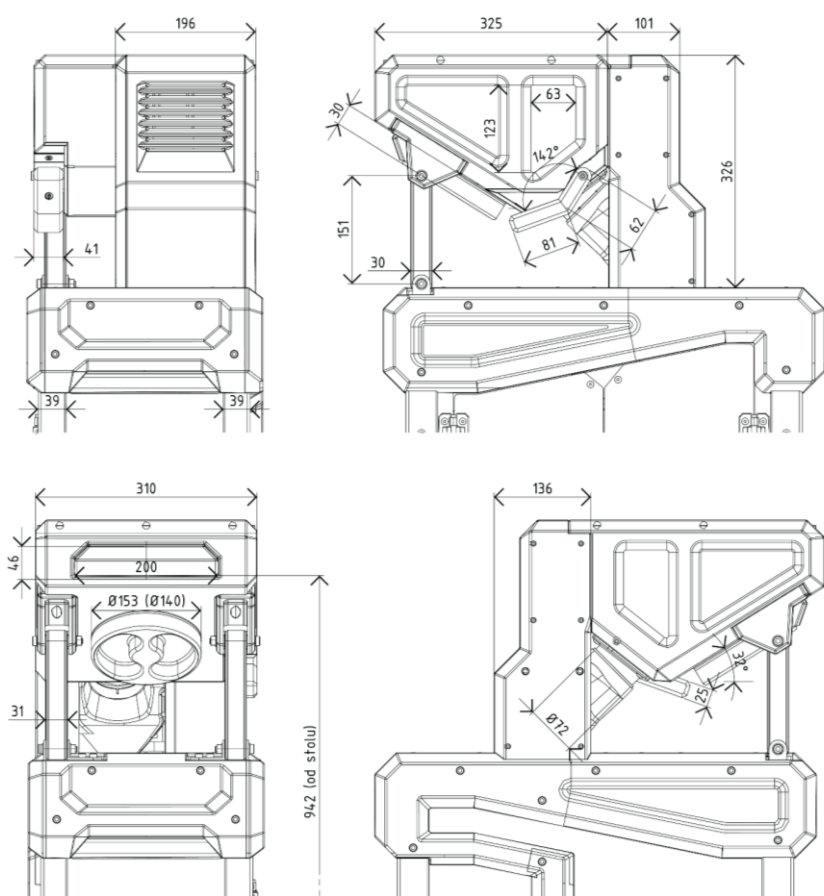
Vrchní sekce zahrnuje FDM předsádku se integrovaným LED panelem ze přední části. Přední a zadní čelo má rozměry 616 x 148 x 25 mm, bočnice s perforací pro symetrické úchopy činí 280 x 148 x 33 mm. Otvor pro úchopy činí 214 x 31 mm a jsou umístěny ve výšce 576 mm nad průměrným stolem (viz. Obr. 6-5). Difuzor stavového panelu s LED diodami vyrobený z mléčného PMMA ve tvaru převráceného klínu má rozměry 258 x 42 x 3 mm.

Středová sekce zahrnuje zejména PMMA záklopy, ochranné L-profilů a dvojici dvířek s úchopy a panty. Panty, jejichž velikost činí 56 x 42 x 11 mm, díky integrovaným dorazům zajišťují maximální bezpečný výklop každého křídla dveří až o 108 °. Velikost obou lichoběžníkových dvířek činí dohromady 539 x 418 x 5 mm, přičemž nejmenší rozměry na výšku činí 398 mm (viz. Obr. 6-6). Co se úchopů týče, každé ze dvojice má rozměry 75 x 36 mm s tloušťkou 5 mm, přičemž vzniklý prostor pro prsty (vzdálenost od dvířek) je 25 mm.

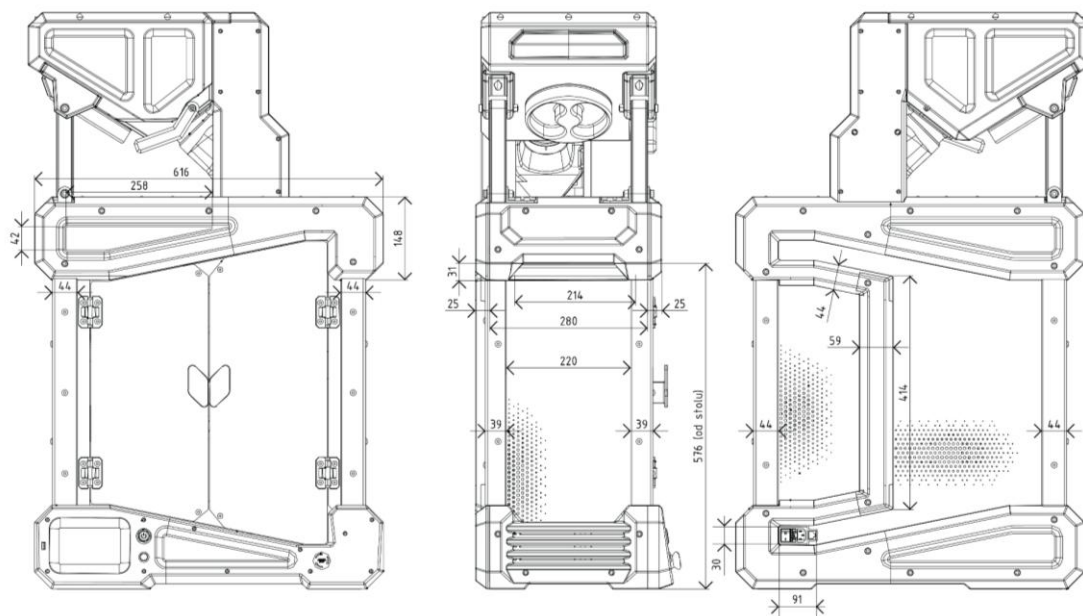
Poslední důležitou sekcí je spodek zahrnující opět zejména FDM předsádku s ovládacím panelem a vstupními prvky. Zadní čelo má rozměry 616 x 148 x 25 mm. Přední čelo je dělené na dvě části, vnitřní a vnější skořepinu. Zatímco vnitřní skořepina nese displej a je spojena s konstrukcí, vnější skořepina funguje jako estetický záklop nesoucí ovládací tlačítka a definující úhel konečný naklopení panelu o 8,5 ° (viz. Obr. 6-7). Celkové rozměry předního čela činí 616 x 148 x 45 mm. Bočnice s integrovanými ventilačními mřížkami disponují velikostí 280 x 148 x 33 mm. Velikost 5“ dotykového displeje činí 108 x 60 mm. Hlavní spínací tlačítko disponuje průměrem 22 mm, menší resetovací má průměr 16 mm. Nouzové tlačítko umístěné v pravé části panelu má průměr 32 mm.



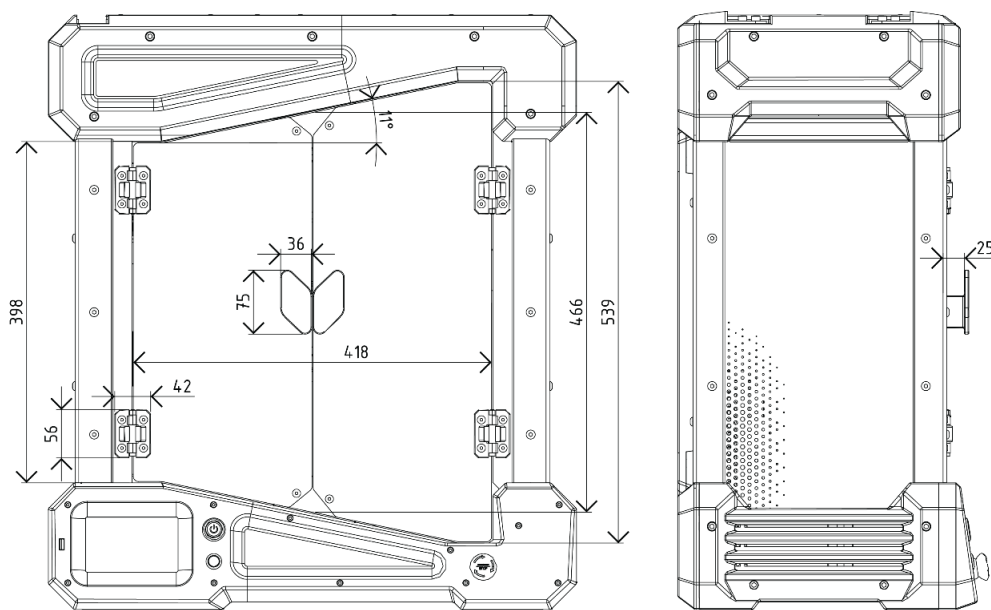
Obr. 6-9 Rozměrové schéma finálního řešení – základní shrnující s ergony



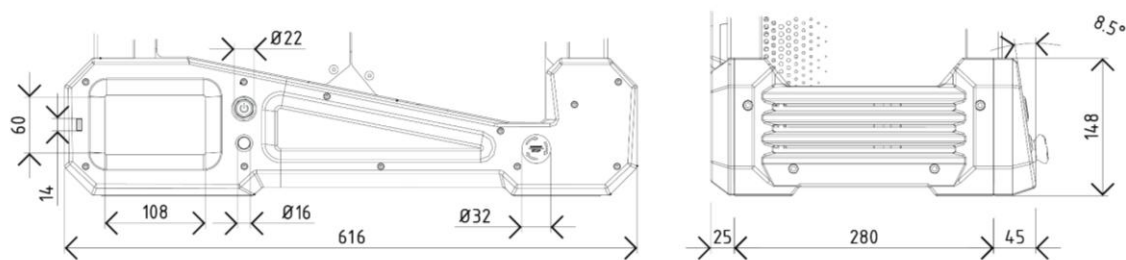
Obr. 6-10 Rozměrové schéma – detail zásobníku a krytu mísící komory



Obr. 6-11 Rozměrové schéma – detail vrchní sekce, úchytů, L-profilů, zadní spojnice a vstupy



Obr. 6-12 Rozměrové schéma – detail středové sekce (dvířka, panty a úchopy)



Obr. 6-13 Rozměrové schéma – detail spodní sekce (ovládací panel, boční ventilační mřížky)

6.2 Ergonomické řešení

Tato kapitola popisuje chronologickou cestou jednotlivé sekce přístroje, s nimiž přímo uživatel interaguje a které mu jsou uzpůsobeny svým přívětivým tvarem a vizuálem. Ergonomická optimalizace se týká zacházení se zásobníkem a krytem mísící komory. Dále je popsán proces operování dvířky a vnitřním komponentami spolu s ovládacím panelem.

6.2.1 Manipulace se zásobníkem

Před zahájením samotného procesu extruze je nezbytné naplnit zásobník odpovídajícím vstupním materiálem. Tím může být buď drcený FDM plast (typicky PLA, PETG či ABS vždy řádně rozsortovaný dle typu) nebo použitý PA (nylonový) prášek z SLS tisku. První uživatelský krok spočívá v otočení ovládací páčky o 160° do vodorovné polohy směrem nahoru. Aretace v této pozici pomocí integrovaných magnetů spolehlivě zamezuje nahodilému vysypávání zbytkového materiálu z příruby ven během následného překlápění. Tento jednoduchý mechanismus propojuje vnitřní klapku s páčkou, která při změně polohy dočasně utěsní výstupní otvor pro materiál.



Obr. 6-14 Ovládání klapky pomocí páčky – vlevo otevřený stav, vpravo zavřený stav

Samotný proces překlápění je realizován úchopem zásobníku za integrované vnitřní madlo situované na boční straně nad pantovým systémem. Jemným tahem směrem doleva dojde k vysunutí příruby z ústí mísící komory, přičemž se zásobník začne vyklápět v ose horních i spodních pantů naráz. Pro plnění je nutné zásobník překllopit tak, aby spodní část vany směřovala vzhůru a uživateli se plně odkryl prostor s plnicím otvorem. K zamezení nežádoucí kolize vyklopeného zásobníku s vrchní částí krytové nástavby přístroje je mechanismus v oblasti pantů opatřen mechanickými dorazy, které přesně definují maximální přípustnou trajektorii a koncovou polohu vyklopení.



Obr. 6-15 Postup při plnění zásobníku (úchop, vyklopení, odšroubování víčka zásobníku)

Samotný proces plnění zásobníku je realizován uvolněním kulatého víčka s upraveným pravotočivým závitem, které se standardně povoluje otočením doleva. Po jeho sejmutí přichází na řadu nasazení plničky, jehož primární funkcí je eliminace úniku prachu a rozptylu pevných plastových částic do okolí během dávkování materiálu.

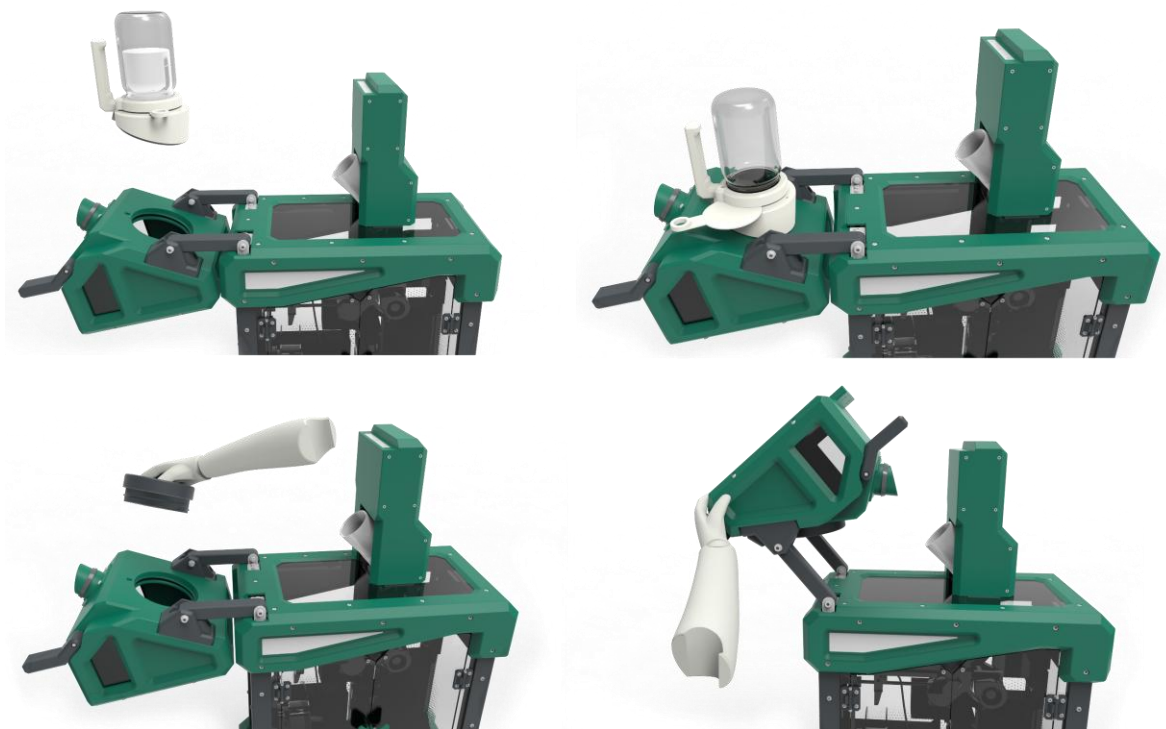
Tento adaptér s plnicí nádobou tvoří sestava tří dílů vytištěných z materiálu PETG. Jmenovitě jde o držák opatřený závitem uzpůsobeným pro upevnění na sklenici s průměrem hrdla 100 mm, dále o naběrací část a excentrický uzávěr ve formě klapky. Ta slouží k dočasnému a bezpečnému uzavření nádoby při následné manipulaci a překlápění obsahu sklenice přímo do zásobníku.



Obr. 6-16 Návrh plnicího zařízení k bezprašnému plnění zásobníku zejména práškovým PA

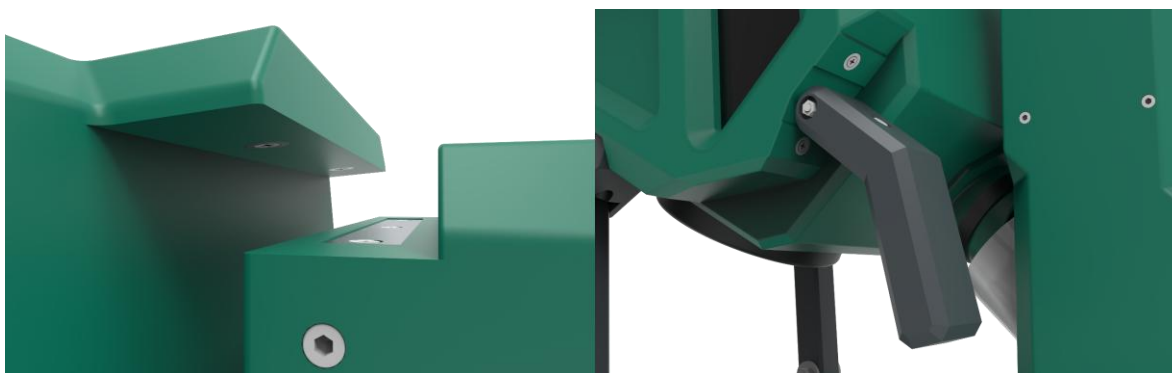
Uzavřená a naplněná plnička se následně přiloží k plnicímu otvoru zásobníku. Jeho poloha je definována pomocí aretačního otvoru, do kterého přesně zapadne fixační kolík u naběrací části. Po zasazení otevře uživatel excentrický uzávěr, čímž se obsah sklenice vlivem gravitace přesype dovnitř. V případě použití SLS prášku je doporučeno před vyjmutím adaptéru chvíli počkat, než se létavé mikročástice usadí.

Následně proběhne opačný proces spočívající v opětovném zavření excentrického uzávěru a následného vyjmutí plničky. Po zašroubování víčka se zásobník překlápí zpět do své výchozí polohy. Během tohoto kroku je nezbytné správně zasunout ústí zásobníku do ústí mísicí komory. K tomu dopomáhá další integrovaná dvojice dorazů, která přesně vymezuje trajektorii a zajišťuje tak snadné a intuitivní zavedení. Vzniklý prostor mezi přírubou a ústím komory je nakonec vymezen a spolehlivě utěsněn speciálním kónickým kroužkem vytištěným z flexibilního materiálu TPU.



Obr. 6-17 Vizualizace způsobu plnění zásobníku (přiložení plničky, otevření excentrického uzávěru, zašroubování víčka, zaklopení zpět a uvolnění páčky)

Obdobně jako ovládací páčka klapky je i samotný zásobník ve své výchozí poloze bezpečně zajištěn dvojicí magnetů ke kovovému protikusu. Toto konstrukční řešení spolehlivě eliminuje riziko neplánovaného vyklonění či rozpojení vlivem nahodilého kontaktu (drcnutí apod.). Aktuální stav a množství vstupního materiálu lze během provozu stroje průběžně vizuálně kontrolovat skrze integrované transparentní průzory. Celkový objem takto navrženého zásobníku činí 9,7 dm³.



Obr. 6-18 Magnetické dorazy u zásobníku a páčky



Obr. 6-19 Naplněný zásobník – zařízení připraveno k použití

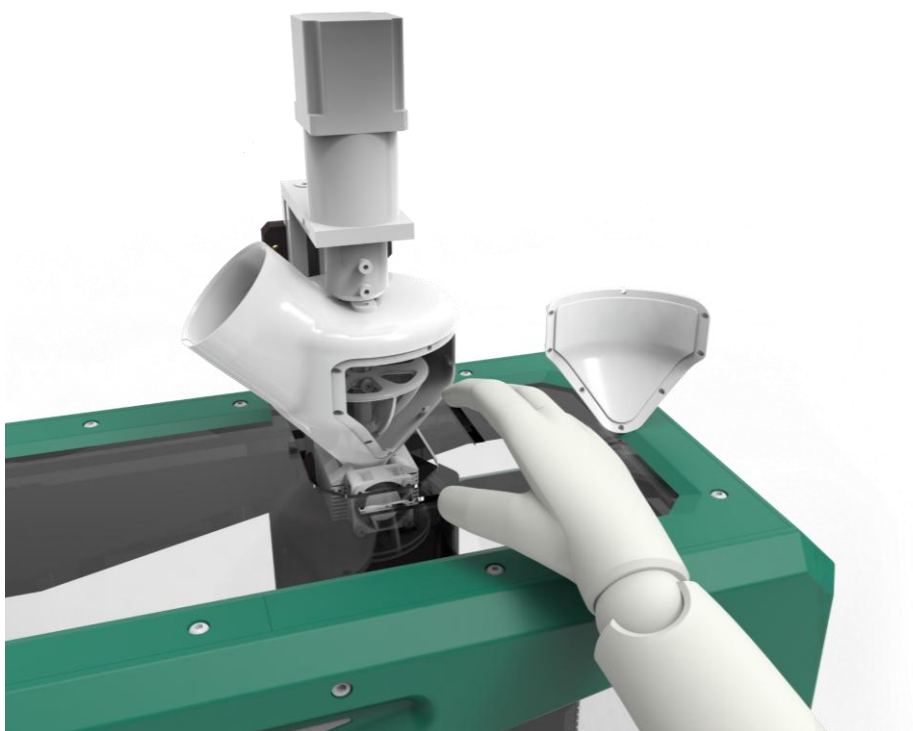
6.2.2 Kryt mísící komory

Kryt mísící komory, kde dochází k míšení a posunu materiálů pomocí šneku do tavicí části přístroje, je potřeba čas od času vyčistit, například při změně vstupního materiálu. Z toho důvodu – návrh odnímatelného systému krytu. Třídílný kryt s ventilační mřížkou lze jako celkem vysunout horizontálně při plně vyklopeném zásobníku a povolení dvojice šroubů v zadní části. Způsob zacházení je vyobrazen na obrázku níže.

Mísící komoru, v níž dochází k promíchávání a následnému posunu materiálu pomocí šnekového mechanismu do tavicí zóny, je potřeba čas od času vyčistit, a to především při změně typu vstupního plastu. Z tohoto důvodu byl pro tuto sekci navržen systém odnímatelného krytky. Tento třídílný celek, jehož součástí je také integrovaná ventilační mřížka, lze jako jeden kus jednoduše horizontálně vysunout. Nutné pro tento úkon je uvedení zásobníku do plně vyklopené polohy a následné uvolnění dvojice zajišťovacích šroubů situovaných v zadní části bloku. Přesný postup manipulace a celkový způsob zacházení je názorně vyobrazen na obrázku níže.



Obr. 6-20 Způsob snímání (vertikální vysunutí) krytu mísící komory



Obr. 6-21 Manipulační prostor v rámci občasného čištění mísící komory

6.2.3 Dvířka a vnitřní komponenty

Po doplnění a zajištění zásobníku a dokončení nahřívání topných článků lze přistoupit k zahájení samotného procesu extruze. Ovládání probíhá skrze rozhraní dotykového displeje, kde uživatel navolí specifický program odpovídající typu vstupního materiálu. Vnitřní komponenty stroje jsou situované za lichoběžníkovými dvířky, která se otevírají a zavírají pomocí úchopů umístěných na středu. Každé z křídel je možné samostatně vyklopit až do úhlu 108° , přičemž tato mezní poloha je přesně definována mechanickým dorazem. Pro spolehlivou aretaci v zavřené poloze jsou obě křídla opatřena kovovými šrouby, které jsou při dovření fixovány k protilehlým dorazům s integrovanými magnety.

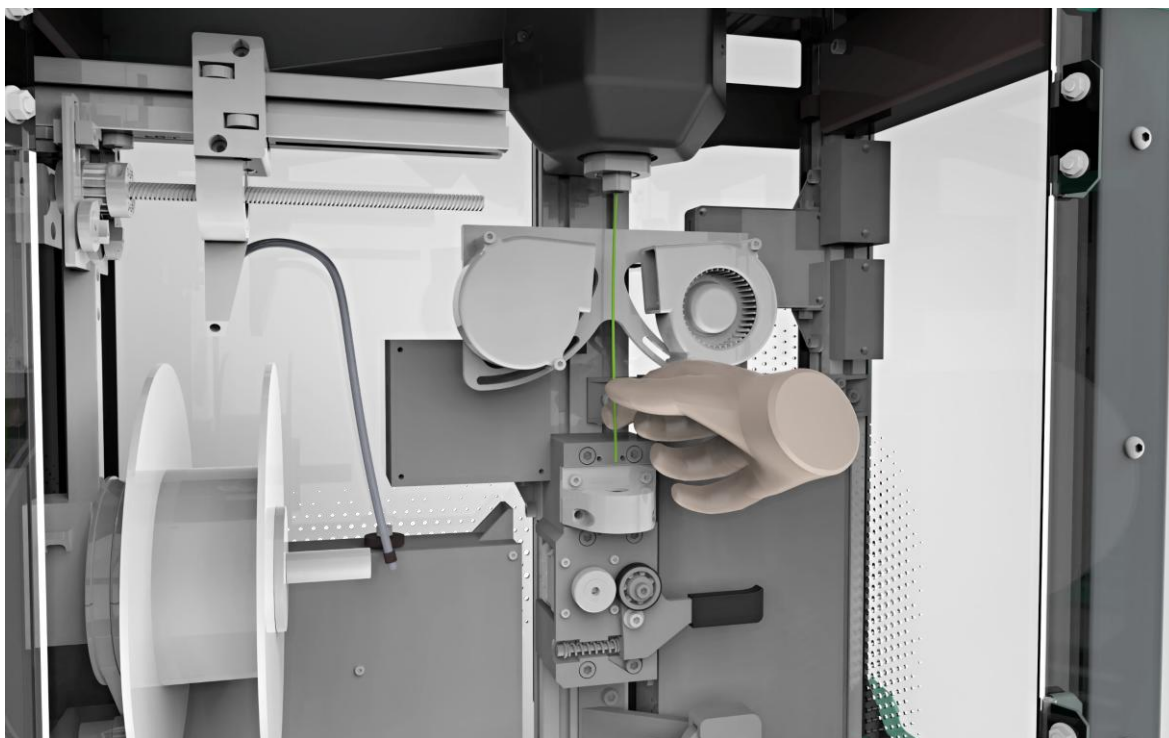


Obr. 6-22 Způsob otevírání dvoukřídlých dveří (otevření do 108°)

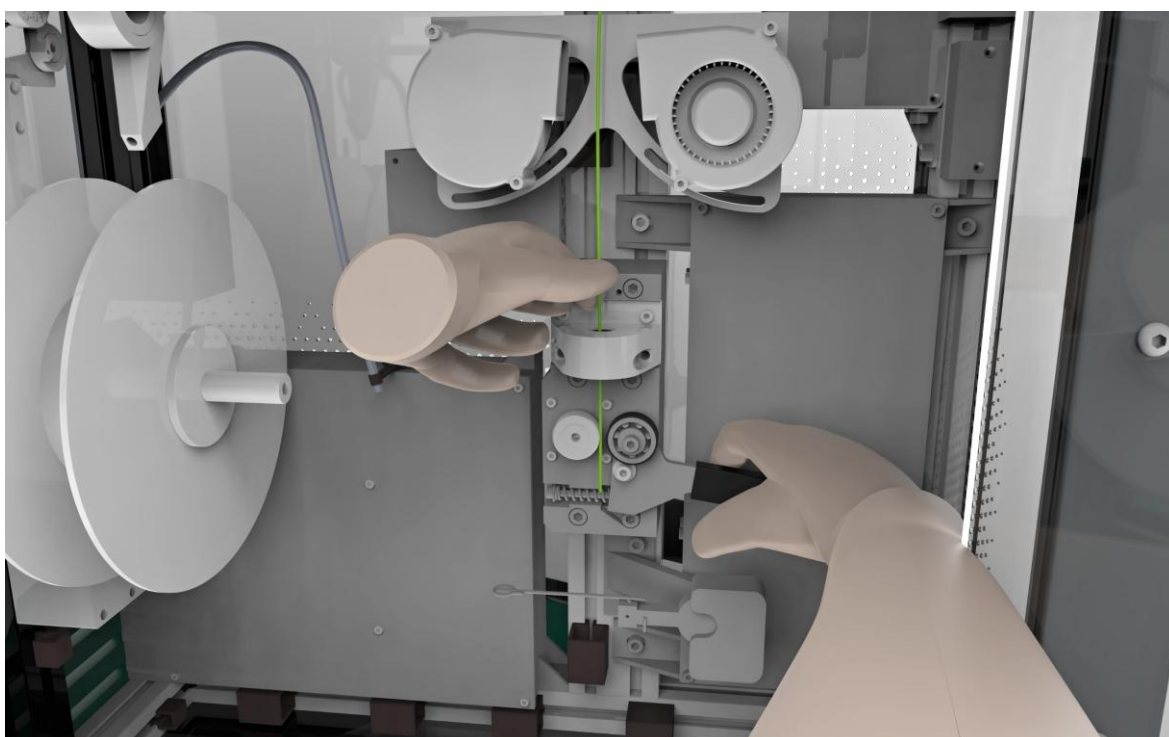


Obr. 6-23 Detail magnetických dorazů a pantů s dorazy definující maximální výklop

Jakmile je zahájen proces extruze, začne z trysky vystupovat první tvarově neforemná struna, kterou je nezbytné manuálně zavést do průvlaku vtahovacího mechanismu a poté do prostoru mezi dvojicí kladek. Sestava se skládá z hnací kladky, jež je napojena přímo na krokový motor, a z protilehlé hnané, přítlačné kladky. Pro bezproblémové zavedení struny je nutné přítlačný mechanismus dočasně excentricky rozevřít (vychlípnout) stiskem ovládací páčky. Ta po uvolnění automaticky zajistí potřebný přítlak struny vůči hnací kladce pro posuv.



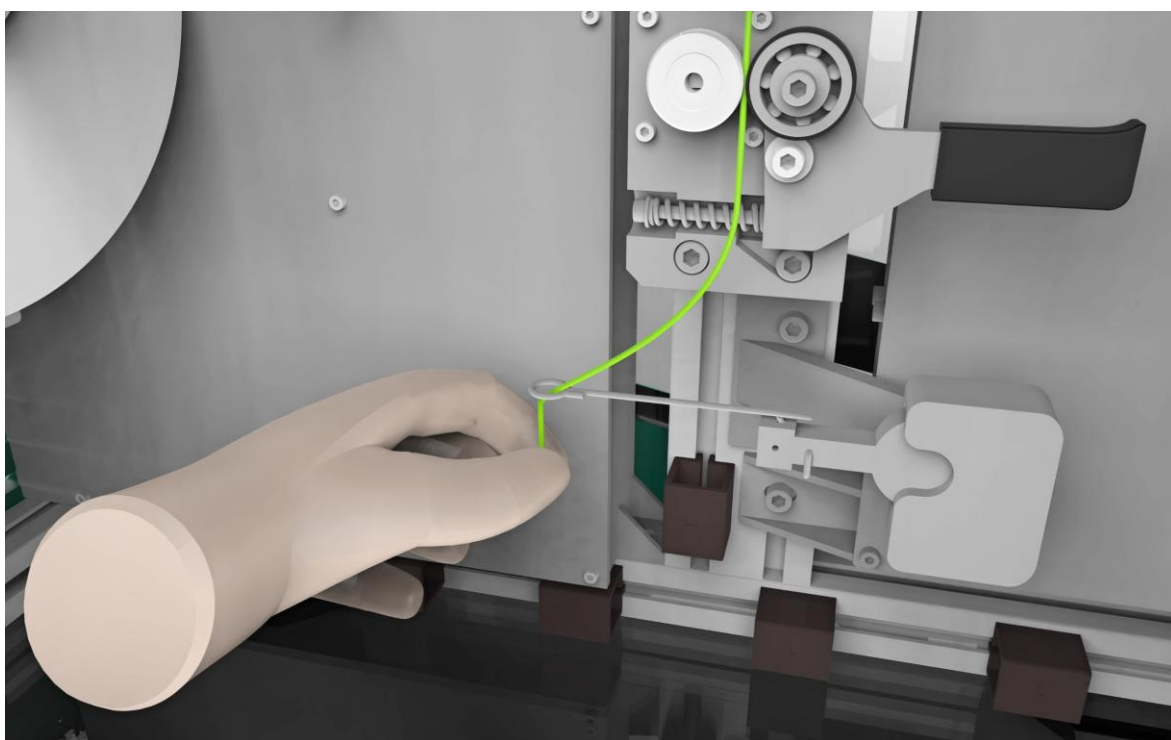
Obr. 6-24 Způsob protahování surové struny vtahovacím průvlakem



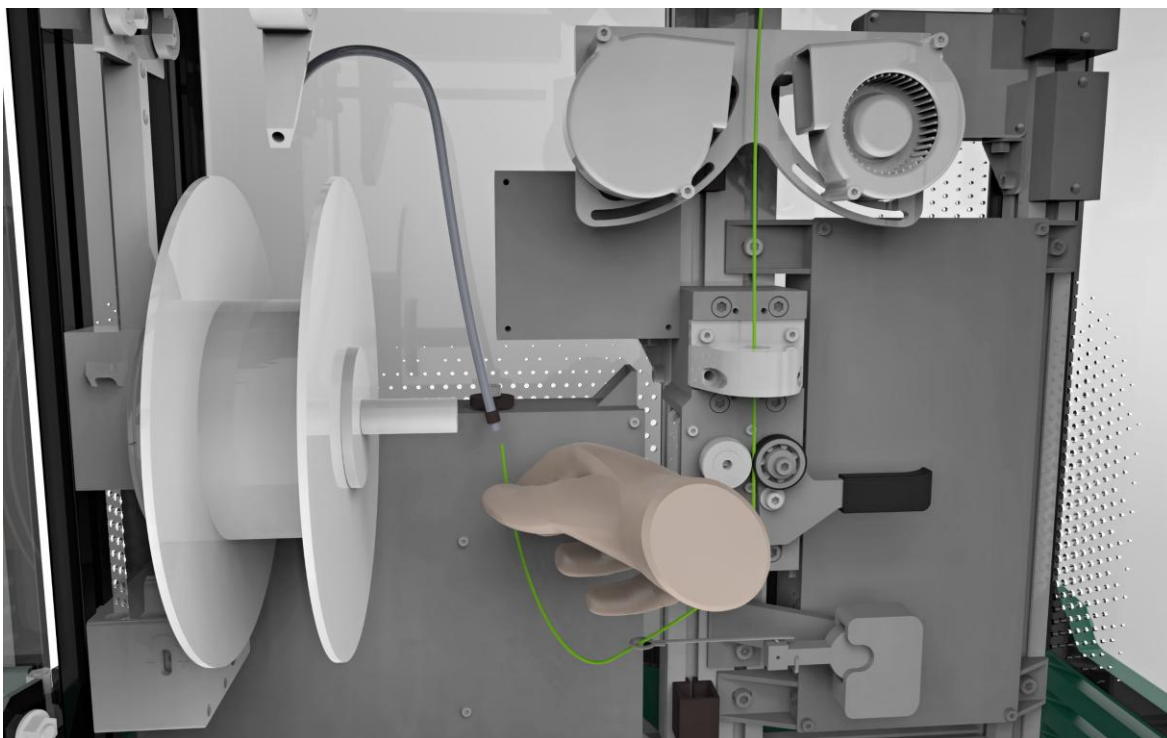
Obr. 6-25 Detail ovládání s páčkou napínací kladky

Jakmile se posun struny ustálí a její tvar i průměr dosáhnou stabilních parametrů díky softwarově řízené synchronizaci rychlosti extruze, intenzity chlazení a tahu vtahovače, je nutné manuálně prvotní neforemný konec odstříhnout. Čistý profil struny se následně provlékne vodícím očkem raménka vahadla, které slouží k regulaci rychlosti samotného navíjení.

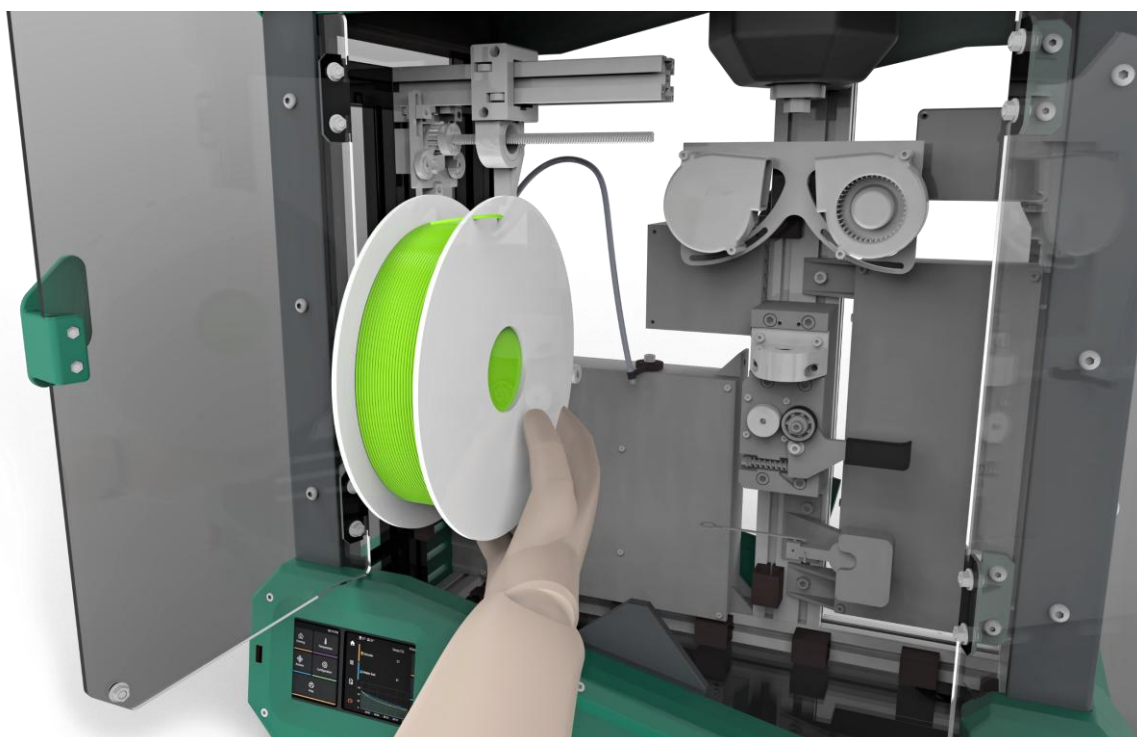
Poté se struna zavede skrze PTFE vodící bovden až k navíjecímu raménku, kde se její konec zafixuje k vnitřnímu válci prázdné cívky. Po tomto mechanickém zajištění uživatel potvrdí proces navíjení na dotykovém displeji a provede úvodní vizuální kontrolu synchronizace celého systému. Od tohoto momentu již probíhá proces plně automaticky. Jakmile je kapacita cívky naplněna, systém prostřednictvím displeje a stavového panelu zahlásí dokončení úlohy a hotovou strunu je možné ze zařízení odebrat.



Obr. 6-26 Detail provlékání zastřížené struny očkem vahadla



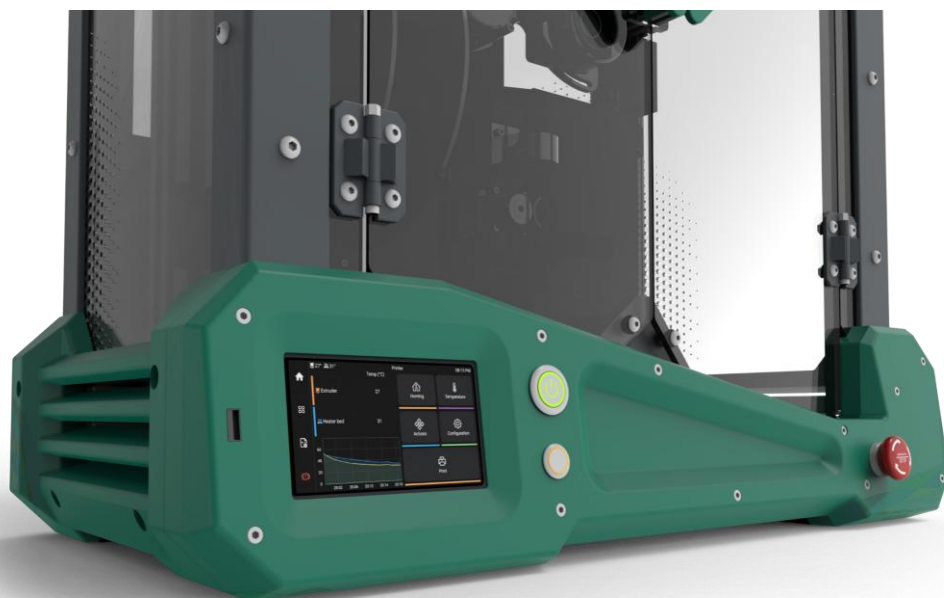
Obr. 6-27 Detail provlékání filamentu PTFE trubičkou přes navíjecí raménko k prázdné cívce



Obr. 6-28 Detail odebrání výsledné recyklovaného filamentu na cívce

6.2.4 Ovládací a stavový panel

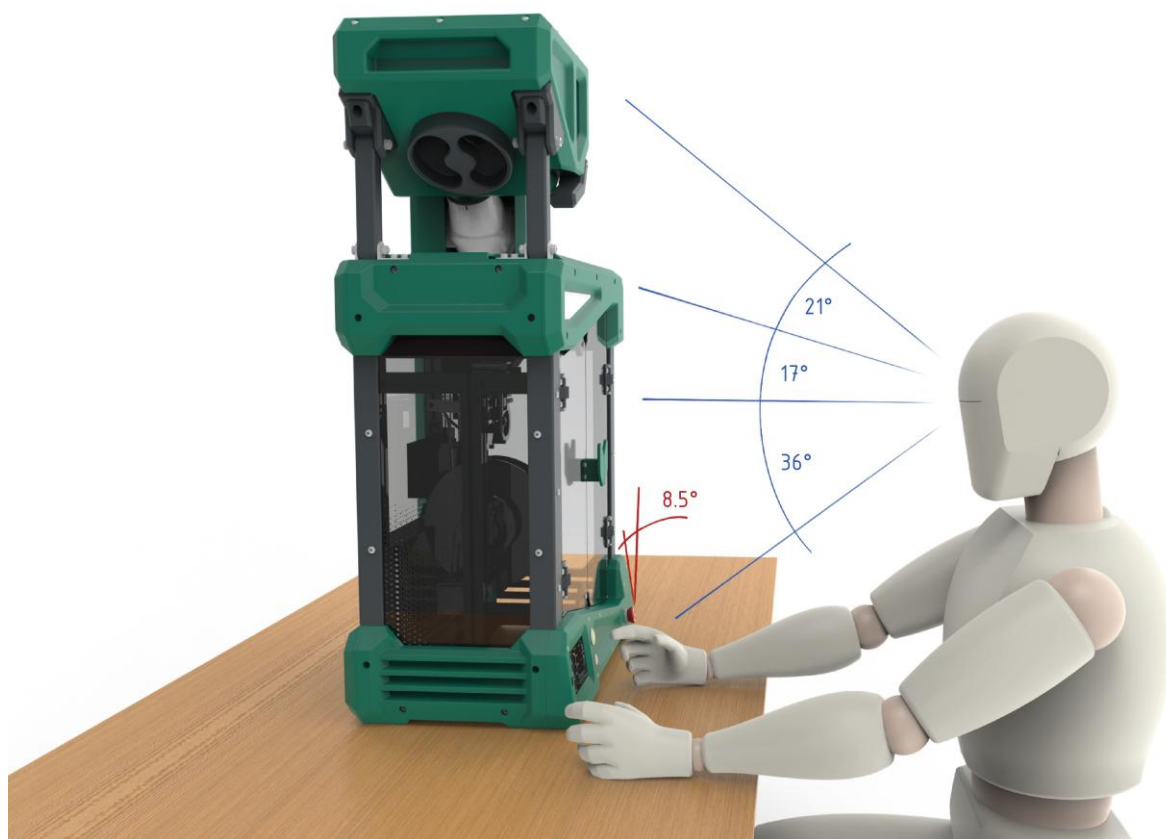
Dominantním prvkem spodní části krytování je ovládací panel. Zahrnuje velký 5" dotykový displej, po jehož levé straně se nachází vstupní port USB-A určený pro systémové ladění. Napravo od displeje je umístěno hlavní spínací tlačítko o průměru 19 mm pro aktivaci přístroje doplněné o menší resetovací tlačítko o průměru 14 mm. V pravé části panelu opodál je situováno kovové nouzové tlačítko hříbovitého tvaru o průměru 32 mm. Vzhledem k tomu, že obsluha stroje bude probíhat výhradně vsedě, byla celá plocha panelu nakloněna o úhel 8,5°, což výrazně zlepšilo viditelnost displeje z této pozice. Zbylé vstupy jsou situovány do zadní části přístroje. Nachází se zde napájecí 230V konektor s kolébkovým vypínačem s integrovanou pojistkou poblíž. Hned vedle něj je umístěn ethernetový konektor umožňující připojení zařízení k síti pro účely vzdálené správy.



Obr. 6-29 Detail ovládacího panelu

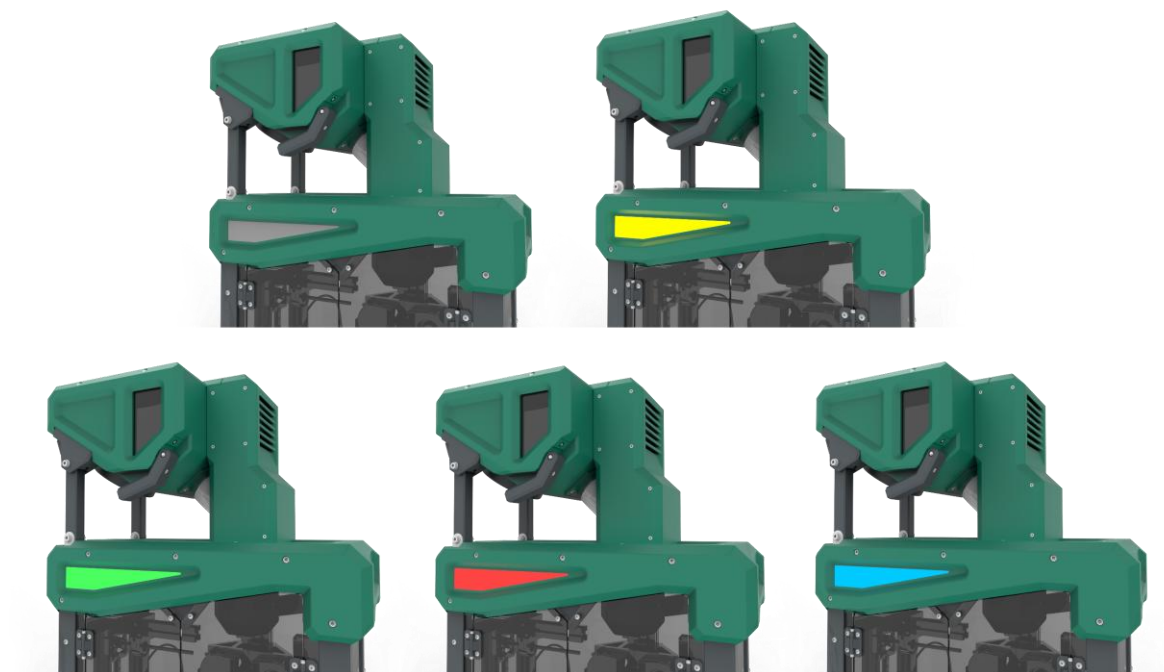


Obr. 6-30 Detail zadních vstupů a hlavního vypínače



Obr. 6-31 Schéma zorného pole sedícího uživatele při interakci se zařízením

O stavu přístroje či vývoji procesu extruze je uživatel informován nejen informací na displeji či pohledem skrze průhledná dvířka, ale také prostřednictvím stavového LED panelu. Ten se nachází v na horním předním čele a svítí takovou barvou odpovídající aktuálnímu stavu přístroje (viz. Obr. 6-25).



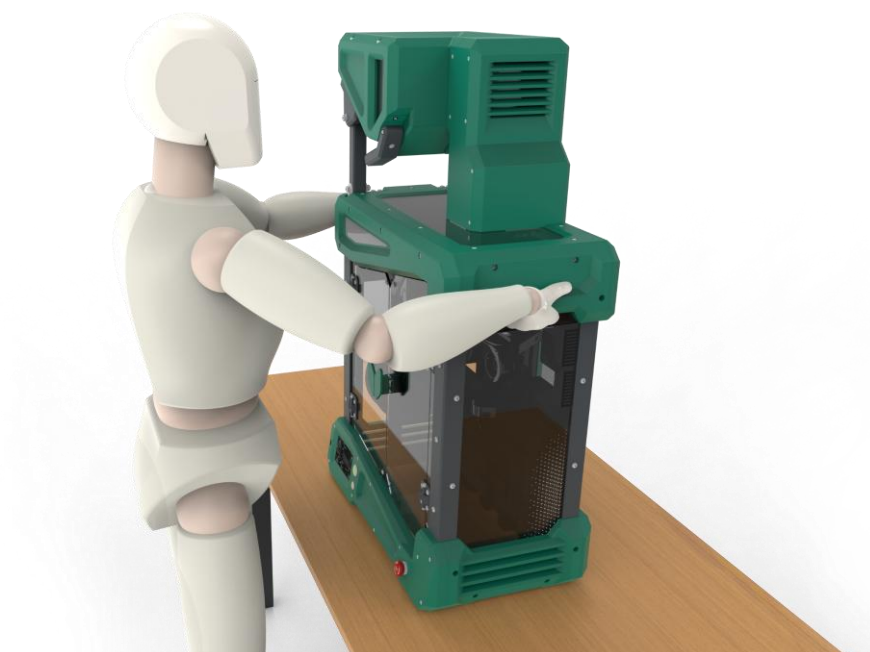
Obr. 6-32 Režimy stavu přístroje dle barev signalizace; nesvítí – neaktivita, žlutá – nahřívání, zelená – připraveno k použití/extruze, červená – chyba, modrá – dochlazování

PŘENOS ZAŘÍZENÍ A STABILITA

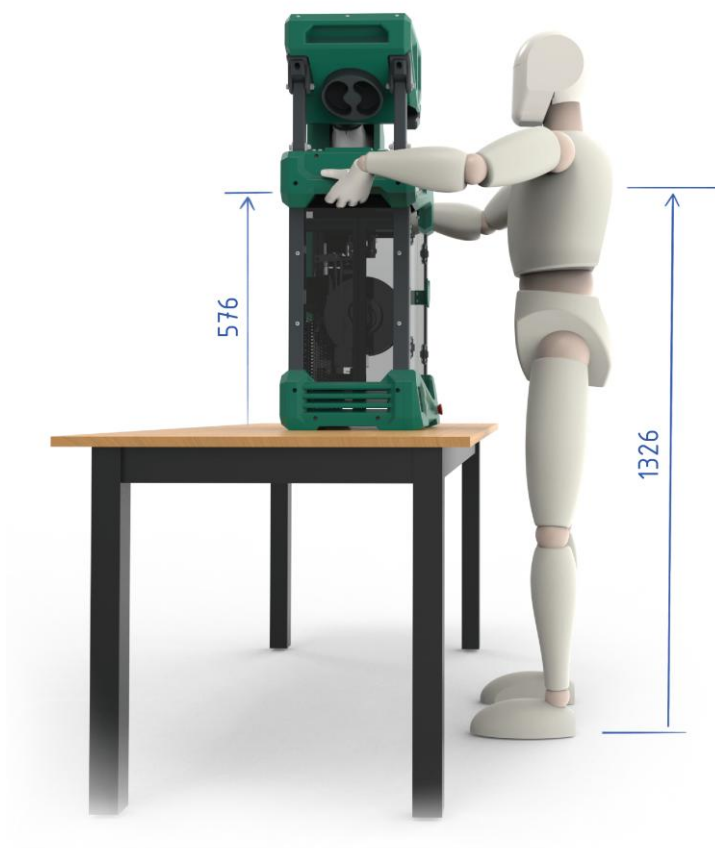
Pro usnadnění manipulace a přenosu disponuje přístroj dvěma integrovanými úchyty symetricky umístěnými na obou bocích krytové nástavby. Úchyty se nacházejí ve výšce 580 mm od roviny standardního pracovního stolu s výškou 750 mm. Celkově tak úchopy leží v celkové výšce 1330 mm od podlahy. Z konstrukčního hlediska jsou úchyty řešeny tak, aby uživatel při zdvihu zabíral přímo za pevnou část nosného rámu a přenos síly byl tak rovnoměrně přenesen na celou sestavu. Pro zamezení nechtěnému kontaktu s vnitřními komponentami během zasouvání prstů do postranních otvorů byl do této oblasti přidán ještě doplňkový vnitřní kryt. V neposlední řadě bylo v rámci zvýšení stability a eliminace klouzání přístroje po pracovní ploše přidány dosedací plošky (nožičky) tištěné z TPU.



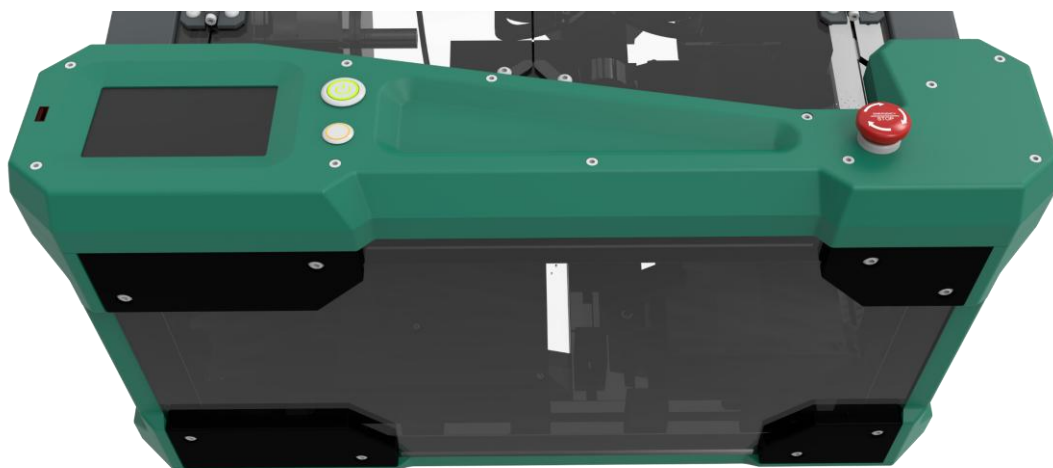
Obr. 6-33 Detail otvoru pro ruce (úchyt s vnitřním krytem)



Obr. 6-34 Způsob občasného přenášení přístroje



Obr. 6-35 Porovnání výšek úchytů od stolu (750 mm) a od země



Obr. 6-36 Detail dosedacích plošek z TPU

VENTILACE A BEZPEČNOST

V souvislosti s chlazením přístroje bylo návrhu zohledněno také proudění vstupního a výstupního vzduchu. Mezi významné komponenty produkující nadměrné teplo patří zdroj a spínací tranzistory umístěné v největších dvou elektroboxech v zadní části přístroje. Oba disponují celkem 3 axiálními ventilátory nasávající teplý vzduch z boxu a přímo jej vydechují z přístroje ven. Z tohoto důvodu byla určitá místa v PMMA záklopech účelně perforována pro přímý odvod vzduchu ven z přístroje.

Velké izolační elektroboxy spolu s menšími navíc disponují bočním děrováním pro lepší proudění přichozího vzduchu dovnitř, z nichž větší postranní plochy dokonce doléhají přímo na plochu záklopů krytové nástavby. Z toho důvodu byla perforace integrována také symetricky z obou boků. Pro větrání ostatních komponent byly pro vstup vzduchu do bloku zespod integrovány ventilační mřížky.

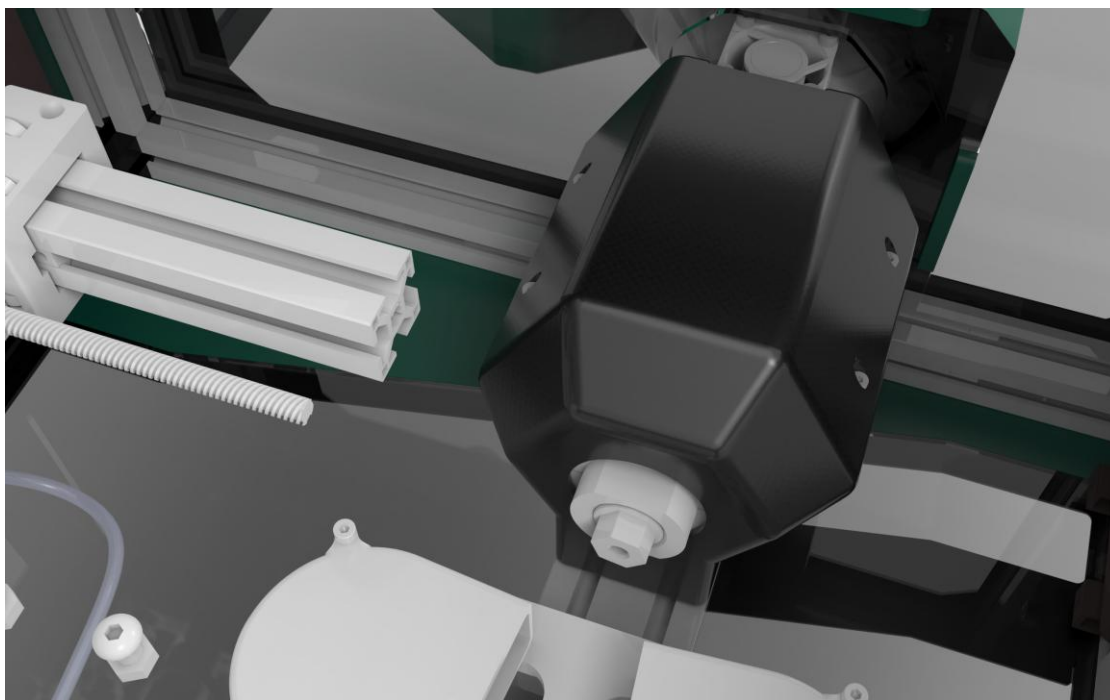


Obr. 6-37 Detailní pohled na perforovaná místa krytu (výdechy) a spodní ventilační mřížky (vstup vzduchu)



Obr. 6-38 Detail ventilační mřížky u hlavního motoru krytu mísící komory

V rámci odstínění horkých a elektronických komponent bylo nutné také vytvořit kryt pro izolaci tepelných článků, který v původním návrhu zcela chyběl. Vznikla tak dvoudílná tištěná skořepina z PETG ve tvaru šestihranu, kterou lze jednoduše nainstalovat do konstrukce v pozdější fázi sestavování a která disponuje dostatečným prostorem pro vložení izolačního materiálu.



Obr. 6-39 Detail dvoudílného vnitřního krytu tepelných článků

6.3 Barevné a grafické řešení

BAREVNÉ ŘEŠENÍ

V rámci finální vizualizace produktu byly navrženy celkem čtyři odlišné barevné varianty, z nichž každá pracuje s kombinací dvou více či méně kontrastních odstínů definovaných dle standardizovaného vzorníku RAL. Barevné rozvržení je vždy aplikováno jak na hlavní tištěné FDM komponenty, tak na vedlejší, menší FDM tištěné díly, jakými jsou například panty, L-profil, ovládací páčky, šroubovací víčko apod.

První varianta kombinuje primární tyrkysově zelenou (RAL 6016) se sekundární, doplňkovou antracitovou (RAL 7016) barvou, přičemž zelený odstín zde slouží jako přímý symbolický odkaz na ekologii a udržitelnou cestu samotného procesu recyklace.

Druhá varianta pracuje s primární pastelovou oranžovou (RAL 2003) a sekundární hlubokou černou (RAL 9005) barvou. Barevný návrh byl koncipován s ohledem na potenciální vizuální začlenění přístroje mezi produkty společnosti Prusa Research, neboť přímo koresponduje s jejich zavedenými firemními barvami.

Třetí varianta využívá primární brilantní modrou (RAL 5007) v kombinaci se sekundární antracitovou (RAL 7016) barvou. Tato kombinace barev dodává přístroji techničtější nádech, navíc modrá barva psychologicky evokuje spolehlivost a na uživatele celkově působí přívětivějším a důvěryhodnějším dojmem.

Čtvrtá varianta spojuje primární krémově bílou (RAL 9001) se sekundární hlubokou černou (RAL 9005) barvou. Záměrem tohoto čistého, kontrastního pojetí je pokusem o přiblížení estetiky domácích spotřebičů za účelem možné adaptace přístroje přímo do domácích dílen nebo moderních světlých laboratoří.



Obr. 6-40 Barevné řešení – varianta A



Obr. 6-41 Barevné řešení – varianta B



Obr. 6-42 Barevné řešení – varianta C



Obr. 6-43 Barevné řešení – varianta D

LOGOTYP

Pro navrhovaný produkt byl zvolen název *Rextrood* [rɛk'ʃtru:d]. Tento pojmenování vzniklo spojením dvou anglických termínů „recyclation“ (recyklace) a „extrude“ (extrudovat, vytlačovat), které obě přímo shrnují klíčové funkce zařízení. Základním stavebním typografickým prvkem je moderní písmo Bruno Ace SC v řezu Regular. Vzhledem k délce názvu jej bylo potřeba pro aplikační účely upravit do menší, snadněji zapamatovatelné a jedinečné podoby. To dalo za vznik zkrácenému finálnímu logotypu s nápisem „XTR“ a symetrickým grafickým prvkem pod ním.

REXTROOD



XTR

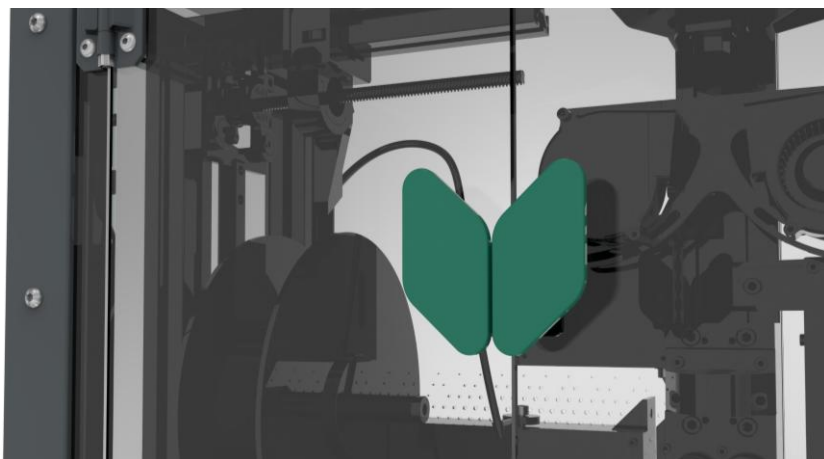


XTR



Obr. 6-44 Varianty logotypu (vývoj) – verze plná, zkrácená monochromatická (pro aplikace na produkty), zkrácená barevná

Zmíněným grafický symbolem, který má mimo jiné ambice fungovat také samostatně, je dvojice vertikálně symetrických kosočtverců zaoblených tak, že na prvním pohled mohou připomínat křídla motýla či křídélka šípů směřujícího dolů. Záměr však úzce souvisí se stylizovaným průřezem trysky extrudéru s přímým odkazem na jeho hlavní úlohu.



Obr. 6-45 Detail dvojice úchopů dvířek sdílející stejný tvar jako symbol v logotypu

V tištěné podobě je logotyp zamýšlen k realizaci buď v čistě černém provedení, nebo v kombinaci černé (písmeno X a symbol) a tyrkysové barvy (písmena R a T) s přímým odkazem na upřednostňované primární barevné řešení přístroje. Při aplikaci loga na specifické barevné podklady je v případě tmavého pozadí (zelená a brilantní modrá varianta přístroje) zamýšlena bílá verze logotypu, zatímco na světlých pozadích (oranžová a krémová varianta) je navrženo provedení černé.

Co se výrobní technologie aplikace logotypu na povrch týče, přestože je povrch dílu finálně upraven broušením, tmelením a lakováním, vybrané místo pro logo se nachází v prolisu, tedy pod úrovní okolního výstupku, a není tedy reálně využít digitální UV tisku, aniž by nedošlo ke kolizi tiskové hlavy s materiálem. Jako nejvhodnější metoda byl proto zvolen sítotisk, jehož aplikační technika není v tomto ohledu natolik prostorově limitující a pro účely monochromatického přenosu grafiky (bílá, černá) je plně dostačující.



Obr. 6-46 Barevná řešení logotypů dle zvolených barev pozadí

UMÍSTĚNÍ LOGOTYPU

Pozičně byl logotyp *XTR* umístěn do zahhloubeného prostoru nad levým úchytem, kde plní zejména dekorativní funkci. Přestože primární stranou přístroje je ta, kde uživatel otevírá dvířka a operuje s panelem, nebylo již možné na tuto stranu logo efektivně umístit tak, aby nenarušovalo již tak bohaté tvarosloví. Plocha s aplikovaným logem uvnitř činí 36 x 36 mm (viz. Obr. 6-45).



Obr. 6-47 Aplikace loga na barevné řešení A



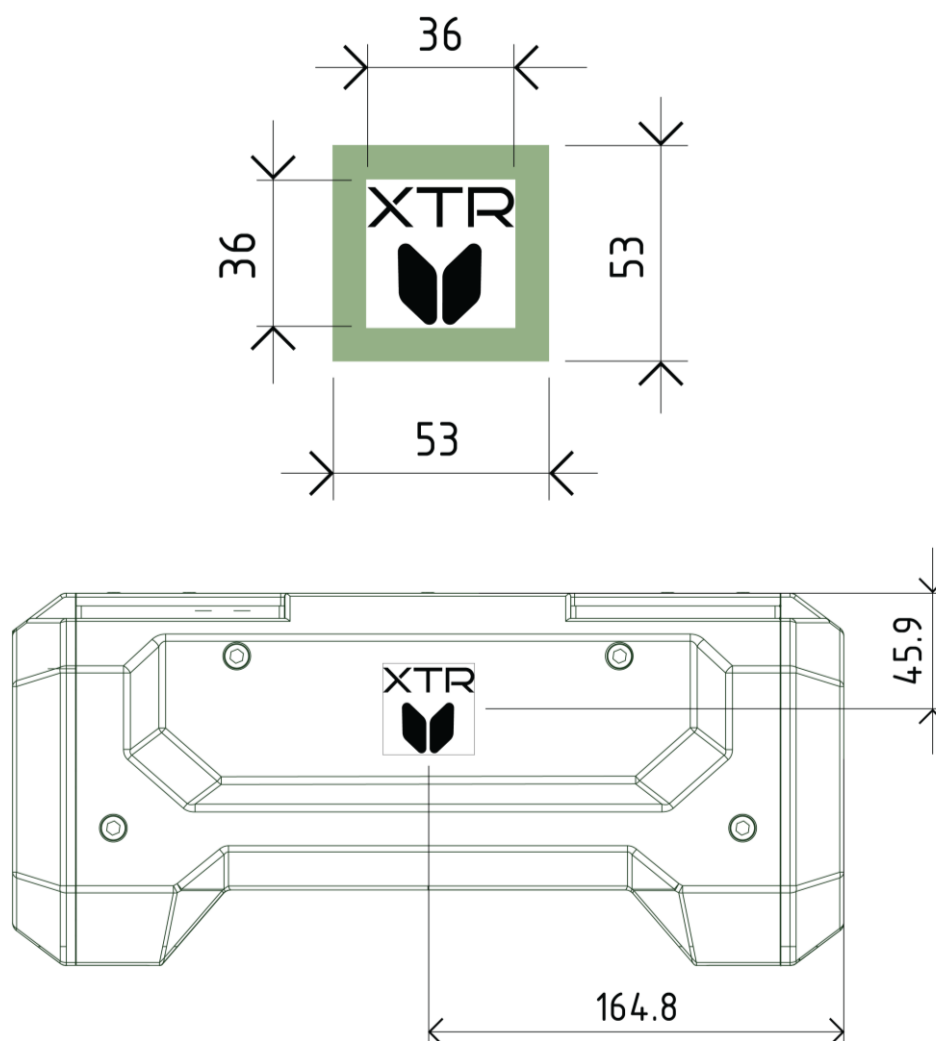
Obr. 6-48 Aplikace loga na barevné řešení B



Obr. 6-49 Aplikace loga na barevné řešení C



Obr. 6-50 Aplikace loga na barevné řešení D



Obr. 6-51 Rozměry aplikovaného logotypu vč. ochranného pásma a schéma umístění logotypu na levé horní bočnici

6.4 Udržitelnost produktu

Komplexní systém krytování přístroje zahrnuje hned několik použitých materiálů, z nichž všechny lze různými způsoby zpětně recyklovat. Vnější komponenty jsou vyrobeny z PETG, TPU a PMMA řezaného laserem. Rám konstrukce je tvořen z dostupných extrudovaných hliníkových profilů, které lze také snadno uživatelsky vyměnit i zpracovat. Co se vnitřních komponent týče, elektroboxy, konzoly a mechanismy jsou také z PETG či TPU využívající podobně jako ostatní komponenty přístroje normalizované spojovací díly.

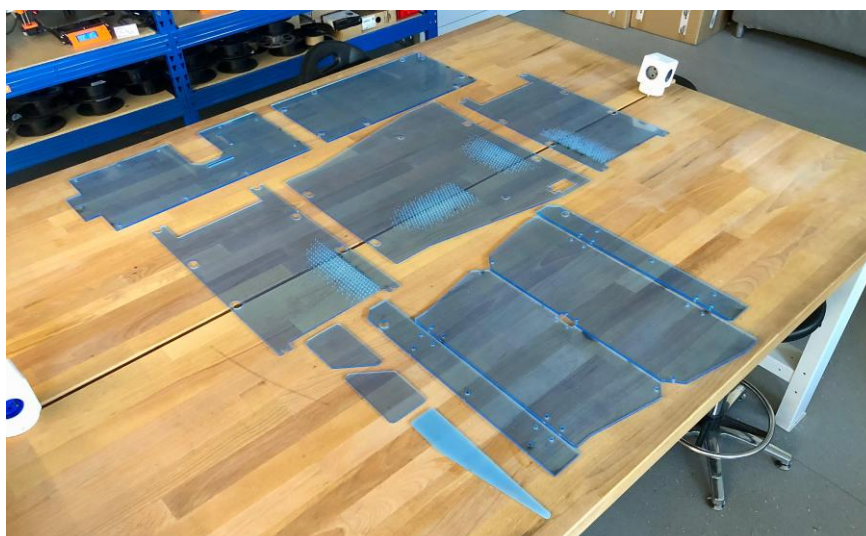
Vzhledem k formě výstupu práce (funkční prototyp) byla pro výrobu nástavby krytu použita výhradě technologie FDM 3D tisku, která také značně zefektivňuje spotřebu použité materiálu na výrobu jednotlivých komponent. Materiál PETG je možné nahradit také recyklovaným PETG či alternativním PCTG s obdobnými mechanickými vlastnostmi potřebnými pro zajištění pevnosti a houževnatosti.

Velkou výhodou takto tištěných a řezaných dílů montovaných na hliníkovou konstrukci je snadná rozebíratelnost, opravitelnost a nahrazení dílů v případě potřeby novými, eventuelně i v pohodlí domova.

Z hlediska hygieny přispívá ke zjednodušení čištění přístroje od prachu a plastových částic využití hladkých velkoplošných záklopů z PMMA.



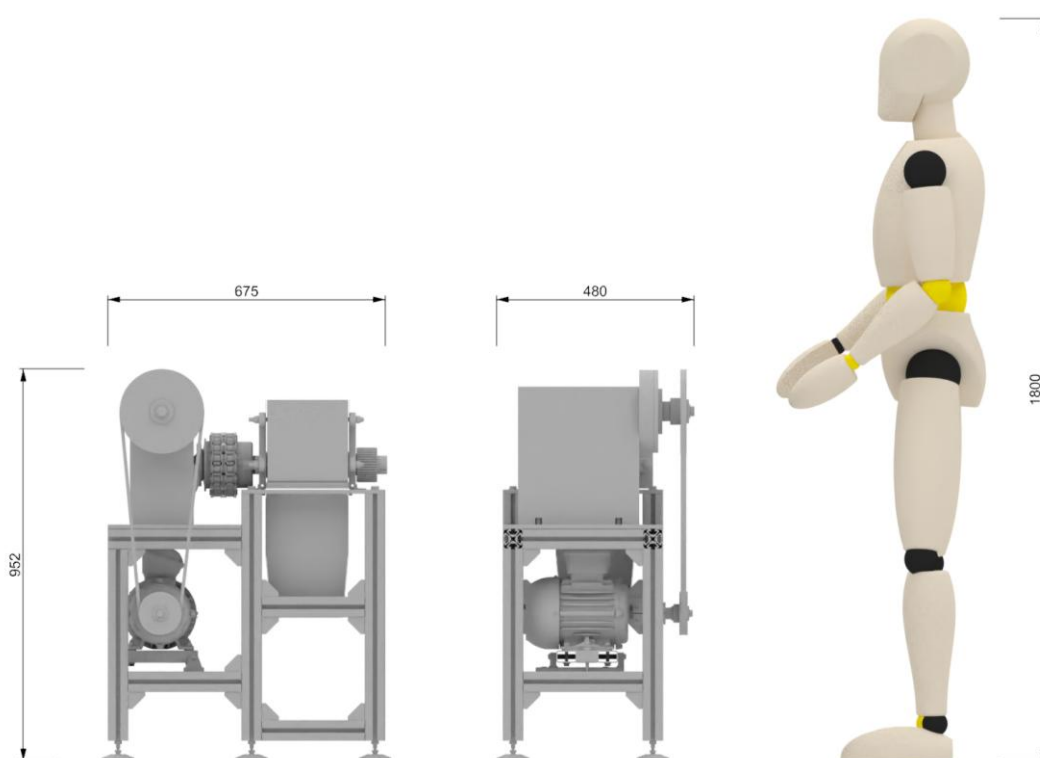
Obr. 6-52 Ukázka tištěných dílů z 3D tiskárny Prusa (fotografie z výroby)



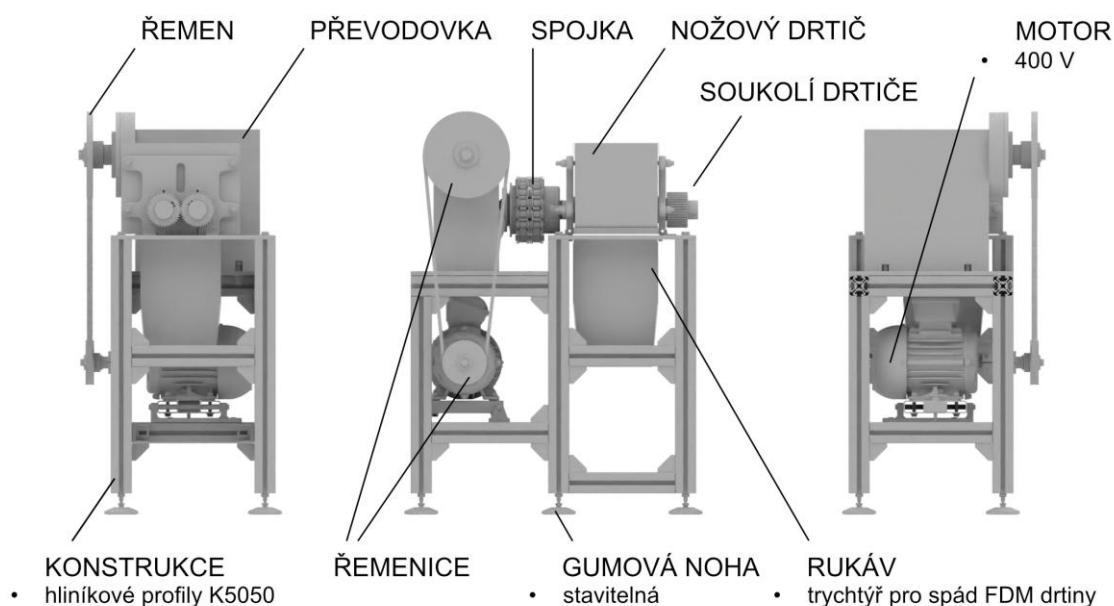
Obr. 6-53 Ukázka dílů z PMMA řezaných laserem (fotografie z výroby)

6.4.1 Řešení koncepčního návrh krytu drtičky

Jako doplňkový, avšak koncepčně důležitý, prvek této diplomové práce pro ucelení požadavku udržitelnosti byl paralelně s návrhem extrudéru rozpracován také design krytování průmyslového drtiče plastů. Ačkoliv se jedná o vedlejší produkt určený především k dokreslení kontextu recyklace FDM odpadu, návrh taktéž respektuje zadanou konstrukci od firmy Protolab stejně jako v případě filament makeru (extruderu). Cílem této koncepční studie bylo vytvořit návrh vnějších prvků přístroje, který bude působit především celistvě a bezpečně v každém dílenské prostředí.



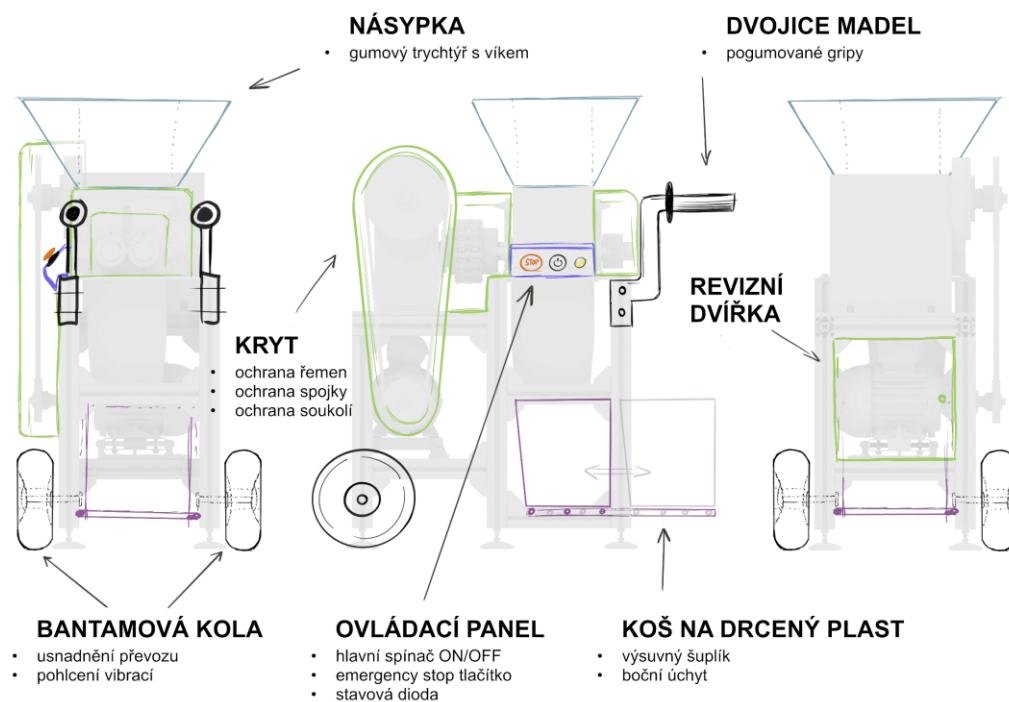
Obr. 6-54 Ilustrativní rozměry základní konstrukce drtiče



Obr. 6-55 Popis základních komponent zadaného drtiče

Hlavní pozornost byla věnována bezpečnosti provozu a ochraně uživatele před pohyblivými částmi stroje. Návrh z hlediska bezpečnosti integruje několik vnějších plechových krytů pohyblivých komponent, konkrétně řemenů, spojky a soukolí u nožového ústrojí. V krytu řemene byl u vrchní řemenice přidán také průzor pro vizuální ověření chodu. Vrchní část nad drtičem je doplněna o pryžový trychtýř pro bezpečnější a čistější plnění. Aby navíc drcené kusy nevyskakovaly z trychtýře, je násypka opatřena pryžovým víkem s úchytem.

Ovládací panel zahrnuje základních dvojici tlačítek, konkrétně hlavním dvoupolohovým spínačem a bezpečnostním Emergency Stop tlačítkem. Celý panel je situován do adekvátní výšky přímo na čelní straně stroje pod drtičí částí.



Obr. 6-56 Návrh všech integrovaných komponent drtiče

Z hlediska jednodušší manipulace a údržby byla konstrukce drtiče osazena dvojicí madel s kruhovým průřezem s pogumovanými gripy. Dále byly přední nohy stroje nahrazeny dvojicí bantamových kol, které mají za cíl usnadnit transport zařízení a zároveň (podobně jako gumové nožky) pohlcovat vibrace. Pod výstupní rukáv trychtýře byl integrován výsuvný šuplík (zásobník) na drcený plast, odkud se odebírá recyklát. Ten je navíc opatřen vertikálním průzorem (okénkem) pro kontrolu stavu zaplnění.

Volba barevné řešení a volba materiálů tohoto koncepčního řešení byla navržena v souladu s použitím v průmyslovém prostředí. Kombinace červeného lakování s černými gumovými prvky má podtrhovat ryze industriální charakter drtiče.



Obr. 6-57 Finální koncepční řešení drtiče, pohled zprava



Obr. 6-58 Finální koncepční řešení drtiče, pohled zleva



Obr. 6-59 Finální koncepční řešení drtiče v poměru s člověkem

6.5 Hodnocení klíčových parametrů

Závěrečná práce s nejprve zabývala rešerší přístrojů pro recyklaci plastového odpadu ze 3D tisku na současném trhu, kde zkoumala jejich tvarosloví a technickou stránku s cílem identifikovat problémy k řešení. Prvotní rešerše ukázala, že na trhu chybí celistvé kompaktní a vizuálně čisté stroje. Uživatelé mají na výběr buď levnější, odhaleného přístroje pro nebo uzavřené profesionální systémy větších rozměrů za vyšší cenu. Nejen tyto získané teoretické poznatky, doplněné o reálné požadavky a CAD data od centra 3D tisku Protolab při VŠB v Ostravě, dopomohly ke stanovení cílů a definování parametrů výsledného designu.

Primárním úkolem návrhu byl návrh a realizace systému krytu pro funkční prototyp vystavený na odhalené hliníkové konstrukci s cílem vytvořit celistvý, bezpečný a uživatelsky přívětivý produkt. Dosažené řešení zakrývá nosný rám pomocí dílů plastové nástavby tištěnou na FDM tiskárně a dílů z PMMA vyřezávaných na laseru, které vnášejí ryze technickému základu přívětivější vzhled. Návrh dále integruje širokou škálu ovladačů a sdělovačů a zajišťuje nezbytnou izolaci topných zón a ochranu před rotujícími částmi. Krytování bylo navíc doplněno o pasivní odvětrávání, úchyty a dedikované tlačítko Emergency Stop, které by mělo být dostatečně spolehlivým prvkem v případě selhání systému.

V souvislosti se vývojem reálného prototypu byl v Protolabu identifikován také problém v oblasti zvýšené prašnosti při zpracování polyamidů (PA11/12) související s rizikem vdechování škodlivých mikročástic. To byl mimo jiné také jeden z důvodů, proč došlo k radikální transformaci násypky v nový zásobník. Přepracovaný návrh umožnil nejen integrovat pohodlně nový otvor pro plnění pomocí samostatné plničky, ale také pomohl snížit dávkovací plochu z 1020 mm na 713 mm, tedy o 307 mm, což ocení zejména menší uživatelé. V pozdější fázi testování prototypu je také na místě otestovat, zda je dostatečný sklon vnitřní plochy zásobníku, odkud proudí plastový odpad od mísící komory pomocí gravitace.

Další část rešerše nejen z prostředí aditivního centra poukázala na absenci některých samostatných vizuálních či zvukových sdělovačů. V případě autorského návrhu byl proto integrován do čelní plochy v horní části světelný RGB panel, který má za úkol informovat uživatele o aktuálním stavu přístroje pomocí změn barev. Indikuje tak zahřívání, běh, dochlazování i chybová hlášení, přičemž volba barev odpovídá významům vycházejících z bezpečnostních norem.

Přístroj byl primárně navržen s ohledem na působení ve vzdělávacím a výzkumném prostředí aditivních center. Z estetického pohledu byl proto následován trend vizuálů profesionálních laboratorních vybavení, tedy funkční kompaktní objemy doplněné sjednoceným vizuálem bez obnažené kabeláže ve specifických barvách pro širší škálu prostor (zde tyrkysová, pastelová oranžová, brilantní modrá a krémová bílá). V rámci přiblížení k uživatelské přívětivosti a komunitnímu charakteru produktu byl návrh koncipován jako stavebnice z tištěných dílů podobně jako oblíbené produkty od značky Prusa.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh komplexního systému krytování stolního recyklačního zařízení pro zpracování plastového odpadu z aditivní výroby (tzv. filament extrudér), a to s primárním důrazem na ergonomickou kvalitu, provozní bezpečnost a uživatelskou přívětivost. Úvodní fáze projektu, založená na podrobné rešerši současného stavu techniky, poukázala na absenci ucelených, vizuálně čistých a bezpečných řešení v dostupné kategorii přístrojů. Teoretické poznatky, podpořené mimo jiné úzkou spoluprací s aditivním centrem Protolab při VŠB-TU v Ostravě, umožnily přesně definovat hlavní funkční i estetické bariéry stávajících těžkopádných řešení a staly se klíčovým východiskem pro stanovení cílů návrhové části.

Na základě systematické analýzy provozních požadavků a ergonomických aspektů byly v úvodní fázi tvůrčího procesu vypracovány tři variantní návrhy. Tyto návrhy se od sebe odlišovaly celkovým tvaroslovím, přístupem ke geometrii krytování i samotným způsobem interakce obsluhy s ovládacím panelem. Po vyhodnocení byla vybrána potenciálně nejvhodnější varianta, která byla následně rozvinuta do podrobného designérského návrhu.

Geometrie celého komplexu byla navržena v přímém souladu s fyziologií uživatele. Proces plnění a manipulace s násypkou a krytem mísící komory jsou uzpůsobeny pro práci ve stoje, zatímco následná správa, kontrola vnitřních procesů a interakce s ovládacím panelem probíhá v ergonomicky optimální poloze vsedě. Podařilo se také úspěšně transformovat původní cíl týkající se vhodného umístění průhledových oken do podoby průhledných záklopů z plexiskel a prostorných dvoukřídlých dveří v čelní části přístroje, po jejichž otevření je zajištěn více než dostatečný přístup do vnitřních prostor.

Z hlediska funkčnosti a bezpečnosti práce design úspěšně eliminuje kritická rizika spojená s vysokými procesními teplotami a mechanickými pohyby vnitřního ústrojí pomocí sestavy vnitřních krytů a klipů. Pro efektivní ventilaci byly do finálního návrhu implementovány také potřebné perforace pro odtaž teplého vzduchu přímo ven a ventilační mřížky pro vstup čerstvého vzduchu do přístroje.

Zásadním inovačním přínosem celého návrhu je důmyslné řešení problematiky prašnosti při nakládání se práškovým polyamidem prostřednictvím uzavřené plničky k nasazení na zásobník, který v porovnání s výchozí variantou prošel znatelnou transformací. V rámci potřeby občasného přenášení přístroje byly do návrhu implementovány také potřebné úchyty v odpovídající adekvátní výšce.

Důležitým aspektem výsledného designu je implementace čistého ovládacího panelu s minimem tlačítek, dotykového displeje a viditelného vizuálního sdělovače (LED panelu). Integrace přehledného rozhraní, bezpečnostních prvků a jasné stavové signalizace, navržené v souladu s bezpečnostními standardy, poskytuje operátorovi okamžitou vizuální vazbu o průběhu recyklačního cyklu i z větší vzdálenosti.

Práce tak úspěšně transformovala surový funkční prototyp v bezpečné, ergonomicky optimalizované zařízení. Hlavním přínosem a hmatatelným výstupem této práce je reálné provedení funkční krytové nástavby v měřítku 1:1, která byla úspěšně osazena na dodaný hliníkový základ. Fyzický model je v rámci uceleného projektu doplněn o informační postery, konkrétně o jeden sumarizační, ergonomický a dva technické postery ve formátu A1 včetně designérského posteru ve formátu B1.

Vzhledem k plánovanému prodeji přístroje a prozatímní kusové výrobě se předpokládaná cena přístroje pohybuje okolo 70 000 Kč, což odpovídá tržní hladině obdobného laboratorního vybavení. Výsledný návrh plnohodnotně dosahuje všech stanovených cílů a přináší reálný přínos pro rozvoj soběstačnosti a podpory cirkulární ekonomiky v prostředí aditivních center, výzkumných laboratoří i škol.



Obr. 7-1 Rextrood umístěný v aditivním centru

8 VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV

Tab. 8-1 Výsledek výzkumu podle RIV

Druh výsledku	Prototyp (G_{prot})
Název výsledku	Filament extruder
Autor	Bc. Lukáš Bláha
Místo uložení výsledku	VŠB Ostrava, centrum 3D tisku Protolab

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CHAMMAS, Adriana, Manuela QUARESMA a Cláudia MONT'ALVÃO. A Closer Look on the User Centred Design. *ScienceDirect* [online]. 2015 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.656>
- [2] MOHANTY, Amar K., Malik HASSAN a Manjusri MISRA. 3D printing in upcycling plastic and biomass waste to sustainable polymer blends and composites: A review. *ScienceDirect* [online]. 2024 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112558>
- [3] ZOTING, Shivani. What is the 3D Printing Market Size? In: *Precedence RESEARCH* [online]. 2025 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://www.precedenceresearch.com/3d-printing-market>
- [4] KAFLE, Abishek, Houwen Matthew PAN, Eric LUIS a Raman SILWAL. 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). *MDPI* [online]. 2021 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/354603041_3D4D_Printing_of_Polymers_Fused_Deposition_Modelling_FDM_Selective_Laser_Sintering_SLS_and_Stereolithography_SLA
- [5] HASAN, Mohammad Raquibul, Ian J. DAVIES, Alokesh PRAMANIK, Michele JOHN a Wahidul K. BISWAS. Potential of recycled PLA in 3D printing: A review. *ScienceDirect* [online]. 2024 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.smse.2024.100020>
- [6] "Recycled Blue", rPLA pro, 100% Recycled 3D PRINTS. In: *KiwiFil.shop* [online]. [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://www.kiwifil.shop/products/recycled-blue-rpla-pro-100-recycled-3d-prints-1-75mm-1kg>
- [7] KUMAR, Sanjay a Aleksander CZEKANSKI. Development of filaments using selective laser sintering waste powder. *ScienceDirect* [online]. 2017 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.202>
- [8] Formlabs Nylon 12 GF: prášek pro 3D tisk metodou SLS. In: *ADMASYS.CZ* [online]. 2026 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://eshop.admasys.cz/prasky/formlabs-nylon-12/?variantId=19065>

- [9] SHER, Davide. 3devo launches filament based on recycled SLS powder. In: *VoxelMatters.com* [online]. 2024 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://www.voxelmatters.com/3devo-launches-filament-based-on-recycled-sls-powder/>
- [10] HIDALGO-CARVAJAL, David, Álvaro Hortal MUÑOZ, José J. GARRIDO-GONZÁLEZ a Ruth CARRASCO-GALLEGO. Recycled PLA for 3D Printing: A Comparison of Recycled PLA Filaments from Waste of Different Origins after Repeated Cycles of Extrusion. *MDPI* [online]. [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/373667489_Recycled_PLA_for_3D_Printing_A_Comparison_of_Recycled_PLA_Filaments_from_Waste_of_Different_Origins_after_Repeated_Cycles_of_Extrusion
- [11] ARTME 3D: Originální stolní extruder filamentů MK3S. In: *Artme-3d.shop* [online]. <https://artme-3d.shop/products/original-desktop-filament-extruder-mk3s-full-diy-kit> [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://artme-3d.shop/products/original-desktop-filament-extruder-mk3s-full-diy-kit>
- [12] Felfil Evo is looking for backers on kickstarter to knock down 3D printing costs: Felfil Stories. In: *Felfil.com* [online]. [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://felfil.com/felfil-evo-is-looking-for-backers-on-kickstarter-to-knock-down-3d-printing-costs/?v=9c049173fad5>
- [13] Safety in SLS 3D printing. In: *Sinterit.com* [online]. 2025 [cit. 2026-03-18]. Dostupné z: <https://sinterit.com/blog/sls-technology/safety-in-sls-3d-printing/>
- [14] TOSI, Francesca. *Design for Ergonomics* [online]. 2. Springer, 2020 [cit. 2026-03-18]. ISBN 978-3-030-33561-8. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-33562-5>
- [15] Copies & clones - ARTME 3D. In: *Artme-3d.shop* [online]. [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://www.artme-3d.de/copies-and-clones/>
- [16] ARTME 3D filament extruder – item description. In: *Artme-3d.shop* [online]. [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://www.artme-3d.de/produkte/desktop-filament-extruder-mk3s/00-product-description/>
- [17] Prusa i3. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Prusa_i3

- [18] Instruction manual – Original Desktop Filament Extruder MK1 by ARTME 3D. In: *Artme-3d.de* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.artme-3d.de/wp-content/uploads/2022/06/02-Instruction-manual-MK1.pdf>
- [19] ARTME 3D® extruder owners. *Facebook.com* [online]. [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/groups/1475952329803847/>
- [20] KHALED, Shayon. PLA vs ABS vs PETG: The Main Differences. *All3dp.com* [online]. 2025 [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/pla-vs-abs-vs-petg-differences-compared/>
- [21] Filament Extruder MK2 (ARTME 3D Clone). In: *Trianglelab.net* [online]. [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://www.trianglelab.net/products/filament-extruder-mk2>
- [22] *Loop - the world's first desktop 3d filament recycler: Turn failed prints into premium filament, make in loop* [online]. In: . [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://makewithloop.com/>
- [23] KERRY, Stevenson. LOOP Desktop Filament Extruder Still Lacks Demonstration After Nine Months. *Fabbaloo.com* [online]. 2025 [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.fabbaloo.com/news/loop-desktop-filament-extruder-still-lacks-demonstration-after-nine-months>
- [24] "Loop filament recycler, cool but way too pricey." *Reddit.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/1j9x3ay/loop_filament_recycler_cool_but_way_too_pricey/
- [25] *Felfil products overview* [online]. In: . [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://felfil.com/felfilevo-filament-extruder/?v=9c049173fad5>
- [26] Bundle Felfil Evo & Spooler+. In: *Felfil.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://felfil.com/shop/bundle-felfil-evo-spooler/?v=058f38ac9331>
- [27] Become Your Own Material Maker with the Felfil Evo Filament Extruder. *All3dp.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/become-your-own-material-maker-with-the-felfil-evo-filament-extruder/>

- [28] ProtoCycler V3. In: *Https://redetec.com/* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://redetec.com/products/protocycler?variant=39805373743152>
- [29] NIAZI, Muhammad Asim. CSA vs. UL Certifications. *Control.com* [online]. 2021 [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://control.com/technical-articles/csa-vs-ul-certifications/>
- [30] ProtoCycler V3 - User Manual. In: *Https://cdn.shopify.com/* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://cdn.shopify.com/s/files/1/2352/0047/files/ProtoCycler_User_Manual_2.0.pdf?v=1663246907
- [31] *Introducing ProtoCycler V3: promo video by ReDeTec* [online]. In: . [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=D6O_HQwuI3c
- [32] J., Michelle. ProtoCycler; a recycling system for your 3D printer. *3dnatives.com* [online]. 2018 [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/protocycler-recycling-system-3d-printer-3d-prints-plastic-waste-151120185/#!>
- [33] Filament Maker ONE. In: *3devo.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.3devo.com/filament-maker-one>
- [34] 3devo's products and services. In: *Ventajatecnologica.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.ventajatecnologica.com/wp-content/uploads/2021/02/3devo-Catalogue.pdf>
- [35] Filament Maker TWO. In: *3devo.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.3devo.com/filament-maker-two>
- [36] Filament Maker ONE (manual). In: *Support.3devo.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://support.3devo.com/hubfs/Filament%20Maker%20User%20Manual%2010-2023.pdf>
- [37] Filament Maker TWO (Manual). In: *Https://support.3devo.com/* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://support.3devo.com/hubfs/FMTWO%20-%20User%20Manual%20-%20V1.0.pdf>

- [38] MCCRICKARD, Conor, Adrian BOYD, Krzysztof RODZEN, Edward ARCHER, Faisal MANZOOR a Jawad ULLAH. PEEK/PEI Polymer Blends for Fused Filament Fabrication: Processing, Properties, and Printability. *MDPI* [online]. 2026 [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/polym18010113>
- [39] State of Prosumer/Small Commercial Filament Extruding in 2024. In: *Reddit.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/1c43nqg/state_of_prosumersmall_commercial_filament/
- [40] EX6 Extruder Setup. In: *Filabot.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.filabot.com/products/ex6-bundle?variant=48770006253846>
- [41] Filament Extruding, Spooling, and Recycling Tips and Parameters. In: *Drdflo.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.drdflo.com/assets/Downloadables/Guides/Extrusion/EX6-Filament-Spooling-Parameters-V1.pdf>
- [42] Filabot EX6 Overview: promo video by Filabot. In: *Youtube.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=LxZL6oFGAZ0>
- [43] Noztek Extrusion Systems Promo. In: *Youtube.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=1HKUgyV_U0A
- [44] Noztek Devices - Compare All. In: *Noztek.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://noztek.com/extruders>
- [45] Noztek Pro. In: *Noztek.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://noztek.com/product/noztek-pro/>
- [46] Noztek Touch. In: *Noztek.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://noztek.com/product/noztek-touch/>
- [47] Noztek TOUCH (User Manual). In: *Device.report* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://device.report/manual/13102438>
- [48] *Noztek Xcalibur Servo* [online]. In: . [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://noztek.com/product/xcalibur/>
- [49] FusionX Mixing System. In: *Noztek.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://noztek.com/product/noztek-fusionx/>

- [50] Desktop SJ25 Extruder, filament production or granulating line. In: *Robotdigg.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.robotdigg.com/product/1688/Desktop-SJ25-Extruder,-filament-production-or-granulating-line>
- [51] S25 Desktop Filament Extruder - A Year Later. In: *Youtube.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=uziOmehaQpE>
- [52] Filament Extruder & Recycler. In: *3dpany.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://www.3dpany.com/Extruders.html>
- [53] Operation & Working of 3DPANY C1 Desktop Filament Extruder | Simple Mode. In: *Youtube.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=_Z6E17Je6-g
- [54] Has anyone heard about the company 3DPANY? In: *Reddit.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/1km3eaz/has_anyone_heard_about_the_company_3dpany/
- [55] C1 Filament Extruder (shop). In: *3dpany.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: https://www.3dpany.com/products_details/12.html
- [56] Polystruder PRO – Next generation filament maker system for 3D printing. In: *Polystruder.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://polystruder.com/>
- [57] Polystruder XR PRO. In: *Polystruder.com* [online]. [cit. 2026-03-21]. Dostupné z: <https://polystruder.com/polystruder-xr-pro/>
- [58] Hliníkový profil K3030. In: *Ehlinik.c* [online]. 2026 [cit. 2026-04-25]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/hlinikovy-profil-k3030/pro-N8U4200101.html>
- [59] 6 Ways To Connect / Join Aluminium Extrusion. In: *Www.part-on.co.uk* [online]. 2021 [cit. 2026-04-25]. Dostupné z: <https://www.part-on.co.uk/blog/post/6-ways-to-connect-join-aluminium-extrusion/>
- [60] Kovová spojka pro profily 40x40. In: *Enprag.cz* [online]. [cit. 2026-04-25]. Dostupné z: <https://www.enprag.cz/kovova-spojka-pro-profily-40x40/pMCB-40-4040-08-PCS/>

- [61] Spring Ball, Shrapnel Nut, T Shape Block, Sliding Nut (M6 Series). In: *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2026-04-25]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005004657769509.html>

- [62] BERRY, Rob. How Hoppers Work and How to Avoid Hopper Gravity Flow Problems. In: *Processindustryinformer.com* [online]. 2019 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.processindustryinformer.com/how-hoppers-work-and-how-to-avoid-hopper-gravity-flow-problems/>

- [63] SCHWAAR, Carolyn. All 3D Printing Filament Types Explained – Properties, Printing & Best Uses. In: *All3dp.com* [online]. 2026 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>

- [64] JURASCHEK, Max, Lennart BÜTH, Sebastian THIEDE a Christoph HERRMANN. 3-CYCLE—A Modular Process Chain for Recycling of Plastic Waste with Filament-Based 3D Printing for Learning Factories. In: *Ris.utwente.nl* [online]. 2020 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: https://ris.utwente.nl/ws/files/227086913/Juraschek_2020_3_CYCLE.pdf

- [65] Single Screw Extruder Diagram: Parts, Working & Applications Guide. In: *Sainiengineering.com* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.sainiengineering.com/single-screw-extruder-diagram/>

- [66] Šneky vstřikovacích strojů. In: *Publi.cz* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/04.html>

- [67] ECKMAN, Mary Louise. Four Common Materials Screws Are Made of and Which to Use. *Allpointsfasteners.com* [online]. 2018 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://allpointsfasteners.com/blog/four-common-materials-screws-are-made-of-which-to-use.html>

- [68] Keramické topné těleso s pro 3D tiskárny, 24V/40W. In: *Https://www.richvalsky.cz/* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.richvalsky.cz/topne-teleso-24v-40w/>

- [69] Topné pasy a tělesa s keramickou izolací. In: *Hotset.cz* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://hotset.cz/produkt/topne-pasy-a-telesa-2/>

- [70] NTC Termistor vodotěsná sonda. In: *Dratek.cz* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino-platforma/1574-ntc-termistor-10k-1-3950-1m-vodotesna-sonda.html>
- [71] MATTSSON, Jan-Owe. Vertical vs. horizontal extrusion – Is one better than the other? In: *Optinova.com* [online]. 2022 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://optinova.com/news/vertical-vs-horizontal-extrusion-is-one-better-than-the-other/>
- [72] DOČKAL, Jan. Axiální, nebo radiální potrubní ventilátor. In: *Ventilatory.cz* [online]. 2018 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/axialni-nebo-radialni-potrubni-ventilator-x31238>
- [73] HAAS, Josiah. How Enclosure Design Impacts Heat Dissipation & Thermal Management. In: *Budind.com* [online]. 2026 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.budind.com/blog/2026/01/how-enclosure-design-impacts-heat-dissipation-thermal-management/>
- [74] Filament thickness deviation (inconsistent diameter). In: *Support.3devo.com* [online]. 2026 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://support.3devo.com/filament-thickness-deviation-inconsistent-diameter#:~:text=The%20Filament%20Maker%20currently%20makes,filament%20to%20the%20desired%20thickness>
- [75] 1.75mm 3D Printers. In: *Matterhackers.com* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: https://www.matterhackers.com/store/c/175mm-3d-printers?srsId=AfmBOoq4__8mZmW6DPRakq5PcwlZu7rMo5CH2tpGGBUPqUp4c0KN2EDe
- [76] STEVENSON, Kerry. Only a Few 3D Printers Still Support 2.85mm Filament. In: *Fabbaloo.com* [online]. 2025 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.fabbaloo.com/news/only-a-few-3d-printers-still-support-2-85mm-filament>
- [77] How to Measure 3D Filament Average Spool Diameter and Tolerance. In: *Filaments.ca* [online]. 2019 [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://filaments.ca/blogs/3d-printing/how-to-measure-3d-filament-diameter>

- [78] Filameasure - Inline Filament Measurement. In: *Filabot.com* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.filabot.com/products/filameasure-inline-filament-measurement>
- [79] SCAVITTO, John. Spooling 101: Tips for Designing an Efficient Level Winding Operation. In: *Cdn.thomasnet.com* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: https://cdn.thomasnet.com/kc/1390/doc/0000100453_70_24851.pdf#:~:text=The%20Basics%20of%20Linear%20Actuators%20for%20Spooling,onto%20the%20spool%20for%20a%20level%20wind
- [80] Potenciometr. In: *Pentaservis.cz* [online]. [cit. 2026-05-20]. Dostupné z: <https://www.pentaservis.cz/pojem/potenciometr/>
- [81] Step-Down DC/DC nastaviteľný měnič s LM2596 a displejem. In: *Hwkitchen.cz* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/step-down-dc-dc-nastavitelny-menic-s-lm2596-a-displejem/>
- [82] Stepper Motor – Types, Construction, Operation and Applications. In: *Electricaltechnology.org* [online]. 2016 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/stepper-motor-construction-types-and-modes-of-operation.html/amp>
- [83] Spínaný zdroj 24V 156W Mean Well. In: *Lxf.cz* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.lxf.cz/led-zdroj-meanwell-lrs-24v-150w/>
- [84] Raspberry Pi 5. In: *Raspberrypi.com* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>
- [85] Arduino UNO R4 WiFi. In: *Laskakit.cz* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-uno-r4-wifi--original/>
- [86] 3D printer parts: Understanding the purpose of each component. In: *Bcn3d.com* [online]. 2021 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://bcn3d.com/3d-printer-parts-understanding-the-purpose-of-each-component/>
- [87] Transistor as a Switch. In: *Geeksforgeeks.org* [online]. 2024 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/electronics-engineering/transistor-as-a-switch/>

- [88] JTE HEX/STUD BOLTS. In: *Jtefasteners.com* [online]. <https://jtefasteners.com/hex-bolts/> [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://jtefasteners.com/hex-bolts/>
- [89] Závitová zápusťná vložka M4x6x6 mosazná. In: *Https://dratek.cz/* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino-platforma/231181-zavitova-zapustna-vlozka-m4x6x6-mosazna.html?gad_campaignid=17190055571
- [90] Durometer Shore stupnice tvrdosti. In: *Insta3dp.com* [online]. 2020 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <http://cz.insta3dp.com/info/durometer-shore-hardness-scale-51886066.html>
- [91] HEATH, Janet. What's the difference between an analog switch and digital switch ICs? In: *Eeworldonline.com* [online]. 2017 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <http://www.eeworldonline.com/whats-the-difference-between-an-analog-switch-and-digital-switch-ics/>
- [92] Push Button Switches: Types, Uses, Features and Benefits. In: *C3controls.com* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://www.c3controls.com/blog/guide-to-push-button-switches/>
- [93] Emergency stop switch mini. In: *Eveurope.eu* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://eveurope.eu/en/product/emergency-stop-switch-mini/>
- [94] LCD menu (CORE One L). In: *Prusa3d.com* [online]. 2026 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/lcd-menu-core-one-1_970140
- [95] BIGTREETECH HDMI5 / HDMI7 display. In: *Biqu.equipment* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://biqu.equipment/collections/lcd-screen/products/bigtreotech-hdmi5-v1-0-hdmi7-v1-0>
- [96] Vysvětlení významu stavových LED (MK4/XL). In: *Prusa3d.com* [online]. 2026 [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/vysvetleni-vyznamu-stavovych-led-mk4-xl_418975
- [97] Comparing Connection Methods - WiFi, USB, and Ethernet. In: *Support-dental.phrozen3d.com* [online]. [cit. 2026-05-21]. Dostupné z: <https://support-dental.phrozen3d.com/hc/en-us/articles/24179916806937-Comparing-Connection-Methods-WiFi-USB-and-Ethernet>

- [98] ÚNMZ. *Bezpečnost strojních zařízení - Tělesné rozměry - Část 2: Zásady stanovení rozměrů požadovaných pro přístupové otvory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [99] ÚNMZ. *Bezpečnost strojních zařízení - Tělesné rozměry - Část 3: Antropometrické údaje*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [100] ČNI. *Bezpečnost strojních zařízení - Indikace, značení a uvedení do činnosti - Část 2: Požadavky na značení*. 2. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [101] ČNI. *Bezpečnost strojních zařízení - Indikace, značení a uvedení do činnosti - Část 1: Požadavky na vizuální, akustické a taktilní signály*. 2. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [102] ÚNMZ. *Bezpečnost strojních zařízení - Funkce nouzového zastavení - Zásady pro konstrukci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

<i>3D</i>	třídimenzionální
<i>3DP</i>	3D tisk
<i>FDM</i>	fused feposition modeling (tavné nanášením plast. vlákna)
<i>SLS</i>	selective laser sintering (selektivní laserové spékání)
<i>PA</i>	polyamid (nylon)
<i>PLA</i>	kyselina polymléčná
<i>PETG</i>	polyethylentereftalát glykol
<i>ABS</i>	akrylonitrilbutadienstyren
<i>ASA</i>	akrylonitrilstyrenakrylát
<i>PEEK</i>	polyetheretherketon
<i>PEI</i>	polyetherimid
<i>CAD</i>	computer-aided design (počítačem podporované projektování)
<i>DIY</i>	do it yourself („Udělej si sám“)
<i>dB</i>	decibel
<i>mm</i>	milimetr
<i>Kč</i>	korun českých
<i>kg</i>	kilogram
<i>°C</i>	stupeň Celsia
<i>TPU</i>	termoplastický polyuretan
<i>UL</i>	americký certifikát zařízení (Underwriters Laboratories)
<i>CSA</i>	kanadský certifikát zařízení (Canadian Standards Association)
<i>D x V x Š</i>	délka x výška x šířka
<i>AI</i>	umělá inteligence (Artificial Intelligence)
<i>Wi-Fi</i>	skupina bezdrátových síťových protokolů
<i>m</i>	metr
<i>3v1</i>	tři funkce v jedné
<i>PE</i>	polyethylen

<i>PVC</i>	polyvinylchlorid
<i>NTC</i>	negative temperature coefficient
<i>AC</i>	alternating current (střídavý proud)
<i>DC</i>	direct current (stejnoseměrný proud)
<i>V</i>	volt
<i>step-down</i>	charakteristika měniče napětí ke snížení výstupního napětí
<i>PC</i>	polykarbonát
<i>LED</i>	light-emitting diode (světlo emitující dioda)
<i>USB</i>	universal serial bus (univerzální sériová sběrnice)
<i>ČSN</i>	česká technická norma
<i>EN</i>	evropská norma
<i>ISO</i>	mezinárodní organizace pro normalizaci
<i>VŠB-TU</i>	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
<i>€</i>	euro
<i>ks</i>	kus
<i>Nm</i>	newtonmetr
<i>W</i>	watt
<i>Ø ø</i>	průměr
<i>RGB</i>	red, green, blue (červená, zelená, modrá – barevný model)
<i>HDMI</i>	high-definition multi-media interface
<i>px</i>	pixel
<i>A</i>	ampér
<i>kΩ</i>	kiloohm
<i>MHz</i>	megahertz
<i>GHz</i>	giga herz
<i>KB</i>	kilobajt
<i>CPU</i>	control process unit (procesor)
<i>SRAM</i>	static random access memory
<i>ROM</i>	read-only memory
<i>Al</i>	hliník

V	objem
ρ	hustota
l	délka
M	statický moment
h	výška
γ	celkové těžiště
<i>CNC</i>	computer numerical control (počítačové číslicové řízení)
<i>PMMA</i>	polymethylmethakrylát (plexisklo)
dm^3	decimetr krychlový
°	stupeň
<i>PTFE</i>	<u>polytetrafluorethylen</u>
"	palce
<i>RAL</i>	mezinárodní standard pro stupnici barevných odstínů
<i>PCTG</i>	polycyklohexylendimethylen tereftalát glykol

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Rozměrové schéma vstupní konstrukce prototypu filament extrudéru	51
Obr. 2-2 Schéma použitého profilu K3030 (průřez), dostupné z [58]	51
Obr. 2-3 Aplikace rohového úhelníku, dostupné z [59].....	52
Obr. 2-4 Různé druhy matic do konstrukčních profilů, přeloženo, dostupné z [61]	52
Obr. 2-5 Násypka filament extrudéru ARTME3D MK3S+, dostupné z [19]	53
Obr. 2-6 Průřez horizontálním extrudérem, upraveno, dostupné z [65].....	54
Obr. 2-7 Schéma fází tavení granulátu s použitím třízónového šneku, upraveno, dostupné z [66]	54
Obr. 2-8 Topný pas s keramickou izolací [69] a keramické topné těleso pro 3D tiskárny [68]	55
Obr. 2-9 Sestava topných článků v řešeném filament extrudéru, fotografie z výroby	56
Obr. 2-10 Axiální a radiální ventilátor, dostupné z [72].....	57
Obr. 2-11 Vtahovací mechanismus posouvající strunu a filament senzor, dostupné z [74]	58
Obr. 2-12 Digitální senzor tloušťky filamentu, dostupné z [78]	59
Obr. 2-13 Radiální radiátory a vťahovací mechanismus v rámci řešeného filament extrudéru, fotografie z výroby	59
Obr. 2-14 Schéma sofistikovaného navíjecího mechanismus. dostupné z [79]	60
Obr. 2-15 Schéma krokového motoru, upraveno, dostupné z [82].....	61
Obr. 2-16 Spínací zdroj Mean Well 24V, dostupné z [83]	61
Obr. 2-17 Řídící moduly Raspberry Pi 5 (vlevo) a Arduino UNO (vpravo), dostupné z [84] [85]	62
Obr. 2-18 Elektrobox se třemi spínacími tranzistory (vpravo pod ventilátorem), fotografie z výroby	63
Obr. 2-19 Schéma vlastností polymerních materiálů, upraveno, dostupné z [63]	64
Obr. 2-20 Různé druhy spojovacího materiálu s metrickým závitem, dostupné z [88].....	64
Obr. 2-21 Závětová mosazná vložka, dostupné z [89]	65
Obr. 2-22 Stupnice tvrdosti Shore u měkkých polymerů, dostupné z [90].....	65
Obr. 2-23 Schéma vzájemných vztahů člověk s přístrojem (extrudérem) a prostředím	66
Obr. 2-24 Rozvržení ovládacího panelu u novějších tiskáren Prusa, dostupné z [94]	67

Obr. 2-25 Emergency stop tlačítko, dostupné z [93].....	67
Obr. 2-26 Mezinárodní grafický symbol upozorňující na horký povrch, dostupné z [100]	68
Obr. 2-27 Význam barev pro kódování – všeobecné zásady, dostupné z [101]	69
Obr. 3-1 Základní konstrukce extrudéru filamentu včetně komponent, porovnání s ergonomem	73
Obr. 3-2 Aditivní centra – Protolab, StrojLAB, FabLAB, Prusa Reseach.....	74
Obr. 3-3 Vymezení atributů a cílů produktu	75
Obr. 4-1 Strom cílů	78
Obr. 4-2 Glassbox	79
Obr. 4-3 Schéma vstupních vnitřních komponent.....	81
Obr. 4-4 Varianta I – pohledy	86
Obr. 4-5 Varianta I – pracovní pozice.....	86
Obr. 4-6 Varianta I – rozměry.....	87
Obr. 4-7 Varianta II – pohledy.....	88
Obr. 4-8 Varianta II – pracovní pozice.....	88
Obr. 4-9 Varianta II – rozměry	89
Obr. 4-10 Varianta III – pohledy.....	90
Obr. 4-11 Varianta III – pracovní pozice.....	90
Obr. 4-12 Varianta III – rozměry	91
Obr. 5-1 Schéma objemů tištěných komponent – zásobník, mísící komora, elektrobox, vtahovací a navíjecí mechanismus.....	93
Obr. 5-2 Fáze rozvoje zvolené varianty	96
Obr. 5-3 Optimalizovaný předběžný návrh systému krytu.....	97
Obr. 5-4 Detail transparentních sekcí.....	98
Obr. 5-5 Původní podoba zásobníku (násypky).....	99
Obr. 5-6 Varianty optimalizace zásobníku; A – plně snímatelný, plnění zespoda, B – jednopantový výklopný systém, plnění zespoda, C – dvojpantový výklopný systém, plnění zespod, D – kombinovaný (panty a posuvník), boční plnění.....	99
Obr. 5-7 Způsoby blokování nežádoucího vypadávání plastu přírubou při překlápění; varianta A – šuplíková komora, varianta B – páková klapka	100
Obr. 5-8 Rozměrové řešení předběžného návrhu.....	101

Obr. 5-9 Schéma popisující materiály a způsob výroby vybraných komponent	102
Obr. 6-1 Finální návrh (perspektivní pohledy).....	105
Obr. 6-2 Schéma finálního návrhu (rozklad na ortogonální pohledy)	106
Obr. 6-3 Rozbor dílů – zásobník	107
Obr. 6-4 Rozbor dílů – kryt mísící komory	108
Obr. 6-5 Rozbor dílů – vrchní část	109
Obr. 6-6 Rozbor dílů – střední část	109
Obr. 6-7 Rozbor dílů – spodní část.....	110
Obr. 6-8 Rozbor dílů – vnitřní část bloku.....	111
Obr. 6-9 Rozměrové schéma finálního řešení – základní shrnující s ergony	113
Obr. 6-10 Rozměrové schéma – detail zásobníku a krytu mísící komory	113
Obr. 6-11 Rozměrové schéma – detail vrchní sekce, úchytů, L-profilů, zadní spojnice a vstupy.....	114
Obr. 6-12 Rozměrové schéma – detail středové sekce (dvířka, panty a úchopy)	114
Obr. 6-13 Rozměrové schéma – detail spodní sekce (ovládací panel, boční ventilační mřížky)	115
Obr. 6-14 Ovládání klapky pomocí páčky – vlevo otevřený stav, vpravo zavřený stav..	115
Obr. 6-15 Postup při plnění zásobníku (úchop, vyklopení, odšroubování víčka zásobníku)	116
Obr. 6-16 Návrh plnicího zařízení k bezprašnému plnění zásobníku zejména práškovým PA	117
Obr. 6-17 Vizualizace způsobu plnění zásobníku (přiložení plničky, otevření excentrického uzávěru, zašroubování víčka, zaklopení zpět a uvolnění páčky)	118
Obr. 6-18 Magnetické dorazy u zásobníku a páčky	118
Obr. 6-19 Naplněný zásobník – zařízení připraveno k použití	119
Obr. 6-20 Způsob snímání (vertikální vysunutí) krytu mísící komory	120
Obr. 6-21 Manipulační prostor v rámci občasného čištění mísící komory	120
Obr. 6-22 Způsob otevírání dvoukřídlých dveří (otevření do 108°)	121
Obr. 6-23 Detail magnetických dorazů a pantů s dorazy definující maximální výklop ..	122
Obr. 6-24 Způsob protahování surové struny vtažovacím průvlakem.....	123
Obr. 6-25 Detail ovládání s páčkou napínací kladky	123

Obr. 6-26 Detail provlékání zastrížené struny očkem vahadla	124
Obr. 6-27 Detail provlékání filamentu PTFE trubičkou přes navíjecí raménko k prázdné cívce.....	125
Obr. 6-28 Detail odebrání výsledné recyklovaného filamentu na cívce.....	125
Obr. 6-29 Detail ovládacího panelu.....	126
Obr. 6-30 Detail zadních vstupů a hlavního vypínače.....	127
Obr. 6-31 Schéma zorného pole sedícího uživatele při interakci se zařízením	127
Obr. 6-32 Režimy stavu přístroje dle barev signalizace; nesvítlí – neaktivita, žlutá – nahřívání, zelená – připraveno k použití/extruze, červená – chyba, modrá – dochlazování	128
Obr. 6-33 Detail otvoru pro ruce (úchyt s vnitřním krytem)	129
Obr. 6-34 Způsob občasného přenášení přístroje.....	129
Obr. 6-35 Porovnání výšek úchytů od stolu (750 mm) a od země	130
Obr. 6-36 Detail dosedacích plošek z TPU	130
Obr. 6-37 Detailní pohled na perforovaná místa krytu (výdechy) a spodní ventilační mřížky (vstup vzduchu)	131
Obr. 6-38 Detail ventilační mřížky u hlavního motoru krytu mísící komory.....	131
Obr. 6-39 Detail dvojdielného vnitřního krytu tepelných článků	132
Obr. 6-40 Barevné řešení – varianta A.....	133
Obr. 6-41 Barevné řešení – varianta B	134
Obr. 6-42 Barevné řešení – varianta C	134
Obr. 6-43 Barevné řešení – varianta D.....	135
Obr. 6-44 Varianty logotypu (vývoj) – verze plná, zkrácená monochromatická (pro aplikace na produkty), zkrácená barevná	136
Obr. 6-45 Detail dvojice úchopů dvířek sdílející stejný tvar jako symbol v logotypu	136
Obr. 6-46 Barevná řešení logotypů dle zvolených barev pozadí.....	137
Obr. 6-47 Aplikace loga na barevné řešení A	138
Obr. 6-48 Aplikace loga na barevné řešení B.....	139
Obr. 6-49 Aplikace loga na barevné řešení C.....	139
Obr. 6-50 Aplikace loga na barevné řešení D	140

Obr. 6-51 Rozměry aplikovaného logotypu vč. ochranného pásma a schéma umístění logotypu na levé horní bočnici.....	141
Obr. 6-52 Ukázka tištěných dílů z 3D tiskáren Prusa (fotografie z výroby).....	142
Obr. 6-53 Ukázka dílů z PMMA řezaných laserem (fotografie z výroby)	142
Obr. 6-54 Ilustrativní rozměry základní konstrukce drtiče	143
Obr. 6-55 Popis základních komponent zadaného drtiče.....	144
Obr. 6-56 Návrh všech integrovaných komponent drtiče	145
Obr. 6-57 Finální koncepční řešení drtiče, pohled zprava	146
Obr. 6-58 Finální koncepční řešení drtiče, pohled zleva	146
Obr. 6-59 Finální koncepční řešení drtiče v poměru s člověkem.....	147
Obr. 7-1 Rextrood umístěný v aditivním centru.....	151

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 4-1 Hodnocení variant dle technických a estetických kritérií	92
Tab. 5-1 Tabulka hmotností komponent a rámu pro výpočet statických momentů ke stanovení celkového těžiště	94
Tab. 5-2 Odhad cen nákupu veškerých komponent	104
Tab. 8-1 Výsledek výzkumu podle RIV	152

13 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšené postery

- Sumarizační poster (A4)
- Technický poster A (A4)
- Technický poster B (A4)
- Ergonomický poster (A4)
- Designérský poster (A4)

Samostatné přílohy

- Sumarizační poster (A1)
- Technický poster A (A1)
- Technický poster B (A1)
- Ergonomický poster (A1)
- Designérský poster (B1)
- Fyzický model (M 1:1)

14 PŘÍLOHY



SUMARIZAČNÍ POSTER

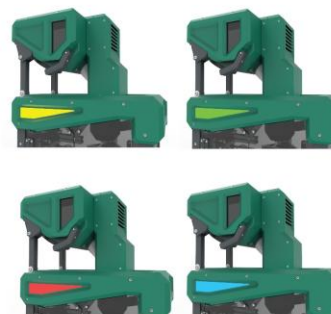
Projekt Rextrood se zaměřuje na design krytu stolního extrudéru pro lokální recyklaci plastů ze 3D tisku. Cílem bylo vytvořit zařízení, které umožní uživateli efektivní přeměnu plastového odpadu zpět na plnohodnotnou tiskovou strunu, aniž by svým provozem narušovalo okolní pracovní prostředí.

Návrh zohledňuje jak prostorové a ergonomické nároky na bezpečnou a pohodlnou obsluhu, tak i striktní provozní a termální požadavky samotné technologie. Přístroj je navržen s důrazem na čistou estetiku, jednoduchou údržbu a podporu cirkulární ekonomiky přímo v laboratořích a sdílených dílnách.

Navržen ve čtyřech barevných variantách – tyrkysová, pastelová oranžová, brilantní modrá a krémová bílá.



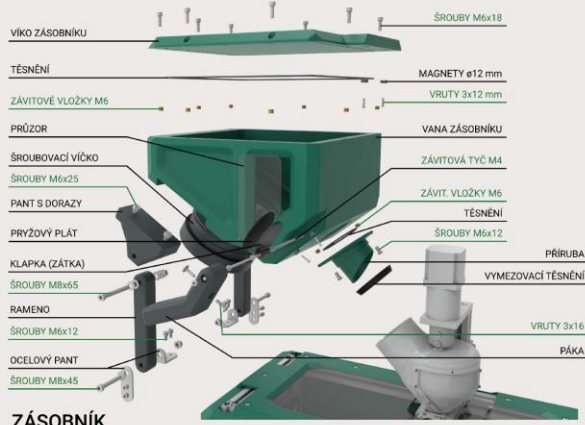
BAREVNÉ VARIANTY



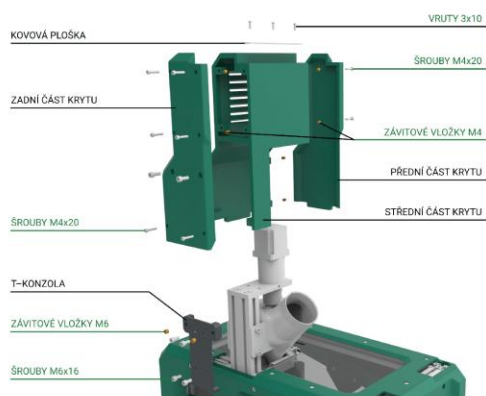
BARVY STAVOVÉHO PANELU

DESIGN PŘÍSTROJE PRO RECYKLACI PLASTŮ ZE 3D TISKÁREN | DIPLOMOVÁ PRÁCE | Autor: Bc. Lukáš Bláha | Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. | VUT | FSI | ÚK | ODP | červen 2026

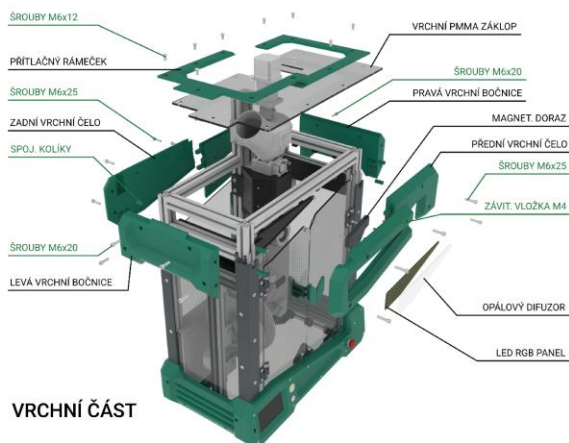




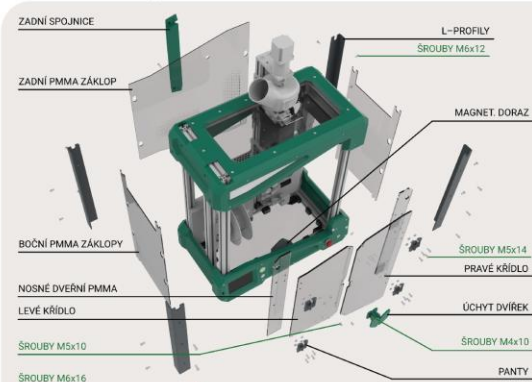
ZASOBNÍK



KRYT MÍŠÍ KOMORY



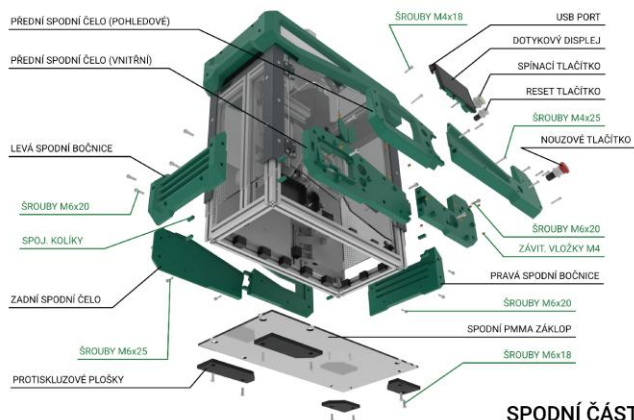
VRCHNÍ ČÁST



STŘEDOVÁ ČÁST

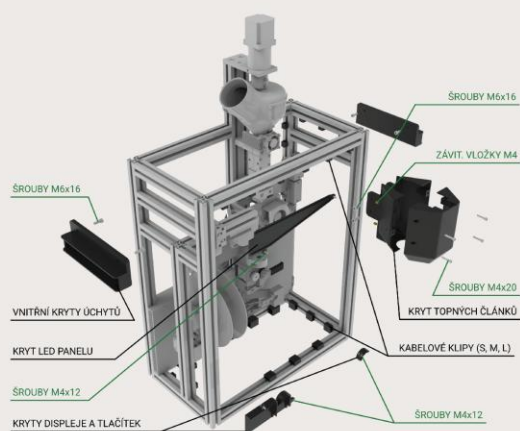
Nosnou strukturu extruderu tvoří tuhý hliníkový rám zajišťující mechanickou odolnost doplněné o izolační prvky spolehlivě chránící uživatele před horkými prvky. Rozměry zařízení jsou plně optimalizovány pro standardní stoly v laboratořích a sdílených dílnách o výšce 750 mm.

Napájení ze sítě (230 V) bezpečně distribuuje 24V spínaný zdroj se systémem step-down měničů. Komplexní řízení extruze, synchronizaci krokových motorů i regulaci teplot obstarává centrální řídicí jednotka. Chlazení extrudovaného filamentu zajišťují aktivní ventilátory, datovou komunikaci a vzdálenou správu pak integrované USB a ethernetové porty.



SPODNÍ ČÁST

DESIGN PŘÍSTROJE PRO RECYKLACI PLASTŮ ZE 3D TISKÁREN | DIPLOMOVÁ PRÁCE | Autor: Bc. Lukáš Bláha | Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. | VUT | FSI | ÚK | ODP | červen 2026



VNITŘNÍ KRYTY A KLIPY

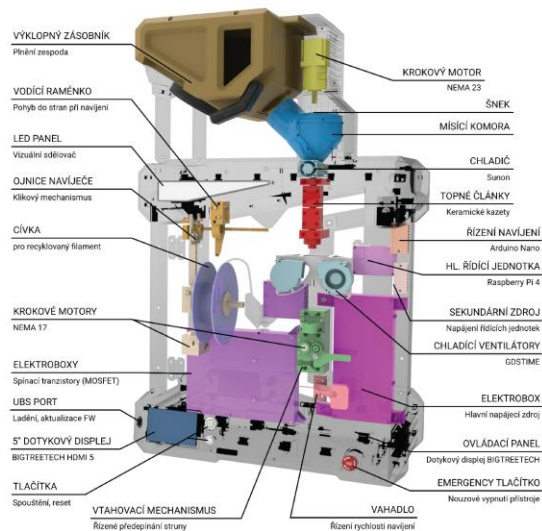
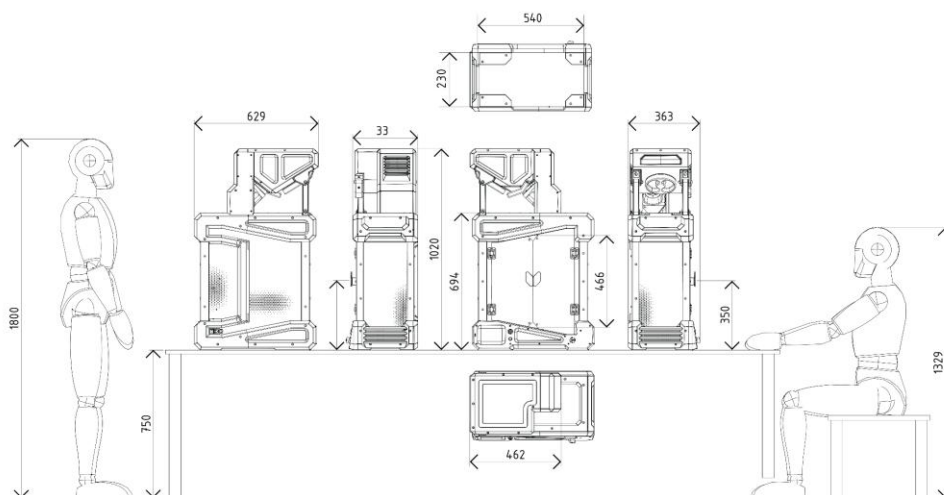


SCHÉMA KOMPONENT



ROZMĚROVÉ SCHÉMA (M 1:10)

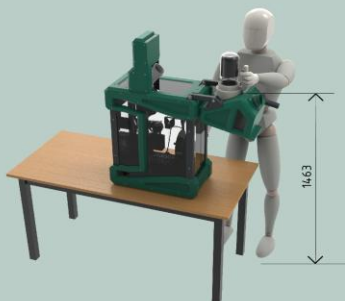
DESIGN PŘÍSTROJE PRO RECYKLACI PLASTŮ ZE 3D TISKÁREN | DIPLOMOVÁ PRÁCE | Autor: Bc. Lukáš Bláha | Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. | VUT | FSI | ÚK | ODP | červen 2026



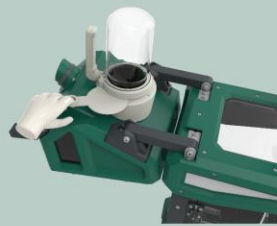
OTÁČENÍ PÁČKY S KLAPKOU



VYKLÁPĚNÍ ZÁSObNÍKU



NASAZENÍ PLNIČE



VÝKLOP ŠOUPĚTE PLNIČE



OTEVÍRÁNÍ DVEŘÍ



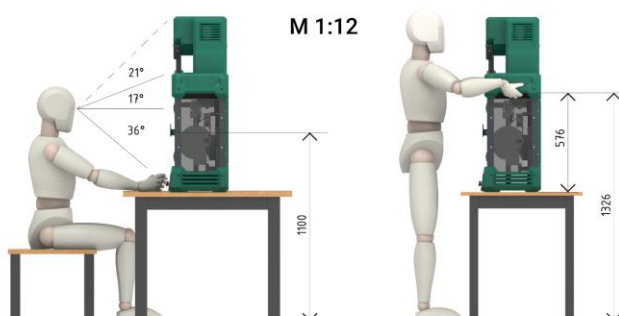
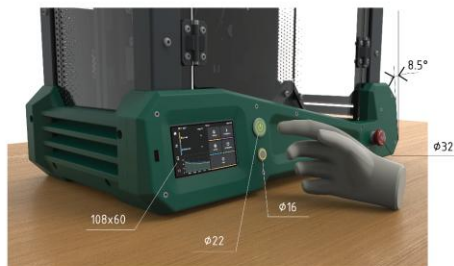
MANIPULACE S VNITŘNÍMI KOMPONENTAMI

ERGONOMICKÝ POSTER

Extruder disponuje výklopným zásobníkem a externím navijecím mechanismem pro plynulé plnění materiálu zvenčí. Tím je zajištěn bezpečný provoz (zejména u sypkého SLS prášku) a snazší údržba vnitřních částí.

Ovládací rozhraní je situováno na čelní straně přístroje – v bezpečné vzdálenosti od vysokých teplot tavicí komory. K nastavení a celkové kontrole zde uživatel slouží dotykový displej doplněný o intuitivní RGB stavový panel.

Celkové uspořádání je uzpůsobeno pro obsluhu sedícím uživatelem. Stolní kryt ergonomicky respektuje dosahové zóny a minimalizuje riziko popálení. Součástí vybavení je odizolovaná extruzní hlava, tlačítko nouzového zastavení a praktické revizní otvory pro maximální kontrolu a bezpečnost chodu.



DESIGN PŘÍSTROJE PRO RECYKLACI PLASTŮ ZE 3D TISKÁREN | DIPLOMOVÁ PRÁCE | Autor: Bc. Lukáš Bláha | Vedoucí práce: akad. soch. Josef Sládek, ArtD. | VUT | FSI | ÚK | ODP | červen 2026



Recyklátor plastů ze 3D tiskáren

2026

Bc. Lukáš Bláha

vedoucí: akad. soch. Josef Sládek, ArtD.

Designérské pojetí stolního extrudéru Rextrood přímo integruje proces lokální recyklace plastového odpadu z aditivní výroby do každodenní praxe v laboratořích a sdílených dílnách. Transformace plastové drěť na plnohodnotný filament tak představuje efektivní aplikaci principů cirkulární ekonomiky. Koncepce krytování klade primární důraz na bezpečnost provozu, spolehlivou termální izolaci a vysokou úroveň ergonomie obsluhy, jež je podpořena uživatelsky přívětivým dotykovým rozhraním. Z vizuálního hlediska přístroj propojuje robustní charakter průmyslové extruzní technologie s čistou estetikou současných 3D tiskáren. Zvolené ucelené tvarosloví umožňuje přirozené začlenění zařízení do sdíleného pracovního prostoru, čímž Rextrood plně reflektuje nároky na moderní a udržitelné pracoviště.

