

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ

HÁLOVA 16, 851 01 BRATISLAVA

Návrh a konštrukcia FFF 3D tlačiarne

Michal Mečiar

Bratislava

2026

Ročník štúdia: IV.A

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ

HÁLOVA 16, 851 01 BRATISLAVA

Návrh a konštrukcia FFF 3D tlačiarne

Michal Mečiar

Bratislava

2026

Ročník štúdia: IV.A

Mgr. Matúš Kovár

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že maturitnú prácu na tému 3D tlačiareň, som vypracoval samostatne, s použitím uvedených literárnych zdrojov. Prácu som neprihlásil a ani neprezentoval v žiadnej inej súťaži, ktorá je pod gestorstvom MŠVVaM SR. Som si vedomý dôsledkov, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Bratislave, 27. 2. 2026

.....
Michal Mečiar

Pod'akovanie

Rád by som sa touto cestou poďakoval svojmu školiteľovi Mgr. Matúšovi Kovárovi za prístup a odborné rady. Chcel by som sa poďakovať všetkým, ktorí ma počas práce na tomto projekte podporovali, povzbudzovali a pomáhali mi, keď to bolo potrebné.

Obsah

0	Úvod	14
1	Princíp 3D tlače	15
2	Výhody 3D tlače	15
3	Rozdelenie 3D tlačiarní.....	15
3.1	FFF / FDM	15
3.2	SLS.....	16
3.3	DLP	16
3.4	Polyjet	16
3.5	MJF.....	16
3.6	SLA.....	16
3.7	SLM	17
4	FDM/FFF 3D TLAČ	17
4.1	Konštrukcia FDM/FFF 3D tlačiarní	17
4.1.1	Scara.....	17
4.1.2	Delta	17
4.1.3	Karteziánska	18
4.1.3.1	XZ.....	18
4.1.3.2	XY.....	18
4.1.3.2.1	CoreXY.....	18
5	Súčiastky cartesian	19
5.1	Rám	19
5.2	Motory	19
5.3	Ovládanie motorov.....	19
5.4	Tlačová hlava	20
5.5	Elektronický riadiaci systém	20
5.6	Softvér.....	20
5.6.1	Riadiaci Firmware a softvér.....	20
5.6.2	Softvér na slicing.....	20
6	Návrh konkrétneho riešenia 3D tlačiarnie	21
6.1	CAD Model a proces návrhu súčiastok	21
6.1.1	Postup návrhu v CAD prostredí.....	21
6.1.2	Konštrukčné zásady pri návrhu súčiastok	22
6.1.3	Návrh súčiastok určených pre 3D tlač	22

6.1.1	Tvorba animácie.....	23
6.1.2	Overenie návrhu.....	23
6.2	Koncepčný návrh 3D Tlačiarne.....	24
6.3	Mechanická konštrukcia rámu.....	24
6.4	Kinematika a pohybový systém.....	24
6.5	Riešenie osi Z.....	24
6.6	Tlačová hlava a extrúzný systém.....	25
6.7	Tlačový priestor a vyhrievaná podložka.....	25
6.8	Elektronika a riadiaci systém.....	26
6.9	Napájací systém.....	26
6.10	Riadenie vyhrievania.....	26
6.11	Uzavretá Konštrukcia tlačiarne.....	27
7	Zostavenie návrhu 3D tlačiarne.....	28
7.1	Tlač Súčiastok.....	28
7.1.1	Využitie materiály.....	28
7.1.2	Chyby pri tlači.....	28
7.2	Rám.....	28
7.3	XY.....	28
7.4	Z.....	29
7.5	Elektronika.....	29
7.6	Uzavretie.....	29
7.7	Softvér a firmvér.....	29
7.7.1	Softvér a firmvér tlačiarne.....	29
7.7.2	Softvér na slicing.....	30
8	Kalibrácia a testovanie zostavenej 3D tlačiarne.....	31
9	Záver.....	33
10	Zhrnutie.....	34
11	Zoznam použitej literaty.....	35
12	Prílohy.....	36

Zoznam skratiek, značiek a symbolov

CAD – Computer Aided Design

FFF – Fused Filament Fabrication

FDM – Fused Deposition Modeling

SLA – Stereolitography

MJF – Multi Jet Fusion

PLA – PolyLactic Acid

ABS – Acrylonitrile Butadiéne Styrene

PETG – Polyethylene terephthalate glycol

NEMA – National Electrical Manufacturers
Association

SSR – Solid State Relay

LED – Light-Emitting Diode

LCD – Liquid-Crystal Display

PTFE - PolyTetraFluoroEthylene

PWM – Pulse-Width Modulation

RPM – Revolutions Per Minute

G-code – Geometric code (RS-274)

0 ÚVOD

„3D manufacturing, or printing is the most versatile production method humanity has yet come up with.“

-Dr Adrian Bowyer

„3D výroba, alebo tlač je najuniverzálnejšia výrobná metóda, akú ľudstvo doteraz vymyslelo.“

3D tlač, označovaná aj ako aditívna výroba, predstavuje moderný spôsob výroby trojrozmerných objektov z digitálneho modelu. Objekt vzniká postupným nanášaním materiálu vrstvu po vrstve. Tento princíp sa líši od tradičnej subtraktívnej výroby, pri ktorej sa výsledný tvar odoberá z jedného celku materiálu. Rozvoj tejto technológie výrazne ovplyvnil priemysel, výskum aj bežný spotrebiteľský sektor.

Téma 3D tlače ma zaujala najmä pre jej dynamický vývoj a široké možnosti využitia. Ide o technológiu, ktorá spája informatiku, strojárstvo aj dizajn. Zároveň umožňuje rýchle prototypovanie, personalizovanú výrobu a znižovanie materiálového odpadu. V posledných rokoch sa stala dostupnou nielen pre veľké priemyselné podniky, ale aj pre školy, malé firmy a domácich používateľov.

Cieľom tejto práce je priblížiť vývoj 3D tlače od jej počiatkov až po súčasnosť a poukázať na jej hlavné oblasti využitia. Práca sa zameriava na historický vývoj technológie, významné projekty a spoločnosti, ktoré prispeli k jej rozšíreniu, ako aj na praktické uplatnenie v rôznych sektoroch. Osobitná pozornosť je venovaná prechodu od priemyselnej technológie k dostupnému nástroju pre širokú verejnosť.

Prvé myšlienky trojrozmernej tlače sa objavili už v polovici 20. storočia, výraznejší pokrok však nastal až v 80. rokoch. Spočiatku išlo o nákladné a rozmerné zariadenia určené výlučne pre priemysel. Zlom nastal s rozvojom open-source projektov a digitálneho modelovania na prelome 20. a 21. storočia. Významným míľnikom bol projekt RepRap, ktorý inicioval Adrian Bowyer v roku 2005. Cieľom bolo vytvoriť 3D tlačiareň schopnú vytlačiť väčšinu svojich vlastných súčiastok. Na tento projekt nadviazali ďalšie iniciatívy a spoločnosti, napríklad MakerBot či Prusa Research, ktoré výrazne prispeli k popularizácii technológie.

Od roku 2000 do roku 2020 sa 3D tlač postupne etablovala v mnohých oblastiach. Uplatnenie našla v priemyselnej výrobe, zdravotníctve, architektúre aj vzdelávaní. Významný potenciál preukázala aj v bioinžinierstve a pri výrobe individuálne

prispôsobených produktov. Dnes predstavuje dôležitý nástroj inovácií a technologického pokroku.

Táto práca sa preto venuje analýze vývoja 3D tlače, jej technologickým princípom a možnostiam využitia v praxi. Cieľom je poskytnúť ucelený prehľad o tejto problematike a poukázať na jej význam v súčasnej spoločnosti.

1 PRINCÍP 3D TLAČE

3D tlač je aditívna výroba, predmet vzniká postupným ukladaním materiálu po vrstvách podľa digitálneho 3D modelu (na rozdiel od obrábania, kde sa materiál odoberá).

2 VÝHODY 3D TLAČE

3D tlač umožňuje rýchlu a lacnú výrobu dielov bez potreby foriem, ponúka veľkú slobodu v tvare a dizajne, jednoduchú personalizáciu, menej materiálového odpadu a rýchle úpravy návrhu, vďaka čomu je ideálna na prototypovanie aj malosériovú výrobu. Taktiež je pomocou 3D tlače možné vytvoriť predmety, ktoré sa nedajú vyrobiť iným výrobným procesom (vnútorné geometrie, duté štruktúry, zložité kanály, mriežkové konštrukcie).

3 ROZDELENIE 3D TLAČIARNÍ

3D tlačiarne sa delia na jednotlivé typy podľa použitej technológie tlače, teda podľa spôsobu, akým spracúvajú materiál a vytvárajú objekt vrstvu po vrstve. Medzi najpoužívanejšie patria FDM, SLA a SLS tlačiarne, no existuje mnoho ďalších technológií.

3.1 FFF / FDM

Fused Filament Fabrication alebo Fused Deposition Modeling (s ochrannou skratkou FDM) je proces 3D tlače pri ktorom využíva vlákno termoplastického materiálu. Vlákno sa privádza z veľkej cievky cez pohyblivú, vyhrievanú extrudérovú hlavu tlačiarne a nanáša sa na rastúci objekt. Tlačová hlava sa pohybuje pod kontrolou počítača, aby definovala vytlačený tvar. Hlava sa zvyčajne pohybuje v dvoch rozmeroch, aby nanášala jednu vrstvu naraz. Diel alebo tlačová hlava sa potom pohybuje vertikálne o malú hodnotu, aby sa začala nová vrstva.

3.2 SLS

SLS alebo Selective Laser Sintering je typ aditívnej výroby ktorá využíva laser ako zdroj tepla na spekanie materiálu vo forme prachu (bežne nylon alebo polyamid), laser sa automaticky zameriava na 3D modelom preddefinované body v priestore, tým nastane spojenie materiálu a vytvorenie pevnej štruktúry.

3.3 DLP

Digital Light Processing je typ aditívnej výroby, ktorý je založený na fotopolymérnej technológii, pri ktorej sa resin vytvrdzuje pomocou digitálneho projektora. Projektor naraz osvetlí celú vrstvu modelu, čím dôjde k jej okamžitému vytvrdeniu. Tento proces umožňuje vysokú presnosť, hladký povrch a rýchlu tlač menších až stredne veľkých výrobkov.

3.4 POLYJET

PolyJet je typ aditívnej výroby, ktorý funguje podobne ako atramentová tlačiareň. Tlačová hlava nanáša mikroskopické kvapky tekutého fotopolyméru na tlačovú plochu, ktoré sú okamžite vytvrdzované UV svetlom. Technológia umožňuje tlač z viacerých materiálov a farieb naraz, čím je vhodná na realistické prototypy a vizuálne modely s vysokým detailom.

3.5 MJF

Multi-Jet Fusion je typ aditívnej výroby využívajúci práškový polymér (najčastejšie nylon). Na povrch prášku sa pomocou tlačových hláv nanášajú špeciálne spojovacie a absorpčné činidlá a následne sa celá vrstva zahrieva infračným žiarením. Tým dochádza k spekaniu materiálu len na určených miestach. Výsledkom sú pevné, funkčné diely s dobrými mechanickými vlastnosťami.

3.6 SLA

StereoLithography je jedna z najstarších technológií 3D tlače. Využíva UV laser, ktorý bod po bode vytvrdzuje tekutú fotopolymérnu živicu v nádrži podľa dát z 3D modelu. SLA sa vyznačuje veľmi vysokou presnosťou, jemnými detailmi a hladkým povrchom, avšak vytlačené diely sú zvyčajne krehkejšie.

3.7 SLM

Selective Laser Melting je typ aditívnej výroby určený pre kovové materiály (napr. Hliník, oceľ, titán). Využíva vysokovýkonný laser, ktorý práškový kov úplne taví (nie len speká) a vytvára homogénnu kovovú štruktúru. Technológia umožňuje výrobu veľmi pevných a presných dielov používaných v letectve, medicíne alebo strojárstve.

4 FDM/FFF 3D TLAČ

Technológia FDM/FFF je obľúbená pre svoju jednoduchosť, nízke prevádzkové náklady a širokú dostupnosť materiálov, vďaka čomu sa využíva v hobby sfére, vzdelávaní aj priemyselnom prototypovaní.

4.1 KONŠTRUKCIA FDM/FFF 3D TLAČIARNÍ

Konštrukcia FDM/FFF 3D tlačiarní určuje spôsob pohybu tlačovej hlavy a tlačovej podložky v jednotlivých osiach priestoru. Typ konštrukcie má významný vplyv na rýchlosť tlače, presnosť, kvalitu povrchu výtlačkov, ako aj na náročnosť kalibrácie a celkovú spoľahlivosť zariadenia. Medzi najpoužívanejšie konštrukčné riešenia patria systémy Cartesian a Delta.

4.1.1 SCARA

SCARA alebo Selective Compliance Assembly Robot Arm, je typ konštrukcie FDM/FFF 3D tlačiarne využívajúci robotické rameno s rotačnými kĺbmi. Pohyb tlačovej hlavy je zabezpečený otáčaním ramien v horizontálnej rovine a posuvom v osi Z. Tento typ konštrukcie umožňuje vysokú rýchlosť a flexibilitu, avšak je konštrukčne a softvérovo náročnejší.

4.1.2 DELTA

Delta je typ konštrukcie FDM/FFF 3D tlačiarne, pri ktorej je tlačová hlava zavesená na troch vertikálnych ramenách pohybujúcich sa po samostatných vodičoch. Súčasným pohybom všetkých troch ramien sa dosahuje presný pohyb tlačovej hlavy v priestore. Delta tlačiarne sú známe vysokou rýchlosťou tlače a plynulými pohybmi, no vyžadujú presnú kalibráciu a často je ich cena vyššia, ako viac bežné tlačiarne typu cartesian.

4.1.3 KARTEZIÁNSKA

Cartesian je najbežnejší typ konštrukcie FDM/FFF 3D tlačiarní, pri ktorom sa pohyb realizuje priamočiaro v osiach X, Y a Z. Každá os má samostatný motor a pohyb je jednoduchý na riadenie aj kalibráciu. Tento typ konštrukcie je spoľahlivý, presný a vhodný pre väčšinu bežných aplikácií.

4.1.3.1 XZ

Pri konštrukcii XZ sa tlačová hlava pohybuje v osiach X a Z, zatiaľ čo tlačová podložka sa pohybuje v osi Y. Tento typ konštrukcie je jedným z najrozšírenejších a najdostupnejších (napr. Prusa i3, Ender 3).

4.1.3.2 XY

Pri konštrukcii XY sa tlačová hlava pohybuje v horizontálnych osiach X a Y, zatiaľ čo tlačová podložka sa pohybuje vertikálne v osi Z (napr. CoreXY, H-Bot). V poslednej dobe začína byť tento typ viac populárny, no najmä typ CoreXY (napr. Prusa Core One, Bambulab X1 Carbon), často z dôvodu vyšších rýchlostí tlače.

4.1.3.2.1 COREXY

Systém CoreXY predstavuje moderné konštrukčné riešenie pohybu v osiach X a Y, ktoré patrí medzi najrozšírenejšie mechaniky vysokorýchlostných FFF 3D tlačiarní. Ide o špecifickú variantu karteziánskej konštrukcie, pri ktorej sa pohyb tlačovej hlavy realizuje pomocou dvoch krokových motorov a sústavy remeňov, pričom oba motory spolupracujú pri pohybe v oboch osiach. Na rozdiel od klasickej konštrukcie, kde každý motor ovláda jednu os, pri systéme CoreXY sa pohyb v osi X a Y dosahuje kombináciou otáčania oboch motorov.

Hlavnou výhodou tohto riešenia je nízka hmotnosť pohyblivých častí. Motory sú pevne uchytené na ráme tlačiarnie a nepohybujú sa spolu s tlačovou hlavou. Vďaka tomu sa výrazne znižuje zotrvačnosť pohybového systému, čo umožňuje dosahovať vysoké zrýchlenia a rýchlosti tlače pri zachovaní dobrej presnosti. Nižšia hmotnosť pohyblivých častí zároveň znižuje vibrácie a zlepšuje kvalitu povrchu výtlačkov.

Systém CoreXY využíva krížené vedenie remeňov, ktoré zabezpečuje rovnomerný prenos sily z oboch motorov na vozík tlačovej hlavy. Ak sa oba motory otáčajú rovnakým smerom, tlačová hlava sa pohybuje v jednej osi, a ak sa otáčajú opačne,

pohyb prebieha v druhej osi. Táto kinematika umožňuje veľmi presné a plynulé riadenie pohybu.

Nevýhodou systému je vyššia konštrukčná a montážna náročnosť. Správne vedenie a napnutie remeňov je kritické pre presnosť tlače a vyžaduje presnú montáž a kalibráciu. Napriek tomu sa CoreXY konštrukcia stala štandardom pri moderných vysokorýchlostných 3D tlačiarňach, najmä v zariadeniach určených na tlač technických materiálov a pri požiadavke na vysoký výkon zariadenia.

5 SÚČIASTKY CARTESIAN

5.1 RÁM

Rám 3D tlačiarne tvorí nosnú konštrukciu zariadenia a má zásadný vplyv na jeho tuhosť, stabilitu a presnosť tlače. Najčastejšie sa používa hliníkový profilový systém (napr. 2020, 2040, 3030), ktorý umožňuje jednoduchú montáž a modularitu. Okrem profilov sa používajú aj CNC obrábané hliníkové rámy, oceľové zvarané konštrukcie alebo liate hliníkové rámy, ktoré poskytujú vyššiu tuhosť, no sú výrobné náročnejšie a často mnohonásobne drahšie

5.2 MOTORY

Na pohon jednotlivých osí sa používajú krokové motory, najčastejšie typu NEMA 17, ktoré poskytujú dostatočný výkon pre väčšinu bežných tlačiarní. Pri väčších alebo rýchlejších zariadeniach sa využívajú aj NEMA 23 motory. Pre využitie v tlačových hlavách, sa taktiež využíva aj typ NEMA 14 na dosiahnutie čo najnižšej hmotnosti tlačovej hlavy. V niektorých prípadoch sa používajú uzavreté (closed-loop) krokové motory alebo servomotory, ktoré zvyšujú presnosť a eliminujú stratu krokov.

5.3 OVLÁDANIE MOTOROV

Ovládanie motorov zabezpečujú krokové drivery, ktoré riadia prúd a mikrokroky motorov. Medzi najpoužívanejšie patria TMC2208, TMC2209, TMC2226, známe tichou prevádzkou a funkciou sensorless homing. V priemyselnejších riešeniach sa používajú aj externé drivery (napr. TMC5160, DM542), ktoré umožňujú vyšší prúd a presnejšie riadenie

5.4 TLAČOVÁ HLAVA

Tlačová hlava pozostáva z extrudéra a hotendu, ktoré zabezpečujú posuv a tavenie filamentu. Bežne používané sú riešenia ako E3D V6, Rapido 2F, Mosquito, Dragon či Volcano pre vysoký prietok materiálu. Extrudéry môžu byť typu direct drive (napr. Orbiter 2.5, BondTech LGX) alebo Bowden, ktorý znižuje hmotnosť pohyblivej časti. Výber tlačovej hlavy ovplyvňuje rýchlosť tlače, kvalitu extrúzie a kompatibilitu s materiálmi.

5.5 ELEKTRONICÝ RIADIACI SYSTÉM

Elektronický riadiaci systém zabezpečuje koordináciu všetkých pohybov a procesov tlače. Najčastejšie sa používajú 32-bitové riadiace dosky ako BTT Octopus, Manta M8P, SKR 1.4, Duet 2/3, často v kombinácii s výpočtovým modulom (CM4, CM5). Tieto systémy umožňujú pripojenie viacerých motorov, senzorov, vyhrievaných prvkov a podporujú pokročilé funkcie ako automatické vyrovnávanie podložky.

5.6 SOFTVÉR

5.6.1 RIADIACI FIRMVÉR A SOFTVÉR

Softvér riadi logiku tlače a spracovanie príkazov. Najrozšírenejšie firmvéry sú Marlin, vhodný pre klasické tlačiarne, a Klipper, ktorý presúva výpočtovo náročné úlohy na externý počítač a umožňuje veľmi vysoké rýchlosti tlače. Menej rozšírené, no profesionálne riešenia zahŕňajú RepRapFirmware alebo OctoPrint. Softvér má výrazný vplyv na kvalitu tlače, rýchlosť a možnosti kalibrácie.

5.6.2 SOFTVÉR NA SLICING

Na prípravu modelov pre 3D tlač sa používajú rôzne slicovacie softvéry (slicery), ktorých úlohou je previesť 3D model vo formáte STL alebo STEP na G-code, teda súbor inštrukcií pre riadiacu jednotku tlačiarne. Slicer rozdeľuje model na jednotlivé vrstvy, generuje dráhy pohybu trysky a nastavuje parametre tlače, ako sú výška vrstvy, rýchlosť tlače, teplota, výplň či podporné štruktúry.

Výber konkrétneho slicera závisí od požiadaviek používateľa, kompatibility s firmvérom tlačiarne a úrovne pokročilých nastavení. Moderné slicery umožňujú detailnú optimalizáciu tlačového procesu, náhľad vrstiev, simuláciu času tlače a kontrolu prípadných chýb ešte pred samotnou realizáciou tlače.

6 NÁVRH KONKRÉTHNEHO RIEŠENIA 3D TLAČIARNE

Navrhovaná 3D tlačiareň využíva systém CoreXY s dvoma motormi, je určená na presnú a spoľahlivú tlač technických materiálov pri vysokej rýchlosti. Konštrukcia je tvorená rámom z hliníkových profilov typu 3030 s použitím lineárnych vedení na všetkých osiach. Tlačový objem tlačiarne je $350 \times 350 \times 300$ mm.

Pohyb osi Z je zabezpečený tromi motormi s guľičkovými skrutkami s priemerom 12 mm, čo umožňuje rovnomerný a stabilný zdvih tlačovej podložky. Osa X využíva profil typu 2020 s tlačovou hlavou EVA 3, extrudérom Orbiter 2.5 a hotendom Rapido 2 HF. Vyhrievaná podložka je riešená pomocou dvoch silikónových výhrevných telies riadených cez SSR relé.

Riadiaci systém je postavený na doske BTT Manta M8P V2 s modulom Raspberry Pi Compute Module 5. Napájanie je rozdelené do dvoch samostatných zdrojov, pričom celé zariadenie je navrhnuté ako uzavreté pre lepšiu stabilitu teplotných podmienok a bezpečnosť prevádzky

6.1 CAD MODEL A PROCES NÁVRHU SÚČIASTOK

Kompletný návrh 3D tlačiarne bol spracovaný formou parametrického 3D modelu v CAD prostredí Autodesk Fusion 360. Model zahŕňa všetky mechanické, montážne a funkčné celky vrátane rámu, pohybového systému, držiakov motorov, napínacích mechanizmov, držiakov guľôčkových skrutiek, krytov a elektronických komponentov

Pri návrhu bol využitý top-down prístup, dke bol najskôr definovaný globálny koncept zariadenia ako rozmery tlačového priestoru, rozmiestnenie osí, výška rámu a následne boli vytvárané jednotlivé podsystémy a ich komponenty.

6.1.1 POSTUP NÁVRHU V CAD PROSTREDÍ

Proces návrhu v CAD prostredí prebiehal postupne a systematicky tak, aby bola zabezpečená funkčnosť, presnosť a vzájomná kompatibilita všetkých častí zariadenia. V prvej fáze bol definovaný základný priestor tlačiarne, ktorý určil maximálne rozmery tlačového objemu a pohybové limity jednotlivých osí. Tento krok vytvoril referenčný rámec pre všetky ďalšie konštrukčné rozhodnutia a umožnil včasnú kontrolu možných kolízií.

Následne bol navrhnutý rám a nosná konštrukcia zariadenia ako pevný základ celého systému. Boli stanovené referenčné roviny, montážne body a polohy lineárnych vedení s dôrazom na tuhosť a geometrickú presnosť. Po vytvorení stabilnej mechanickej

základne bola implementovaná kinematika CoreXY vrátane kompletného pohybového mechanizmu, pričom sa overovala správnosť vedenia remeňov a plynulosť pohybu.

V ďalšom kroku bol spracovaný návrh osi Z so zameraním na presné vedenie, rovnobežnosť pohybu a stabilitu tlačovej podložky. Po vyriešení mechanických častí nasledovala integrácia tlačovej hlavy a elektroniky, kde sa riešilo uchytenie komponentov, vedenie kabeláže a kontrola pracovného rozsahu bez kolízií. Záverečnou etapou bol návrh krytovania a uzavretia zariadenia, pričom sa zohľadnili montážne tolerancie, spôsob uchytenia panelov a teplotná dilatácia materiálov.

6.1.2 KONŠTRUKČNÉ ZÁSADY PRI NÁVRHU SÚČIASTOK

Pri návrhu jednotlivých dielov bolo uplatnených viacero zásad. Minimalizácia hmotnosti pohybujúcich sa častí, najmä na osi X, bolo cieľom znížiť zotrvačnosť, z tohto dôvodu bol využitý profil typu 2020 namiesto 3030, nižšia hmotnosť umožňuje vyššie zrýchlenie a redukuje možné vybráacie. Pri nosných dieloch (držiačky motorov, podložky či elektroniky) bolo prioritou dostatočná hrúbka stien, hustota výplne a zaoblenie rohov pre zníženie koncentrácia napätia. Všetky komponenty boli navrhnuté tak aby umožňovali výmnu bez demontáže veľkých častí tlačiarne, podporovali budúci upgrade (napríklad iný hotend, extruder, motory, prídanie viacero motorov, vyhrievača komory či mnohé iné) a boli jednoduché na prípadnú údržbu. Pri návrhu bol braný pohľad aj na servisovateľnosť, napínanie remeňov je jednoduché bez demontáže krytov, prístup ku konektorom ktoré sú potrebné pre tlač je tak isto možný bez akejkoľvek demontáže a v prípade potreby prístupu k elektronike, ktorá rozdelená na dve časti (silová a riadiaca) stačí odstrániť iba spodný kryt.

6.1.3 NÁVRH SÚČIASTOK URČENÝCH PRE 3D TLAČ

Významná časť mechanických dielov (držiačky, kryty, napínacie mechanizmy, úchyty kabeláže) bola navrhnutá ako 3D tlačené komponenty. Pri ich návrhu boli dodržané princípy „Design for Additive Manufacturing“ (DfAM). Každý diel bol navrhnutý s ohľadom na smer vrstiev vzhľadom na pôsobiace sily, minimalizáciu podpier a optimalizáciu pevnosti v kritických smeroch. Napríklad držiačky motorov boli orientované tak, aby vrstvy boli kolmé na smer hlavného zaťaženia skrutkami. Pri tlači hŕa dôležitú úlohu aj hrúbka stien a výplň, počet stien minimálne 4, no ideálne 6 stien pri 0,4 milimetrovej tryske, teda hrúbka 2 – 2,8 milimetrov a správny typ a hustotu výplne pre tlač namáhaných komponentov sú vhodné typy ako gyroid, adaptive cubic alebo

triangle s hustotou 30 – 50 percent. Pre závitovú vložku boli použité mosadzné závitové vložky (heat-set inserts), Otvory boli modelované s toleranciou +0,2 milimetra a otvory pre ložiská boli modelované na rozmer a následne kontrolované tlačou skúšobného dielu. Pri navrhovaní dielov, kde dochádza k spoju plast-kov bola použitá radiálna vôľa 0,2-0,3 milimetra a axiálna vôľa 0,1-0,2 milimetra. Na tlač boli využité materiály PLA (pre časti ktoré nie sú nosné a taktiež nie sú vystavené teplu), PETG (väčšina nosných častí a časti ktoré môžu byť vystavené teplu), ABS (súčiastky tlačovej hlavy) a ASA (systém WobbleX) znázornené v prílohe B (Obr. 4 a 5).

6.1.1 TVORBA ANIMÁCIE

Animácia zostavy bola vytvorená v prostredí Autodesk Fusion 360, konkrétne v pracovnom režime Animation. Tento nástroj umožňuje vytvárať explodované pohľady, simulovať pohyb mechanizmov a exportovať prezentačné video priamo z CAD modelu.

Po dokončení kompletnej zostavy v prostredí Design a kontrole väzieb bol model prepnutý do režimu Animation. Najskôr bol vytvorený explodovaný pohľad pomocou nástroja Transform Components, kde boli jednotlivé diely postupne odsúvané v smere montáže. Každý pohyb sa automaticky zaznamenal na časovej osi (Timeline), kde bolo možné upraviť jeho trvanie a plynulosť.

Následne bola vytvorená animácia pohybu jednotlivých osí tlačiarne (X, Y a Z) pre vizuálne overenie pracovného rozsahu a kontrolu možných kolízií. Pohyby boli simulované postupným posunom komponentov podľa definovaných väzieb. Súčasťou animácie bolo aj nastavenie kamery, otočenie modelu, priblíženie detailov a plynulé prechody medzi pohľadmi.

Hotová animácia bola exportovaná vo formáte MP4 (1920 × 1080 px, 30 fps) pomocou funkcie Publish Video. Výsledné video slúži ako prezentačný materiál a zároveň ako nástroj na finálne overenie správnosti návrhu pred fyzickou realizáciou zariadenia.

6.1.2 OVERENIE NÁVRHU

Pred začiatkom zostavenia modelu a teda dokončením dizajnu bolo vykonané množstvo kontrol, ktorými sa predišlo možným chybám ktoré by mohli ovplyvniť kvalitu tlače či bezpečnosť, taktiež bol vykonaný explodovaný pohľad na zostavu pre jednoduchú vizualizáciu komponentov a kontrolu súčiastok.

Prvým krokom bola vizuálna kontrola celej zostavy a kontrola všetkých súčiastok pomocou explodovaného pohľadu na zostavu, znázornené v prílohe C (súbor FFF-3D-tlaciaren-animacia.mp4), simulácia krajnej polohy osí.

6.2 KONCEPČNÝ NÁVRH 3D TLAČIARNE

Je využívaný pohybový systém CoreXY so dvomi krokovými motormi, ktoré zabezpečujú rýchly a presný pohyb v osiach X a Y; vďaka nízkej hmotnosti pohybujúcich sa častí dosahuje zariadenie vysoké zrýchlenie a tlačové rýchlosti približne 150–300 mm/s pri zachovaní presnosti polohovania okolo $\pm 0,1$ mm. Týmto sa zabezpečuje stabilita, vysoká kvalita povrchu výtlačkov a jednoduchá servisovateľnosť.

6.3 MECHANICKÁ KONŠTRUKCIA RÁMU

Rám tlačiarne je zložený z hliníkových profilov veľkosti 30 s drážkou I6 od výrobcu Marek industrial (typ ITEM, šírka 6mm). Hliníkové profily sú spojené pomocou rohových spojovacích profilov. Tento systém zabezpečuje vysokú modularitu, jednoduchosť pri zmenách, dostatočnú tuhosť rámu a možnosť pridávať príslušenstvo.

6.4 KINEMATIKA A POHYBOVÝ SYSTÉM

Na pohybovanie osí X a Y, je využívaný systém CoreXY s dvomi motormi, táto konfigurácia zabezpečuje efektívny prenos sily, výsledkom je rýchlejší pohyb a vyššia stabilita systému. Pre stabilnejší a hladší chod, sú využité lineárne vedenia typu MGN12 na oboch osiach.. Pre zníženie hmotnosti na osi X je využitý hliníkový profil typu 2020, oproti profilu typu 3030, je hmotnosť znížená o 250 gramov ($0.45 \text{ kg/m} \times 0.5 \text{ m} \approx 0.225 \text{ kg}$ pri 2020 oproti $0.95 \text{ kg/m} \times 0.5 \text{ m} \approx 0.475 \text{ kg}$). Na prenos sily sú využité remene typu GT2 v šírke 9 milimetrov. Napínanie remeňov, prebieha priamo na zadnej časti tlačovej hlavy.

6.5 RIEŠENIE OSI Z

Na pohyb osi Z, sú využité 3 motory NEMA 17, konkrétne model 17HS6401S od výrobcu Hanpose. Na pohyb podložky slúžia 3 guličkové skrutky typu SFU1204 v dĺžke 350mm, oproti štandardne využívaným závitovým tyčiam ponúkajú guličkové skrutky nižšie trenie, vyššiu účinnosť a výrazne menšiu vôľu (backlash), čo sa priamo prejavuje presnejším a plynulejším polohovaním osi Z. Vďaka valivému kontaktu guľôčok v matici dochádza k minimálnemu

opotrebeniu a stabilnej presnosti aj pri dlhodobom používaní. Použitie troch samostatne riadených motorov zároveň umožňuje automatické vyrovňovanie (auto-tramming) podložky, čím sa eliminuje nutnosť manuálneho nastavovania rovinnosti. Na prepojenie motorov a guľčkových skrutiek sa využíva pružná hriadeľová spojka, ktorá eliminuje problémy s nestabilitou osi Z pri tlači. Pre stabilizáciu podložky sú využité tri lineárne vedia typu MGN12. Na odstránenie možných artefaktov z výtlaku, je využitý systém „WobbleX“ [2], ktorý limituje takzvaný „Z wobble“, teda kolísanie podložky pri využití nekvalitných závitových tyčí alebo guľôčkových skrutiek, zobrazené v prílohe B (Obr. 2 a 3).

6.6 TLAČOVÁ HLAVA A EXTRÚZNY SYSTÉM

Ako tlačová hlava je využívaný systém EVA 3. Ide o multifunkčný systém, ktorý je možné upraviť tak, aby využíval rôzne prvky, a bolo ho možné kedykoľvek upraviť alebo pozmeniť.

Tlačová hlava na navrhovanej tlačiarne využíva hotend Phaetus Rapido Hotend 2 HF, ktorý bol vybraný pre vysoký prietok materiálu až $52 \text{ mm}^3/\text{s}$, čím sa umožňuje tlač vo vysokých rýchlostiach bez obmedzení. O posun filamentu sa stará extrudér LDO Motors Orbiter v2.5. Ide o direct drive extrudér, ktorý poskytuje presné dávkovanie materiálu, vysoký krútiaci moment a dobrú kontrolu pri tlači flexibilných aj technických materiálov.

Na spodnej časti tlačovej hlavy sú umiestnené magnety slúžiace na prichytenie kalibračného spínača (Klicky Probe) [10] používaného pri automatickom vyrovňovaní tlačovej plochy.

Významnou súčasťou tlačovej hlavy je riadiaca doska BigTreeTech EBB36 [5], ktorá slúži na zjednodušenie kabeláže a zníženie náročnosti servisovania.

6.7 TLAČOVÝ PRIESTOR A VYHRIEVANÁ PODLOŽKA

Tlačový priestor tlače má rozmer $350 \times 350 \times 250$ milimetrov. Tlačová plocha tlačiarne je zložená z hliníkovej podložky o rozmeroch $350 \times 350 \times 8$ milimetrov na nej je ďalej nalepená magnetická základna pre jednoduché prichytenie tlačovej dosky ktorá je obojstranne potiahnutá povrchovou úpravou PEI pre vynikajúcu priľnavosť a ľahké odoberanie modelov. Podložka je vyhrievaná dvoma silikónovými výhrevnými telesami, tento spôsob bol zvolený

z dôvodu vyššej rovnomernosti vyhriatia. Celá tlačová plocha je pripevnená na konštrukciu ktorá sa skladá z dvoch hliníkových profilov typu 2020 o rozmere 450 a 325 milimetrov.

6.8 ELEKTRONIKA A RIADIACI SYSTÉM

Ako hlavná riadiaca jednotka je využitá Big Tree Tech Manta M8P V2 s Raspberry Pi Compute Module 5. Táto kombinácia zabezpečí dostatočné množstvo rozhraní pre všetky elektronické súčiastky. Manta M8P V2 je 32-bitová univerzálna základná doska ktorá ponúka všetky moderné výhody ako napríklad eFuse a umožňuje priame pripojenie Compute Module 5. Raspberry Pi Compute Module 5 je systém na module, ktorý poskytuje výkon Raspberry Pi 5 v prevedení ideálnom pre vstavané aplikácie. Ponúka štvorjadrový procesor Arm Cortex-A76, Gigabit ethernet, Wifi, Bluetooth a možnosť pripojenie vonkajšej antény. Bol vybraný model v konfigurácii s 8GB RAM a 64GB eMMC úložiska. Taktiež je využitá doska Big Tree Tech U2C, ktorá slúži na komunikáciu cez zbernicu CAN s doskou EBB36, ktorá sa nachádza na tlačovej hlave.

6.9 NAPÁJACÍ SYSTÉM

Na napájanie všetkej elektroniky sú využité dva zdroje. Prvý zdroj, konkrétne MEAN WELL XDR-480E-24, slúži na napájanie všetkých motorov a tlačovej hlavy. Druhý zdroj, MEAN WELL XDR-240E-24 slúži na napájanie zostávajúcej elektroniky, ako sú ventilátory, displej, CM5 a ďalšie. Výhodou tohoto riešenia je možnosť výmeny prvého zdroju za zdroj s vyšším napätím v prípade potreby vyšších rýchlostí (často sú využívané zdroje s napätím 48V). Taktiež veľkou výhodou tohoto systému je vyššia modularita, bezpečnosť a nižšie náklady na opravu v prípade zlyhania jedného zo zdrojov.

6.10 RIADENIE VYHRIEVANIA

Na vyhrievanie tlačovej plochy sú využité dva silikónové ohrievače, tie pracujú s napätím 230V, sú ovládané pomocou SSR Relé, teda Solid State Relay, toto relé je následne ovládané priamo pomocou Manta M8P výstupov určených pre vyhrievaciu podložku.

6.11 UZAVRETÁ KONŠTRUKCIA TLAČIARNE

Uzavretie 3D tlačiarne dokáže značne zvýšiť stabilitu a kvalitu tlače pri určitých materiáloch (pri tlači materiálov PLA a PETG môžu nastať problémy, odporúča sa nechať otvorenú aspoň jednu časť pre odvetrávanie), zvýšením teploty komory je dosiahnuté pomalšie chladenie materiálov, týmto sa zvýši pevnosť medzi vrstvami, „warping“ a zabráni sa zmenám teploty v okolí výtlačku. Uzavretie tiež prináša možnosť filtrácie vzduchu, malé zníženie spotreby elektrickej energie a zníženie hlučnosti počas tlače. Na uzavretie sú využité polykarbonátové panely v hrúbke 4 a 6 milimetrov v rozmeroch 560x520, 570x520 a 520x520.

7 ZOSTAVENIE NÁVRHU 3D TLAČIARNE

Po návrhu jednotlivých mechanických a elektronických častí nasledoval proces samotného zostavenia zariadenia. Montáž prebiehala postupne po jednotlivých podsystemoch, pričom bol kladený dôraz na presnosť, bezpečnosť a možnosť budúceho servisu. No predtým bolo potrebné všetky navrhnuté časti vyrobiť pomocou 3D tlače.

7.1 TLAČ SÚČIASTOK

Pred samotným skladaním tlačiarne bolo potrebné vytlačiť požadované diely pomocou FFF 3D tlače.

7.1.1 VYUŽITÉ MATERIÁLY

Na tlač súčiastok boli použité najmä materiály PETG, ABS, ASA a PLA. PETG ako hlavný konštrukčný materiál, ABS pre súčiastky v blízkosti vyhrievaných častí, ASA pre vysoko namáhané súčiastky (napríklad systém Wobble X) a PLA pre prototypovanie a dočasné riešenia.

7.1.2 CHYBY PRI TLAČI

Pri tlači nastalo aj niekoľko chýb, ktoré boli spôsobené zväčša nesprávnym nastavením tlače (nastavenia sliceru, chyby priamo na 3D modeli) alebo tlačiarne (pri ABS nízka teplota komory spôsobila nízku pevnosť medzi vrstvami) znázornené v prílohe B (Obr. 8).

7.2 RÁM

Montáž rámu predstavovala prvý krok fyzického zostavenia tlačiarne. Rám bol zostavený z hliníkových profilov, ktoré boli najprv skontrolované a pripravené na montáž. Po zostavení základnej konštrukcie bolo potrebné dôkladne skontrolovať pravé uhly a presnosť zostavenia. Presnosť rámu má zásadný vplyv na kvalitu tlače, pretože ovplyvňuje presnosť pohybu osí a celkovú stabilitu zariadenia. Po kontrole geometrie rámu boli všetky spoje finálne dotiahnuté.

7.3 XY

Po zostavení rámu nasledovala montáž pohybového systému CoreXY. Tento krok bol technicky náročný najmä z dôvodu správneho vedenia remeňov a nastavenia napnutia. Najskôr boli namontované lineárne vedenia, následne motory osí X a Y, kladky a remene.

Správne vedenie remeňov je kľúčové pre presnosť a spoľahlivosť tlačiarne, preto bola tejto fáze venovaná zvýšená pozornosť. Po montáži bol systém testovaný manuálnym pohybom, aby sa overila plynulosť chodu a minimalizovalo trenie.

7.4 Z

Montáž osi Z prebiehala ako samostatná fáza, keďže ide o jeden z najdôležitejších podsystémov tlačiarne. Najskôr boli namontované lineárne vedenia a guľôčkové skrutky spolu s dielom ktorý ich spája, následne tri krokové motory a samotná tlačová podložka. Po mechanickej montáži bolo vykonané základné zarovnanie osi Z a test zdvihu podložky. Tento krok bol dôležitý pre zabezpečenie rovnomerného pohybu a stabilnej tlače.

7.5 ELEKTRONIKA

Elektronika bola umiestnená v spodnej časti tlačiarne na DIN lišty. Počas montáže bolo potrebné dbať na bezpečné vedenie kabeláže a oddelenie vysokonapäťových a nízkonapäťových častí. Dôraz bol kladený aj na prehľadnosť zapojenia, aby bola zabezpečená jednoduchá údržba a diagnostika prípadných porúch.

7.6 UZAVRETIE

Po dokončení mechanickej a elektronickej montáže bola tlačiareň uzavretá pomocou panelov. Uzavretá konštrukcia zlepšuje stabilitu teplotných podmienok v tlačovom priestore, znižuje hlučnosť zariadenia a zvyšuje bezpečnosť prevádzky

7.7 SOFTVÉR A FIRMVÉR

7.7.1 SOFTVÉR A FIRMVÉR TLAČIARNE

Posledným krokom zostavenia bola inštalácia riadiaceho softvéru Klipper. Na výpočtový modul bol nainštalovaný operačný systém Raspberry PI OS Lite 64-bit, následne samotný Klipper a webové rozhranie pre ovládanie tlačiarne, inštalácia prebehla pomocou systému KIAUH. Následne bol nahraný nový firmvér na dosku U2C a dosku EBB36, teda na dosku tlačovej hlavy. Nahraný bol firmvér ktorý umožňuje aktualizáciu priamo cez rozhranie CAN bus. Ďalším krokom bolo nahranie firmvéru Klipper aj na tieto dosky. Po konfigurácii bol otestovaný prenos dát medzi riadiacou doskou a výpočtovým modulom a tiež konektivita medzi riadiacou doskou a riadiacou doskou tlačovej hlavy. Ďalším krokom bolo vytvorenie konfiguračných súborov, ako prvý súbor bol vytvorený „printer.cfg“ ukázaný v prílohe A (Obr. 1), v tomto súbore sú popísané

všetky informácie o samotnej tlačiarni, ďalšie konfiguračné súbory, pripojenia všetkých zariadení a slúži ako hlavný konfiguračný súbor celého systému. Ďalej boli vytvorené súbory „ebb36.cfg“, ukázaný v prílohe A (Obr. 2) a boli pridané potrebné súbory na správnu kalibráciu osi Z, výšky podložky a rovnosti podložky. Znárodné v prílohe B (Obr. 6 a 7)

7.7.2 SOFTVÉR NA SLICING

Ako slicer bol použitý OrcaSlicer. V sliceri bol vytvorený vlastný profil tlačiarnie, ktorý zohľadňoval konkrétnu mechanickú konštrukciu, typ pohybu, použitý extrudér, trysku a vyhrievanú podložku. Nastavené boli parametre ako rozmery tlačového priestoru, kroky extrudéra, rýchlosti a zrýchlenia optimalizované pre danú konštrukciu. Zároveň boli upravené profily materiálov podľa reálne dosahovaných teplôt a chladiaceho výkonu tlačovej hlavy.

8 KALIBRÁCIA A TESTOVANIE ZOSTAVENEJ 3D TLAČIARNE

Po úplnom dokončení montáže 3D tlačiarne nasledovala fáza kalibrácie a testovania, ktorá je nevyhnutná pre zabezpečenie presnej, spoľahlivej a dlhodobostabilnej prevádzky zariadenia. Táto etapa predstavuje jeden z najdôležitejších krokov pri uvádzaní tlačiarne do prevádzky, keďže správne nastavenie jednotlivých komponentov má priamy vplyv na kvalitu výsledných výtlačkov.

Najskôr bola vykonaná základná kalibrácia krokových motorov v osiach X, Y a Z, ako aj kalibrácia extrudéra. V prípade odchýlok boli hodnoty upravené vo firmvéri riadiacej jednotky. Rovnako bola vykonaná kalibrácia extrúzie, pri ktorej sa kontrolovalo, či extrudér podáva presne definované množstvo materiálu. Tento krok je kľúčový pre dosiahnutie správnej šírky tlačenej stopy a konzistentnej kvality vrstiev.

Ďalším krokom bolo nastavenie a overenie vyhrievania trysky a vyhrievanej podložky. Pre správnu funkciu bolo potrebné skontrolovať presnosť merania teploty pomocou teplotných senzorov (termistorov) a následne doladiť PID reguláciu, ktorá zabezpečuje stabilné udržiavanie nastavenej teploty. Ladenie PID parametrov umožnilo minimalizovať teplotné výkyvy počas tlače, čím sa znížilo riziko nedostatočnej príľnavosti vrstiev alebo kolísania kvality povrchu výtlačku.

Po úspešnej kalibrácii motorov a teplotnej regulácie nasledovala kalibrácia pohybového systému ako celku. Kontrolovala sa kolmost' rámu, rovnobežnosť vodiacich tyčí a správne napnutie remeňov. Zvláštna pozornosť bola venovaná vyrovnaniu tlačovej podložky (tzv. bed leveling), ktoré je rozhodujúce pre správne prichytenie prvej vrstvy. Vyrovnanie bolo realizované najprv manuálne s použitím kalibračného papiera ďalej automaticky pomocou „Z-tilt“ [10] a následne overené testovacou tlačou prvej vrstvy po celej ploche podložky.

Po dokončení základnej kalibrácie boli vytlačené štandardné testovacie modely, napríklad kalibračná kocka a model na testovanie presnosti detailov a premostení. Tieto modely slúžili na overenie rozmerovej presnosti, kvality povrchu, konzistencie vrstiev a správneho nastavenia teploty. Namerané rozmery kalibračnej kocky sa pohybovali v tolerancii približne $\pm 0,1$ mm, čo potvrdzuje vysokú presnosť zostavenej tlačiarne.

Testovanie zároveň preukázalo stabilnú kvalitu povrchu výtlačkov bez výrazných defektov, ako sú posuny vrstiev, nadmerné vláknenie (stringing) alebo podextrúzia. Pri štandardných nastaveniach bola tlačiareň schopná spoľahlivo pracovať pri rýchlostiach približne 150 až 200 mm/s, pričom si zachovala dobrú rozmerovú presnosť a kvalitu

detailov. Aj pri týchto zvýšených rýchlostiach nedošlo k výraznej strate kvality, čo poukazuje na dostatočnú tuhosť konštrukcie, správne nastavenie pohybového systému a efektívnu reguláciu extrúzie.

Na základe vykonaných testov možno konštatovať, že zostavená 3D tlačiareň spĺňa požadované parametre presnosti, stability a rýchlosti tlače. Proces kalibrácie potvrdil správnosť montáže jednotlivých mechanických a elektronických komponentov a zabezpečil optimálne podmienky pre jej ďalšie využitie v praxi.

9 ZÁVER

Cieľom maturitnej práce bolo navrhnuť, skonštruovať a uviesť do prevádzky funkčnú FFF 3D tlačiareň s dôrazom na rýchlosť tlače, rozmerovú presnosť a modulárnu konštrukciu umožňujúcu ďalšie rozšírenie alebo úpravy. Stanovený cieľ sa podarilo úspešne splniť a výsledkom práce je plne funkčná 3D tlačiareň typu CoreXY, ktorá využíva moderný riadiaci systém a splňa požadované technické parametre.

Pri návrhu zariadenia bol kladený dôraz najmä na pevnosť a tuhosť rámu, optimalizáciu pohybového systému a efektívne riadenie jednotlivých komponentov. Konceptia CoreXY umožnila dosiahnuť vysoké tlačové rýchlosti pri zachovaní stability a presnosti pohybu. Vďaka správnej voľbe mechanických častí, kvalitným krokovým motorom a vhodne nastavenému riadiacemu systému sa podarilo vytvoriť zariadenie schopné pracovať spoľahlivo aj pri vyšších dynamických zaťaženiach.

Významnou súčasťou projektu bola aj implementácia modernej elektroniky a firmvéru, ktoré zabezpečujú presné riadenie pohybu, stabilnú reguláciu teploty a možnosť ďalšieho softvérového rozšírenia. Modularita konštrukcie umožňuje jednoduchú výmenu alebo upgrade jednotlivých častí, ako napríklad extrudéra, riadiacej dosky, chladenia či pohonov. Tým sa zvyšuje životnosť zariadenia a jeho prispôsobiteľnosť budúcim požiadavkám.

Počas realizácie projektu boli získané cenné teoretické aj praktické skúsenosti z oblasti mechanickej konštrukcie, práce s technickou dokumentáciou, 3D modelovania, elektroniky, zapájania a konfigurácie riadiacich systémov, ako aj z oblasti programovania a nastavovania firmvéru. Významnou časťou procesu bola aj kalibrácia a testovanie, ktoré prehĺbili pochopenie princípov aditívnej výroby a vplyvu jednotlivých parametrov na kvalitu výsledného výtlačku.

Projekt zároveň poukázal na široké možnosti využitia open-source riešení pri vývoji technických zariadení. Dostupnosť dokumentácie, komunit a softvérových nástrojov výrazne uľahčuje vývoj a umožňuje jednotlivcom realizovať technicky náročné projekty aj bez priemyselného zázemia.

Výsledná 3D tlačiareň predstavuje funkčné a spoľahlivé zariadenie, ktoré je možné využiť na výrobu prototypov, náhradných dielov alebo technických modelov. Práca splnila stanovené ciele a zároveň poskytla pevný základ pre ďalšie zdokonaľovanie konštrukcie a rozširovanie jej možností v budúcnosti.

10 ZHRNUTIE

Cieľom práce bolo navrhnuť, skonštruovať a uviesť do prevádzky funkčnú FFF 3D tlačiareň typu CoreXY so zameraním na rýchlosť tlače, rozmerovú presnosť a modulárnu konštrukciu. Práca je rozdelená na teoretickú a praktickú časť. V teoretickej časti sú spracované základné princípy 3D tlače a aditívnej výroby, porovnanie vybraných technológií a charakteristika konštrukčných riešení 3D tlačiarní. Osobitná pozornosť je venovaná technológii FFF, jej princípu fungovania, používaným materiálom a faktorom ovplyvňujúcim kvalitu tlače.

Praktická časť opisuje proces návrhu vlastnej konštrukcie, výber vhodných mechanických a elektronických komponentov, montáž zariadenia a jeho zapojenie. Súčasťou realizácie bola konfigurácia riadiaceho systému, nastavenie firmvéru a dôkladná kalibrácia pohybového systému, extrúzie a regulácie teploty. Funkčnosť zariadenia bola overená pomocou testovacích modelov a meraním rozmerovej presnosti výtlačkov.

Výsledky potvrdili, že zostavená tlačiareň dosahuje presnosť približne $\pm 0,1$ mm a je schopná stabilnej tlače pri rýchlostiach 150 až 200 mm/s, pričom experimentálne zvládla aj vyššie rýchlosti bez výraznej straty kvality. Práca preukázala možnosť využitia open-source riešení pri vývoji technických zariadení a splnila stanovený cieľ vytvoriť plne funkčnú, vysokorýchlostnú a modulárnu 3D tlačiareň vhodnú na tlač technických materiálov.

11 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATY

- [1] CoreXY. 2012 [online]. 2012, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://corexy.com/>>
- [2] WobbleX. 2012 [online]. 2012, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://github.com/MirageC79/Interfaces-for-WobbleX-integration>>
- [3] GitHub Big Tree Tech Manta-M8P. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://github.com/bigtreotech/Manta-M8P/tree/master>>
- [4] GitHub Big Tree Tech U2C. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://github.com/bigtreotech/U2C/tree/master>>
- [5] GitHub Big Tree Tech EBB36. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://github.com/bigtreotech/EBB/>>
- [6] GitHub fluidd-core fluidd. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://github.com/fluidd-core/fluidd>>
- [7] GitHub FYSETC FYSETC-mini-12864-Panel. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://github.com/FYSETC/FYSETC-Mini-12864-Panel/tree/master>>
- [8] GitHub maz0r klipper_canbus. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <https://maz0r.github.io/klipper_canbus/controller/u2c.html>
- [9] Esoterical.online CAN bus. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://canbus.esoterical.online/>>
- [10] Klipper. 2026 [online]. 2026, [cit. 2026-02-25]. Dostupné na internete: <<https://www.klipper3d.org/>>

12 PRÍLOHY

PRÍLOHA A – ZDROJOVÝ KÓD

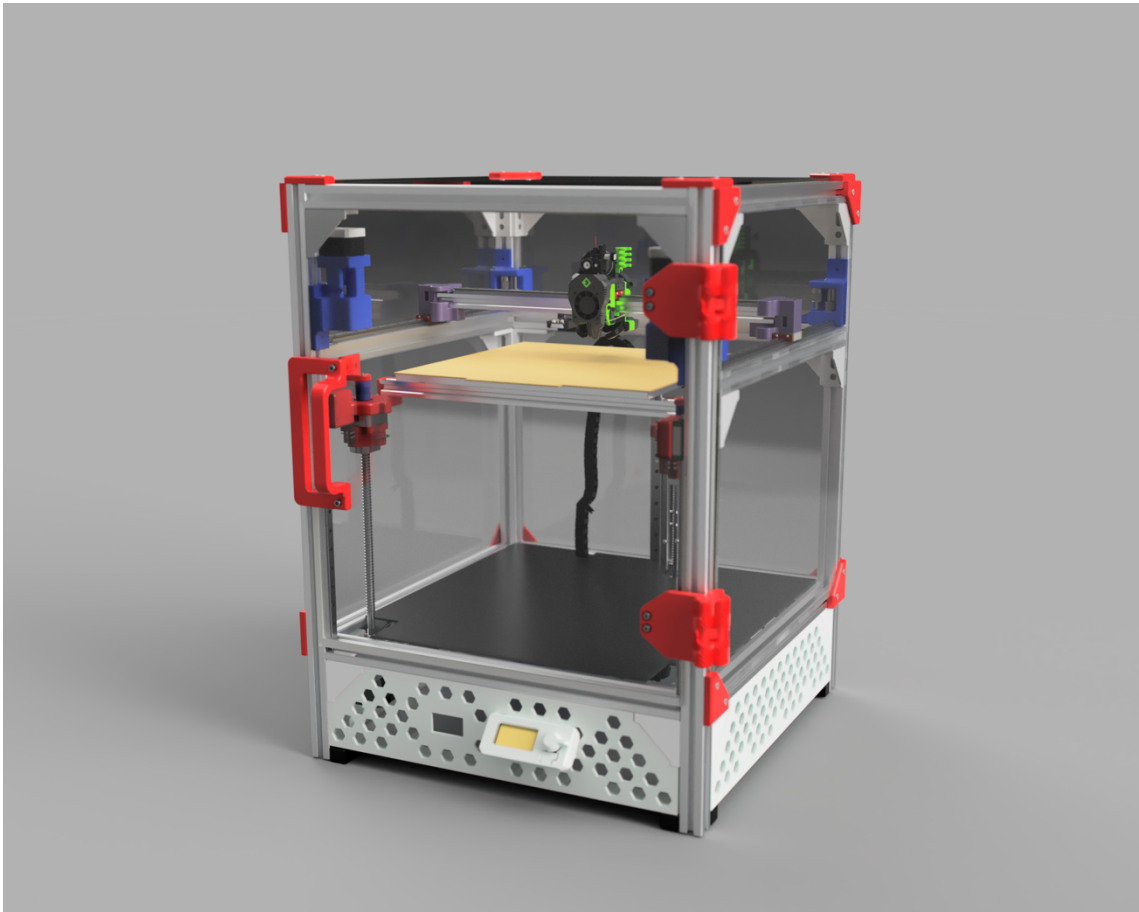
```
× printer.cfg
1 #####
2 # Manta M8P V2 + EBBCan (EBB36) – Klipper Config
3 #####
4
5 View 'include' documentation
6 [include ebb36.cfg] # Include your EBBCan extruder/probe/fan config
7
8 View 'virtual_sdcard' documentation
9 [virtual_sdcard]
10 path: /home/ultramarine/printer_data/gcodes
11
12 View 'mcu' documentation
13 [mcu]
14 serial: /dev/serial/by-id/usb-Klipper_stm32h723xx_15000F001751313434373135-if00
15 restart_method: command
16
17 View 'printer' documentation
18 [printer]
19 kinematics: corexy
20 max_velocity: 100
21 max_accel: 1000
22 max_z_velocity: 10
23 max_z_accel: 25
24
25 View 'resonance_tester' documentation
26 [resonance_tester]
27 accel_chip: adxl345
28 probe_points:
29     175,175,20
30
31 View 'input_shaper' documentation
32 [input_shaper]
33
34 #####
35 # Stepper Motors – X/Y/Z
36 #####
37
38 # Motor A → X
39 View 'stepper_x' documentation
40 [stepper_x]
41 step_pin: PE6
42 dir_pin: !PE5
```

Obr. 1 – Ukážka kódu z printer.cfg
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)

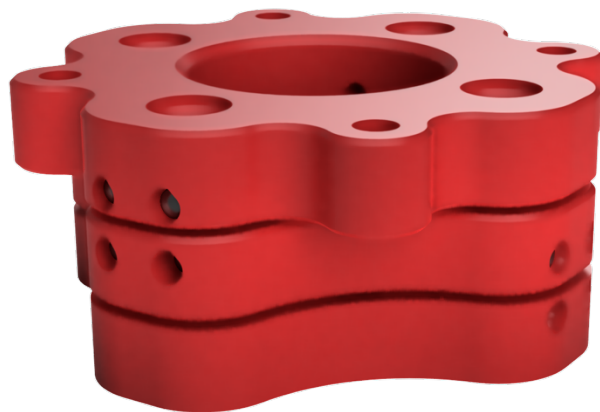
```
× ebb36.cfg
7
8 View 'mcu' documentation
9 [mcu EBBCan]
10 canbus_uuid: 5a379d7fd268
11
12 View 'adxl345' documentation
13 [adxl345]
14 cs_pin: EBBCan: PB12
15 spi_bus: spi2_PB2_PB11_PB10
16 axes_map: x,y,z
17
18 View 'extruder' documentation
19 [extruder]
20 step_pin: EBBCan: PD0
21 dir_pin: EBBCan: PD1
22 enable_pin: !EBBCan: PD2
23
24 microsteps: 16
25 full_steps_per_rotation: 200
26 rotation_distance: 4.637
27 nozzle_diameter: 0.400 #set your nozzle diameter
28 filament_diameter: 1.750
29 max_extrude_only_distance: 500
30 max_extrude_only_velocity: 120
31 pressure_advance: 0.025 #to be calibrated
32 pressure_advance_smooth_time: 0.03 #to be calibrated
33
34 heater_pin: EBBCan: PB13
35 sensor_type: EPCOS 100K B57560G104F
36 sensor_pin: EBBCan: PA3
37 control: pid
38 pid_Kp: 21.527
39 pid_Ki: 1.063
40 pid_Kd: 108.982
41 min_temp: 0
42 max_temp: 250
43
44 # sensor_type:MAX31865
45 # sensor_pin: EBBCan: PA4
46 # spi_bus: spi1
47 # hotend_temperature: 100
```

Obr. 2 Ukážka kódu z ebb36.cfg
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)

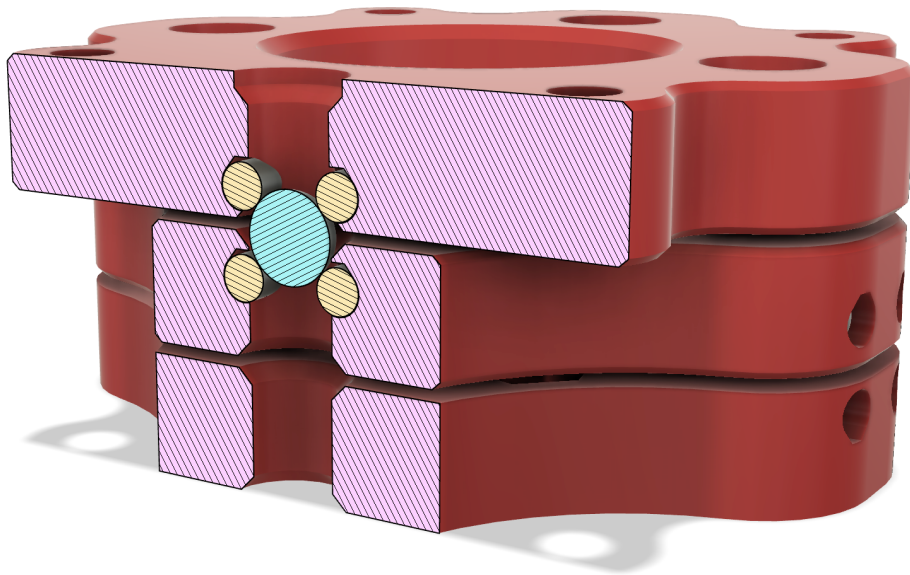
PRÍLOHA B – FOTODOKUMENTÁCIA



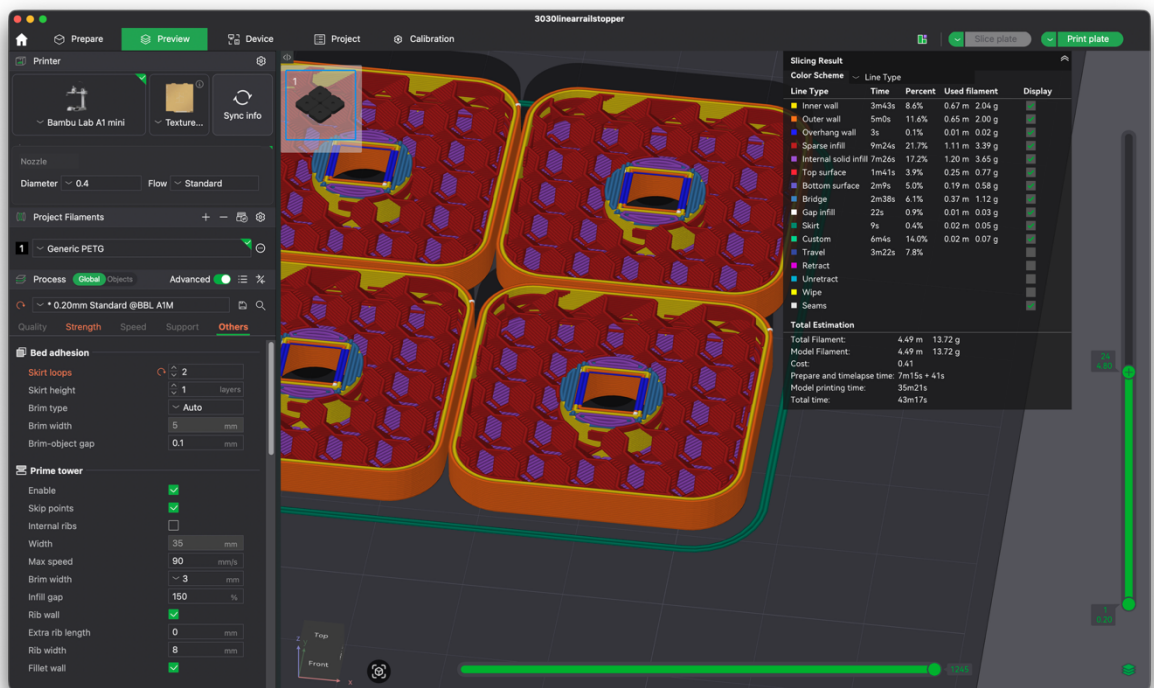
Obr. 1 – Finálna zostava 3D tlačiarne
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



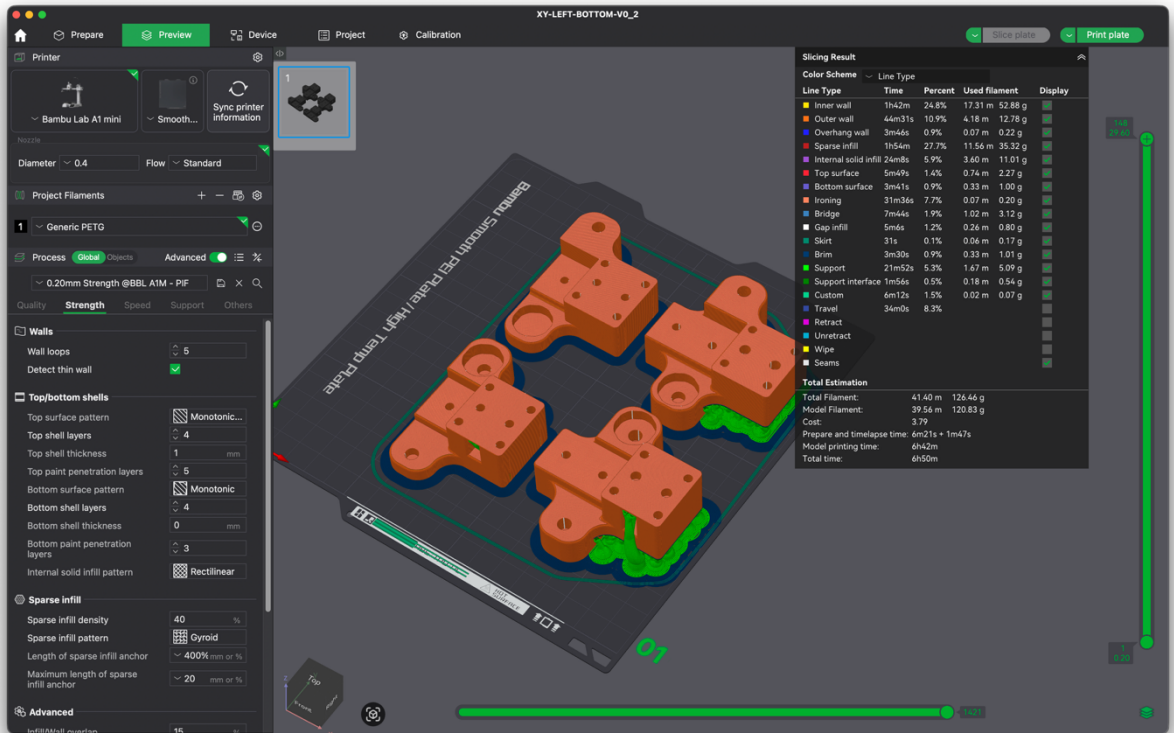
Obr. 2 – WobbleX
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



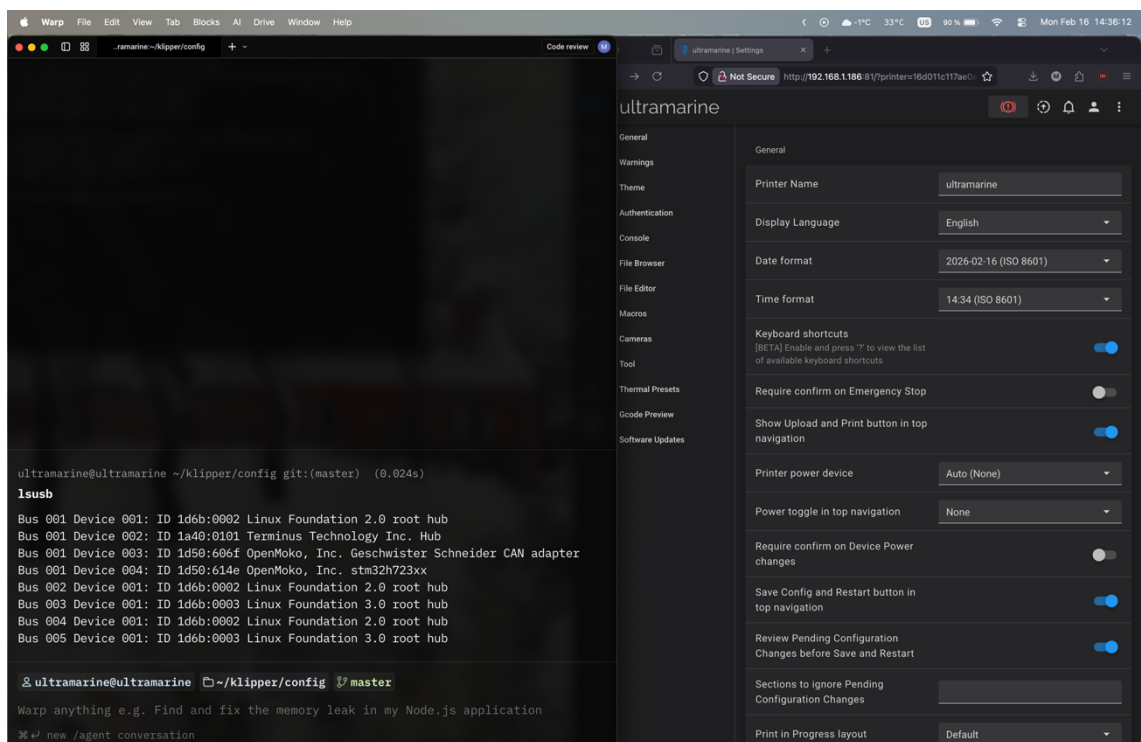
Obr. 3 – Prierez WobbleX
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



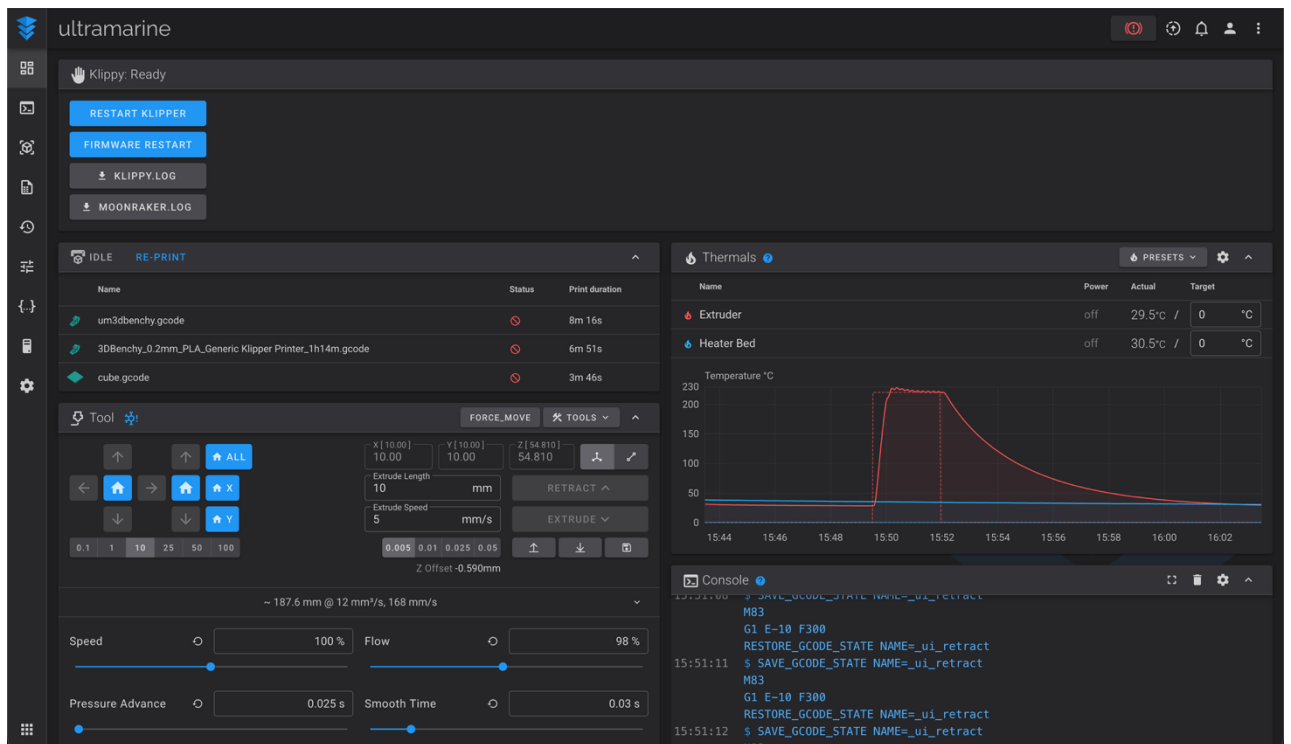
Obr. 4 – Proces optimalizácie tlače
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



Obr 5. – Optimalizovaný model pripravený na 3D tlač
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



Obr 6 – Konfigurácia softvéru
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



Obr. 7 – Ukážka webového rozhrania Fluidt

(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)



Obr. 8 – Chyba pri tlači materiálu ABS

(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)

PRÍLOHA C – SÚBORY NA USB DISKU

- i. FFF-3D-tlaciaren-cad.f3z
- ii. FFF-3D-tlaciaren.png
- iii. FFF-3D-tlaciaren-ukazka.mp4
- iv. FFF-3D-tlaciaren-animacia.mp4
- v. Dizajnepre3dtlac-1.png
- vi. Dizajnepre3dtlac-2.png
- vii. Dizajnepre3dtlac-3.png
- viii. Dizajnepre3dtlac-4.png
- ix. Dizajnepre3dtlac-5.png