



Funkční vzorek velkorozměrové 3D tiskárny pro výrobu funkčních komponent - FW10010071 – V6/2024-2026, TA0/FW			
ROK: 2026	Projekt: FW10010071 - SMART 3D tisk (2024-2026, TA0/FW)	REVIZE Č.: 1	DATUM: 22. 6. 2026
Funkční vzorek velkorozměrové 3D tiskárny pro výrobu funkčních komponent			
Program: FW - TREND (2020 - 2030)			
Veřejná soutěž: 10. veřejná soutěž programu TREND, podprogram 1			
Hlavní příjemce:	Dražní revize s.r.o.		
Další účastník:	Vysoké učení technické v Brně		
Tvůrci zprávy: Ing. Jan Vetiška, Ph.D. (VUT v Brně) Ing. Jan Pavlík, Ph.D. (VUT v Brně)			





Anotační list

Název výsledku česky:	Velkorozměrová 3D tiskárna pro výrobu funkčních komponent
Název výsledku anglicky:	Large-scale 3D printer for the production of functional components
Označení výsledku:	FW10010071 – V6
Typ výsledku dle RIV:	G _{funk} – Funkční vzorek
Pracoviště:	Vysoké učení technické v Brně
Jméno autorů zprávy:	
Číslo a název projektu:	FW10010071 - SMART 3D tisk (2024-2026, TA0/FW)
Rok:	2026
Rozsah práce:	10 stran, 5 obrázků
Klíčová slova česky:	3D tiskárna, CORE XY, vyhřívaný bed
Klíčová slova anglicky:	3D printer, CORE XY, heated bed
Anotace česky:	Funkční vzorek velkoformátové 3D tiskárny s pracovním prostorem 1200 * 800 * 600 mm, který tvoří koncový článek integrovaného ekosystému „3D skener – software – 3D tisk“. Zařízení využívá kinematiku CoreXY, firmware Klipper s elektronikou BTT Manta M8P, vodou chlazený extruder BIQU H2O a inteligentní třízónový vyhřívaný bed o výkonu 4,5 kW. Automatická kalibrace Quad Gantry Leveling se senzorem BTT EDDY zajišťuje vysokou přesnost tisku s rozměrovou tolerancí do pm 0,05 mm při rychlostech až 500 mm/s.
Anotace anglicky:	This functional prototype presents a large-scale 3D printer with a working volume of 1200 * 800 * 600 mm, serving as the final executive link in the integrated "3D scanner – software – 3D print" ecosystem. The system utilizes CoreXY kinematics, Klipper firmware with BTT Manta M8P electronics, a water-cooled BIQU H2O extruder, and an intelligent 4.5 kW three-zone heated bed. Automatic Quad Gantry Leveling combined with a BTT EDDY sensor ensures high print precision within a dimensional tolerance of pm 0.05 mm at speeds up to 500 mm/s.
Místo uložení výsledku:	
Licence a využití	Výstup naplňuje podstatu obchodního tajemství. Proto v souladu se zněním §12a bod 2 zákona č. 130/2002 Sb. nebudou zdrojový kód a výkresová dokumentace veřejné. K využití výsledku jiným subjektem je vždy nutné nabytí licence.



Obsah

Funkční vzorek velkorozměrové 3D tiskárny pro výrobu funkčních komponent	0
1 Seznam autorů výsledku:.....	1
1.1 VUT v Brně:	1
2 Úvod	2
3 Obecný popis.....	3
4 Technický popis funkčního vzorku.....	5
4.1 Podrobný popis.....	5
4.2 Dílčí uzly tiskárny	6
4.3 Zkoušky	8
4.1 Plánované využití	9
5 Závěr	10



1 Seznam autorů výsledku:

1.1 VUT v Brně:

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.



2 Úvod

Předložený funkční vzorek představuje technologicky unikátní koncové řešení v plně integrovaném produkčním řetězci „3D skener – software – 3D tisk“. Toto komplexní propojení umožňuje bezbariérovou a přímou transformaci trojrozměrných digitálních dat ve velkoobjemové, mechanicky vysoce namáhané reálné komponenty. Hlavní konstrukční inovace spočívá v úspěšné implementaci pokročilé kinematiky CORE XY do mimořádně velkého tiskového prostoru o specifických rozměrech 1200 * 800 * 600 mm. Tímto krokem zařízení zásadně překonává standardní limity běžně dostupných komerčních tiskáren a definuje novou úroveň produktivity v oblasti aditivní výroby velkých forem, prototypů a koncových prvků.

Zatímco u konvenčních velkoformátových tiskáren dochází při pohybu těžkého stolu s rozměrným obrobkem k nežádoucím setrvačným silám a vibracím, koncepce CORE XY s fixovanou osou Z tyto negativní vlivy zcela eliminuje. Výsledkem je extrémně vysoká dynamika, stabilita a opakovatelná přesnost polohování tiskové hlavy i při maximálních rychlostech.

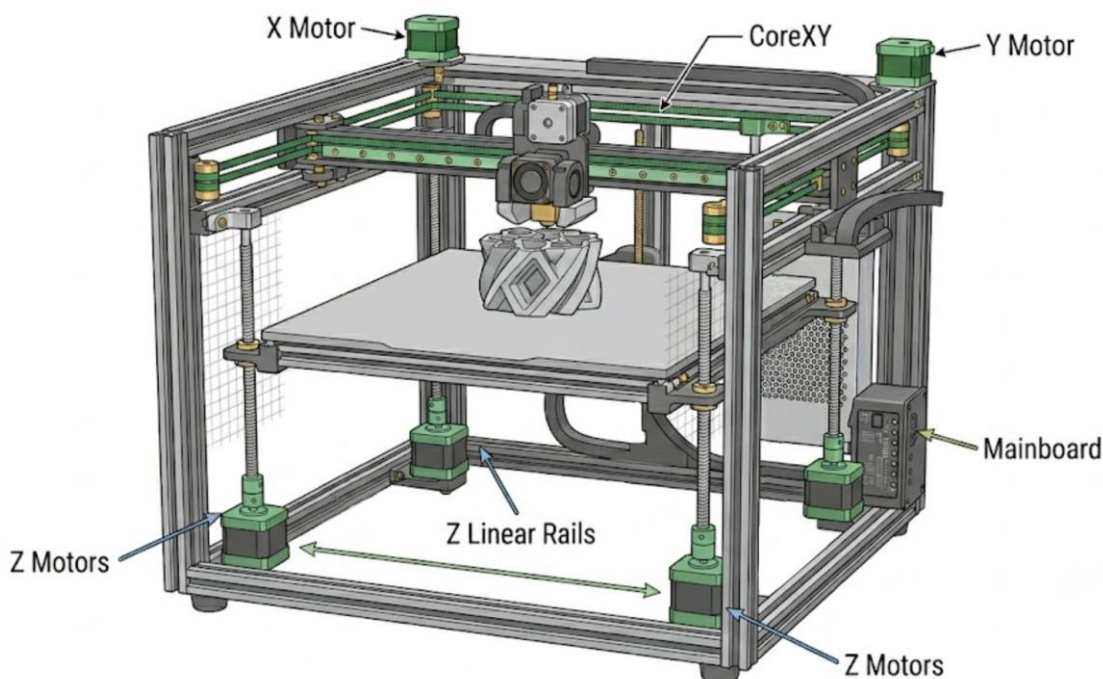
Zásadním inovačním pilířem funkčního vzorku je jeho hluboká softwarová integrace do celého firemního ekosystému. Speciálně vyvinuté softwarové rozhraní zajišťuje plně automatizovaný, zabezpečený a bezchybný přenos dat ze 3D skeneru přes optimalizační CAD/CAM a slicovací software až po finální 3D tisk. Tento uzavřený digitální cyklus eliminuje riziko ztráty geometrické přesnosti při konverzi souborů, automaticky optimalizuje tiskové dráhy s ohledem na specifika velkoformátové mechaniky a umožňuje vzdálený monitoring i dynamické řízení tiskových parametrů v reálném čase.

Robustní, mechanicky tuhá konstrukce tiskárny je navíc vybavena pokročilým systémem vyhřívání podložky až do teploty 100 °C. Tato termoregulace účinně potlačuje jev smršťování materiálu (warping), rovnoměrně distribuuje teplo a spolehlivě eliminuje vznik vnitřního pnutí u objemných těles. Zařízení tak ve výsledku garantuje plynulý, softwarově precizně synchronizovaný a rozměrově stálý tisk tvarově komplexních průmyslových dílů v reálném měřítku z technických polymerů, což koncovému uživateli přináší maximální materiálovou flexibilitu a technologickou soběstačnost.

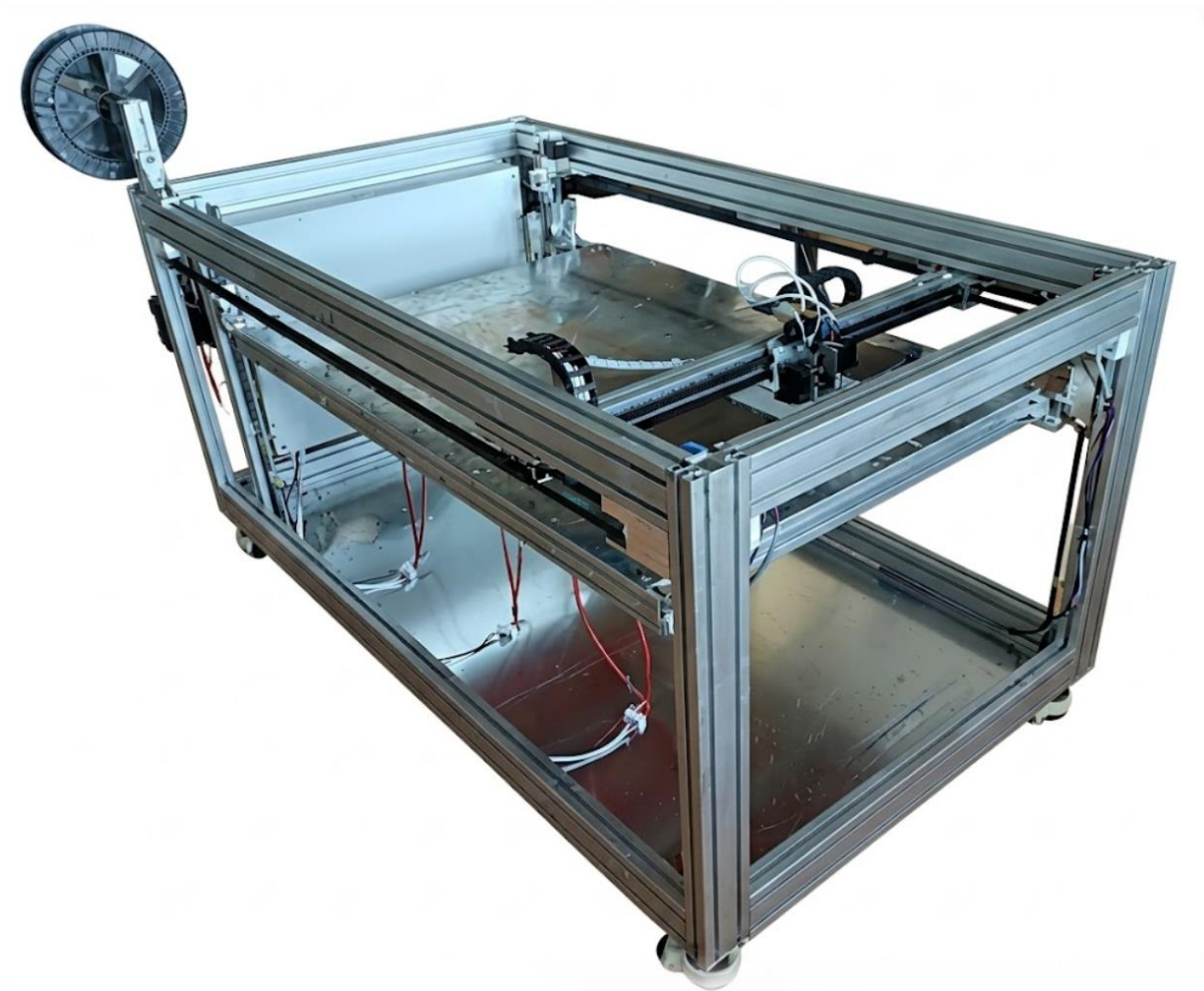
3 Obecný popis

Tiskárna využívá specifickou modifikaci kinematiky CoreXY v kombinaci s nezávisle poháněnou osou Z pomocí samostatně naháněné čtveřice trapézových šroubů. Hlavní výhodou tohoto systému je, že krokové motory os X a Y jsou pevně namontovány na rámu tiskárny a nepohybují se spolu s tiskovou hlavou. Pohyb hlavy v rovině XY je přenášen pomocí sofistikované soustavy zkřížených řemenů, což radikálně snižuje hmotnost pohybujících se částí, minimalizuje setrvačné síly a eliminuje nežádoucí vibrace i při prudkých změnách směru. Díky této odlehčené konstrukci a vysoké tuhosti celého kinematického řetězce dokáže tiskárna bezpečně dosahovat extrémních tiskových rychlostí až 500 mm/s, což zásadně zkracuje produkční čas u takto velkoobjemových tisků při zachování dokonalé přesnosti a kvality povrchu.

Spolehlivé řízení a precizní koordinaci takto dynamického systému zajišťuje pokročilá řídicí elektronika postavená na moderní základní desce BIGTREETECH Manta M8P, která je osazena výpočetním modulem BIGTREETECH CB1. Tato hardwarová architektura funguje na bázi multiprocessorového řízení, kde deska Manta M8P nativně obsluhuje výkonové komponenty, pokročilé krokové drivery a jednotlivé osy (včetně nezávislého polohování čtyř šroubů osy Z), zatímco modul CB1 poskytuje vysoký výpočetní výkon pro běh moderního tiskového firmwaru Klipper. Tato synergie umožňuje plynulé zpracování komplexních tiskových příkazů v reálném čase, implementaci algoritmů pro kompenzaci vibrací (Input Shaping) a zajišťuje stabilní síťovou konektivitu pro kompletní softwarovou integraci tiskárny do celého výrobního ekosystému.



Obr. 1 Schematické uspořádání 3D tiskárny Core XY se čtyřpolohovým uložením stolu osy Z.



Obr. 2 Celkový pohled na reálnou 3D smart tiskárnu



4 Technický popis funkčního vzorku

4.1 Podrobný popis

Aplikace monitorovací jednotky pro proaktivní údržbu je navržena na základě sběru provozních dat (zejména vysokofrekvenčních) v kombinaci s tzv. selftest měřeními pro zpřesnění predikce zbytkové trvanlivosti komponent.

Tiskárna využívá specifickou modifikaci kinematiky CoreXY v kombinaci s nezávisle poháněnou osou Z pomocí samostatně naháněné čtveřice trapézových šroubů. Hlavní výhodou tohoto systému je, že robustní krokové motory os X a Y jsou pevně namontovány na rámu tiskárny a nepohybují se spolu s tiskovou hlavou. Pohyb hlavy v rovině XY je přenášen pomocí sofistikované soustavy zkřížených řemenů, což radikálně snižuje hmotnost pohybujících se částí, minimalizuje setrvačné síly a eliminuje nežádoucí vibrace i při prudkých změnách směru. Díky této odlehčené konstrukci a vysoké tuhosti celého kinematického řetězce dokáže tiskárna bezpečně dosahovat zrychlení až $3\,000\text{ mm/s}^2$ a maximálních tiskových rychlostí až $300\text{--}500\text{ mm/s}$, což zásadně zkracuje produkční čas u takto velkoobjemových tisků při zachování dokonalé přesnosti a kvality povrchu.

Spolehlivé řízení a precizní koordinaci takto dynamického systému zajišťuje pokročilá řídicí elektronika postavená na moderní základní desce BIGTREETECH Manta M8P ve spojení s výkonným výpočetním modulem BIGTREETECH CB1. Tato hardwarová architektura je navržena pro plné využití moderního firmwaru Klipper. Na rozdíl od konvenčních 3D tiskáren běžících na firmwaru Marlin, kde veškerou agendu zpracovává jediný procesor základní desky, Klipper striktně rozděljuje výpočetní výkon do dvou nezávislých vrstev:

Mikropočítač (Host – modul CB1): Funguje jako „mozek“ celého systému. Zpracovává složité matematické výpočty, dopředu plánuje trajektorii pohybu (Look-Ahead), generuje přesné časování impulsů a zároveň hostuje uživatelské webové rozhraní (Mainsail/Fluidd). Díky tomu je možné implementovat i pokročilé algoritmy pro kompenzaci rezonancí (Input Shaping).

Řídicí deska (MCU – Manta M8P): Plní exekutivní roli. Pouze vykonává precizně načasované mikrokódy zasílané z hostitelského modulu a přímo spíná koncové výkonové prvky, jako jsou drivery motorů a topná tělesa.

Zásadní uživatelskou i vývojovou výhodou této architektury je, že veškerá konfigurace tiskárny je uložena v textových souborech .cfg a spravuje se přímo přes webový prohlížeč. Jakákoli změna parametrů (např. kalibrace kroků motorů či změna kinematických limitů) se projeví okamžitě po restartu softwaru – odpadá tak zdlouhavá nutnost tiskárnu při každé úpravě znovu flashovat.

Pro vytlačování materiálu je tiskárna osazena špičkovým, vodou chlazeným direct drive extruderem BIQU H2O. Vodní chlazení efektivně stabilizuje teplotu uvnitř extruderu, zabraňuje předčasnému tavení filamentu v přechodové zóně (heat creep) a umožňuje spolehlivý, dlouhodobý tisk technických polymerů i uvnitř uzavřené pracovní komory s vysokou okolní teplotou.



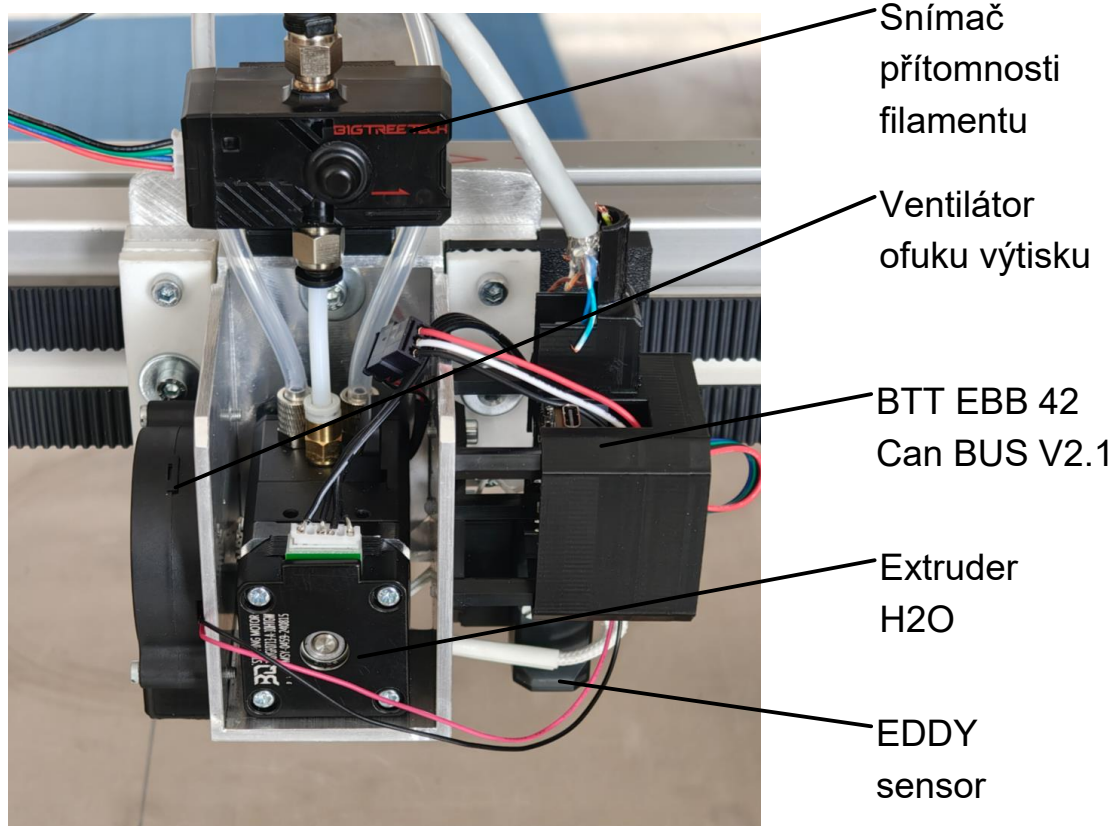
Vzhledem k extrémnímu tiskovému prostoru o rozměrech 1200 × 800 × 600 mm je tiskárna vybavena vysoce sofistikovaným systémem kalibrace a managementu tiskového povrchu. Ten je tvořen maticí 6 kusů magnetických PEI plátů (každý o rozměru 400 × 400 mm). Vyhřívání podložky je z důvodu energetické efektivity a eliminace tepelných deformací rozděleno do tří samostatně spínatelných zón, přičemž každá disponuje výkonem 1,5 kW při 230 V (celkový instalovaný topný výkon je 4,5 kW). Zařízení se připojuje na standardní elektrickou síť 230 V s jištěním 16 A (charakteristika B).

Perfektní první vrstvu a kompenzaci případných nerovností zajišťuje plně automatické čtyřbodové vyrovnání podložky (Quad Gantry Leveling), které nezávisle ovládá čtveřici trapézových šroubů na ose Z a dokonale srovná tiskovou rovinu vůči portálu. Jako mapovací senzor je využit špičkový vířivoproudový indukční senzor BTT EDDY, který dokáže s extrémní přesností a rychlostí skenovat výšku podložky bez nutnosti mechanického kontaktu, čímž vytváří detailní digitální výškovou mapu povrchu v reálném čase.

4.2 Dílčí uzly tiskárny

Použitý extruder typu Direct Drive (s přímým pohonem) integruje podávací mechanismus filamentu i samotnou tiskovou hlavu (hotend) do jednoho kompaktního celku umístěného přímo na tiskovém portálu. Toto řešení garantuje extrémně krátkou dráhu filamentu mezi hnacími ozubenými koly a tavnou tryskou, což zajišťuje precizní kontrolu nad dávkováním plastu, okamžitou odezvu na retrakce (zatahování filamentu) a minimalizuje riziko zaseknutí materiálu.

Klíčovou inovací je integrované vodní chlazení, které efektivně odvádí teplo z chladicí části extruderu. Na rozdíl od klasických vzduchových ventilátorů, které v uzavřené nebo vyhřívané komoře velkoformátové tiskárny pouze víří horký vzduch, vodní okruh udržuje stabilně nízkou teplotu v přechodové zóně (heatbreaku). Tím se zcela eliminuje fenomén zvaný heat creep (předčasné tavení a bobtnání filamentu před vstupem do trysky). Extruder je díky tomu schopen spolehlivého a nepřetržitého tiskového provozu při zpracování náročných technických a vysokoteplotních polymerů.



Obr. 3 Celkový pohled na hlavu 3D Smart tiskárny

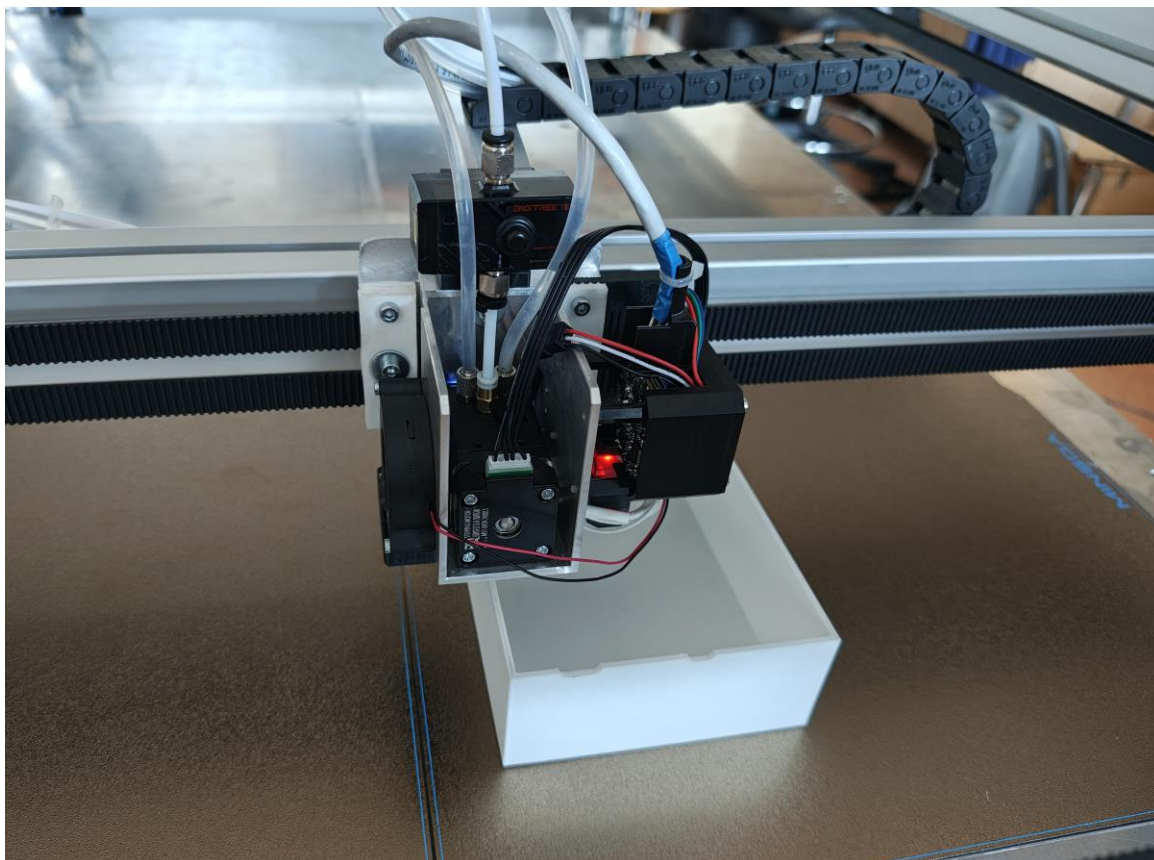


Obr. 4 Vyznačení polohy nalévacího otvoru na expanzní nádobce chlazení.

4.3 Zkoušky

V rámci finální fáze oživení funkčního vzorku byla provedena zkušební tisková sekvence s cílem ověřit chování kinematiky CoreXY a softwarové integrace při zpracování technického polymeru. Jako testovací model byla zvolena rozměrná krabička o půdorysných rozměrech 100 300 mm a výšce 80 mm. Tisk probíhal z pokročilého materiálu Prusament PETG FR Jet (materiál se sníženou hořlavostí), který je vysoce náchylný na teplotní šoky a deformace při tisku velkých ploch. Zkouška potvrdila stoprocentní funkčnost celého ekosystému:

- Termoregulace podložky: Třízónový vyhřívaný bed stabilně udržoval teplotu 85 °C na aktivovaných segmentech, což v kombinaci s uzavřenou komorou zcela eliminovalo warping (zvedání rohů) na 300 mm dlouhé hraně modelu.
- Vodní chlazení a extruze: Extruder BIQU H2O prokázal bezchybný kontinuální průtok materiálu. Vodní okruh udržel chladicí zónu stabilní, takže nedošlo k žádnému tepelnému zahlcení (heat creep) ani při delším tiskovém cyklu.
- Dynamika a přesnost: Díky automatickému vyrovnání podložky (Quad Gantry Leveling) přes senzor BTT EDDY byla první vrstva perfektně uniformní po celé ploše. Výsledný výtisk vykazuje ostré detaily, vynikající soudržnost vrstev a rozměrovou odchylku v toleranci do pm 0,05 mm, což potvrzuje vysokou tuhost konstrukce i při dynamických změnách směru v rychlostech nad 150 mm/s.



Obr. 5 Příklad reálného tisku na 3D Smart tiskárně



4.1 Plánované využití

Předložený funkční vzorek velkoformátové 3D tiskárny hraje klíčovou roli jako závěrečný, exekutivní článek při komplexním testování a ladění celého produkčního cyklu „3D skener – software – 3D tisk“. Zařízení neslouží pouze jako izolovaný výrobní stroj, ale jako hardwarový validátor datového toku a softwarové integrace v rámci celého ekosystému. Při praktických zkouškách (např. u testovacího tisku rozměrné krabičky 100*300*80 mm z materiálu FR Jet) vzorek ověřuje bezchybný, automatizovaný přenos geometrických dat ze 3D skeneru přes optimalizační CAD/CAM softwarová rozhraní až po finální vygenerování řídicího G-codu pro firmware Klipper.

V rámci ekosystému umožňuje funkční vzorek v reálném čase testovat dynamickou odezvu pokročilé elektroniky BIGTREETECH Manta M8P a vyhodnocovat přesnost bezkontaktního mapování povrchu pomocí senzoru BTT EDDY. Prostřednictvím webového rozhraní (Mainsail/Fluidd) a hostitelského modulu CB1 je validována stabilita síťové konektivity, vzdálený monitoring a možnost operativní úpravy tiskových parametrů (např. konfigurace zónového vyhřívání podložky o výkonu 3 * 1,5 kW v závislosti na poloze a velikosti skenovaného objektu). Vzorek tak umožňuje experimentálně ověřit celkovou materiálovou flexibilitu, eliminaci teplotních deformací (warping) a dosažení vysoké rozměrové přesnosti při extrémních rychlostech do 500 mm/s. Celkově tak tiskárna v provozu potvrzuje, že vyvinutý softwarový a hardwarový řetězec tvoří plně kompatibilní, stabilní a reprodukovatelný cyklus pro rychlou aditivní výrobu velkoobjemových průmyslových komponent.



5 Závěr

Vývoj a úspěšná realizace funkčního vzorku velkoformátové 3D tiskárny o pracovním prostoru 1200 * 800 * 600 mm představují klíčový milník v integraci pokročilých aditivních technologií do uceleného průmyslového řetězce „3D skener – software – 3D tisk“. Zařízení v praxi plně potvrdilo svou roli finálního, exekutivního článku celého ekosystému, který je schopen bezchybně transformovat digitalizovaná data z 3D skeneru přes optimalizační CAD/CAM softwarová rozhraní až do podoby reálného, rozměrově přesného produktu. Experimentální ověření funkčnosti celého komplexu, demonstrované na testovacím tisku rozměrné krabice o velikosti 100 * 300 * 80 mm z náročného technického materiálu Prusament PETG FR Jet, jednoznačně validovalo vysokou mechanickou tuhost, softwarovou stabilitu a materiálovou flexibilitu navrženého řešení.

Z konstrukčního hlediska se jako zásadní výhoda ukázala specifická modifikace kinematiky CoreXY s fixovanou osou Z a nezávisle poháněnou čtveřicí trapézových šroubů. Toto uspořádání radikálně snížilo hmotnost pohybujících se částí portálu a eliminovalo setrvačné síly, což v kombinaci s akcelerací až 3 000 mm/s² umožňuje dosahovat vysokých tiskových rychlostí (300 až 500 mm/s) bez rizika vzniku vibrací a ztráty přesnosti. Implementovaná řídicí elektronika BIGTREE TECH Manta M8P s výpočetním modulem CB1 a firmwarem Klipper prokázala vynikající schopnost multiprocessorového řízení v reálném čase. Distribuce výpočetního výkonu umožnila plynulé zpracování komplexních trajektorií, flexibilní konfiguraci systému přes webové rozhraní (Mainsail/Fluidd) a bleskovou aplikaci kalibračních parametrů bez nutnosti opětovného flashování hardwaru.

Provozní zkoušky dále potvrdily nepostradatelnost inovativních prvků, jakými jsou vodou chlazený direct drive extruder BIQU H2O, který spolehlivě zamezil vzniku fenoménu heat creep, a bezkontaktní vířivoproudový indukční senzor BTT EDDY, jenž ve spojení s funkcí Quad Gantry Leveling zajistil dokonale uniformní první vrstvu. Energeticky efektivní třízónové vyhřívání podložky o celkovém výkonu 4,5 kW (3 * 1,5 kW) účinně eliminovalo vnitřní pnutí i teplotní deformace (warping) u velkoobjemových výtisků. Vyvinutý funkční vzorek tak úspěšně demonstrovuje uzavřený, plně kompatibilní a softwarově synchronizovaný digitální cyklus. Zařízení představuje vysoce efektivní, rychlé a reprodukovatelné řešení pro aditivní výrobu rozměrných forem, funkčních prototypů a koncových průmyslových komponent s garantovanou tvarovou i rozměrovou stálostí v toleranci do pm 0,05 mm.