

Ověřená technologie reprodukovatelné přípravy 3D tištěných dílů z vybraných kovů, keramiky a technických plastů pro použití v prostředí vakua

- RIV_20230630094527

Vakuové komponenty musí splňovat požadované vlastnosti v souladu s metodikou ASTM E595, která určuje termální vakuovou stabilitu, což je základní předpoklad aplikovatelnosti dílů jako součástí vakuových aparatur v letectví a přístrojů pro sekci aerospace. Pro účely projektu a vlastního experimentálního testování v rámci ověřené technologie byla vyvinuta sestava pro termální zkoušky ve vakuu dle ASTM E595 (Standard Test Method For Total Mass Loss And Collected Volatile Condensable Materials From Outgassing In A Vacuum Environment) umožňující zpracování/testování/zkoušení vytištěných komponent (termální postprocessing), jejich tepelné a chemické zatížení, in situ měření fyzikálních veličin a chemického složení atmosféry. Tato metodika je v praxi využívána přední vesmírnou agenturou NASA/ESA a využívají ji i přední výrobci a vývojáři v oblasti vesmírných technologií.

1 Technologie 3D tisku

V rámci projektu bylo vytisknuto na 3D tiskárnách několik sad přírub o různé materiálové kompozici. Optimalizované parametry 3D tisku vzorků přírub vybraných materiálů se nacházejí v Tabulce 1. Na Obr. 2 a 3 je ukázána geometrie přírub určená pro 3D tisk. Optimalizované parametry 3D tisku zaručují reprodukovatelnost k dosažení tvarově složitých komponent o požadovaných vlastnostech pro náročné aplikace. Na vakuových komponentech vytisknutých pomocí 3D tiskárny, byly provedeny kontrolní analýzy využívající nejmodernější technologie, např. počítačová mikrotomografie (Obr. 4).

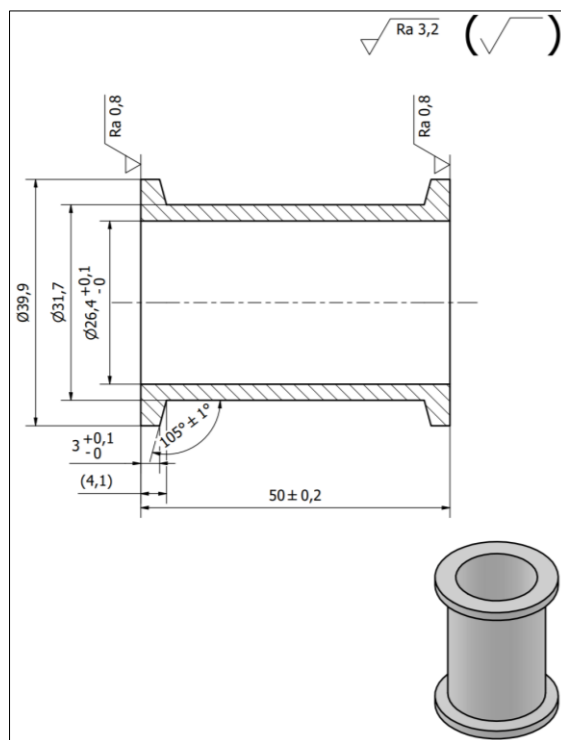
Tabulka 1. Parametry 3D tisku vakuových komponent z kovových a polymerních materiálů

Tiskárna	EOS M400-4	EOS M400-4	Markforged Mark Two	MiniFactory
Materiál	316L (1.4404)	MS1 (1.2709)	Onyx	PEI 1010
Výška vrstvy	0,04 mm	0,04 mm	0,100 mm	0,250 mm
Teplota trysky	-	-	275 +/- 3 °C	380 °C
Teplota v komoře	80 °C	40 °C	-	215 °C
Tlak	4 mbar (diferenční tlak pro proudění výrobní atmosféry)	4 mbar (diferenční tlak pro proudění výrobní atmosféry)	101 kPa	101 kPa
Post-processing	Mechanické čištění součástky	Mechanické čištění součástky od	-	-





	od zbytkového prášku, podpor obrábění	zbytkového prášku, podpor obrábění		
Tiskárna	Formlabs Form 3	Formlabs Form 3	Formlabs Fuse 1	MiniFactory
Materiál	Tough 2000 (resin)	Rigid 10 (resin)	Nylon – PA12 (prášek)	PEEK-CF
Výška vrstvy	50 μ m	50 μ m	0,11 mm	0,250 mm
Teplota trysky	(31 +/- 1) °C	(31 +/- 1) °C	180 °C (teplota desky 215 °C)	440 °C
Teplota v komoře	-	-	-	200 °C
Tlak	101 kPa	101 kPa	101 kPa	101 kPa
Post-processing	Čištění v IPA ve Formlabs Form Wash po dobu 20 min; vytvrzení při teplotě 70 °C za současného vystavení UV záření s vlnovou délkou 405 nm po dobu 60 minut ve Formlabs Form Cure	Čištění v IPA ve Formlabs Form Wash po dobu 20 min; vytvrzení při teplotě 70 °C za současného vystavení UV záření s vlnovou délkou 405 nm po dobu 60 minut ve Formlabs Form Cure	Mechanické čištění součástky od zbytkového prášku	-





Obr. 1. Geometrie modelu pro 3D tisk přírub

Nástrojová ocel 1.2709 (MS1)	Nerezová ocel 1.4404 (316L)	Rigid 10 K	Tough 2000	Nylon – PA12	Onyx

Obr. 2. Vytiskované příruby z jednotlivých materiálů, u kterých byla naměřena vyhovující porozita a vakuová těsnost

PEEK-CF	PEI 1010

Obr. 3. Vytiskované příruby z materiálů PEEK CF a PEI 1010

Nerezová ocel 1.4404 (316L)	Nástrojová ocel 1.2709 (MS1)	Nylon PA12
Onyx	Tough 2000	Rigid 10 K



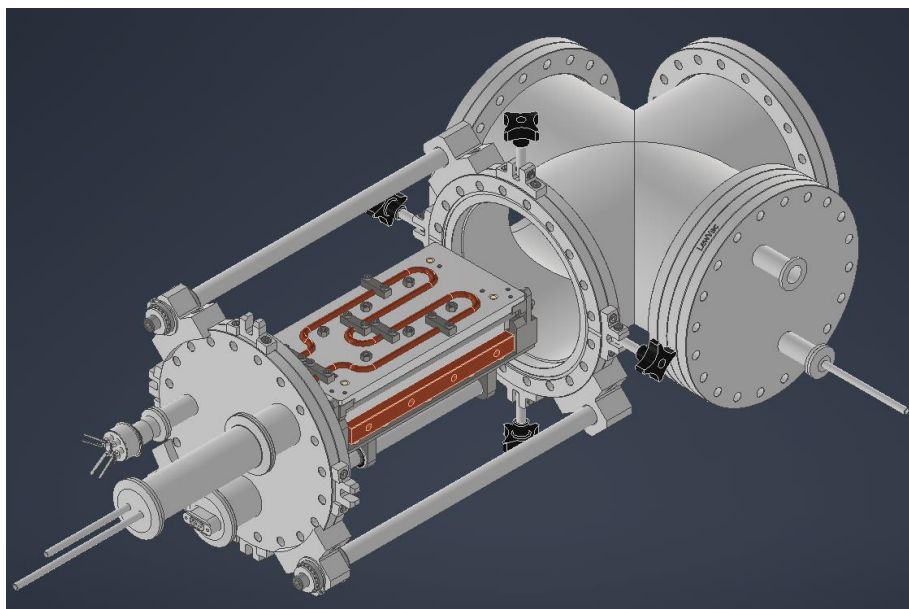
Obr. 4. Ukázka analyzovaných vzorků pomocí počítačové mikro tomografie

2 Vývoj experimentální sestavy dle ASTM E595

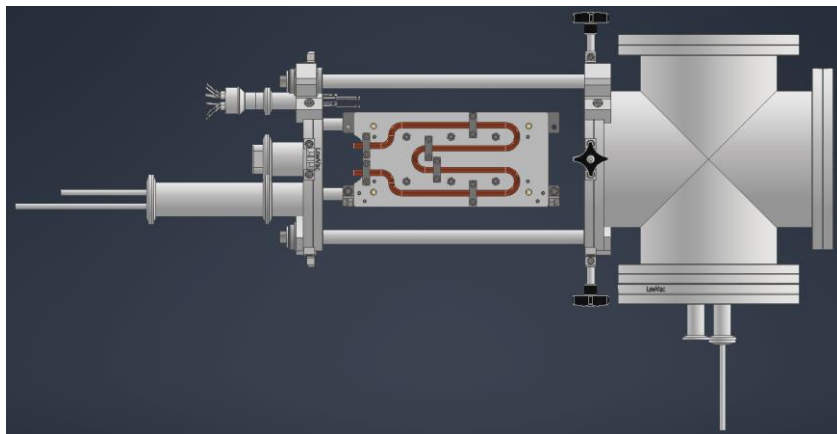
Pro účely ověření vhodnosti komponent z nekonvenčních materiálů připravených metodami 3D tisku, pro náročné aplikace, byla vyvinuta testovací sestava v souladu s metodikou ASTM E595. Tato metodika určuje vhodnost aplikovatelnosti materiálů ve vakuové technice, letectví, polovodičové technice a v oblasti aerospace.

Principem testování je měření dvou parametrů materiálů exponovaných ve vakuu: hmotnostních ztrát materiálu (*total mass loss, TML*) a shromážděných těkavých kondenzovatelných látek (*collected volatile condensable material, CVCM*). Za přesně definovaných experimentálních podmínek, teploty a tlaku lze testovat organické, polymerní a anorganické materiály, včetně polymerních zalévacích směsí, pěn, elastomerů, pásek, filmů, izolací, lepidel, nátěrů, povlaků, tkanin atd.

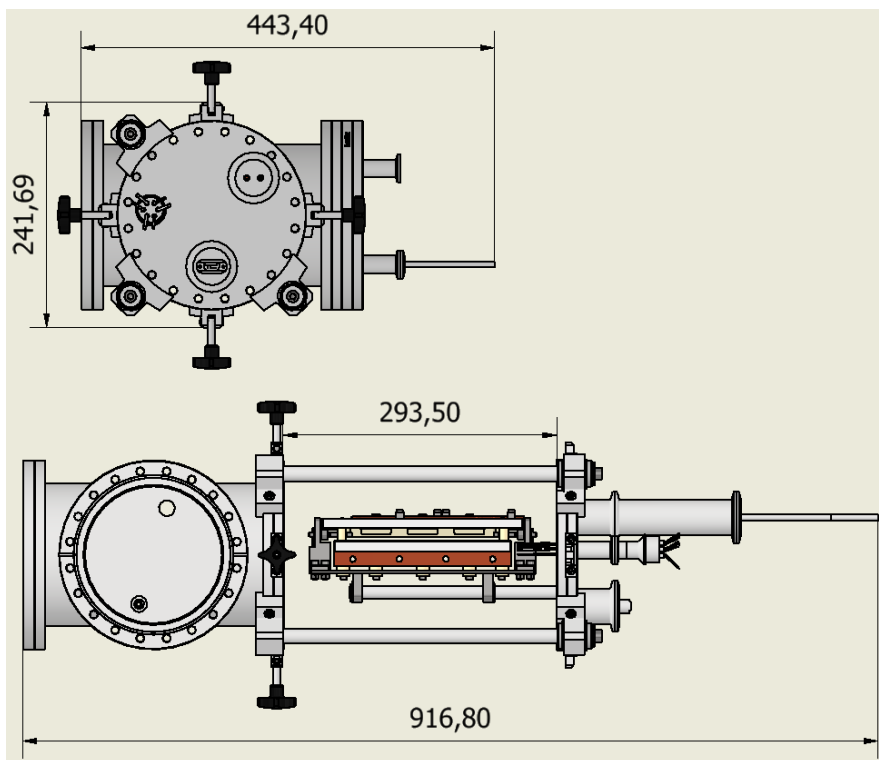
Experimentální sestava dle normy ASTM E595 je umístěna ve čtyřramenném vakuovém kříži, s přírubami CF160, tj. ve vakuové komoře. Komora je čerpána turbo-molekulární vývěvou Edwards nEXT400D. Sestava dle metodiky ASTM E595 je připevněna na přírubě pomocí dvou tyčí a do komory se zasouvá pomocí třech vodících tyčí, viz Obr.5 a 6. Příruba současně plní i funkci dveří. Rozměry testovací sestavy jsou zobrazeny na Obr. 7.



Obr. 5. 3D model testovací sestavy

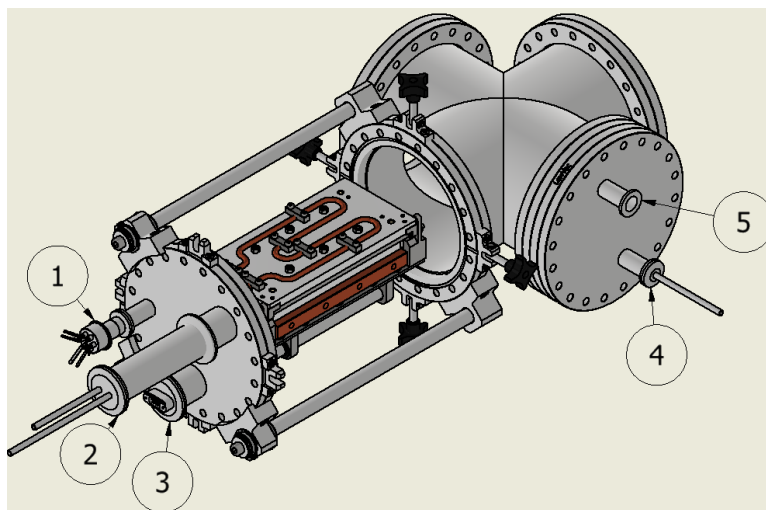


Obr. 6. Model testovací sestavy – pohled shora



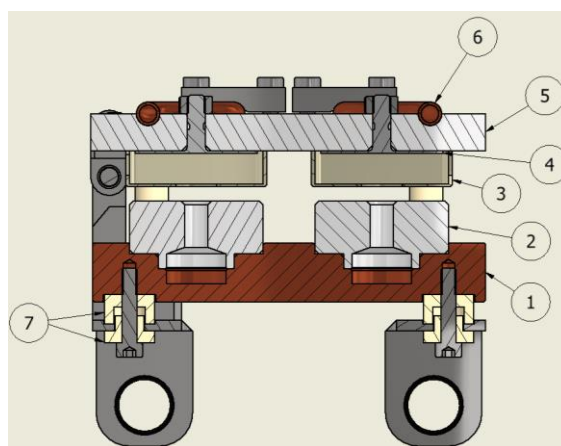
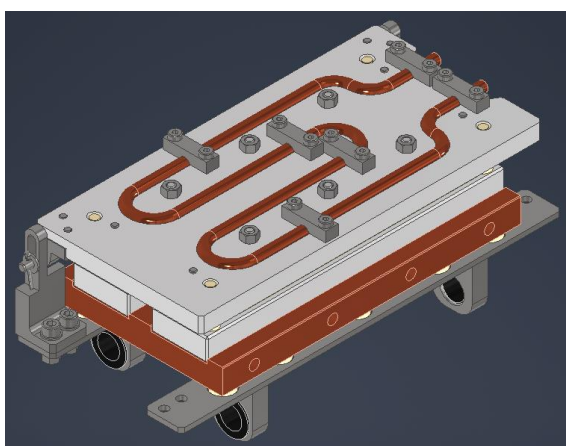
Obr. 7. Rozměry testovací sestavy

Průchodky do komory jsou zobrazeny na Obr. 8. Přívody chlazení (2) a ohřevu (3) jsou nainstalovány na přírubách KF40; termočlánek (1), přívod dusíku (4) a měrka (5) na přírubách KF16.

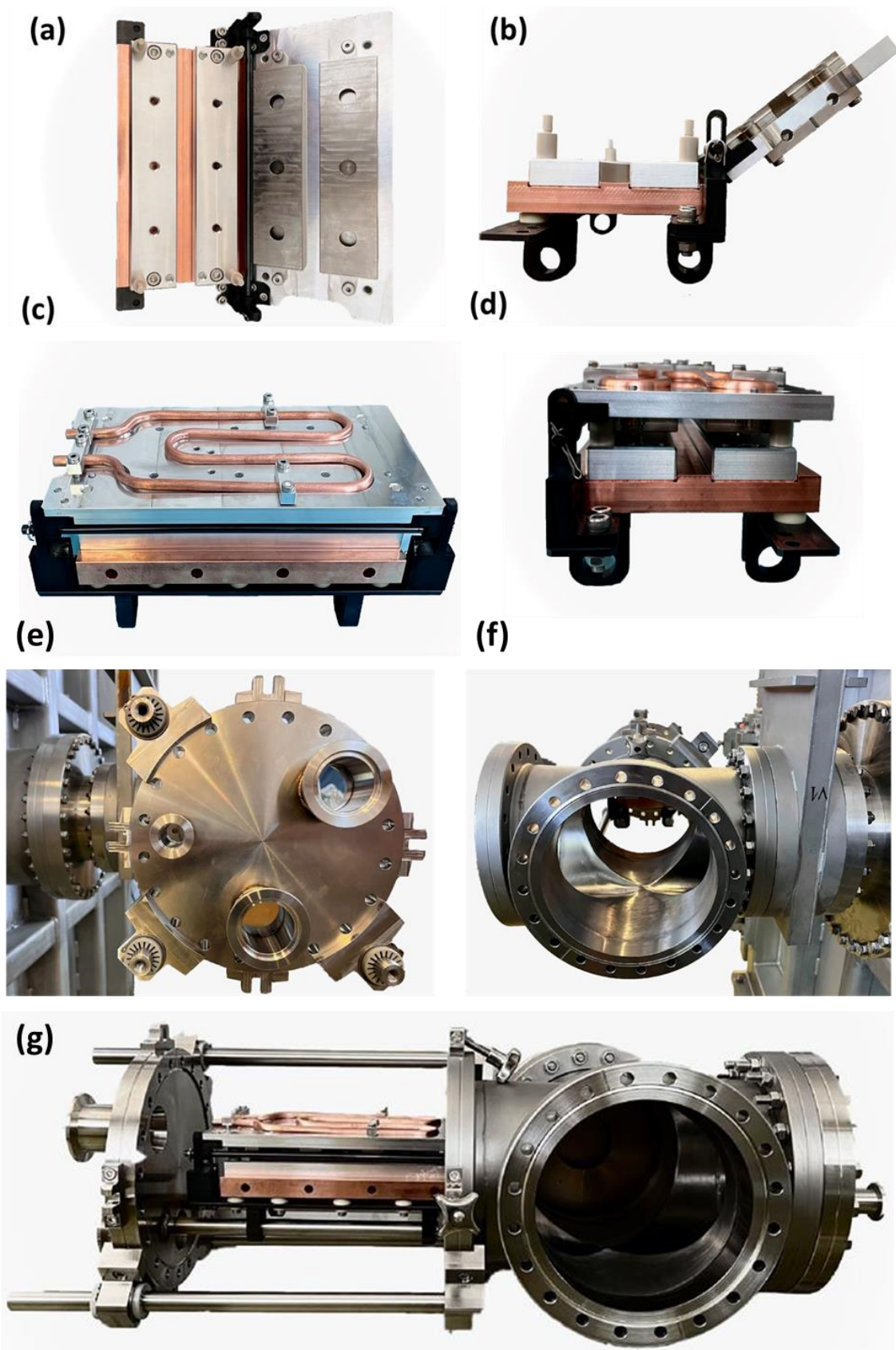


Obr. 8. Popis experimentální sestavy ASTM E595 (Průchodky: 1 – termočlánek, 2 – chlazení, 3 – ohřev, 4 – napouštění dusíku, 5 – měrka)

Sestava E595 (Obr. 9) se skládá ze šesti samostatných přepážek určených na ohřev vzorků a následného zkondenzování odpařených složek ze vzorků na kolektoru. Přepážka se skládá z cely na vzorek, kruhového otvoru pro odpařovaný materiál, separátoru a kolektoru. Celu na vzorek tvoří vyhřívací měděná deska a duralový kryt vzorku, ve kterém je současně i kruhový otvor na odvod kondenzátu. Separátor, s kruhovým otvorem, souosým s otvorem duralového krytu, který odděluje jednotlivé kolektory, aby nedocházelo ke vzájemné kontaminaci. Ohřev je zabezpečen čtyřmi topnými patrony s výkonem 70 W při 230 V napětí. Teplota je regulována pomocí PID kontroléru Eurotherm 3504 přes SSR (zero-switch). Konstantní teplota chladicí desky je udržována spirálou připojenou na chilleru PolyScience, chladicí kapalinou je destilovaná voda. Teplota vyhřívání a chlazení části je měřena pomocí tří termočlánků typu K. Tlak v komoře je měřen vakuovou měrkou Thyracont VSR53USB.



Obr. 9. Model experimentální sestavy E595 (vlevo); Sestava E595 část – průřez zepředu: 1 – měděná vyhřívací deska, 2 – duralový kryt vzorku, 3 – separátor, 4 – kolektor, 5 – chladicí deska, 6 – měděná spirála, 7 – keramická izolace (vpravo)



Obr. 10. Vyvinutá sestava E595 s vakuovou komorou: (a–d) Sestava E595; (e, f) čela komory; (g) kompletní sestava



3 Závěr

Cílem projektu „Výzkumu a vývoje technologie pro výrobu vakuových komponent nekonvenčními postupy“ bylo vyvinutí „**Ověřené technologie reprodukovatelné přípravy 3D tištěných dílů z vybraných kovů, keramiky a technických plastů pro použití v prostředí vakua**“ popisující technologii návrhu, vývoje, testování a následné výroby vakuových komponent z nekonvenčních i konvenčních kovových, keramických a plastových materiálů pomocí technologie 3D tisku vhodných pro náročné aplikace jako např. pro letectví a aerospace. K účelu testování materiálů určených do vakua bylo nutné v rámci ověřené technologie vyvinutí systému pro termální zkoušky vakuové stability dle ASTM E595.

Stanovené cíle projektu byly zcela naplněny a došlo k vývoji dané technologie umožňující výrobu vakuových komponent z kovových a plastových materiálů s možností jejich testování na nově vyvinuté sestavě pro termální vakuovou stabilitu dle metodiky ASTM E595, určující možné použití pro náročné aplikace, která je využívána vesmírnou agenturou NASA/ESA a používají ji i další přední výrobci a vývojáři v oblasti vesmírné technologie a jeho vývoje.

4 Přílohy

Výrobní dokumentace sestavy E595.