



CEITEC

Středoevropský technologický institut
BRNO | ČESKÁ REPUBLIKA

výzkumná skupina Rentgenová
mikrotomografie a nanotomografie

INFORMAČNÍ MAGAZÍN č. 3

ÚVODNÍ SLOVO

Vážení čtenáři naše newsletteru,

pro zpestření jarních dní jsme pro vás připravili další číslo informačního magazínu, ve kterém se mimo jiné dočtete, proč je naše CT vyhledáváno vědci a odborníky z mnoha oborů, anebo proč jsme byli osloveni Národním muzeem v Terezíně s technologickým průzkumem zapůjčených předmětů do výstavy „Afgánistán - zachráněné poklady buddhismu“. Dozvíte se, že pomocí CT je možné provést inspekci deformace plastových dílů při nízkých teplotách a o reverzním inženýrství biologických vzorků, které je prováděno ve spolupráci s Karolinou institut ze Švédska. V pokračování Edukace se dočtete co konkrétně je v tomografii skryto pod pojmem „Zvětšení“. Na závěr jsme pro vás připravili srovnání možností mikro CT a nano CT systému.

Věříme,
že i tentokrát jsme
pro vás připravili
zajímavé a poutavé
čtení a zajímavé
a hlavně přínosné
informace.

JAKÉ MOŽNOSTI NAŠE CT PŘINÁŠÍ

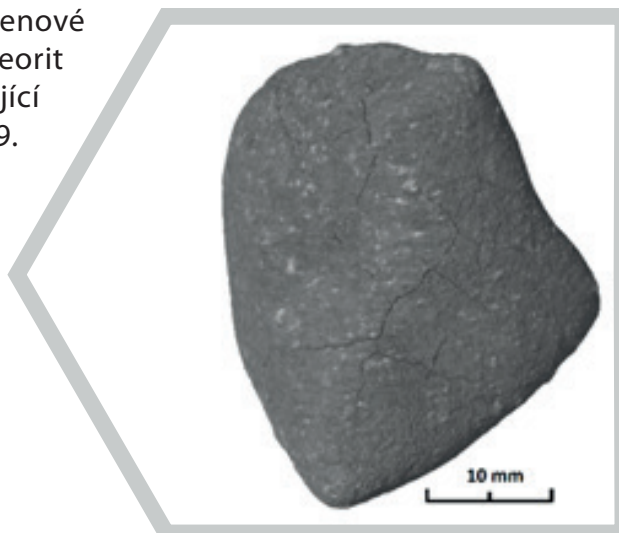
Nedestruktivní průzkum meteoritu

Ve spolupráci s Oddělením meziplanetární hmoty Astronomického ústavu AV ČR pod vedením RNDr. Pavla Spurného, CSc., byl pomocí rentgenové počítačové tomografie analyzován meteorit nazvaný Žďár nad Sázavou pocházející z instrumentálně dokumentovaného pádu z 9. prosince 2014. Tento meteorit byl nalezen u obce Sazomín 12. ledna 2015 jako druhý v pořadí z daného pádu a to přesně v předpovězené oblasti pro danou



Obr. 2: Nález meteoritu.

tomografická analýza, která velmi podrobně odhalila vnitřní strukturu meteoritu, aniž by musel být řezán či jinak poškozen. Na základě těchto dat byl spolehlivě určen druh meteoritu a byla zvolena strategie pro materiálovou analýzu.

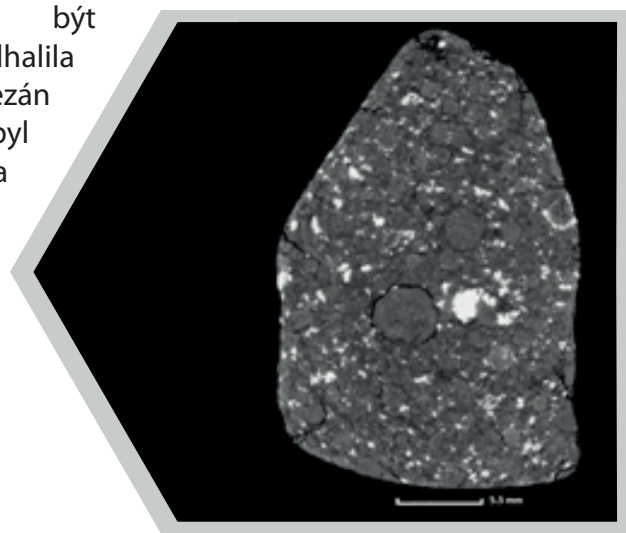


Obr. 1: 3D vizualizace tomografických dat.

hmotnost. Meteorit má nepravidelný tvar a jeho hmotnost je 39,2 gramů.

Protože se jedná o velmi cenný mimozemský materiál, byla hledána co nejšetrnější metoda na prozkoumání vnitřní struktury tohoto vzorku. Jako nejvhodnější pro

tento účel se ukázala být



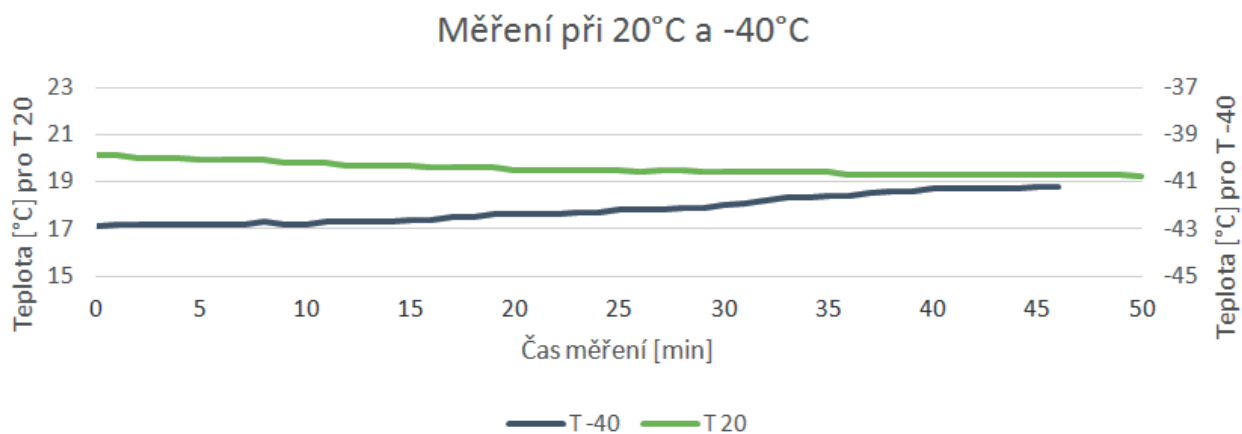
Obr. 3: Tomografický řez.

JAKÉ MOŽNOSTI NAŠE CT PŘINÁŠÍ

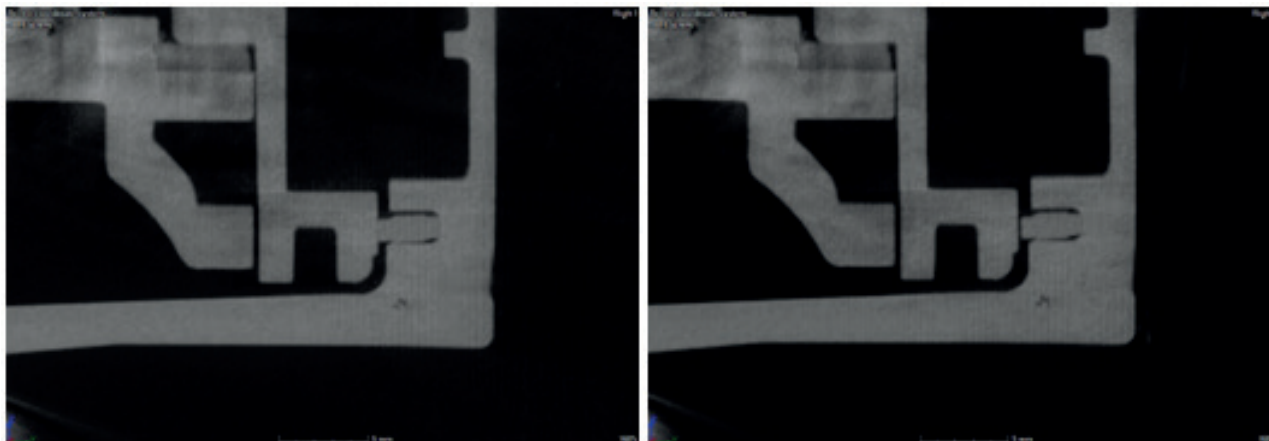
Inspekce deformace plastových dílů při nízkých teplotách

Tomografické měření za velmi nízkých teplot je velmi náročné zejména z toho důvodu, že probíhá v řádech několika desítek minut. Po tuto dobu musí být podmínky měření, tedy i teplota, konstantní. Toho se nám podařilo dosáhnout pomocí pasivního chlazení využívajícího změny skupenství chladicího média. Díky tomu jsme byli schopni provést měření sestavy plastových dílů při teplotě -40°C . Tomografické měření trvalo v obou případech 50 minut a teplota, odečítaná v průběhu tohoto měření přímo z jednoho z dílů sestavy, se za tuto dobu změnila v obou případech pouze v rozsahu do $1,6^{\circ}\text{C}$ (viz obrázek 4).

Srovnání získaných CT dat s výsledky měření při pokojové teploty (20°C) byl zjištěn viditelný vzájemný pohyb jednotlivých komponent sestavy (viz obrázek 3). Prokázal se tak vliv extrémně nízké teploty na měřené díly, který může způsobit omezení funkčnosti součásti.

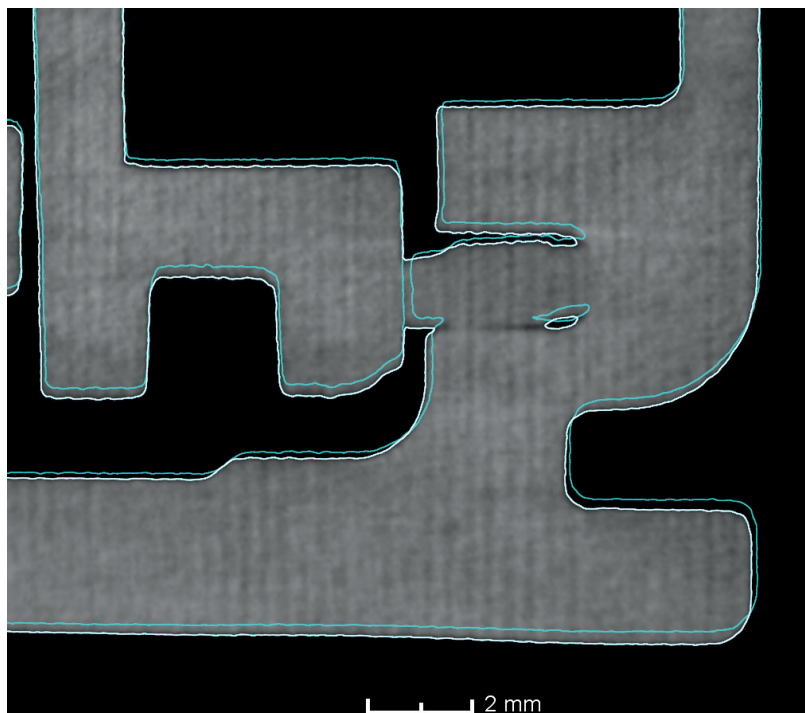


Obr. 4: Vývoj teploty v průběhu měření při 20°C a -40°C .



Obr. 5: Porovnání řezů v totožné rovině z měření při teplotách 20°C (vlevo) a -40°C (vpravo).

JAKÉ MOŽNOSTI NAŠE CT PŘINÁŠÍ

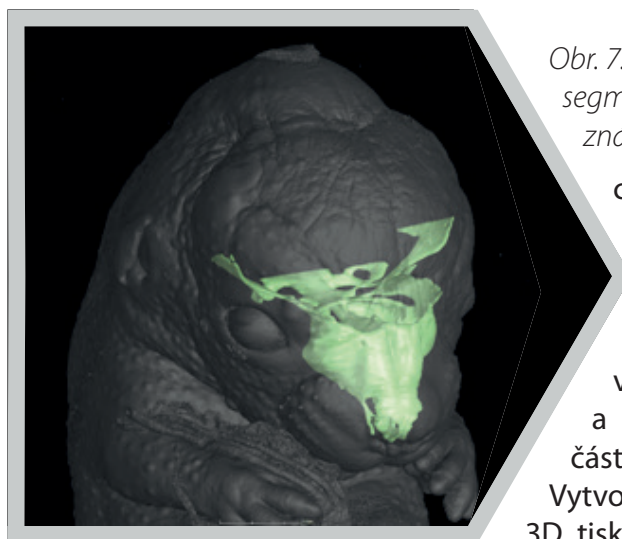


Obr. 6: Rozdíl sesazených CT dat měření při teplotách 20° a -40° (modrý obrys).

Reverzní inženýrství biologických vzorků

Již v minulém díle newsletteru jsme Vás informovali o biologickém výzkumu zaměřeném na vývoj chrupavky u embryí ve spolupráci s Karolinska Institutet ve Švédsku. Zobrazit chrupavku u obratlovců je jedním z klíčových úkolů vývojových biologů. Rentgenová počítačová tomografie umožňuje zobrazit objekty včetně vnitřní struktury v řádech mikrometrů. Navzdory tomu, že tato data lze pomocí softwaru vizualizovat ve 3D, držet reálný model studovaného objektu v ruce přináší nové možnosti v porozumění mechanismů a procesů uvnitř vyvíjejícího se těla.

Náš výzkum je realizován převážně na myších embryích různých vývojových stádií a mutací. Zobrazit



Obr. 7: 3D vizualizace segmentované části znázorňující její umístění.

chrupavku ve vzorcích, ale není jednoduché vzhledem k její nízké absorpci rentgenového záření. Vzorky tedy musí před CT skenováním projít určitými chemickými procesy pro zvýraznění studované tkáně. Poradili jsme se všemi nástrahami týkajícími se takového měření a podařilo se nám vytvořit 3D model chrupavčité části obličeje u 15 dnů starého myšího embrya (obr. 7).

Vytvořený model jsme následně 50x zvětšili a vytiskli na 3D tiskárně (obr. 8) v rámci spolupráce s vědeckým a výzkumným centrem NETME. Kombinace těchto dvou

technik (μ CT a 3D tisk) přináší široké možnosti pro výzkum nejen z oblasti biologie.

JAKÉ MOŽNOSTI NAŠE CT PŘINÁŠÍ

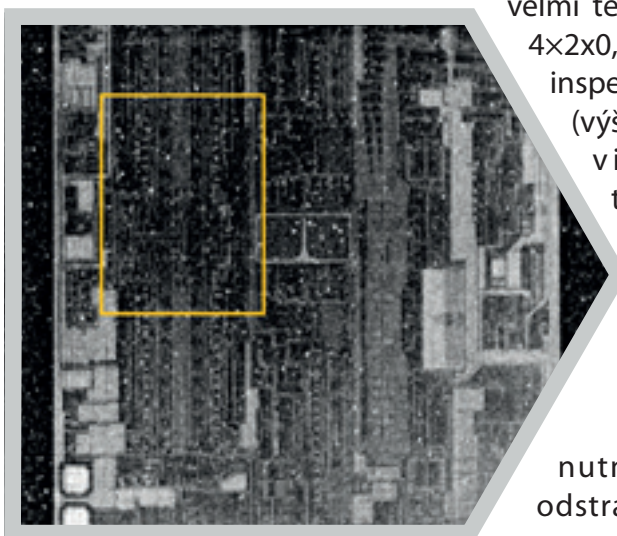


Obr. 8: Porovnání vytisknutého modelu s lidskou rukou. Převzato z [1].

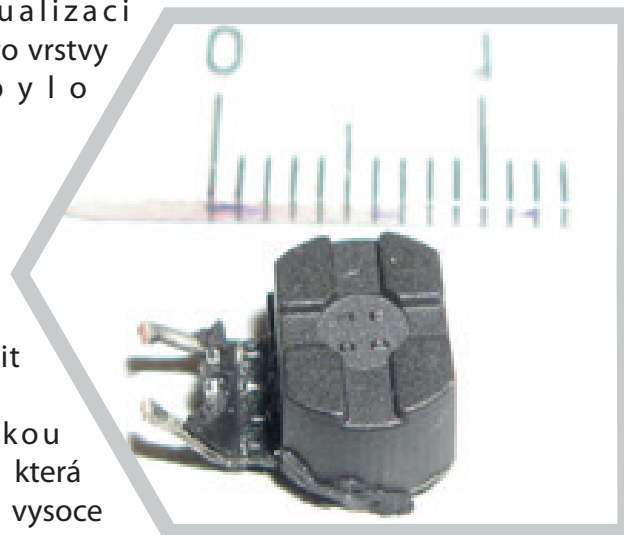
[1] Tesařová et al.: J Instrum., 2016, v tisku.

Srovnání možností mikro CT a nano CT systému

V naší laboratoři proběhlo měření kovové mikro vrstvy integrovaného obvodu snímače otáček (Obr. 10) fungující na principu Hallovy sondy. Mezi hlavní komponenty snímače patří magnet a velmi tenká vrstva integrovaného obvodu (o rozměrech $4 \times 2 \times 0,004$ mm). Cílem tomografické analýzy byla inspekce vodivých cest vrstvy integrovaného obvodu (výška vrstvy cca $4 \mu\text{m}$, šířka vodivých cest $4 \mu\text{m}$). K vizualizaci této vrstvy bylo



nutné odstranit magnetickou část součástky, která představuje vysoce absorpční materiál pro



Obr. 9: Tomografický řez měření na microCT s velikostí voxelu $2,8 \mu\text{m}$.

rentgenové záření. I přestože tímto krokem došlo k destrukci součástky, sledovaná vrstva mohla být analyzována bez poškození. Měření proběhlo na: 1. mikro CT systému GE phoenix v|tome|x L240 a 2. nano CT systému Rigaku nano3DX.

Mikro CT systém při daných velikostech vzorku, umožnil dosáhnout voxelové rozlišení $2,8 \mu\text{m}$ a zobrazit kompletní strukturu vodivé vrstvy integrovaného obvodu (Obr. 9). Rozlišení však není dostatečné pro posouzení stavu vodivých cest (Obr. 11). V tomografickém řezu jsou zřetelné

Obr. 10: Snímač otáček.

JAKÉ MOŽNOSTI NAŠE CT PŘINÁŠÍ

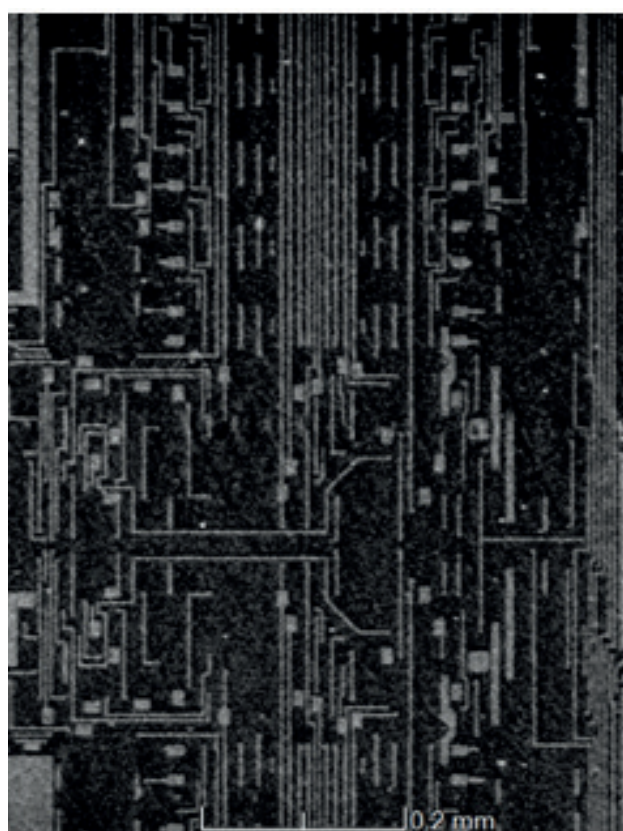
tmavé oblasti způsobené kovovými artefakty.

Nano CT měření bylo zaměřeno na oblast zvýrazněnou na obrázku 9. Pro dosažení sub mikronového rozlišení byl vzorek vybroušen do pravidelného hranolku o hranách podstavy pod 1 mm. Tomografické měření trvalo 5 hodin a bylo dosaženo voxelového rozlišení 0,54 μm , které kontrolu vodivých cesty umožnilo (Obr. 12).

Kombinace mikro a nano CT je standardním postupem při řešení defektoskopických úkolů vyžadující vysoké rozlišení, tj. pro první náhled je použitý mikro CT systém, které pomůže specifikovat oblast pro případné nano CT měření.



Obr. 11: Detail řezu z mikroCT systému (voxelové rozlišení 2,8 μm).



Obr. 12: Tomografický řez z nanoCT systému (voxelové rozlišení 0,54 μm).

V předchozích dvou číslech tohoto newsletteru jsme vás v rámci edukace seznámili s pojmem rozlišení a se základními komponenty průmyslové tomografické stanice. V tomto čísle newsletteru bychom vám rádi vysvětlili pojem zvětšení, které představuje způsob, jakým se v průmyslových CT systémech dosahuje vysokého rozlišení.

Zvětšení

Zvětšení představuje měřítko zobrazení mezi rovinou detektoru a objektu. Vyjadřuje, kolikrát v obrazu došlo ke zvětšení objektu oproti jeho reálnému rozměru. To je umožněno kvůli kuželovému svazku, který rentgenová trubice generuje. Konkrétní zvětšení (M) se vypočítá jako poměr vzdálenosti zdroje od detektoru (FDD) ke vzdálenosti zdroje od objektu (FOD).

$$M = \frac{FDD}{FOD} .$$

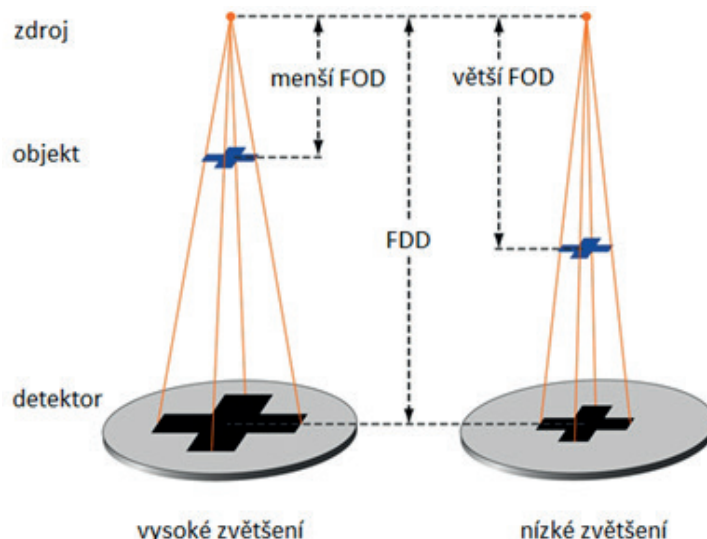
Zvětšení M zároveň definuje výslednou lineární velikost voxelu podle vztahu

$$Vx = \frac{Px}{M} ,$$

kde Vx – lineární velikost voxelu tj. voxelové rozlišení, Px – lineární velikost elementu detektoru.

Dle těchto výrazů platí, že čím blíže je umístěn vzorek u zdroje rentgenového záření, je dosaženo většího zvětšení tzn. vyššího voxelové rozlišení. Za podmínky udržení objektu během jeho rotace v kuželovém svazku, který je zaznamenáván detektorem, je výsledné voxelové rozlišení závislé na velikosti měřeného objektu. Pro odhad voxelového rozlišení lze využít pravidla 1/1000 reálné velikosti objektu, tj. vzorek o průměru 10 mm z hlediska geometrického zvětšení naměřit s voxelovým rozlišením 10 μm .

Pokud je požadavkem vysoké rozlišení u velkého objektu, je nutné vybrat jen určitou oblast zájmu. Tato strategie měření je však možná především u víceosých systému (např. GE phoenix v|tome|x L240) umožňujících měnit vzdálenost detektoru, která bývá u menších průmyslových systémů fixní.



Obr.1 Princip zvětšení objektu [převzato z GE].

STALO SE / ÚČASTNILI JSME SE

Konference průmyslové počítačové tomografie

Ve dnech 9. – 12. února 2016 se členové laboratoře zúčastnili Konference průmyslové počítačové tomografie ve Welsu v Rakousku.

V oblasti počítačové tomografie je jednou z největších událostí v Evropě. Program konference je zaměřen na oblasti nedestruktivního testování, 3D materiálové charakterizace, rozměrového měření, a novinek od světových výrobců průmyslových CT systému. Na konferenci jsme prezentovali srovnání průmyslového CT systému s laboratorním nano CT systémem a zařízením využívající sychrotronové záření pro účely měření měkkých tkání, konkrétně chrupavky.

NOVINKY

Afghánistán - zachráněné poklady buddhismu



AFGHÁNISTÁN
je dnes často vnímán jako
vzdálená země
poznamenaná četnými
válečnými a vojenskými
konflikty.
I přesto se zde rozvinula
jedinečná a velmi pestrá
kulturní tradice.

V rámci výstavy „Afghánistán zachráněné poklady buddhismu“ (5.2.-16.4.2016) pořádané Národním muzeem ve spolupráci s Národním muzeem Afghánistánu bylo umožněno realizovat rozsáhlý technologický průzkum zapůjčených předmětů.

Pomocí CT byly zkoumány dvě vybrané plastiky z lokality Mes Aynak a Tapa Nárendž. První z nich byla kovová plastika ruky s ptáčky ze slitiny Ag-Cu, druhou pak hliněná plastika hlavy krále či bóthisattvy. Obě prezentují charakteristické materiály pro vystavovaný soubor.

U kovové plastiky bylo cílem CT odhalení původního tvaru předmětu, který byl celoplošně pokryt korozními produkty zkreslujícími tvar. To se v plné míře podařilo - byl zachycen nejen základní tvar, ale i detaily povrchového zdobení a skryté praskliny ve spoji zápěstí. Vizualizace napomohla následnému restaurování. Bylo možné jednoznačně určit, do jaké hloubky předmět čistit a kde se nachází zdobení náchylné k poškození.

U vrstvené plastiky na hliněné bázi bylo především potřeba zjistit rozsah vnitřního poškození. Pro tento účel se CT ukázalo jako ideální. Snímky s přesně lokalizovanou polohou byly využity ke studiu prasklin - jejich hloubce i směru - a následné optimalizaci restaurátorského zásahu,

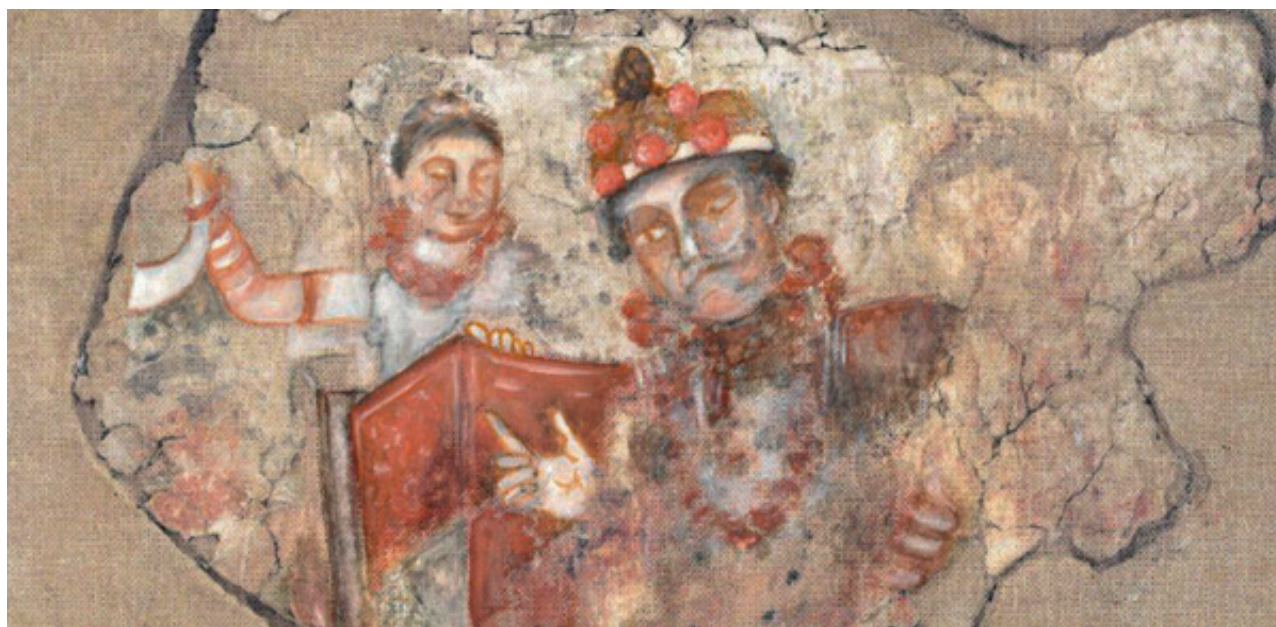
spočívajícím v jejich zpevnování. CT bylo zároveň využito v rámci technologického průzkumu. Vizualizace odlišila několik vrstev materiálu - původního vrstvení na jádro i druhotné poexkavační doplňky a jejich rozsahu do hloubky. Vrstvy byly dle CT dokumentace dále podrobeny XRD analýze.

Data z těchto dvou plastik byla podkladem pro zacházení s podobnými předměty v souboru, především v případě hliněných soch. Ty jsou v evropském kontextu velmi málo známé a proto průzkum vnitřních struktur výrazně přispěl k jejich poznání a usnadnil restaurátorské práce.

Krátká videa z tomografických dat byla použita v rámci výstavy ve formě e-průvodce, kdy se načetlo video pomocí QR kódu přímo u vystavované sochy.

Laboratoř Ceitec byla vybrána na základě jejich vstřícného přístupu k měření historických artefaktů. Mimo jiné byla inspirací přednáška na konferenci Alma (2014). Zacházení s historickými předměty je náročné a vyžaduje individuální přístup, navíc pokud se jedná o předměty ze státních institucí zatížených zdlouhavým schvalováním a bezpečnostními podmínkami. Laboratoř nám plně vyšla vstříc.

Mgr. Romana Kozáková
oddělení správy, evidence a péče o sbírky
HISTORICKÉ MUZEUM
Ústřední depozitář, Tyršova 207, 411 55 Terezín



Semináře rentgenové počítačové tomografie

Ve spolupráci výzkumného centra CEITEC s Centrem průmyslového výzkumu Kunštát, s.r.o. (CPV Kunštát) budou v tomto roce otevřeny 3 semináře rentgenové počítačové tomografie. Cílem semináře je seznámit techniky, inženýry a vedoucí pracovníky s možnostmi průmyslové rentgenové počítačové tomografie v oblasti vývoje, reverzního inženýrství, výroby a kontroly kvality. V rámci kurzu se účastníci seznámí se základními principy, výhodami a limity počítačové tomografie. Prakticky si vyzkouší tomografické měření na nejmodernějších zařízeních a seznámí s následnou analýzou tomografických dat v profesionálním softwaru. Účastníci získají dostatečný přehled k samostatnému rozhodování o proveditelnosti a vhodnosti použití tomografické techniky pro konkrétní případy ve výrobě.

Pro bližší informace pište na email Miroslava.Krizova@ceitec.vutbr.cz
www.cpv-kunstat.cz/
www.ctlab.cz