



NEWSLETTER JARO 2021

Vážení příznivci počítačové tomografie,

představujeme Vám nové číslo newsletteru Laboratoře rentgenové počítačové mikro a nano tomografie na CEITEC VUT v Brně a s ním i informace o aktivitách naší laboratoře. Dočtete se o rozměrové analýze těžko prozáritelných průmyslových vzorků, dále o zobrazení anatomie dřeva se submikronovým rozlišením. V sekci Edukace Vám přiblížíme dvouenergiovou počítačovou tomografii a účinky využití molybdenové rentgenové trubice pro biologická měření. V Novinkách si můžete přečíst o možnostech korelativního zobrazování a vylepšení detektoru na jednom z našich zařízení.

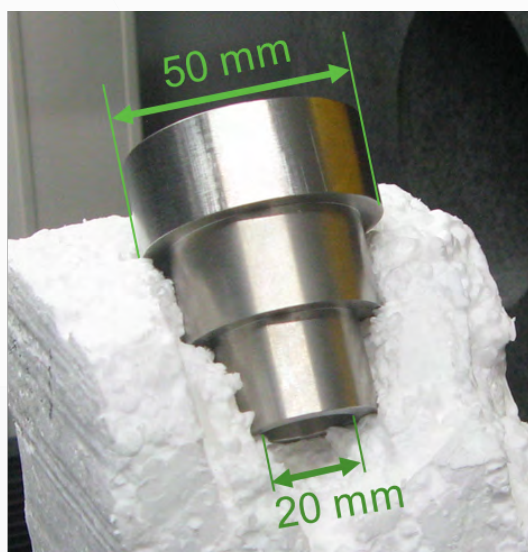
Přejeme Vám příjemné čtení!

Tomáš Zikmund
Vedoucí tomografické laboratoře



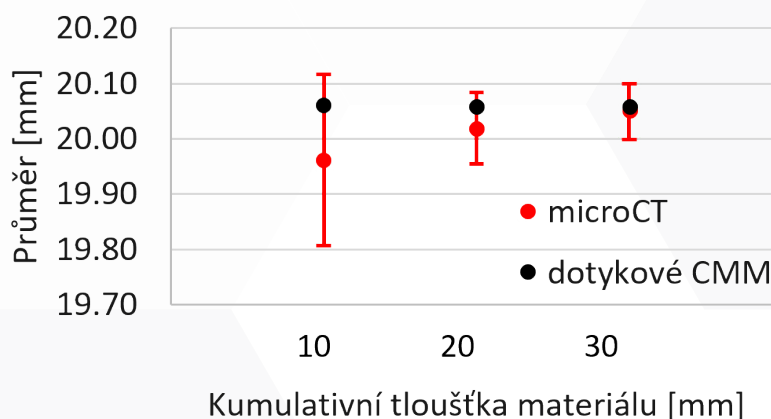
ROZMĚROVÁ ANALÝZA TĚŽKO PROZÁŘITELNÝCH VZORKŮ

Využití CT pro rozměrová měření má několik výhod oproti konvenčním technikám, především možnost nedestruktivně měřit i rozměry vnitřních částí dílu bez jejich destrukce. Hlavním limitem je ovšem schopnost rentgenového záření proniknout materiálem. Z toho důvodu jsou problematické především vysoce legované oceli, superslitiny jako Inconel®. Nedostatečné prozáření vzorku může způsobit vznik obrazových artefaktů, které zvyšují nejistotu rozměrového měření. Pro ověření míry vlivu byl navržen schodovitý válec z nerezové oceli (Obr. 1). Jeho stupňovitý charakter umožňuje změřit vnitřní průměry a určit nejistotu měření v závislosti na kumulativní tloušťce prozářeného materiálu (10 mm, 20 mm a 30 mm). Vzorek byl měřen s urychlovacím napětím rentgenové trubice 200kV a voxelovým rozlišením 40 μm .

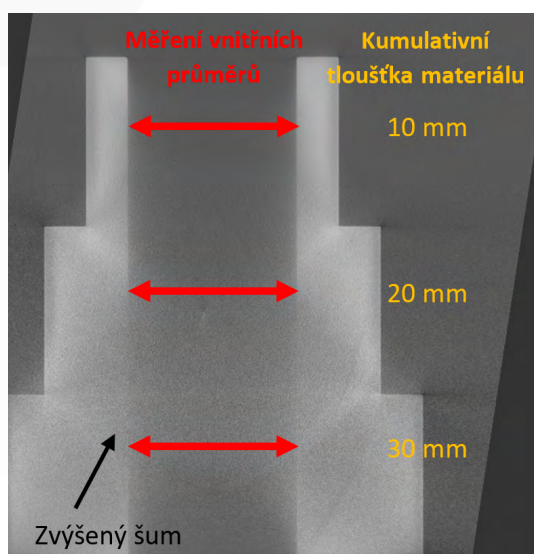


Obrázek 1: Schodovitý válec z nerezové oceli upevněný v microCT přístroji.

Měření vnitřních průměrů válce



Graf 1: Výsledky měření vnitřních průměrů schodovitého válce na microCT datech. Chybové úsečky vyznačují nejistotu měření, která je nejvyšší v oblasti s největší kumulativní tloušťkou materiálu. Pro porovnání je vyznačeno měření na dotykovém souřadnicovém měřicím přístroji (CMM).

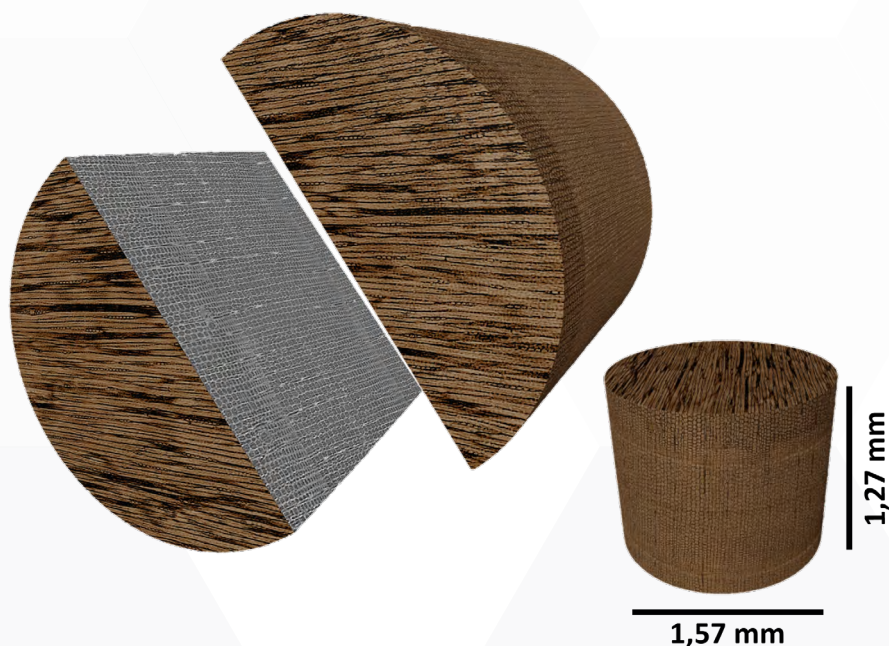


Obrázek 2: Tomografický řez se zvýrazněnými pozicemi měření průměru válce.

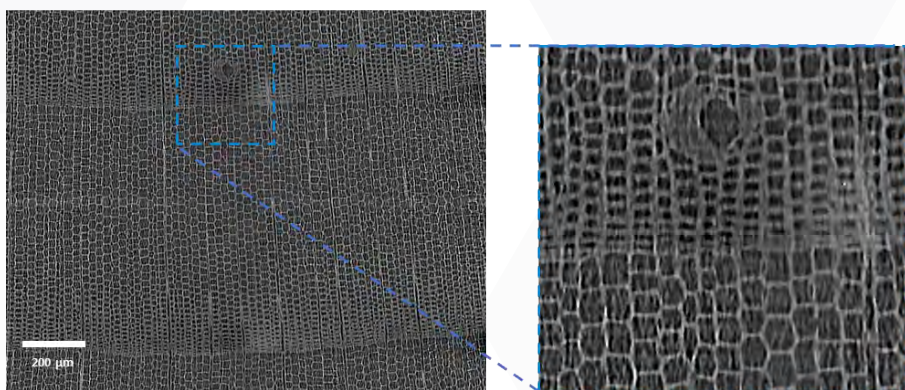
V oblastech s největší prozářitelnou tloušťkou jsme zaznamenali zvýšení šumu, který značně ztěžuje určení rozhraní materiálu (Obr. 2). V případě takto snížené kvality CT se může výsledná nejistota měření pohybovat v násobcích velikosti voxelu (zde pro vnitřní průměry 50–150 μm , viz Graf 1). V oblastech s tenčí stěnou, kde nevznikají výrazné obrazové artefakty lze dosáhnout nejistoty jednotlivých měření i pod velikostí jednoho voxelu.

ZOBRAZENÍ ANATOMIE DŘEVA SE SUBMIKRONOVÝM ROZLIŠENÍM

Dřevo je obecně složeno z různých typů buněk a tkání, jejichž uspořádání je závislé na okolním prostředí. Stromy lze tedy brát jako senzory svého okolí, kdy reagují na změny teploty a srážky, přičemž tato informace je poté archivována právě ve struktuře dřeva. Pokud by se tedy podařilo přečíst tuto archivovanou informaci z anatomie dřeva, bylo by možné určit, jak stromy reagují na změny klimatu, a také studovat a hodnotit celkovou odolnost lesa. Toto je právě cílem vědecké disciplíny dendrochronologie, na jejímž rozvoji pracuje univerzita v Ghentu a konkrétně laboratoř UGent-Woodlab (www.woodlab.be). Ve spolupráci s touto laboratoř pro výzkum dřevařských technologií byly otestovány možnosti přístroje Rigaku nano3DX pro zobrazení anatomie dřeva se submikronovým rozlišením.



Obrázek 3: 3D model dřeva a jeho virtuální řez.



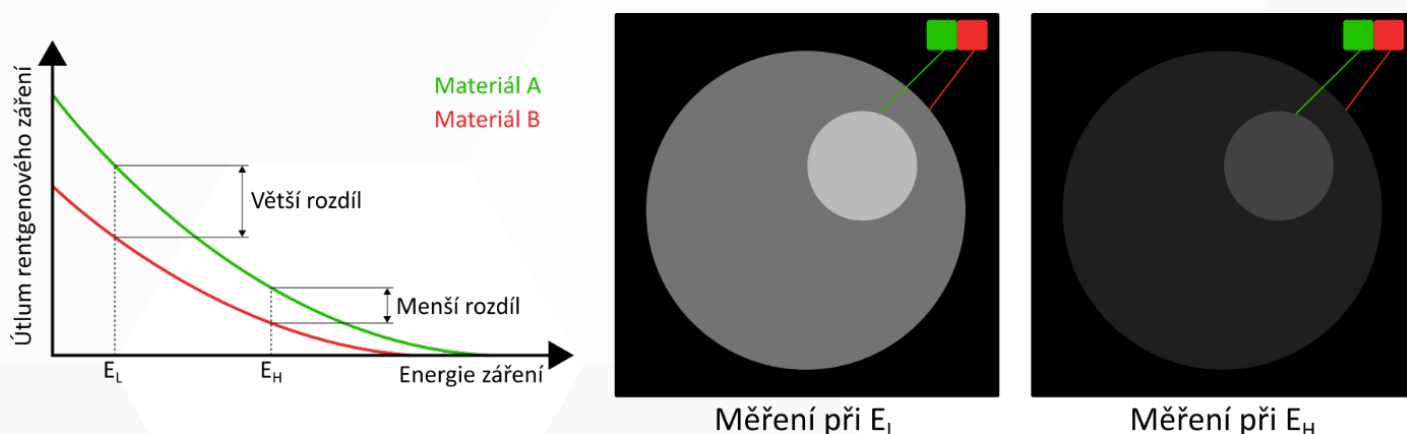
Obrázek 4: Sagitální řez vzorkem dřeva.

V rámci provedeného experimentu byl zkoumán vzorek měkkého dřeva, který byl připraven pomocí přírůstkového vrtáku. Pro dosažení požadovaného submikronového rozlišení, a zároveň změření dostatečně velké zájmové oblasti, bylo nutné využít kombinace off-set rekonstrukce (rozšíření zorného pole v horizontálním směru) a spojování objemů CT dat (rozšíření zorného pole ve vertikálním směru). Pomocí této speciální akviziční strategie bylo možné změřit oblast vzorku o velikosti 1,57 mm x 1,27 mm, a to při lineární velikosti voxelu 0,52 μm.

Ve výsledných CT datech bylo možné rozlišit růstové prstence a jejich komponenty tzv. oblasti jarního a letního dřeva, ale také pryskyřičný kanál. Tento typ měření umožňuje vysoce detailní analýzu (např. měření šířky prstenců, nebo počítání buněk) dané oblasti zájmu přírůstkového jádra bez nutnosti jeho podvzorkování na menší oblasti.

DVOUENERGIOVÁ POČÍTAČOVÁ TOMOGRAFIE

V minulém čísle jsme vás informovali o výměně zdroje rentgenového záření u našeho nano CT Rigaku nano3DX. Nový zdroj se dvěma terči z různých materiálů umožňuje dvouenergiová měření (dual-energy CT, DECT), jejichž popularita je nyní na vzestupu. Tato metoda zásadním způsobem rozšiřuje možnosti nedestruktivní trojrozměrné analýzy vzorků. Prvním krokem DECT jsou dvě měření téhož objektu za použití různých energetických spekter rentgenového záření (obrázek x). To lze vykonat různými způsoby; u nano3DX jsou měření provedena zvlášť, s výměnou terče a tím i spektra záření mezi nimi. Se znalostí fyzikálních principů záření a vlastností vzorku lze z těchto dat získat informace o složení vzorku, korigovat nepřesnosti měření, či vytvořit jinak těžko docílitelné datové vizualizace.



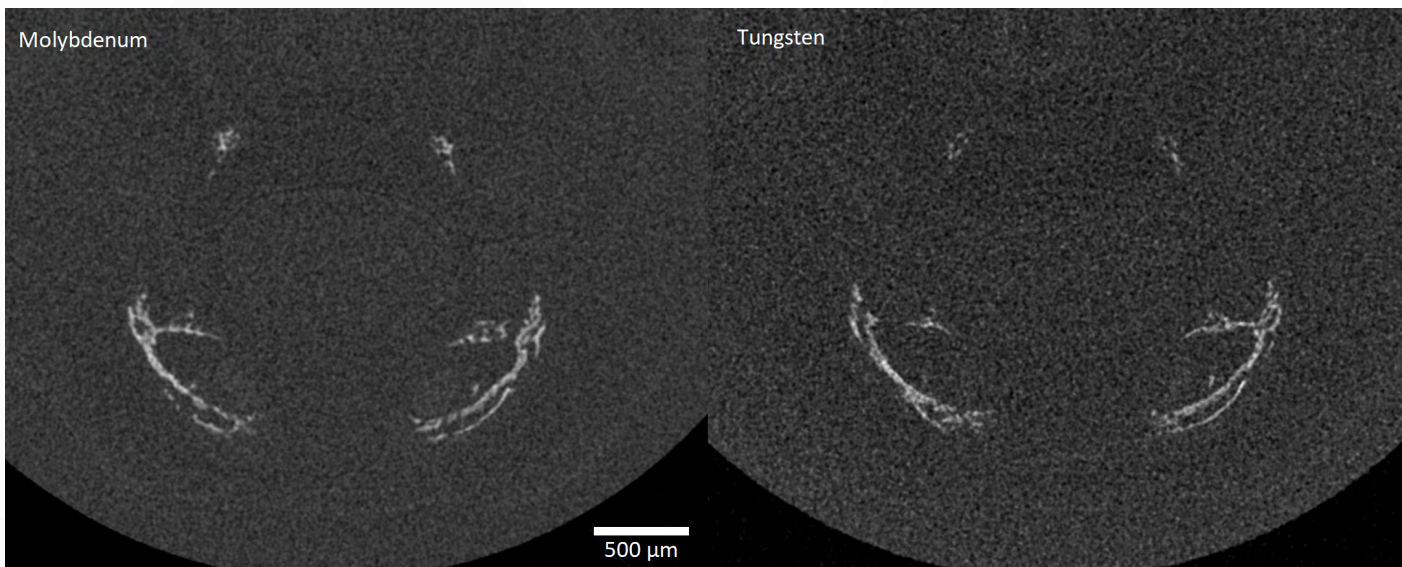
Obrázek 5: Graf vlevo znázorňuje závislost útlumu záření ve dvou materiálech v závislosti na energii záření. Uprostřed je tomografický řez při nižší energii E_L , s výrazným rozdílem v útlumu obou materiálů. Při použití vyšší E_H (vpravo) je rozdíl v útlumu menší. Toto je základ metody DECT. Většina tomografů v praxi nepoužívá jedinou energii záření, nýbrž širší spektrum energií. Princip metody však zůstává stejný.

Populární DECT aplikací je tvorba tzv. virtuálních monoenergetických snímků. Běžné CT využívá záření s širokým spektrem, což v tomogramech způsobuje typické chyby v podobě pruhů mezi kovovými částmi vzorků, či fluktuací hodnot snímků v místech, která jsou ve skutečnosti jednolitá. Vytvoření monoenergetického snímku tyto chyby efektivně potlačuje a napomáhá k lepšímu kontrastu snímků, což má neocenitelný přínos v průmyslových měřeních, kde jsou zmíněné chyby běžné a výrazné.

Druhá hojně využívaná metoda je dekompozice vzorků na bázi zpravidla dvou materiálů. Každou část vzorku lze díky DECT vyjádřit, jako směs dvou známých materiálů, což umožňuje charakterizaci látek vzorku dle toho, jak jsou v dané bázi zobrazeny. Dekompozice materiálů je využívána například pro spolehlivé odstranění objektů známého složení ze snímku, což umožňuje jeho detailnější analýzu. V medicíně tak lze například odstranit zvápenaté plaky ze snímků cév, což umožňuje lepší hodnocení jejich zúžení.

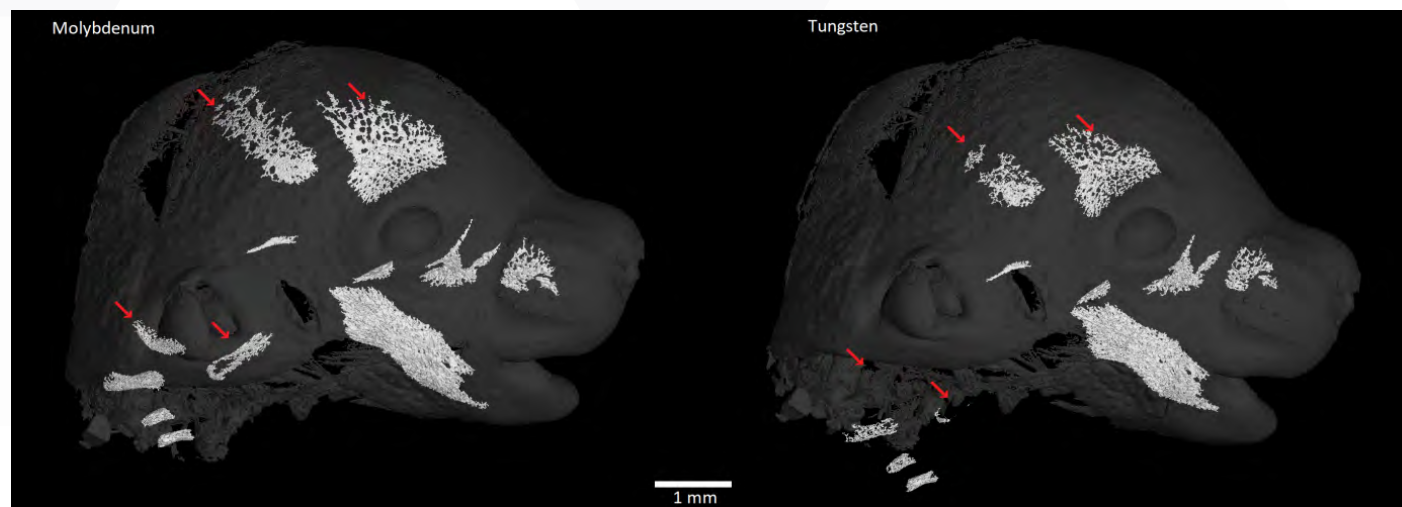
EFEKTY RŮZNÝCH CT TERČŮ PŘI ZOBRAZOVÁNÍ BIOLOGICKÝCH VZORKŮ S NÍZKÝM KONTRASTEM

Materiál anody (tzv. terčiku) rentgenové trubice mění možnosti detekce CT přístroje díky odlišnému generovanému spektru záření. V průmyslových CT přístrojích je v převážné většině volen terčik z wolframu kvůli analýze kovových vzorků. Molybdenový terčik naopak může najít uplatnění pro lehké materiály a biologické tkáně, které jsou prezentovány nízkými absorpčními vlastnostmi.



Obrázek 6: Porovnání CT řezů osifikujících kostí hlavy myšího embrya: (a) Molybdenová anoda (SNR 6,74 a CNR 7,05) vykazuje méně šumu než (b) wolframová anoda (SNR 4,33 a CNR 3,78)

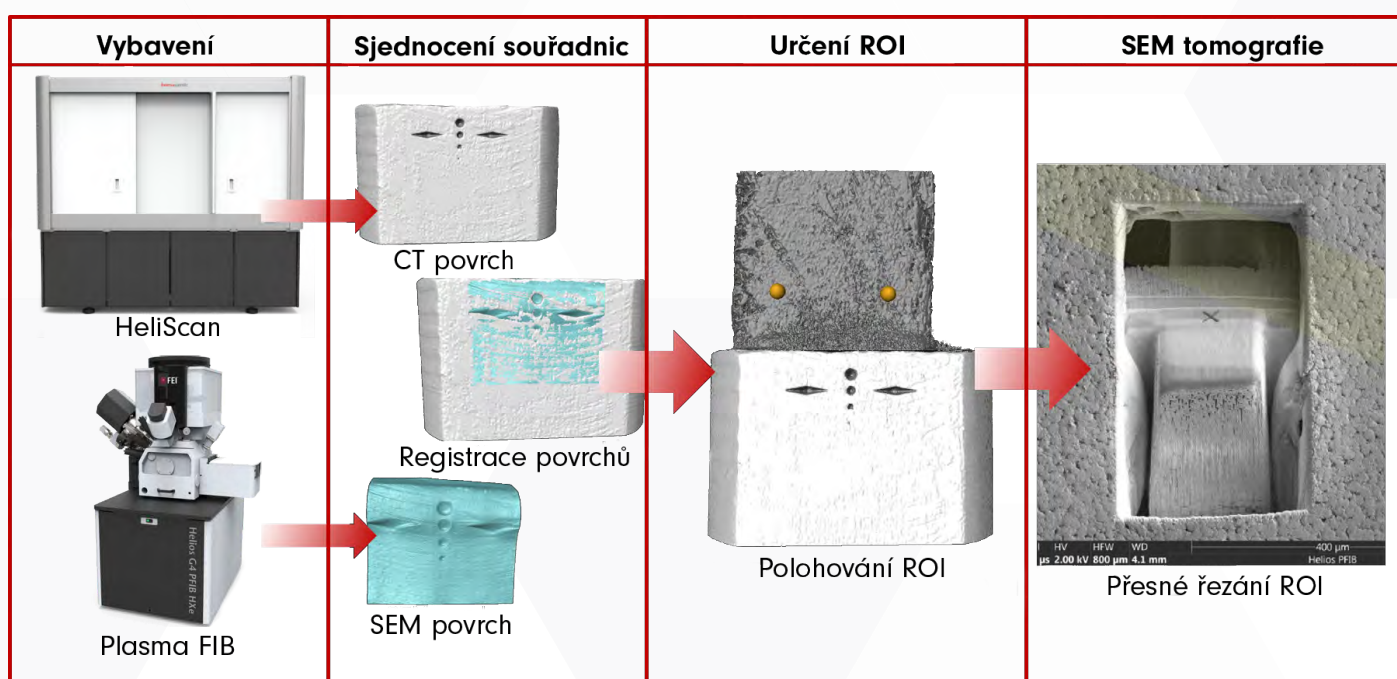
Rozdíly jsou popsány na příkladu 15-ti denního myšího embrya, s cílem zaznamenat novou zakládající se kostní tkáň. U všech savců vznikají kosti postupnou mineralizací chrupavky v průběhu embryonálního vývoje procesem nazývaným osifikace, ale v 15. dni embryonálního vývoje myši proces osifikace teprve pomalu začíná a mineralizované "kosti" jsou velmi malé. Srovnáním CT skenů hlavy embrya s použitím obou terčiků prokázal zvýšení signálu (SNR) a kontrastu (CNR) v případě Mo-terčiků (viz. Obr. 6). Dále, rekonstrukce 3D modelu kostí pak odhalila zlepšení vizualizace detailů osifikačních klastrů (Obr. 7), které se projevilo také na výpočtu celkového objemu.



Obrázek 7: 3D rekonstrukce osifikovaných kostí s objemem (a) 0,19 mm³ u molybdenového terčiku (b) 0,12 mm³ u wolframového terčiku. Červené šipky ukazují rozdíly v detekci.

KORELATIVNÍ ZOBRAZOVÁNÍ

Registrace dvou nebo více obrazových modalit, často nazývaných korelační mikroskopií, umožňuje, aby různé typy informací z různých zobrazovacích technik nebo informace ze stejných modalit v různých měřítcích byly získány pro stejné oblasti. Předmětem a výsledkem takového spojení je vytvořit zcela novou informaci, která může být použita pro vyhodnocení a charakterizaci materiálů. Nejnovější výzva spočívá ve spojení 2D obrazů například z elektronové mikroskopie (EM) s 3D CT obrazy. CT hraje roli nedestruktivního nástroje pro vytipování vhodné oblasti a navigaci pro řezání vzorku. Celá procedura začíná nedestruktivním CT měřením vzorku. Následuje elektronový snímek povrchu, který je softwarově registrován na CT data. Po registraci si uživatel v CT datech označí oblast zájmu vnitřní struktury. Tato oblast je následně obráběna iontovým svazkem a řez po řezu snímána EM. Tím se získává série 2D obrazů s vysokým rozlišením, případně chemickým složením v případě využití EDX.

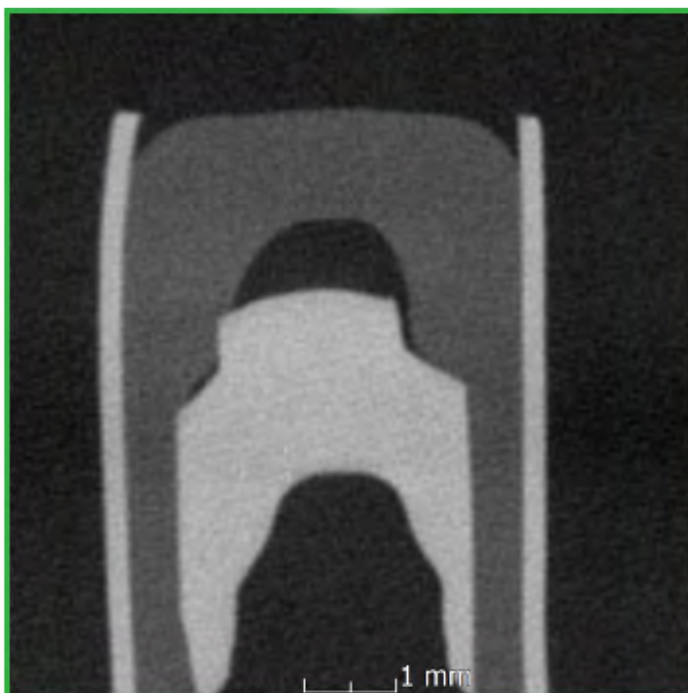
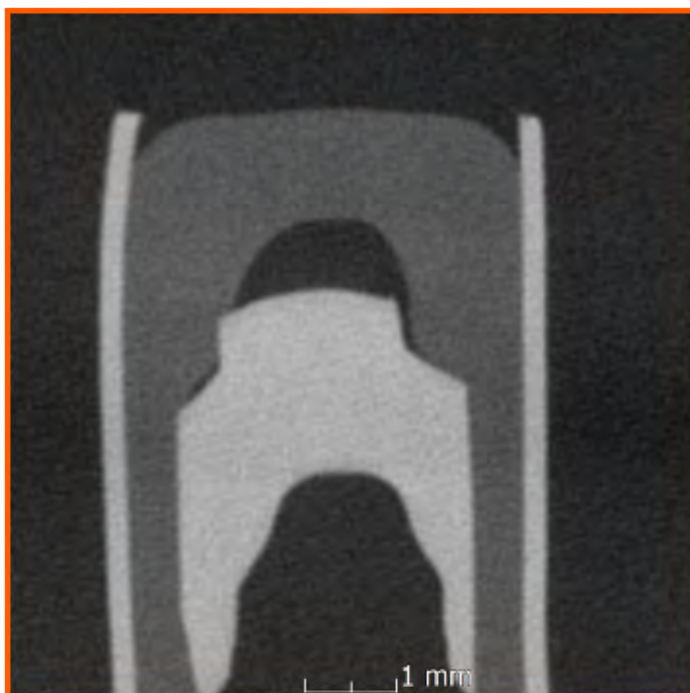
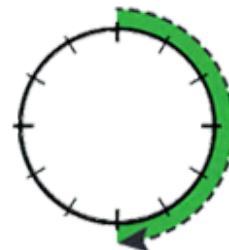
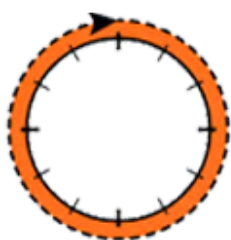


Obrázek 8: Postup korelativního zobrazování.

Naše laboratoř se účastní vývoje nového modulu, který by tento proces registrace dat mnoha-modálních a mnoha-měřítkových provedl automaticky. Tento modul je vytvářen v kooperaci se softwarem Avizo (Thermo Fisher Scientific). Celý modul je založen na registraci dat z CT a EM pomocí referenčních značek na speciálním držáku vzorků, kompatibilních pro oba přístroje. Tento modul je v poslední fázi testování a v blízké době můžeme očekávat jeho uvedení na trh.

UPGRADE DETEKTORU

Vzhledem k tomu, že jsme součástí výzkumného centra, je nezbytně nutné udržovat naše technologie stále aktuální a moderní. Z tohoto důvodu jsme na podzim roku 2020 provedli upgrade našeho tomografu GE phoenix v|tome|x M300 ve formě výměny detektoru. Původní detektor DXR250 Digital byl vyměněn za nový detektor Dynamic 41|200. Tento detektor disponuje detekční plochou o rozměrech 410 x 410 mm s velikostí pixelu 200 μm . Oproti staršímu typu se pyšní vyšší citlivostí, kterou využijeme u těžkých materiálů, jejichž prozáření je problematické. Zároveň detektory řady Dynamic 41 disponují rychlejším vyčítacím časem, což nám v některých případech umožní dosáhnout až dvakrát rychlejšího skenovacího času.



Obrázek 9: Porovnání tomografických řezů automobilového dílce složeného z plastových a hliníkových částí. Oranžový řez (vlevo) znázorňuje data ze starého detektoru. Řez vpravo byl naskenován na novém detektoru s polovičním časem a lepší kvalitou dat.

KONTAKT

Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.
tomas.zikmund@ceitec.vutbr.cz
+420 541 142 846

www.ctlab.ceitec.cz
ctlab@ceitec.vutbr.cz
+420 541 149 867

CEITEC VUT
Vysoké učení technické v Brně, Středoevropský technologický institut
Purkyňova 656/123, 612 00 Brno