

NEWSLETTER PODZIM 2018

ÚVODNÍ SLOVO

Milí čtenáři,

přinášíme Vám nové číslo našeho newsletteru Laboratoře počítačové mikro a nano tomografie na CEITEC VUT v Brně. Co se týká novinek z poslední doby, tak tou nejvýznamnější je mikrotomograf HeliScan v naší laboratoři. Tento unikátní microCT systém byl naší laboratoři poskytnut v rámci dlouhodobé spolupráce s firmou Thermo Fisher Scientific. V tomto čísle bychom vám tento přístroj rádi podrobněji představili. Dále se dozvíte zajímavou aplikaci microCT ve stomatologii a v sekci Edukace popíšeme modul VGStudia MAX Fiber Orientation.

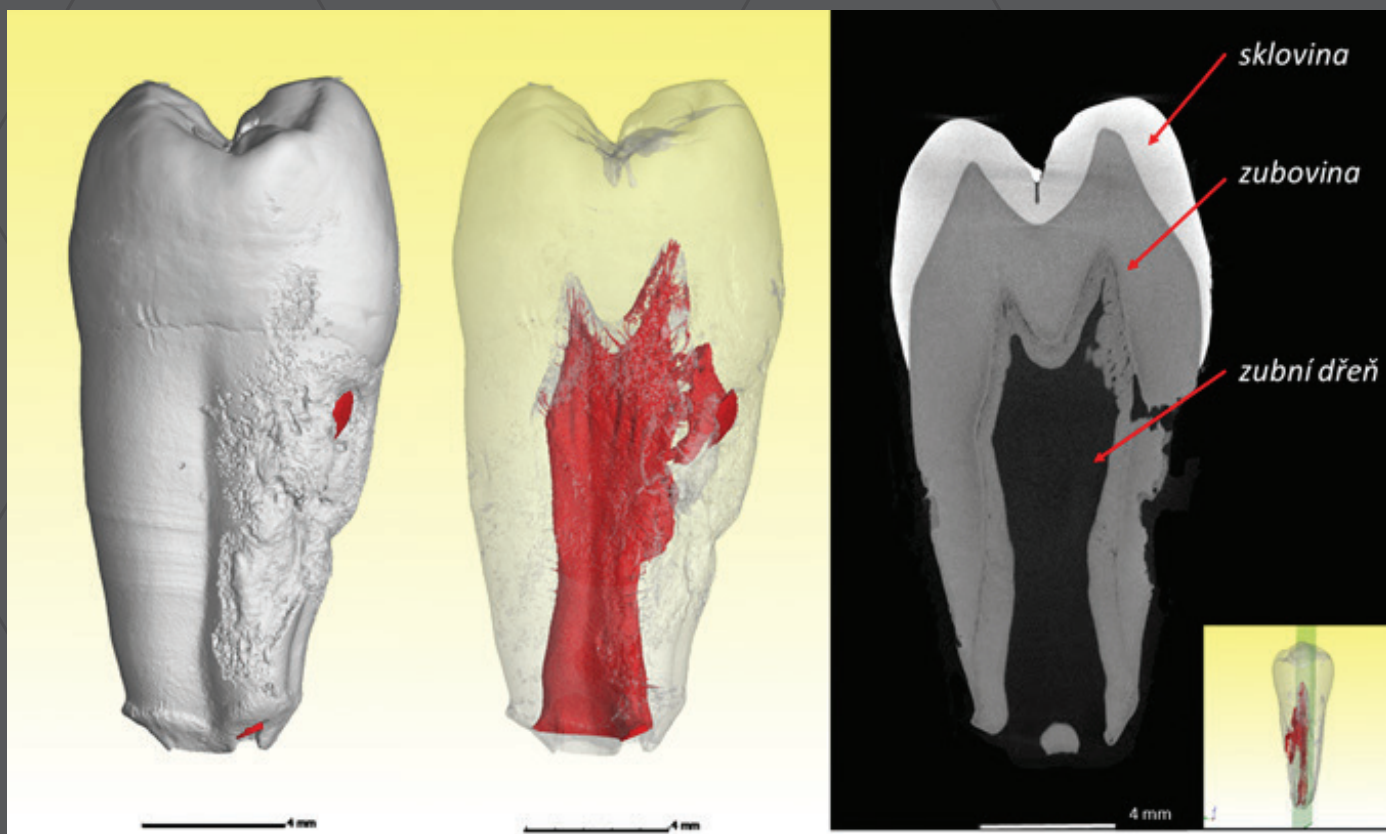
Přejeme vám příjemné čtení a krásné dny!

Tomáš Zikmund
Vedoucí tomografické laboratoře

■ Využití microCT ve stomatologii při autotransplantacích

Autotransplantace zubů je velmi vhodnou moderní technikou, která umožňuje obnovit úsměv pacientů. Jedná se o zákrok, kdy zubní lékař pacientovi transplantuje na chybějící místo v ústech jeho vlastní zdravý zub. Tato metoda není příliš známá a rozšířená mezi zubními lékaři, umožňuje však řešení velmi náročných a komplexních případů (mnohočetné ageneze (nezaložení) zubů, rozsáhlé rozštěpy a ztráty předních zubů v dětském věku), a to postupem, který využívá vlastních zubů. Nejčastěji se jedná o nepotřebný zub ze zadní části ústní dutiny (zub moudrosti). Zákrok lze také s výhodou použít v situacích, kdy dojde ke ztrátě zubu při úrazu nebo při sportu a samotný zub není poškozený. Vlastní zub je poté na rozdíl od implantátu trvalejší a odolnější a je vyloučena imunitní reakce organismu.

U tohoto chirurgického postupu se ale častěji objevují resorpce transplantovaných zubů, které jsou svým nevyzpytatelným chováním velkou záhadou. Díky použití microCT je možné rekonstruovat šíření resorptivního procesu tkáněmi zubu a zjistit, jestli některé zubní tkáně jsou odolnější vůči těmto nežádoucím dějům (Obr. 1). Dále je možné tyto informace porovnat s klinickými informacemi, jako je průběh chirurgického zákroku, následná léčba rovnátky nebo přetížení transplantátu. Tyto informace jsou cenné pro snížení rizika vzniku a progresu resorpce u autotransplantovaných zubů.



Obr. 1: 3D rendering zubu (vlevo), se zvýrazněnou resorpcí v transparentním provedení (uprostřed) a longitudinální tomografický řez lidským zubem (vpravo).

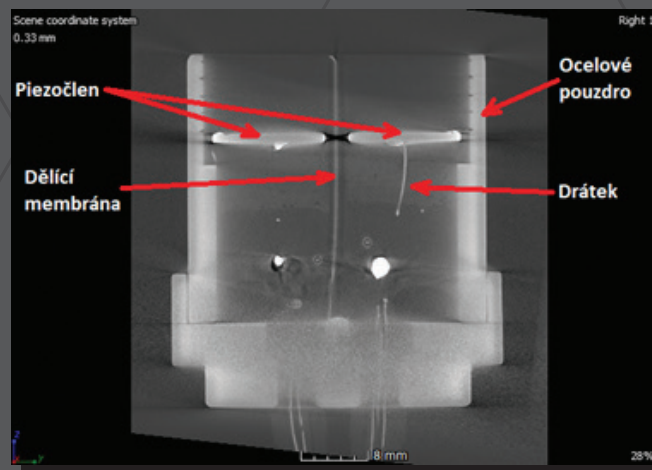
■ Využití microCT k analýze ultrazvukové sondy

Ultrazvukové sondy patří k nástrojům nedestruktivního testování jsou určeny pro detekci vad v materiálech, kontroly tloušťky materiálu nebo například pro kontrolu kvality svarů a prasklin. V principu se ultrazvuková vlna odrazí na přechodu kovového materiálu a vzduchu. Pokud je testovaný materiál bez defektů, ultrazvuková vlna se odráží na konci stěny materiálu a je změřena jeho tloušťka. V případě defektu (např. vzduchový pór) je vlna odražena dříve od rozhraní defektu. Z této informace lze zjistit jak vzdálenost defektu od ultrazvukové sondy tak i odhadnout velikost defektu.

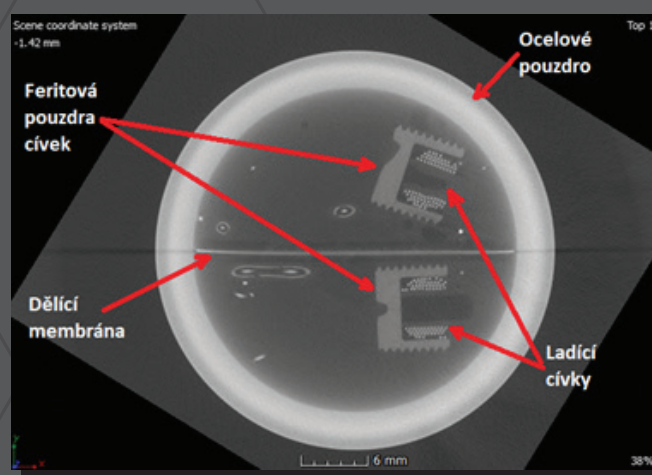
Sondy jsou vyvíjeny a vyráběny dle striktních norem a specifikací. Metodou rentgenové počítačové mikrotomografie lze nedestruktivně nahlédnout do jakéhokoli snímače za účelem inspekce normované pozice jednotlivých komponent, případně pak odhalení poškození piezoelektrického měniče. V tomto příspěvku je prezentována analýza duální ultrazvukové sondy (Obr. 2 a-c). Sondou tvoří ocelové tělo a uvnitř se nachází dva piezoelektrické keramické měniče zalité v epoxidu. Tlumící část tvoří směs epoxidu a feritového prášku. Na obrázku 2 jsou zobrazeny dva piezoelektrické měniče o tloušťce cca 1 mm. Dále jsou vidět přívody tenkých drátků k jednotlivým piezoelektrickým členům, které vedou do ladících cívek. Jeden piezoelektrický měnič zde pracuje jako vysílač ultrazvukové vlny a druhý jako přijímač.

■ Využití CT v oblasti restaurátorství: analýza škapulířového amuletu

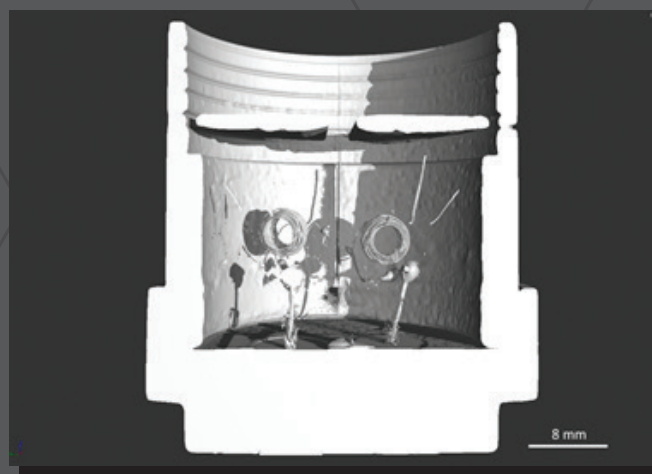
Ve spolupráci s Vlastivědným muzeem v Olomouci jsme se zabývali průzkumem škapulířového amuletu, malého textilního pouzdra s křesťansko-pohanským obsahem uvnitř. Z důvodu zamítnutí demontáže textilního pouzdra předmětu bylo přistoupeno k průzkumu amuletu metodou rentgenové počítačové mikrotomografie prostřednictvím naší laboratoře.



Obr. 2a: Podélný tomografický řez ultrazvukovou sondou.



Obr. 2b: Příčný tomografický řez ultrazvukovou sondou.



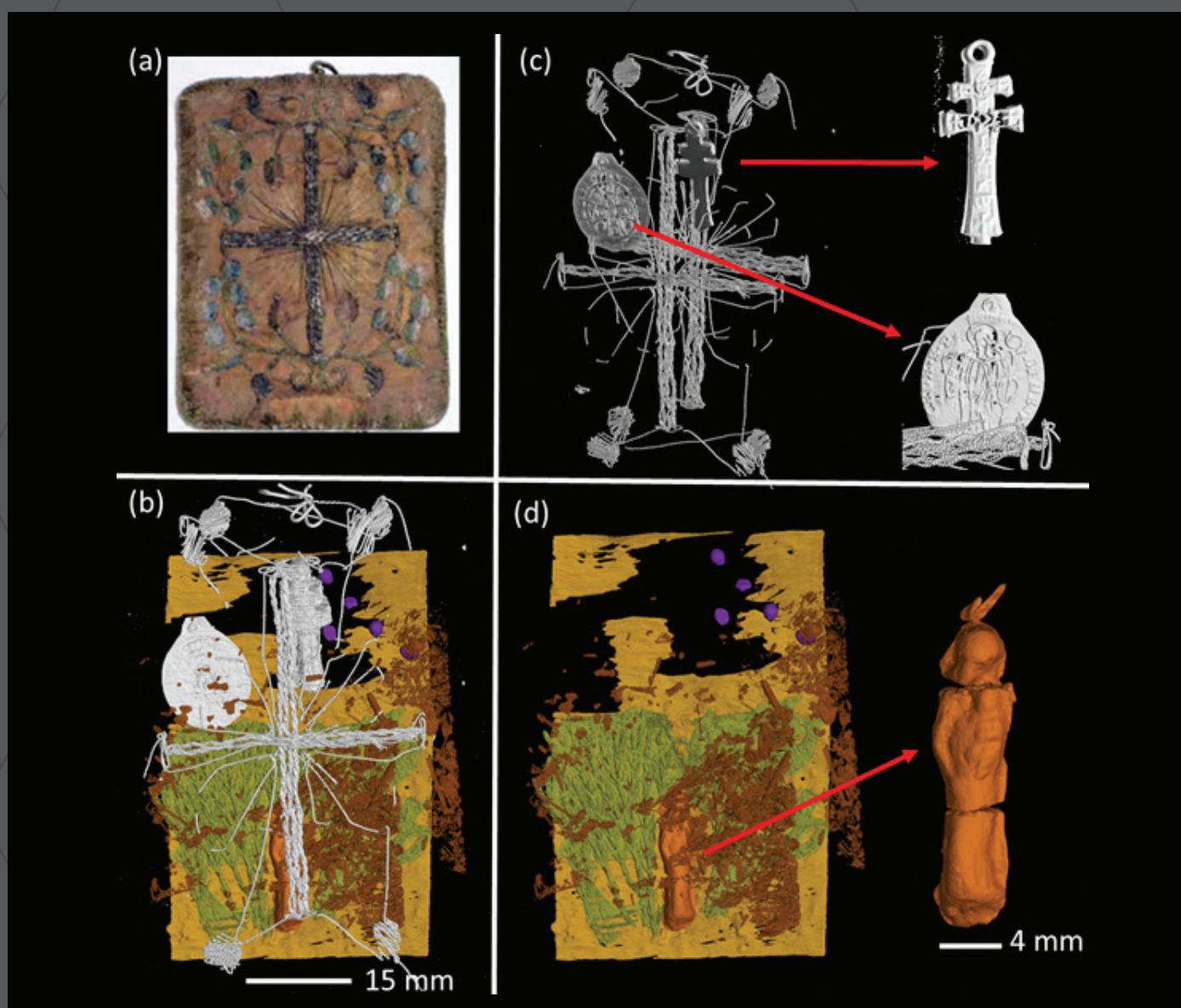
Obr. 2c: 3D pohled do ultrazvukové duální sondy ukazující dva piezoelektrické měniče, jejich kontaktování a dvě ladící cívky.

Cílem průzkumu bylo zjištění obsahu amuletu, identifikace předmětů a jejich bližší specifikace. K přesnějšímu určení jednotlivých částí bylo využito i analogie s jinými, již otevřenými amulety z téže doby. Škapulíř obsahoval kovové i nekovové předměty, které byly postupně segmentovány a barevně rozlišeny (Obr. 3). Velký bílý kříž v přední části obrázku je součástí dracounové výšivky hedvábného pouzdra a nachází se z obou stran amuletu. Tento typ výšivky je pomocí microCT snadno vizualizován, protože je založen na vyšívání nítí, která vzniká obtáčením velmi tenkého kovového drátku kolem hedvábné, lněné nebo bavlněné niti. Uvnitř amuletu je z kovu malý patriarchální kříž a benediktínský medailon. Z nekovových předmětů

amulet obsahuje hliněnou destičku, několik rostlinných semen, kousek větvičky jehličnanu a lišejníku. Dále bylinnou směs a mariánskou sošku.

Výsledky microCT analýzy a identifikace jednotlivých částí pomohly restaurátorům odkrýt obsah amuletu nedestruktivní cestou a byly v minulém roce prezentovány na konferenci konzervátorů-restaurátorů v Litomyšli [1].

[1] JANUSOVÁ, Lucie, Lukáš KUČERA, Veronika SMÉKALOVÁ, Tomáš ZIKMUND a Jozef KAISER. Průzkum škapulířového amuletu a jeho analogií ze sbírky Vlastivědného muzea v Olomouci. In: *Fórum pro konzervátory-restaurátory*. Brno: GRAFICOON, 2017, s. 9. ISBN 978-80-87896-44-0. ISSN 1805-0050.



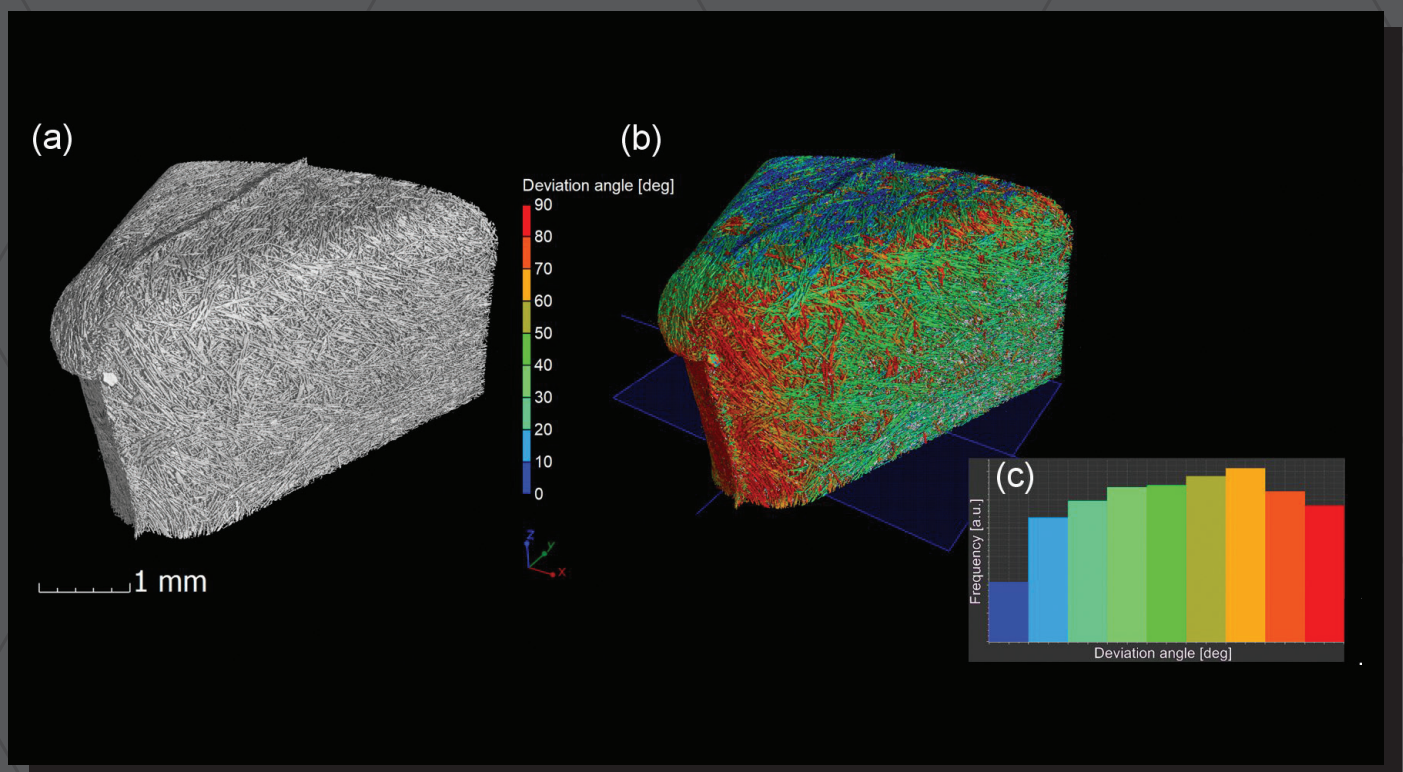
Obr. 3: Fotografie hedvábného škapulířového amuletu (a), CT snímek amuletu a jeho obsahu uvnitř (b), kde bílou barvou jsou označeny kovové části amuletu: dracounová kovová výšivka ve tvaru kříže na obalu a malý patriarchální kříž a benediktínský medailon uvnitř (c). Vnitřní obsah medailonu (d) byl dále tvořen hliněnou destičkou (žlutá), několika rostlinnými semeny (fialová), kousek větvičky jehličnanu (zelená vpravo) a kousek větvičky lišejníku (zelená vlevo), bylinnou směsí (hnědá) a významnou součástí byla také mariánská soška (oranžová, v detailu).

■ Fiber Composite Material Analysis Module (Analýza FIBER ORIENTATION)

Tato analýza v softwaru VGStudio MAX je určena pro získání informací o vláknech tvořících strukturu vzorku. Využití nachází především pro charakterizaci polymerních kompozitů tvrzených skelnými/uhlíkovými/kevlarovými vlákny nebo také ocelových drátků v betonu. Data získaná analýzou lze prezentovat v různých formách a v této části vám dílčí výstupy představíme.

Orientace vláken

Jedná se o barevné rozlišení distribuce vláken v závislosti na jejich úhlu natočení (Obr. 4). Úhel natočení vláken může být vztažen k libovolné referenční rovině, nebo určen bez referenční roviny ve 3D prostoru dle souřadnicového systému. Dalším možným výstupem této analýzy je četnost jednotlivých orientací zaznamenaná v histogramu.



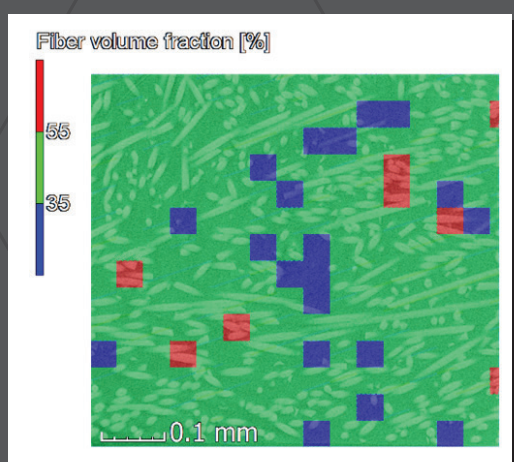
Obr. 4: MicroCT data polymeru se skelnými vlákny; a) 3D vizualizace; b) Orientace vláken; c) Histogram četností.

Koncentrace vláken

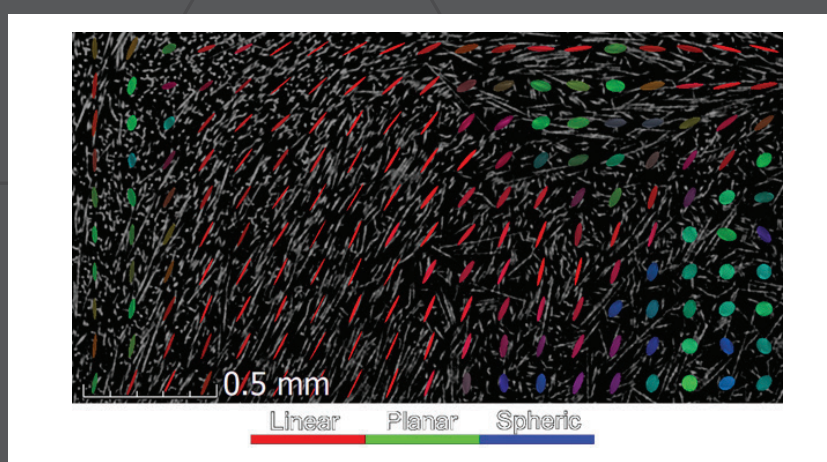
Koncentraci vláken je možné určit za pomoci uměle vytvořené mřížky. Tato mřížka rozdělí vzorek do jednotlivých buněk v podobě krychlí. Pro každou buňku je vypočítáno procentuální zastoupení vláken, kde jsou jednotlivé buňky zbarveny v závislosti na vypočteném procentuálním zastoupení vláken (Obr. 5). Koncentraci vláken je možné určit pro celý vzorek nebo pouze v lokálních místech.

Tenzory

Pro jednotlivé buňky uměle vytvořené mřížky lze taktéž vypočítat jejich tenzor. Tato data je pak možné prezentovat vykreslením graficky znázorněného tenzoru (Obr. 6). Tento tenzor je znázorněn jak barevně, tak tvarově. Dalším možným výstupem jsou číselné hodnoty jednotlivých tenzorů nebo globálního tenzoru v podobě maticového zápisu.



Obr. 5: NanoCT data polymeru se skelnými vlákny; procentuální zastoupení vláken.



Obr. 6: MicroCT data polymeru se skelnými vlákny; vykreslení tenzorů.

STALO SE / ÚČASTNILI JSME SE

Konference XRM 2018, Saskatoon (Kanada)

Ve dnech 19. 8. 2018 – 24. 8. 2018 se Ph.D. studentka z naší laboratoře zúčastnila mezinárodní konference [14th International Conference on X-ray Microscopy \(XRM2018\)](#) v Saskatoonu v Kanadě. Na konferenci prezentovala téma „[Correlation of X-ray Computed Nanotomography and Scanning Electron Microscopy Imaging of Collagen Scaffolds](#)” formou posteru. Abstrakt z této konference byl publikován jako Supplementary material v časopise *Microscopy and Microanalysis*. Na závěr měli účastníci konference možnost prohlédnout si synchrotronové pracoviště Canadian Light Source, jediné takové zařízení v Kanadě.

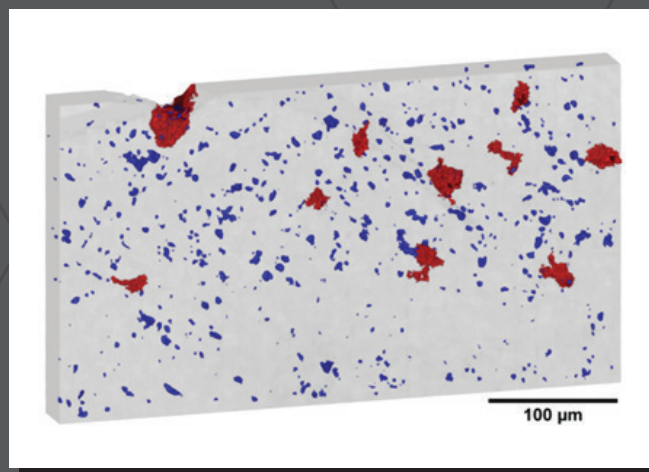
■ **Konference XTOP 2018, Bari (Itálie)**

Ve dnech 3. 9. 2018 – 7. 9. 2018 se v jihoitalském městečku Bari konala konference XTOP 2018 (14th Biennial Conference on High-Resolution X-Ray Diffraction and Imaging). Již od roku 1992 se na této mezinárodní konferenci setkávají vědci využívající Rentgenovo záření. I letos v Bari měla naše laboratoř své zastoupení, a sice příspěvek: **X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY FOR QUANTITATIVE ANALYSIS OF 3D CELLS DISTRIBUTION IN CARTILAGE FOR STUDYING DEVELOPMENT IN VERTEBRATES**. Konference se zúčastnilo přibližně 200 delegátů a mezi hojně diskutovaná témata patřila zejména rekonstrukce obrazů, využití synchrotronového záření či kombinace více metod během jednoho experimentu (např. při in-situ experimentech spojení rentgenové difrakce s počítačovou tomografií).

■ **Nové publikace**

1. Charakteristika vnitřní struktury vápence pomocí rentgenové počítačové sub-mikronové tomografie

Rentgenová počítačová tomografie (CT) byla použita pro charakteristiku vnitřní struktury vápence, důležitého průmyslového a stavebního materiálu. Ve spolupráci s výzkumným centrem AdMaS Fakulty stavební VUT a firmou Tescan Brno bylo CT měření doplněno dalšími petrografickými metodami jako světelná mikroskopie (LM), mineralogická a chemická analýza, mikrotermometrie a sériové řezání podpořené 3D analýzou s rentgenovou energiově disperzní spektroskopií (3D EDS) pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu vybaveného fokusovaným ionizovaným svazkem (FIB-SEM). Pomocí korelace mezi CT, LM a 3D EDS FIB-SEM byly určeny objemy a 3D distribuce vzduchových kavit a oblastí bohatých na magnezium (Obr. 7). Zjištěné výsledky pomohou objasnit chování vápence při jeho průmyslovém zpracování. Určení množství inkluzí a jejich vizualizace umožňuje predikovat chování vápence při procesu vypalování.



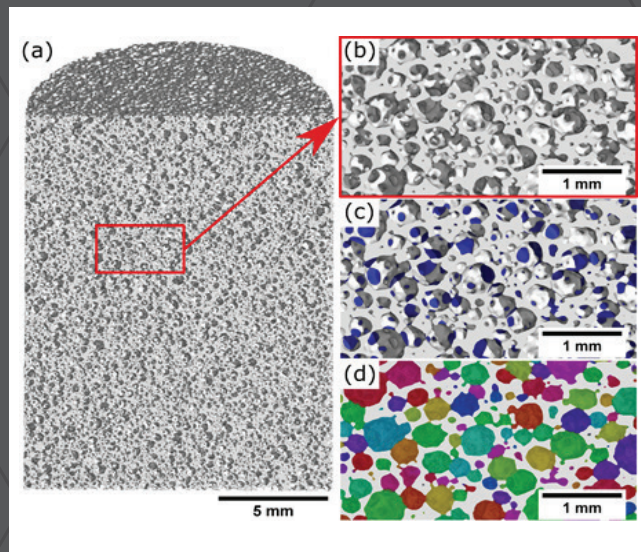
Obr. 7: 3D transparentní render CT dat. Vzduchové kavity jsou značeny modře, oblasti bohaté na magnezium červeně.

Více informací: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.142>

2. Gelcasting na bázi epoxidových pryskyřic hydroxyapatitových pěn pro zdravotnické aplikace

Tato studie popisuje hydroxyapatitové pěny pro subtraktivní výrobu specializovaných kostních skafoldů. V těchto strukturách je obecně snaha vyhnout se výskytu pórů, protože snižují mechanické vlastnosti. Rentgenová počítačová tomografie zde byla použita pro charakteristiku vzájemně propojených pórů v pěnách. Porosity/inclusion analysis modul v programu VGStudio MAX byl použit pro rozdělení prostoru pórů na jednotlivé póry a pro výpočet jejich objemů a ploch mezi nimi (Obr. 8).

Více informací: <https://doi.org/10.1111/jace.15523>



Obr. 8: CT obrázky a analýza struktury pórů hydroxyapatitové pěny; (a) řez testovanou pěnou, (b) detail struktury pěny, (c) analýza ploch mezi póry, (d) analýza pórů.

3. Publikace v prestižním časopise eLife: výzkum role signálů zodpovědných za formování jednotlivých částí obličeje obratlovců

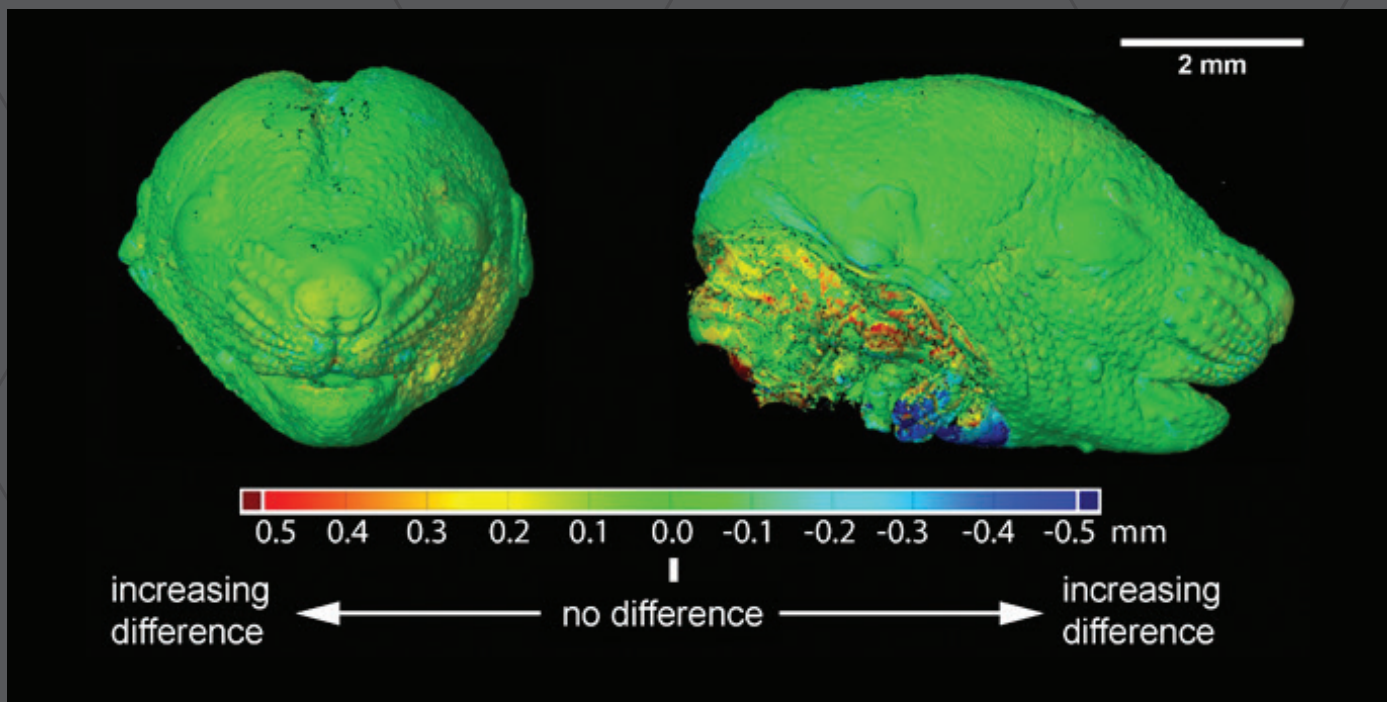
Naše laboratoř rentgenové počítačové mikro a nanotomografie spolupracuje již od roku 2012 se švédskou skupinou vývojových biologů na vysvětlení mechanismu formování obličeje u obratlovců. Již v minulém roce byly společně výsledky publikovány, jak si můžete přečíst zde: <https://www.ceitec.cz/vedci-z-ceitec-vut-ve-spolupraci-s-karolinska-institutet-prisepeli-k-vysvetleni-mechanismu-zodpovidajicich-za-formovani-obliceje-u-obratlovcu/t3005>. Další výsledky této úspěšné spolupráce byly nyní publikovány v prestižním časopise eLife. Nyní se jedná o další zajímavý objev, a sice popis signalizačních drah, které jsou přímo zodpovědné za budování různých anatomických struktur v obličejové části.

Celý výzkumný tým spolupracoval na sérii genetických experimentů na myších embryích, kde byly sledovány mutace různých genů a rozdílná vývojová stádia. Náš CT tým byl zodpovědný za 3D vizualizace a zhodnocení digitalizovaných 3D modelů (Obr. 9). Dokázali

jsme také přesně spočítat, které části chrupavky jsou nejvíce zasaženy a jak se mezi sebou liší. Díky metodě rentgenové počítačové mikrotomografie byly navíc zobrazeny i další měkké tkáně, jako je mozková kůra nebo čichový epitel. Právě tyto dvě struktury se pak ukázaly jako klíčové při tvorbě signálů tvořících budoucí obličej.

Výzkum byl opublikován v časopise eLife (IF 8,5), což je již druhý článek ve dvou letech v tomto prestižním časopise. „Mít silný multidisciplinární tým je klíčovou podmínkou, pokud chce vědec uspět na mezinárodní scéně. Významné výzkumy se již dnes prakticky neobejdou bez silného technického zázemí, které biologům nabízíme,“ doplnil vedoucí naší výzkumné skupiny profesor Jozef Kaiser.

Více informací: <https://elifesciences.org/articles/34465>



Obr. 9: Porovnání 3D modelů hlavy mezi zdravým embryem a mutantem.

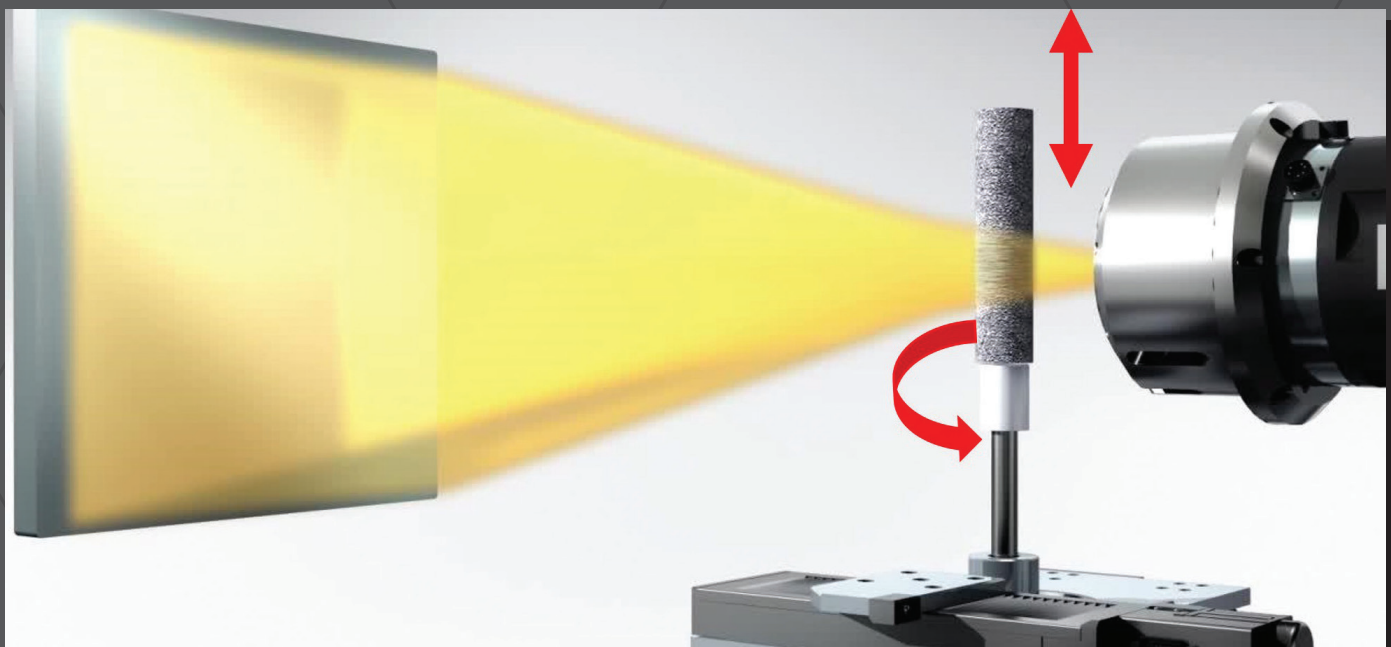
NOVINKY

MicroCT systém Heliscan

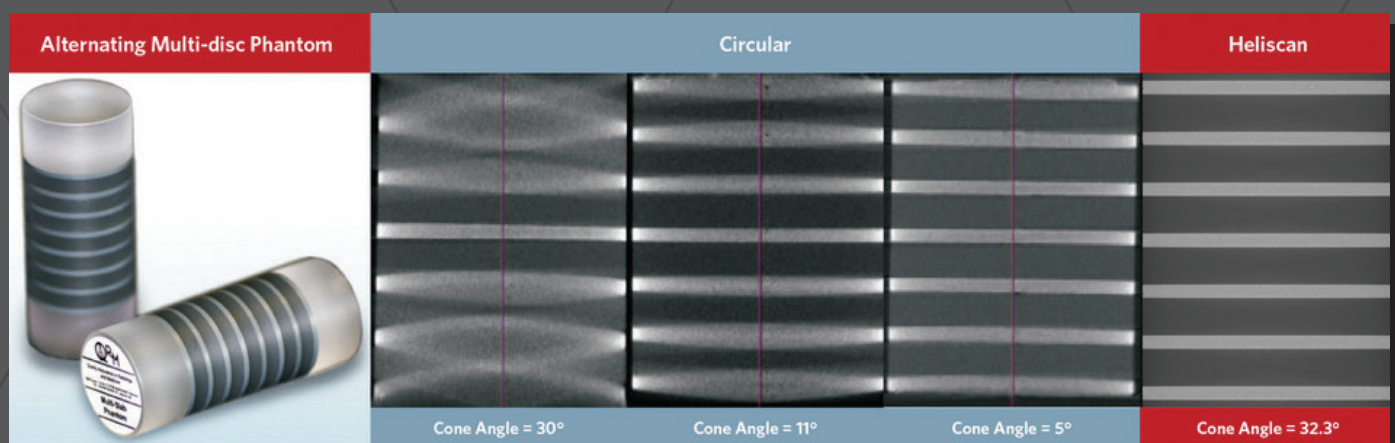


Obr. 10: Laboratorní CT systém Heliscan.

Naše laboratoř nově rozšířila přístrojové vybavení o již čtvrtý laboratorní tomograf, tentokrát od firmy Thermo Fisher Scientific. Tento unikátní microCT systém (Obr. 10) byl navržen pro ropný průmysl s cílem měření dlouhých vzorků, jako například geologických vývrtů. Hlavní charakteristikou systému je snímání měřeného objektu po helikální trajektorii (Obr. 11), která přináší eliminaci kuželových artefaktů vyskytujících se ve standardně používané cirkulární trajektorii (Obr. 12). Helikální trajektorie umožňuje získat kontinuální, geometricky přesné 3D obrázky dlouhých vzorků bez skládání obrazů. Dále se tento systém prezentuje patentovanou iterativní rekonstrukcí poskytující vysoké rozlišení obrazu a velký poměr signál-šum. Systém poskytuje kvalitní data a to až do voxelového rozlišení 0,8 μm . V naší laboratoři budou testovány možnosti přístroje Heliscan (<http://ctlab.ceitec.cz/cs/vybaveni/>) pro jeho využití nejen v materiálovém výzkumu, ale také v oblasti přírodních věd.



Obr. 11: Princip helikální trajektorie při měření vzorku.



Obr. 12: Tomografické měření fantomu, které ukazuje rozdíly mezi kruhovou a helikální trajektorií.

KONTAKTY

web: www.ctlab.cz

Email: ctlab@ceitec.vutbr.cz

telefon: +420 541 149 867

Adresa:

CEITEC

Vysoké učení technické v Brně

Středoevropský technologický institut

Purkyňova 656/123

612 00 Brno

Kontaktní osoba:

Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.

tomas.zikmund@ceitec.vutbr.cz

+420 541 142 846