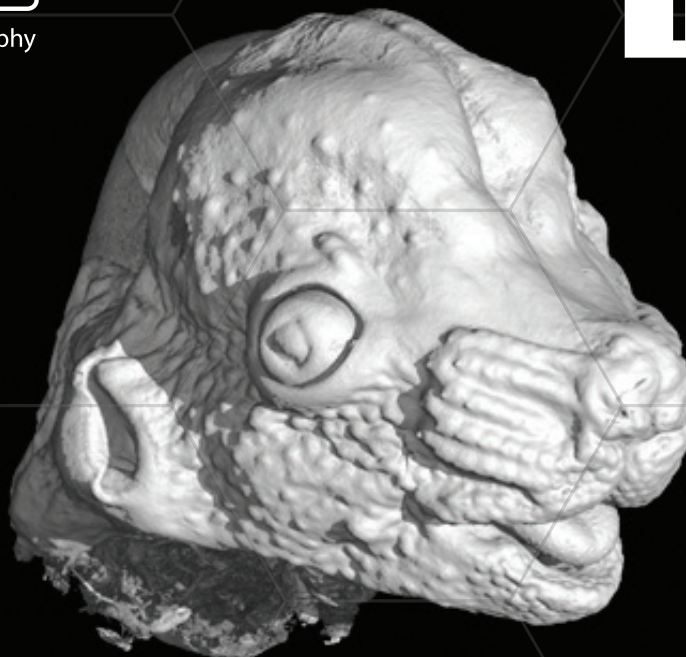




**CTLAB**  
X-ray Computed Tomography

**T** VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ



# NEWSLETTER

## PODZIM 2017

### ÚVODNÍ SLOVO

**Milí přátelé,**

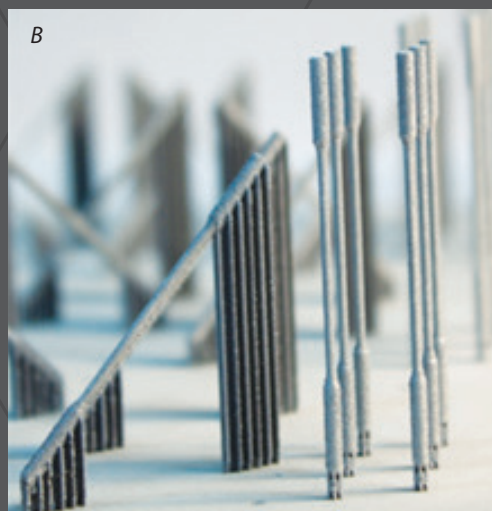
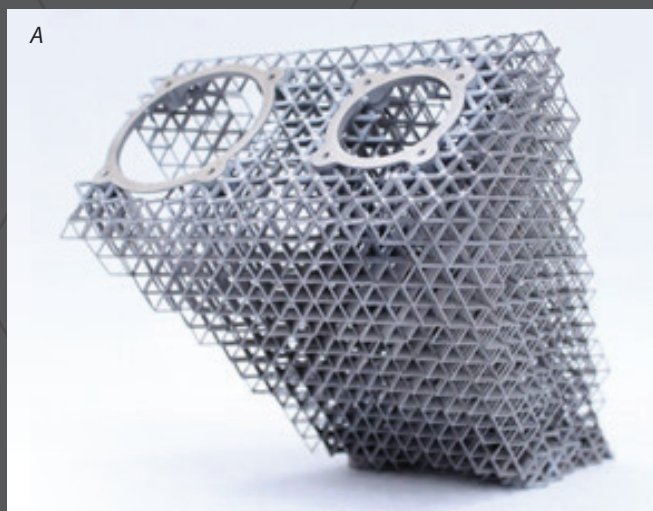
ani jsme se nenadáli a máme tady další číslo našeho newsletteru a s ním i novinky z naší laboratoře počítačové tomografie na CEITEC VUT v Brně. Během léta proběhla výměna detektoru na našem nejnovějším zařízení, a sice tomografu Rigaku Nano3DX, díky kterému mimo jiné můžeme v budoucnu sledovat časově proměnné jevy. Úspěšně také pokračujeme ve spolupráci s týmem studentské formule TU Brno Racing, který dosáhl výborného výsledku ve světové soutěži a tím se se svým vozem Dragon 6 zařadil mezi světovou špičku. Dále bychom vám zde rádi přiblížili zpracování tomografických dat a seznámili vás s dalšími možnostmi počítačové tomografie (predikce mechanických vlastností zkoumaných objektů či využití tandemové techniky PET/CT).

Na závěr vám přejeme příjemné čtení a děkujeme za stálou přízeň!

**Tomáš Zikmund**  
Vedoucí tomografické laboratoře

### ■ Modul Structural Mechanics Simulation

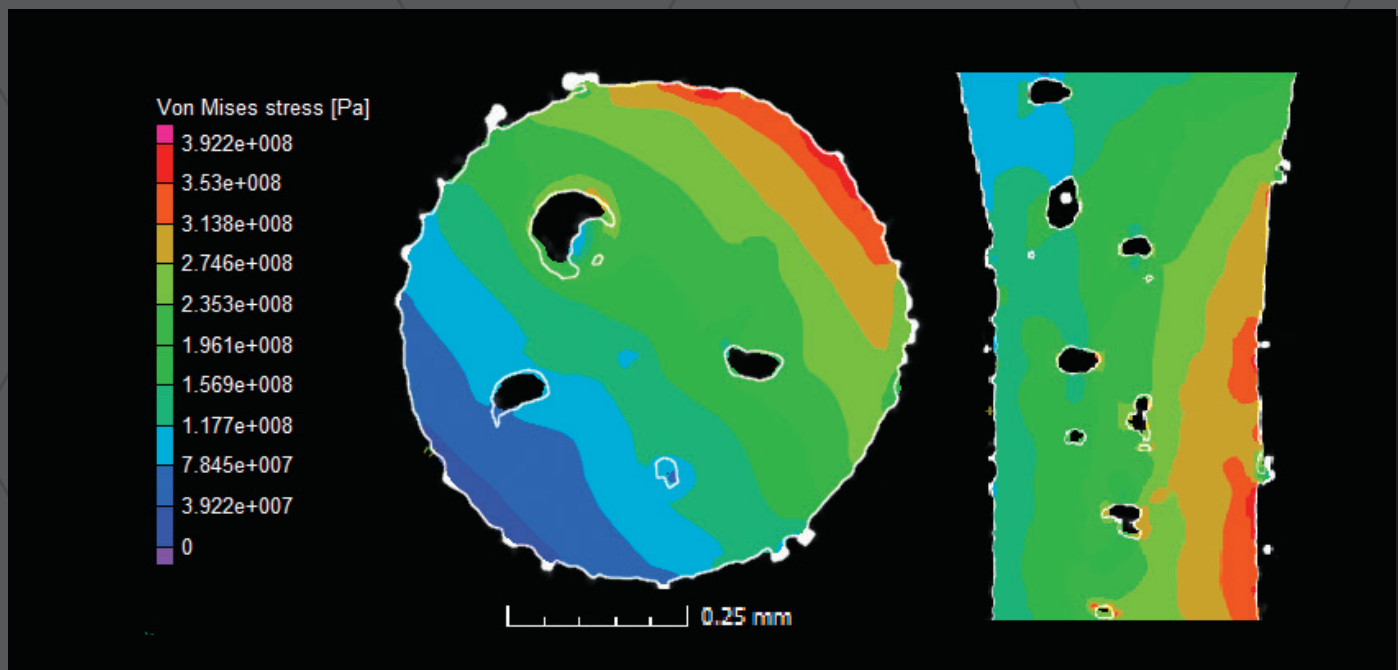
Software VG studio MAX 3.0 nově umožňuje predikovat mechanické vlastnosti přímo na reálně změřených CT datech. Slouží k tomu modul Structural Mechanics Simulation (SMS), který měli možnost vyzkoušet naši kolegové v rámci demo verze modulu. Jeho velkou výhodou oproti dalším softwarům využívajícím metodu konečných prvků (MKP) je zahrnutí vnitřních reálné geometrie včetně vnitřních vad materiálu, které mohou v některých aplikacích výrazně zhoršit mechanické vlastnosti součásti (dílu). Díky tomuto modulu můžeme virtuálně otestovat, jestli součást se zjištěnými vnitřními vadami ještě odolá požadovanému zatížení.



Obr. 1: Ultra lehká konzola komunikační antény satelitu (A) tvořená mikro-prutovou konstrukcí (B).

Modul byl testován při predikci mechanických vlastností super lehkých konstrukcí vyráběných pomocí kovového 3D tisku ve spolupráci s kolegy z Ústavu konstruování, Odboru reverzního inženýrství a aditivních technologií FSI VUT v Brně. Tyto speciální konstrukce určené především pro aplikace ve vesmírném nebo leteckém průmyslu jsou tvořeny sofistikovaným systémem velmi tenkých prutů v řádech desetin milimetru. Při jejich výrobě mohou vzniknout v jednotlivých prutech vnitřní vady/póry, které mohou v daném místě oslabit prut až o polovinu jeho průřezu. Tím klesají i reálné mechanické vlastnosti celé struktury.

Analyzována byla speciální tahová tělíska, která reprezentovala skutečné pruty jak jejich rozměrem, tak i způsobem výroby. Tahová tělíska byla virtuálně zatížena v SMS modulu, kde byl zkoumán především vliv rozlišení použité voxelové sítě na přesnost výsledků. Pro ověření této predikce byla tělíska následně mechanicky testována. Díky SMS modulu bylo možné přesně lokalizovat místo porušení prutu a určit snížení mechanických vlastností.



Obr. 2: Aplikace uváděného modulu ve VG Studiu MAX 3.0. Barevně rozlišena simulace tahu vzorku. Vlevo příčný řez prutem, vpravo podélný.

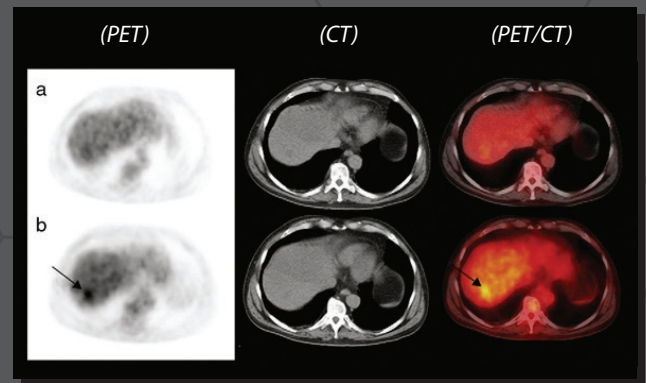
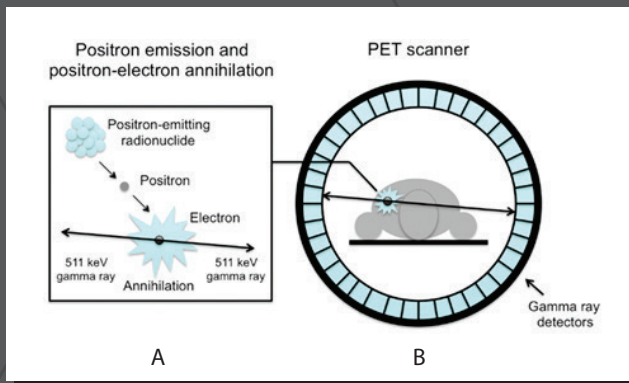
## ■ Zobrazovací metoda PET/CT

Pozitronová emisní tomografie (PET) ve spojení s rentgenovou počítačovou tomografií (CT) je nejrychleji se vyvíjející hybridní zobrazovací technika. PET/CT systémy se používají zejména ve zdravotnictví k zobrazení biologické tkáně. Důvodem spojení těchto dvou technik je kombinace zobrazení anatomické struktury vytvořené pomocí CT a funkčního vyšetření tkání zobrazeného pomocí metody PET. Spojením obou metod tak dostáváme komplexní informace o morfologii a současně o metabolismu vyšetřovaného orgánu v jednom obraze během jednoho vyšetření.

Během vyšetření je pacientovi podáno radiofarmakum (nejčastěji fluoro-deoxy-glukóza značená izotopem  $^{18}\text{F}$ ), které v případě PET vyšetření vyzařuje pozitrony podílející se na vzniku výsledného obrazu. Vyzářené pozitrony reagují (anihilují) v těle pacienta s elektrony. Obě částice zanikají za vzniku dvou fotonů vyzářených

v opačném směru s energií 511 keV (tj. gama záření). Tyto fotony jsou detekovány prstencem detektorů (viz. Obr. 3). Přesné místo vzniku fotonů je následně vyhodnoceno na základě časové prodlevy v detekci prvního a druhého fotonu. Po záznamu dostatečného množství fotonů z celého sledovaného objemu vzniká po rekonstrukci 3D obraz. Patologické jevy v těle pacienta je možné sledovat díky tomu, že používané radiofarmakum obsahuje glukózu, která má určitou afinitu k patologické tkáni. Tato afinita je dána zvýšeným metabolismem. Tím dochází ke zvýšení spotřeby glukózy právě na místech s patologickou tkání a tedy ke zvýšené aktivitě radiofarmaka zaznamenané v PET datech.

Výsledkem měření PET/CT je fúze obrazů vytvořených PET a CT přístroji, kde výsledný obraz nese informaci o funkci a přesné poloze vyšetřované tkáně (Obr. 4).



Obr. 3: (A) Popisuje annihilaci pozitronu s elektronem a vznik dvou fotonů s energií 511 keV, (B) umístění pacienta v PET přístroji a prstencový detektor používaný k záznamu vznikajícího gama záření.[1]

Obr. 4: Axiální řezy jater zobrazeny metodou PET, CT a fúze obrazů PET/CT, a sice beze změn (a) a s metastázou (b). [2]

### V medicíně se PET/CT zařízení používají [3]:

- » v onkologii ke zjištění nádorového ložiska
- » v neurologii k určení oblasti mozku zodpovědné za epileptické záchvaty, ke zjištění degenerativních onemocnění mozku, např. Alzheimerovy choroby a vyšetření mozku v případě jeho postižení nádorem
- » v kardiologii k odlišení životaschopné části srdečního svalu od částí odumřelých např. po infarktu myokardu

[1] Van Der Veldt Astrid, Smit Egbert, Lammertsma Adriaan: Positron Emission Tomography as a Method for Measuring Drug Delivery to Tumors in vivo: The Example of [11C] docetaxel. *Frontiers in Oncology* (2013) vol. 3 p. 208, doi: 10.3389/fonc.2013.00208

[2] D. Fuster et al.: Dual-time point images of the liver with 18F-FDG PET/CT in suspected recurrence from colorectal cancer. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol.* (2012) vol. 31(3) p. 111–116

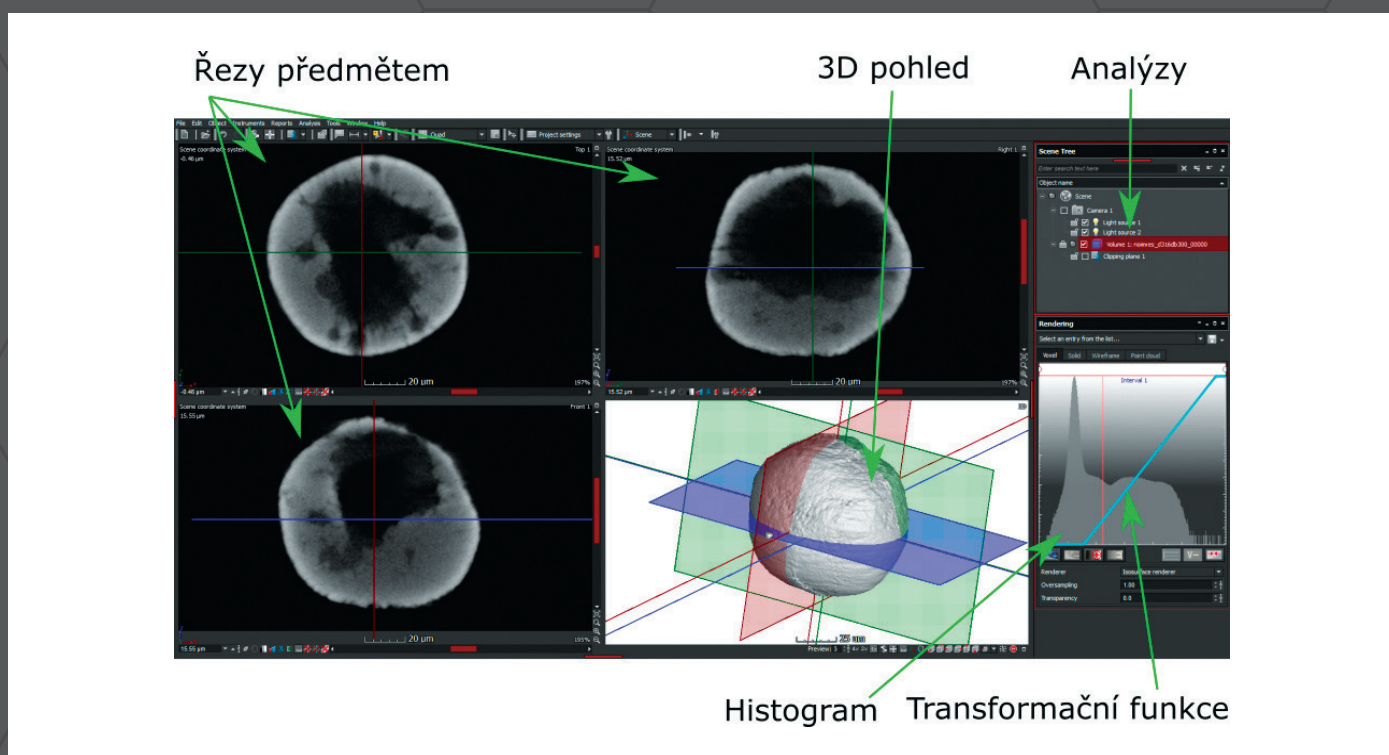
[3] Masarykův onkologický ústav, Vyšetřovací metody, PET/CT, <https://www.mou.cz/pet-ct/t4330>

## Interpretace tomografických dat

Výstupem tomografických měření je série šedo-tónových obrazů. Pixely obrazu nesou objemovou informaci, a proto jsou nazývány voxely (viz. Newsletter č. 1). Hodnota šedé každého voxelu reprezentuje absorpci rentgenového záření procházejícího daným místem vzorku. Absorpční vlastnosti těchto oblastí jsou závislé na hustotě materiálu. V tomografických řezech jsou husté materiály (např. kovy) prezentovány světlou barvou a řídké (např. vzduch, polymery) tmavou barvou. Dnešní detektory snímají intenzitu záření s dynamickým rozsahem 16 bit ( $2^{16}$ , tj. 65 536 odstínů šedi). Ačkoliv se při analýze dat pracuje s 16bitovou hloubkou, data jsou na monitor zobrazena pouze v 8bitové hloubce. K tomu se využívá převážně lineární funkce aplikovaná na vhodně zvolenou část histogramu intenzit představující zkoumaný vzorek (transformační funkce).

CT data jsou uživatelům poskytována ve formátu .vgl, který lze otevřít v prohlížeči MyVGL (obr. 5), který k datům rovněž poskytujeme. Ten umožňuje prohlížení tomografických řezů ve třech na sebe ortogonálních pohledech. Dále je možné data zobrazit ve 3D pomocí renderovacích nástrojů. S tímto softwarem je uživatel schopen odměřovat lineární rozměry, uložit vybraný pohled do obrázku a prohlížet analýzy provedené v plné verzi softwaru. Namísto .vgl formátu lze CT data předat ve formě série obrázků klasických formátů (PNG, TIFF, DICOM), které umožňují prohlížení v klasickém obrázkovém prohlížeči. Velikost výstupního souboru tomografických dat z jednoho měření je až 20 GB v závislosti na velikosti vzorku a množství provedených analýz. S ohledem na velikost dat je třeba pro práci volit výpočetní stanici s dostatečně velkou operační pamětí.

3D model objektu je exportován do litografického formátu STL (tzv. mraku bodů), se kterým lze dále pracovat v různých CAD softwarech (Inventor, Catia, Solidworks, GOM Inspect) nebo ho použít např. pro 3D tiskárny. Převod STL modelu do formátu STP, STEP (v něm je model popsán soustavou geometrických útvarů) je realizován v softwarech Geomegic, Tebis a vyžaduje většinou manuální zásah operátora.



Obr. 5: Volně dostupný prohlížeč tomografických dat MyVGL.

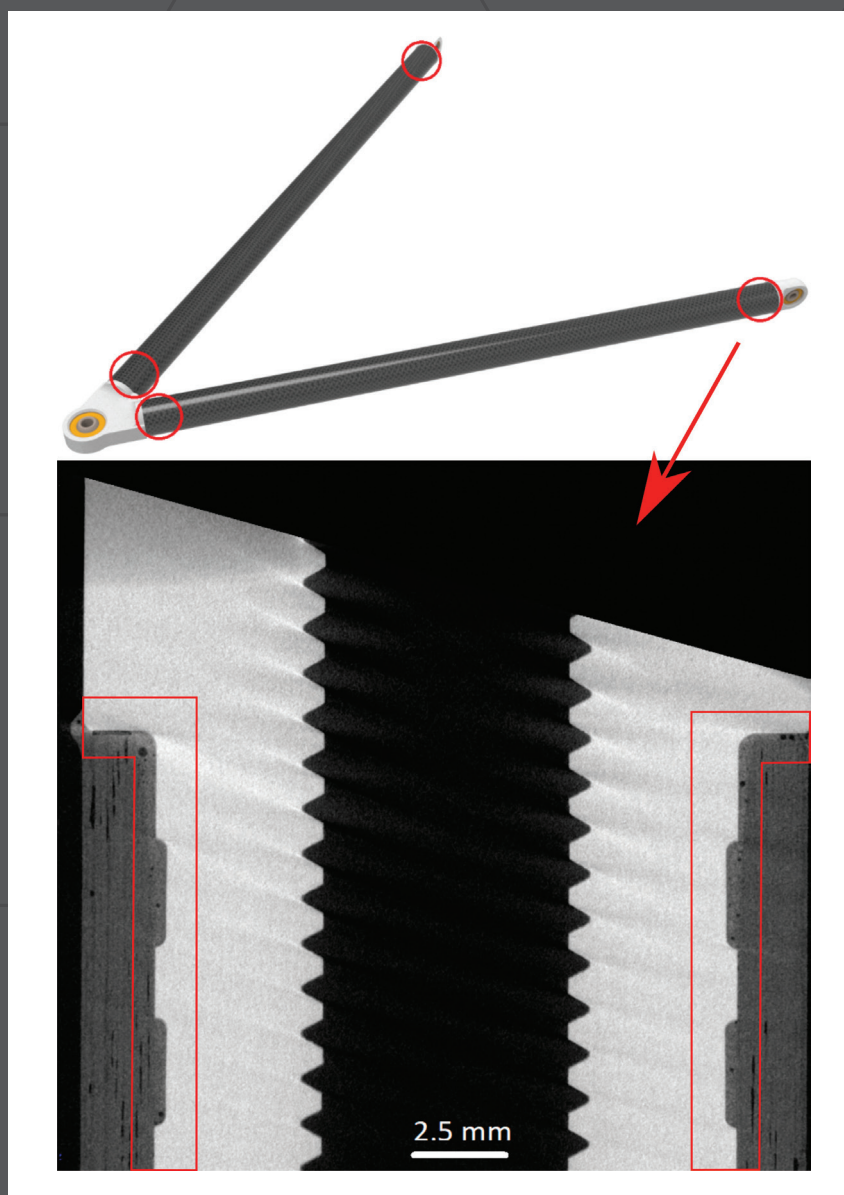
## Analýza lepených spojů pro TU Brno Racing

Již v minulém čísle Newsletteru jsme informovali o spolupráci naší laboratoře se studentským týmem TU Brno Racing, působícího na VUT, na vývoji jejich nového monopostu. V rámci této spolupráce se naše laboratoř podílela na vývoji použitých kompozitních dílů.

Konkrétně byla provedena nede-  
struktivní analýza lepených spojů  
mezi trubkami z uhlíkových vláken  
a hliníkovou koncovkou, jež byly nově  
využity pro zavěšení kol (viz. Obr. 6). Tyto  
lepené spoje byly analyzovány před a po  
provedení dynamických zkoušek, čímž  
bylo možné zhodnotit efekt zatížení  
na jejich vnitřní strukturu. Měření  
ukázalo, že vnitřní struktura dílů  
obsahovala (viz. Obr. 7), ale dynamické  
zatížení nevedlo ani k jejich rozvoji ani  
ke vzniku nových defektů. Analýza CT  
dat musela být provedena vizuálně,  
jelikož použité lepidlo a kompozitní  
materiál měly téměř stejné absorpční  
vlastnosti pro rentgenové záření (nelze  
je spolehlivě odlišit z hlediska intenzity)  
a liší se pouze z hlediska vnitřní struktury.  
Dále bylo zjištěno, že lepidlo spolehlivě  
nepřilnulo k hliníkovému dílu po  
celém jeho obvodu. Tento experiment

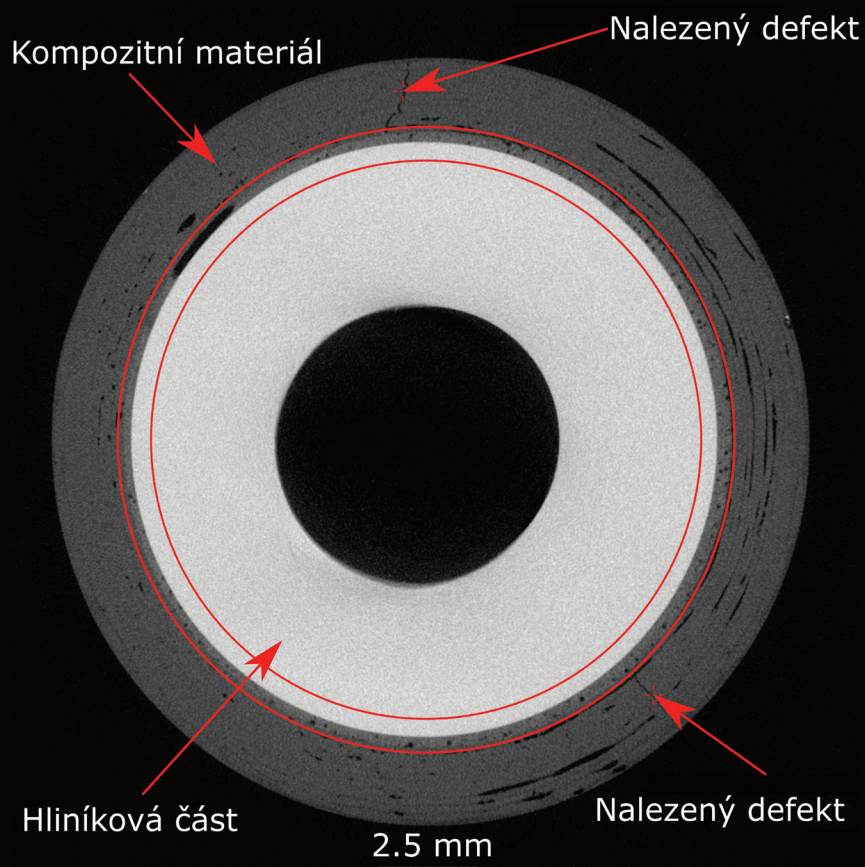
potvrdil, že funkčnost a vlastnosti analyzovaných dílů nebyly výsky-  
tem a charakterem defektů limitovány.

CT analýzou bylo možné ověřit technologický postup výroby použitých  
dílů i případně selektovat vadné díly. Provedená analýza měla tedy  
významný přínos pro celkovou spolehlivost a bezpečnost daného  
monopostu.



Obr. 6: Vizualizace analyzovaného dílu zavěšení kol (horní část obrázku) s vyznačenými oblastmi, u kterých bylo provedeno CT měření a následná analýza. V dolní části obrázku je uveden příklad podélného CT řezu jedné z analyzovaných oblastí, kde je vyznačena oblast lepeného spoje mezi hliníkovým a kompozitním dílem.

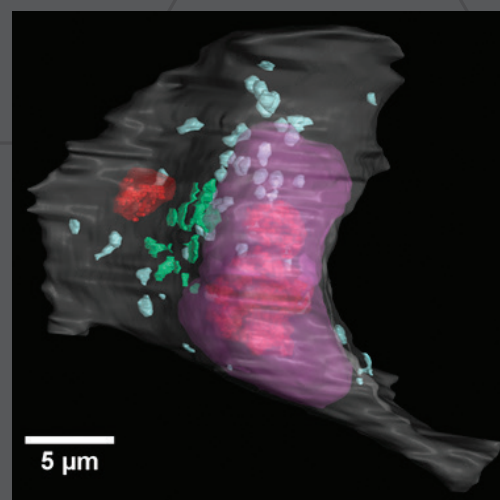
Obr. 7: Příklad kolmého CT řezu jedné z analyzovaných oblastí, kde je vyznačena oblast lepeného spoje mezi hliníkovým a kompozitním dílem a také nalezené defekty ve vnitřní struktuře použitého kompozitního dílu.



Video s ukázkou zapojení CT laboratoře v projektu si lze prohlédnout zde: <https://www.facebook.com/tubnracing/videos/1624957544194815/>.

### ■ 3D vizualizace buněčných kultur nejen pro počítačovou tomografii

Jednou z zásadních výzev pro tvorbu 3D modelu studovaného vzorku je právě zpracování a analýza dat. A to neplatí jen pro data získaná počítačovou tomografií. Pracovníci naší laboratoře spolupracují na segmentaci a vizualizaci dat s dalšími výzkumnými týmy, které používají i jiné zobrazovací techniky schopné vizualizace vzorků ve 3D (magnetická rezonance, elektronová mikroskopie aj.) Jedna z nedávných publikací se zaměřuje na analýzu buněčných struktur, jejichž data byla získána transmisním elektronovým mikroskopem (TEM) firmy TESCAN. V knize 3D Cell Culture s podtitulem Methods and Protocols nakladatelství Springer jsme se podíleli na přípravě jedné kapitoly. Tato kapitola se metodologicky věnuje přípravě buněčných kultur, jejich



Obr. 8: 3D vizualizace jedné z buněk sferoidu. Cytoplazmatická membrána ohraničující buňku (šedá), jádro (magenta), jádérko (červená), Golgiho aparát (zelená) a sekundární lysozomy (modrá).

kontrastování, samotnému experimentu na TEM až po zpracování obrazu a 3D vizualizaci. Popsaná technika je účinná pro detailní morfologickou analýzu sféroidů kmenových buněk. Právě takovéto systémy jsou vhodné jako simulace relevantního prostředí pro modelování nemocí a vliv použitých léků. Tento přístup se stává v regenerativní medicíně stále populárnější a nahrazuje klasické 2D zobrazovací metody, které nejsou schopny přesně charakterizovat komplexnost buněčných kultur.

Více informací: [https://link.springer.com/protocol/10.1007%2F978-1-4939-7021-6\\_30](https://link.springer.com/protocol/10.1007%2F978-1-4939-7021-6_30)

## ■ Publikace v časopise Journal of Dental Research

Kolegové v laboratoři Ústavu živočišné fyziologie a genetiky AVČR se dlouhodobě zabývají výzkumem vývoje kraniofaciálních struktur a odontogenezí. Jedním z podstatných proteinů, při jehož mutaci vznikají závažné defekty v oblasti obličejové části lebky a měkkého patra, je transmembránový protein tmem107. Právě výzkumem funkce tohoto proteinu a popisu fenotypu myši, které mají tento protein plně mutovaný, se zabývá článek přijatý do časopisu Journal of Dental Research, na kterém se naše CT laboratoř podílela. Do tohoto článku (doi: 10.1177/0022034517732538) jsme přispěli 3D obrázky osifikačních center v lebce mutovaných i kontrolních myších embryí, jež posloužily k porovnání vývojových defektů, a na základě vybraných tomografických řezů bylo možné porovnat také atypické postavení jazyka u mutované myši.

## NOVINKY

## ■ Modernizace nanoCT zařízení

Nanotomograf RIGAKU Nano3DX nově disponuje detektorem se sCMOS čipem a novým ovládacím softwarem. Detektor má rozměry 2048 × 2048 px<sup>2</sup> a dynamický rozsah 16 bit. Dále byly pořízeny dvě sady nových optických jednotek s efektivní velikostí pixelu 0,64 μm a 1,28 μm umožňujících větší možnosti nastavení velikosti výsledného voxelu a zorného pole. Pořízením těchto komponent se výrazně zvýšily schopnosti a variabilita přístroje, zrychlil se proces akvizice snímků a rozšířily se možnosti aplikace nano tomografie pro studium bio-degradabilních materiálů, kompozitů, vláken tvrzených polymerů apod. Díky rychlosti je nyní také možné zaznamenávat rychlejší děje a dosáhnout větší kvality výstupních dat.

## KONTAKTY

web: [www.ctlab.cz](http://www.ctlab.cz)

Email: [ctlab@ceitec.vutbr.cz](mailto:ctlab@ceitec.vutbr.cz)

telefon: +420 541 149 867

## ■ Kontaktní osoba:

Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.

[tomas.zikmund@ceitec.vutbr.cz](mailto:tomas.zikmund@ceitec.vutbr.cz)

+420 541 142 846

## ■ Adresa:

CEITEC, Vysoké učení technické v Brně | Středoevropský technologický institut

Purkyňova 656/123 | 612 00 Brno