

CT analýza odlitku válce dvoudobého motoru na straně 4.



NEWSLETTER PODZIM 2022

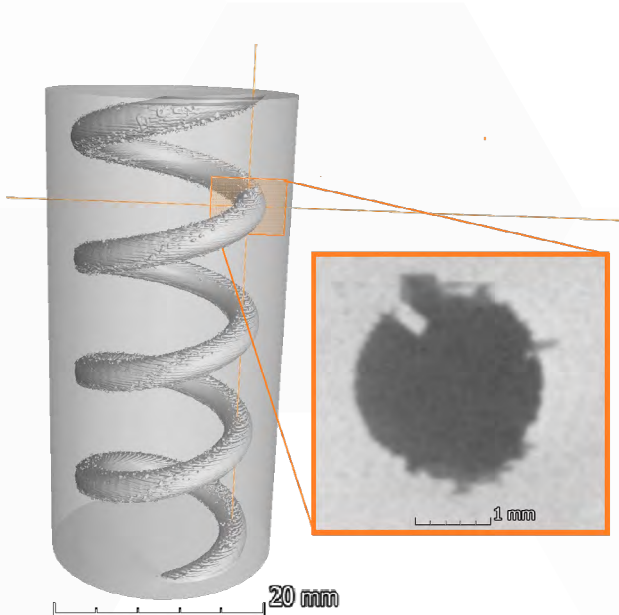
Je mi potěšením představit Vám nové číslo newsletteru naší Laboratoře rentgenové počítačové mikro a nano tomografie na CEITEC VUT. Můžete si zde přečíst o některých našich nedávných průzkumech, včetně analýzy automobilových dveří a odlitku válce dvoudobého motoru. Přiblížíme Vám kalibraci voxelu v CT datech a dozvíte se také o 3D modelu struktury korálu.

Příjemné čtení!

Tomáš Zikmund
Vedoucí laboratoře

CT ANALÝZY

VYLEPŠENÍ TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM POMOCÍ TIŠTĚNÝCH CHLADICÍCH SYSTÉMŮ



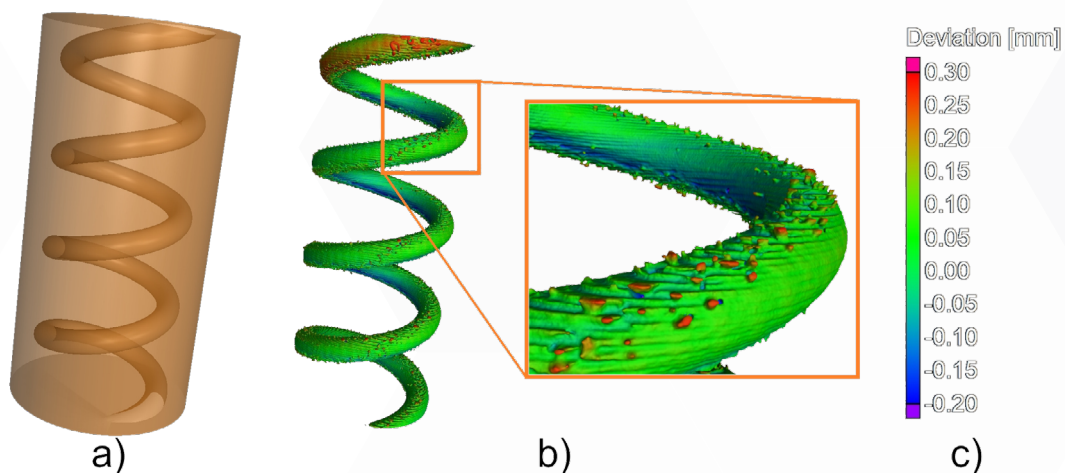
Obrázek 1: 3D render naskenovaných CT dat s tomografickým řezem.

Při temperaci (chlazení) vstřikovacích forem se obvykle používá konvenční přístup v podobě vrtaných kanálů. Nicméně, možnosti tohoto způsobu výroby kanálů jsou značně omezeny, což se týká jak samotného tvaru, tak i jeho trajektorií. To se může projevit nerovnoměrným teplotním polem na povrchu výrobku, které poté může značně ovlivňovat výslednou deformaci, smrštění, popř. i pnutí odlitku.

Jednou z možností, jak tyto negativní jevy eliminovat, je jejich výroba pomocí aditivních technologií. Ta umožňuje vytvořit temperační kanály kopírující tvar výrobku a odvod tepla je tak uzpůsobený přímo tvaru výrobku. Tomuto způsobu chlazení se říká konformní.

Aditivní výroba je v tomto směru ideálním nástrojem, avšak přináší s sebou také určité komplikace. Jednou z nich jsou zbytkové nečistoty a velmi drsný povrch v těchto kanálech. Tyto aspekty by mohly ovlivňovat správné proudění chladicího média a především přispívat k usazování nečistot uvnitř kanálů, což může cílenou temperaci negativně ovlivňovat. Proto se kvalita vyrobených kanálků momentálně studuje na referenčních vzorcích pomocí CT techniky.

Referenčním vzorkem je v našem případě spirálovitý kanálek kruhového profilu o průměru 20 mm, vyrobený metodou ADAM* z nástrojové oceli 1.2344 (Obrázek 1), který dodala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Rozměry vzorku jsou navrženy v souladu s požadavky CT skenování pro dosažení dostatečného rozlišení a bezpečnou detekci nečistot, tj. $\varnothing 20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$. Detekce defektů kanálků byla založena na porovnání s nominálním CAD modelem, které pomocí barev přináší komplexní pohled odlišnosti od ideálního tvaru (Obrázek 2).



Obrázek 2: a) Transparentní zobrazení nominálního CAD modelu zkušební vzorku se spirálovitým temperačním kanálem. b) Porovnání s reálnými CT daty a zvýraznění odchylek, tzn. drsnosti povrchu a nečistot. c) Barevná škála analýzy.

*ADAM (Atomic Diffusion Additive Manufacturing) je komplexní proces vrstvení kovového prášku vázaného v plastu, který se postupně formuje do 3D obrazu.

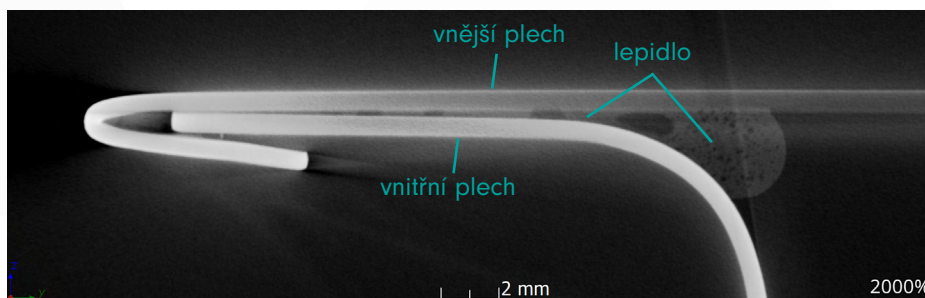
ANALÝZA LEPENÉHO SPOJE U AUTOMOBILOVÝCH DVEŘÍ



Obrázek 3: Fixace dveří v tomografu.

Letos jsme se zabývali hledáním vhodné metody pro inspekci kvality spojů po obvodu dveří z osobních automobilů. Starší svařované spoje byly náchylné na korozi. Proto se nyní používá spoj, kde je jeden plech ohnutý okolo druhého, potřeného z obou stran dělicí izolační vrstvou lepidla, viz Obrázek 4.

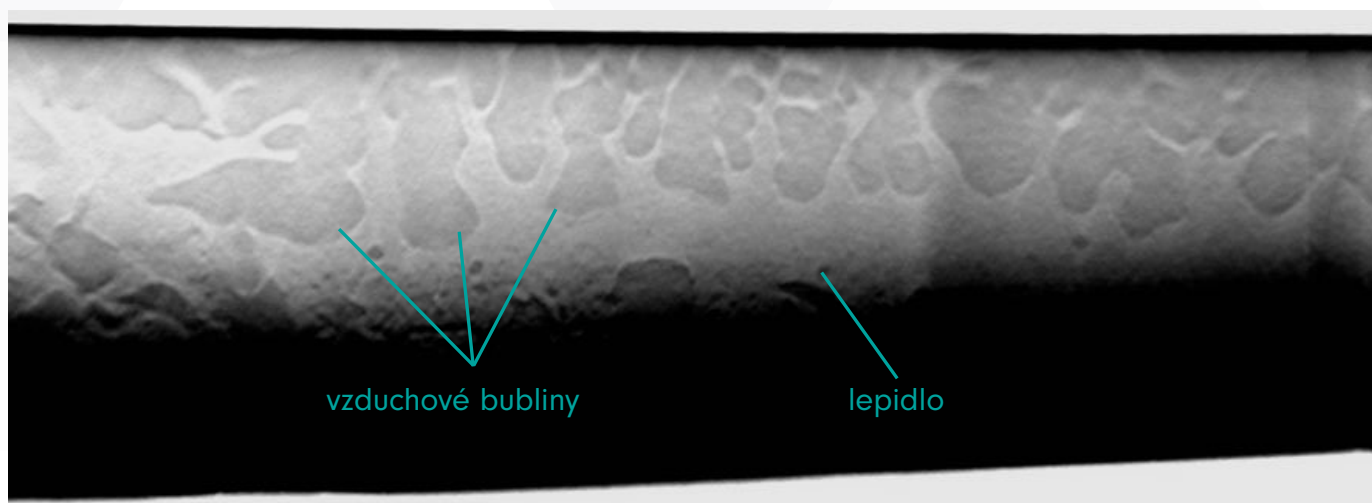
Následná nedestruktivní kontrola takového spoje je náročným úkolem pro dostupné rentgenové techniky. 2D rentgenové zobrazení není schopné odlišit překrývající se vrstvy plechů a lepidla, a nepodává tak jednoznačnou informaci o rozložení lepidla.



Obrázek 4: Příčný tomografický řez analyzovaným spojem.

Tomografická analýza celých dveří je z důvodu nutnosti rotace vzorku (Obrázek 3) velmi omezená a neumožňuje dosáhnout dostatečného rozlišení pro inspekci. Má-li být CT smysluplně využito, je třeba vyříznout menší zájmovou oblast o průřezu několika centimetrů. Tím se vytrácí nedestruktivita inspekce celých dveří, ale vyříznutá část zůstává zachovaná v původním stavu. CT analýzou této části se pak lze dostat k velkým detailům spoje a cenným informacím pro kontrolu procesu výroby.

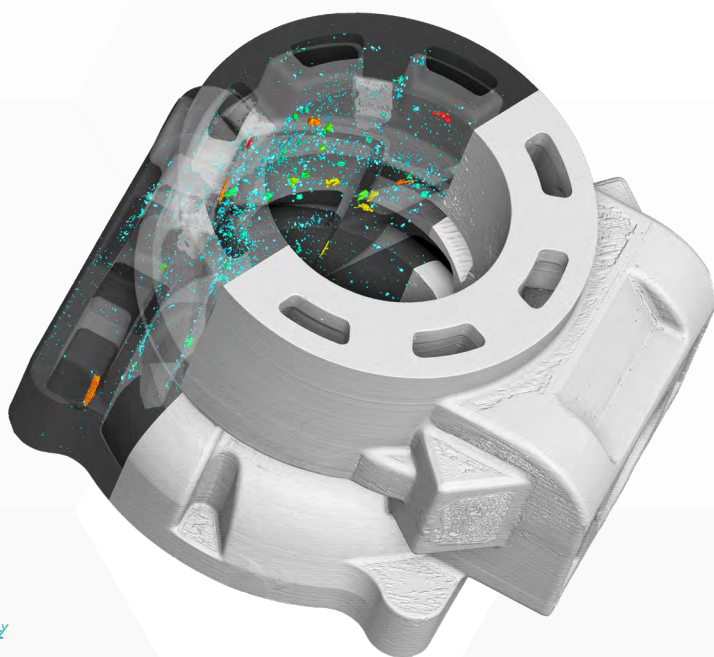
Dalším řešením je využití laminografie (viz starší [newsletter](#)), která využívá neúplného pohybu vzorku. Ten se pak v tomo případě nemusí řezat. Tato technika dokáže zobrazit distribuci lepidla v ploše, ale neumožňuje dostatečně kvalitně hodnotit tloušťku vrstvy lepidla v řádu jednotek mikrometrů.



Obrázek 5: Virtuální řez daty z laminografické analýzy detailu spoje.

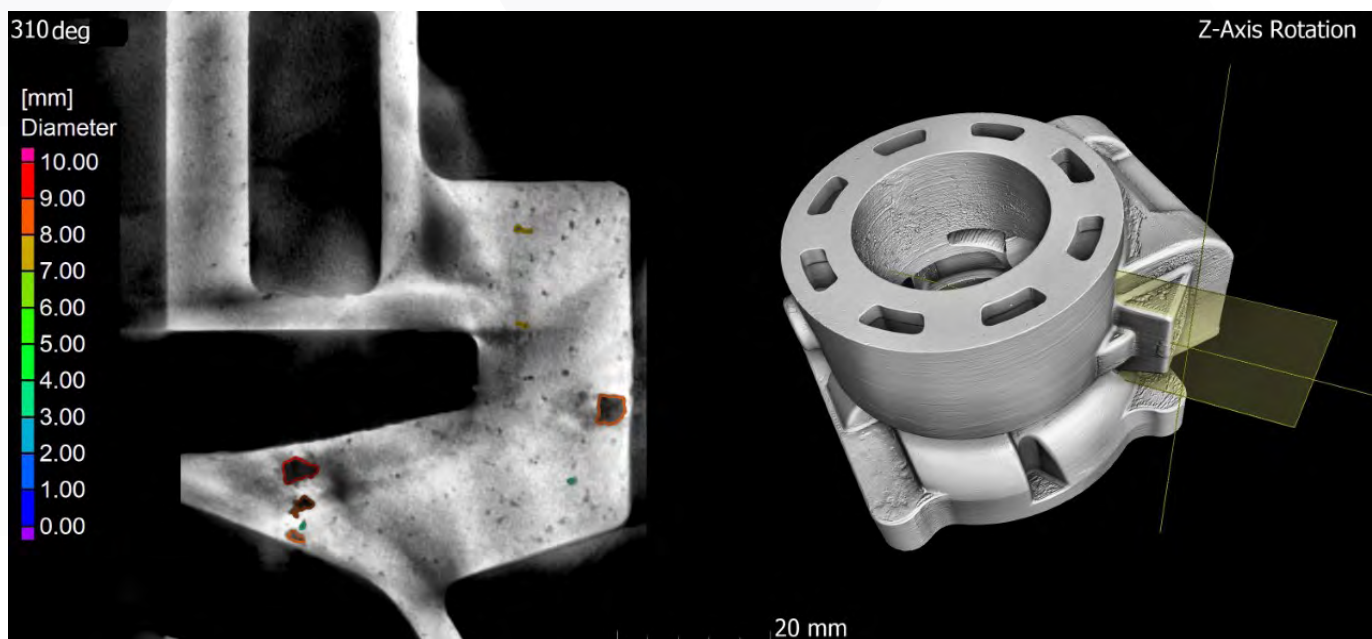
ANALÝZA ODLITKU VÁLCE DVOUDOBÉHO MOTORU

V rámci spolupráce Vysokého učení technického v Brně a strojírenské společnosti C.S.O. je vyvíjen prototyp závodního dvoudobého motoru pro pohon motokrosového sidecaru. Pro tento účel bylo třeba zajistit prototypovou výrobu válce ze slitiny hliníku pomocí metody přesného lití. Neboť zhotovení forem pro vytvoření voskového modelu by klasickým obráběním bylo neekonomické, byly modely pro tvorbu skořepin tištěny pomocí FDM* 3D tisku z materiálu Polycast (materiál filamentu navržený pro potřeby přesného odlévání kovů). Vzhledem k časové i finanční náročnosti tohoto typu kusové výroby bylo cílem minimalizovat iterace mezi mechanickými testy odlitků a úpravami skořepin.



CT metodou byla nedestruktivně ověřena jakost odlitku a specifikována kritická místa z hlediska defektů vzniklých při odlévání. Analýzou vnitřní struktury byla definována porozita v celém objemu odlitku a distribuce jednotlivých pórů je vizualizována v kontextu 3D modelu (Obrázek 6). Tato analýza odhalila vznik nepřijatelné porozity v oblasti jednoho z náliček v přední části válce (Obrázek 7). Na základě těchto výsledků byla zkalibrována simulace odlévání včetně predikčních kritérií pro vznik staženin a ředin a navržena optimalizovaná technologie pro výrobu dalších kusů, bez nutnosti testovacích odlitků. To vedlo k zásadní úspoře prostředků a času při vývoji. Díky nedestruktivě této metody je pak možné použít odlitek pro další vývoj funkčního vzorku.

Obrázek 6: Distribuce detekovaných pórů v odlitku válce ukázána skrze transparentní povrch. Póry jsou barevně odlišeny dle jejich velikosti.



Obrázek 7: Ukázka detekce pórů (barevně vyznačené oblasti) v tomografickém řezu, jehož pozice je znázorněna žlutou rovinou v 3D modelu.

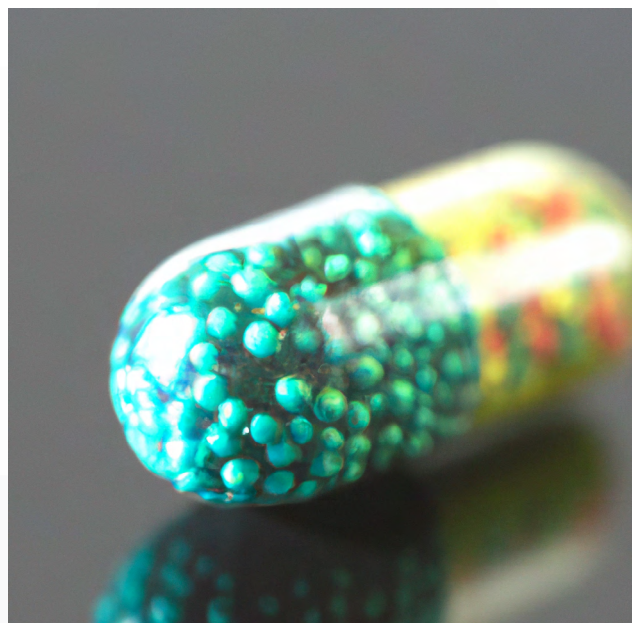
*FDM (Fused deposition modelling)

CHARAKTERIZACE GRANULÍ TOBOLEK PRO ŘÍZENÉ UVOLŇOVÁNÍ LÉČIV

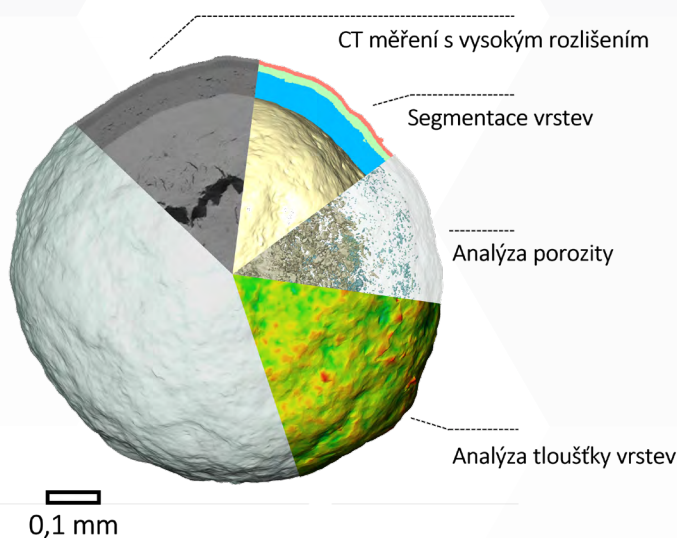
Tobolka je typ léčiva používaného orálně. Obvykle se skládá z dutého želatinového obalu a účinné látky, která je ve formě granulí (Obrázek 8). Jednotlivé granule tobolek jsou pro řízené uvolňování léčiv připravovány depozicí několika aktivních vrstev léčiva na inertní jádro. Pro zajištění optimálního uvolnění léčiva je důležité dodržet konzistentní tloušťku jednotlivých vrstev. Z pohledu přípravy vzorku je pro klasickou mikroskopii kontrola této vrstvy velkou výzvou. Náměry by byly vytvořeny pouze na 2D řezu, a proto se CT v této oblasti rozvíjí velmi rychle.

Granule jsou kulovitého tvaru o průměru kolem jednoho milimetru a jsou obklopeny několika vrstvami v jednotkách až desítkách mikrometrů (Obrázek 10). Kvůli podobné absorpci je navíc velmi obtížné odlišit vrstvy v CT datech od jádra, a jsou proto i pro stávající moderní mikroCT systémy pod jejich zobrazovací schopnosti.

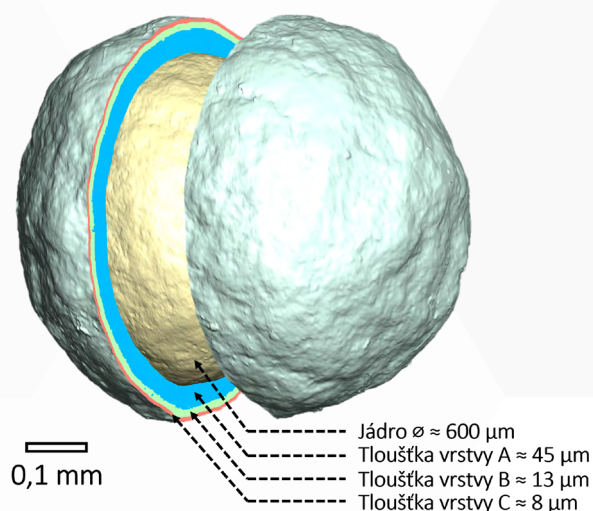
V naší laboratoři k tomu používáme špičkový laboratorní nano-CT systém s voxelovým rozlišením až 270 nm, který disponuje speciálními zobrazovacími režimy (fázový kontrast a duálně-energetické měření), které zlepšují kontrast dat. Díky těmto vlastnostem se nám daří adresovat i zmíněnou analýzu vrstev granulí. Na vybraném vzorku se podařilo zobrazit všechny 3 vrstvy, odsegmentovat je v datech a kvantifikovat jejich průměrnou tloušťku v celém 3D objemu granule (Obrázek 9). Dále byla vypočítána také porozita jednotlivých vrstev granule, která hraje významnou roli v rychlosti uvolňování léčiva.



Obrázek 8: Fotografie tobolky pro řízené uvolňování léčiv, která je složena z gelové kapsle obsahující jednotlivé granule.



Obrázek 9: Možnosti CT analýzy farmaceutických částic.



Obrázek 10: Vizualizace jednotlivých vrstev farmaceutické částice (Avizo, Thermo Fisher Scientific).

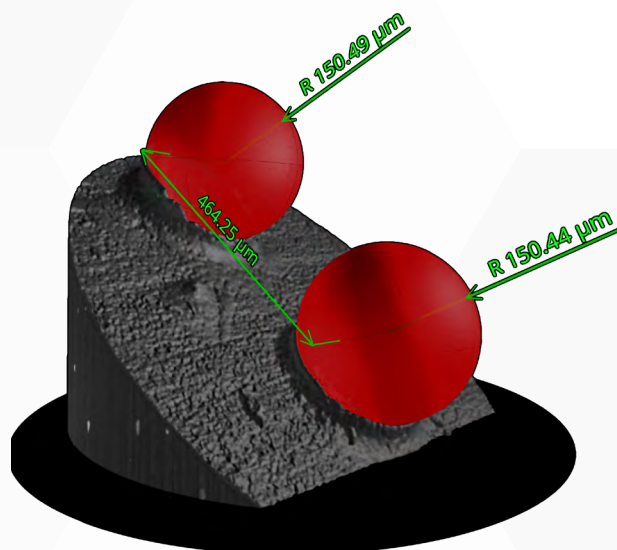
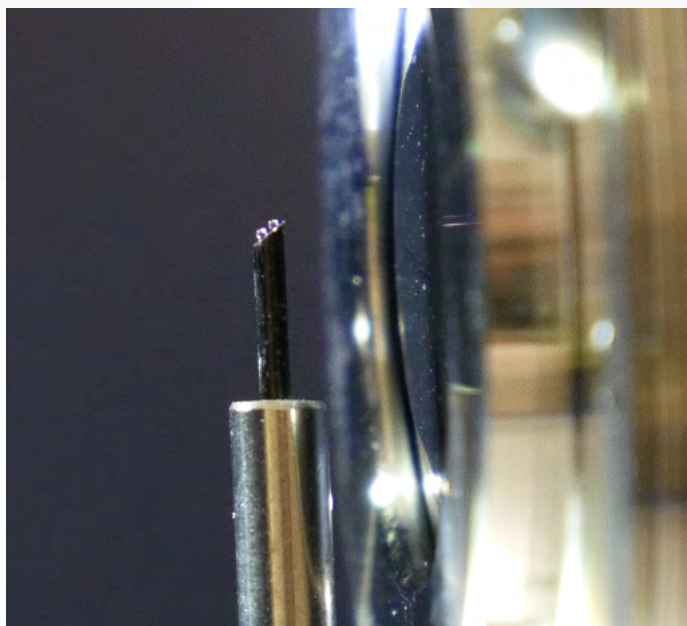
KALIBRACE VELIKOSTI VOXELU CT DAT

Rentgenová výpočetní tomografie, CT, je atraktivní alternativou souřadnicových měřících strojů (CMM) pro účely přesného, opakovatelného měření rozměrů vzorků. Její hlavní výhodou je možnost měření rozměrů vnitřních, běžnými způsoby nedosažitelných částí. Přesnost a nejistota tohoto měření je však značně ovlivněna řadou fyzikálních, mechanických a náhodných vlivů, detailně popsanych ve standardech a normách jako je německá VDI/VDE 2630 1.2.

Zásadním zdrojem nejistot CT měření je nepřesnost v délce hrany voxelu (základní, zpravidla krychlové jednotky objemu), často zjednodušeně označované „velikost voxelu“. Tuto nepřesnost způsobuje zejména neurčitost velikosti pixelů detektoru a vzdáleností mezi jednotlivými částmi měřící soustavy. Nepřesná velikost voxelu pak může způsobit značné odchylky v pozorovaných rozměrech vzorku.

Hodnotu velikosti voxelu lze zpřesnit kalibračními postupy za využití referenčních objektů, často sestavených z rubínových kuliček. Díky jejich tvaru lze spolehlivě určit pozice středů a vzdálenosti mezi nimi pomocí velmi přesných měření na souřadnicových měřících strojích (CMM). Fyzikální stálost rubínu přitom zajišťuje dlouhodobou stabilitu těchto referenčních vzdáleností. Středů kuliček lze rovněž poměrně jednoduše lokalizovat v CT datech díky vysokému rentgenovému kontrastu rubínu a minimální náchylnosti na změny a odchylky ve zpracování dat. Poměr referenčních a změřených vzdáleností pak představuje korekční faktor velikosti voxelu.

Takováto kalibrace voxelu je žádoucí i u CT s vysokým rozlišením, avšak omezené zorné pole těchto přístrojů značně omezuje rozměry vhodných referenčních objektů a znesnadňuje tak jejich výrobu a měření. To však neznamená, že objekty vhodné pro tento účel neexistují. Jeden takový [objekt](#), vhodný pro zorná pole menší než jeden milimetr čtverečný, byl nedávno vytvořen v rámci spolupráce mezi naší laboratoří a firmou [CactuX](#) zde v Brně (Obrázek 11).



Obrázek 11: Fotografie (vlevo, v porovnání s RTG detektorem) a 3D model (vpravo) referenčního objektu vhodného pro CT s vysokým rozlišením a malým zorným polem. Kalibrovaným rozměrem je v tomto případě vzdálenost mezi středy dvou rubínových kuliček připevněných na zkosené karbonové podstavě.

NOVINKY

CTLAB SLAVÍ 10 LET!

Výzkumná skupina prof. Jozefa Kaisera slaví 10 let od svého vzniku a působení v oblasti nedestruktivních zkoušek pomocí rentgenové počítačové tomografie (CT). Od prvního pořízeného přístroje, na kterém jsme poznávali možnosti CT technologie, jsme se dostali až po komplexně vybavenou laboratoř s vlastním know-how, vývojem a týmem profesionálů. Mezi hlavní úspěchy považujeme vybudování mezinárodního renomé, vytvoření dlouhodobé spolupráce s průmyslovými partnery, a také podílení se na vývoji nových nástrojů se světovými výrobci CT přístrojů. Skrze založený start-up jsme součástí transferu nových technologií pro průmyslové CT. Za to vše děkujeme i Vám, kteří jste s námi spolupracovali a spoluutvářeli tak naše zaměření. Do dalších let si přejeme zůstat špičkou s poskytováním toho nejlepšího, co CT technologie nabízí, a ještě větším dílem přispívat k jejímu vývoji. Více informací, čeho se nám podařilo dosáhnout, najdete [zde](#).

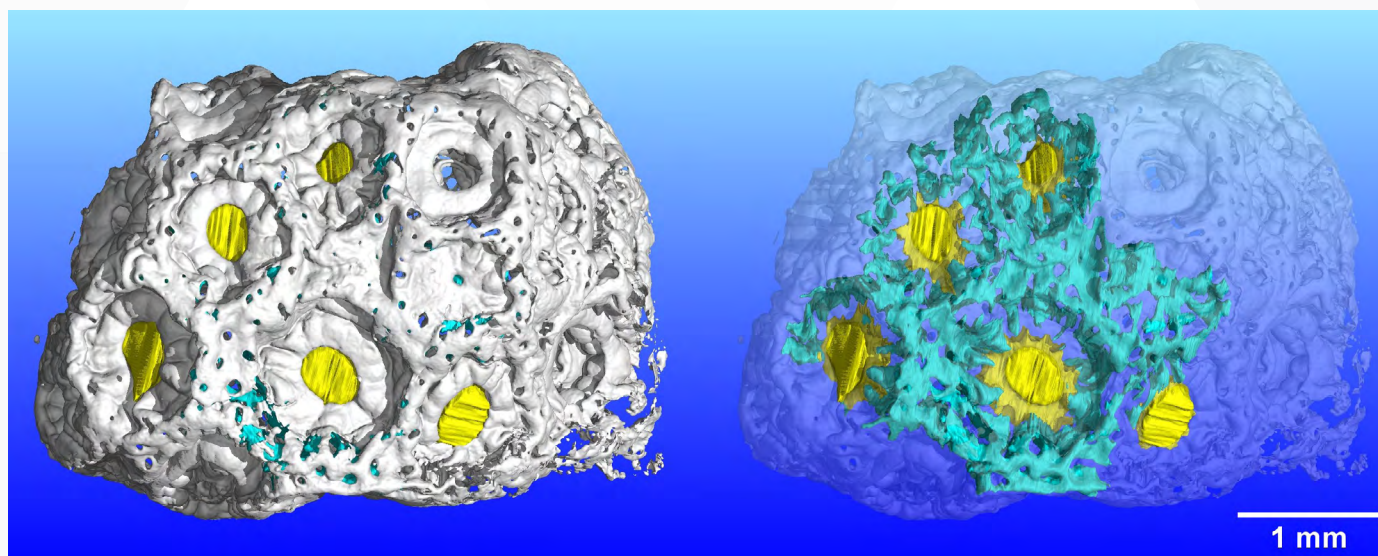


Obrázek 12: CTLAB tým

DETAILNÍ 3D MODEL STRUKTURY KORÁLU

Pro mořský ekosystém mají korály obrovský význam – poskytují obživu či úkryt velkému množství mořských živočichů. Navíc, díky jejich symbióze s fotosyntetickými řasami, jsou zdrojem kyslíku pro naši planetu. Korály zůstávají celý svůj život ve stadiu polypů, které se vytváří na tvrdé vápenaté schránce. To, jakým způsobem korály vytváří celé kolonie a jak spojují jednotlivé polypy v integrované skupiny, bylo dlouho nejasné právě i kvůli náročnosti systému pro zobrazovací metody.

V naší laboratoři jsme využili zkušeností se zobrazováním měkkých biologických tkání a díky komplexnímu přístupu, beroucímu v potaz jak tvrdou, tak měkkou strukturu korálu, jsme dokázali vytvořit 3D model jejich struktury. Tento 3D model včetně přesné rozměrové analýzy pak posloužil jako vstup pro matematické modelování, které odhalilo vysoce složité a anizotropní hydrodynamické cesty transportující vodu společně s potravou z polypu na polyp, až na okraje kolonie. Zároveň tyto proudy udržují povrch korálů čistý a zabraňují usazování patogenů, které nejen že ohrožují samotný korál, ale zároveň brání přístupu slunce. Tyto poznatky byly publikovány ve spolupráci s mezinárodním multidisciplinárním týmem pod vedením Prof. Igora Adameyka. Více si o tomto výzkumu můžete přečíst v časopise [Current Biology](#).



Obrázek 13: 3D rekonstrukce korálu na základě mikroCT analýzy. Bílá barva znázorňuje povrch korálu, modrá a žlutá pak složitý gastrovaskulární systém.

KONTAKTUJTE NÁS

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

www.ctlab.ceitec.cz
ctlab@ceitec.vutbr.cz
+420 541 142 875

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