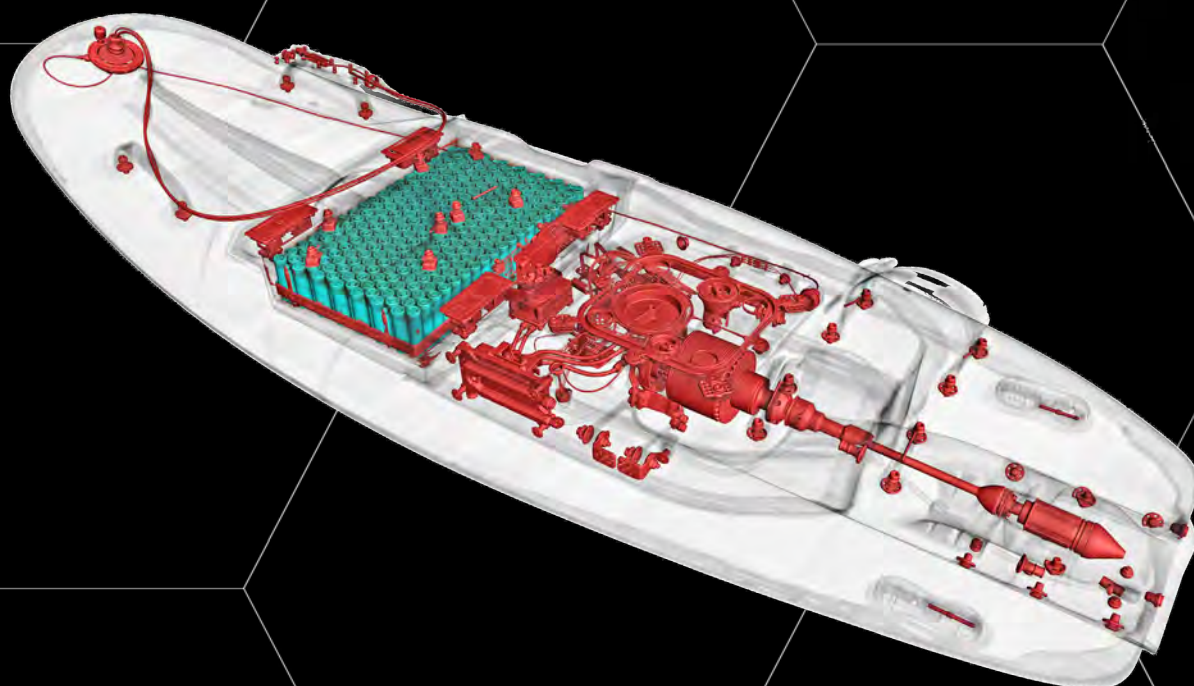




CT analýza dvoumetrového Jetsurfu na straně 2.

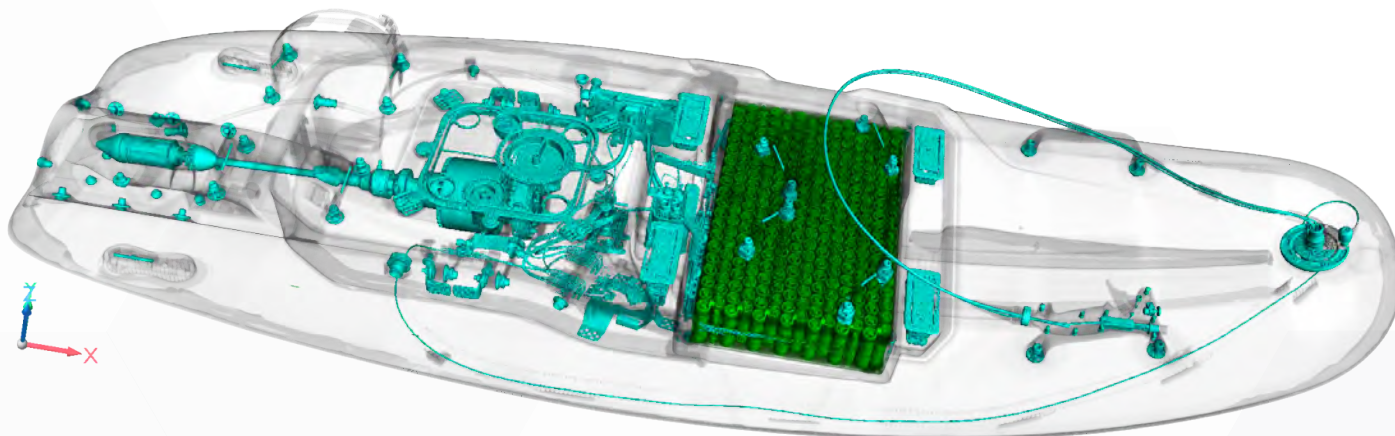
NEWSLETTER JARO 2023

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 aktivitách, včetně skenování unikátního dvoumetrového surfu poháněného elektrickým motorem. Vysvětlíme Vám, co znamená LINAC CT a ukážeme, jak vypadá rozhraní mezi dvěma částmi vzorku aditivně vyrobeného z odlišných kovů.

Příjemné čtení!

Tomáš Zikmund
Vedoucí laboratoře

TESTOVÁNÍ JETSURFU NA LINAC CT

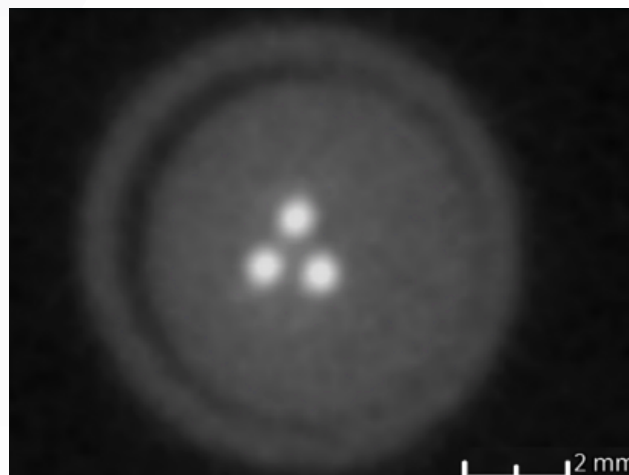
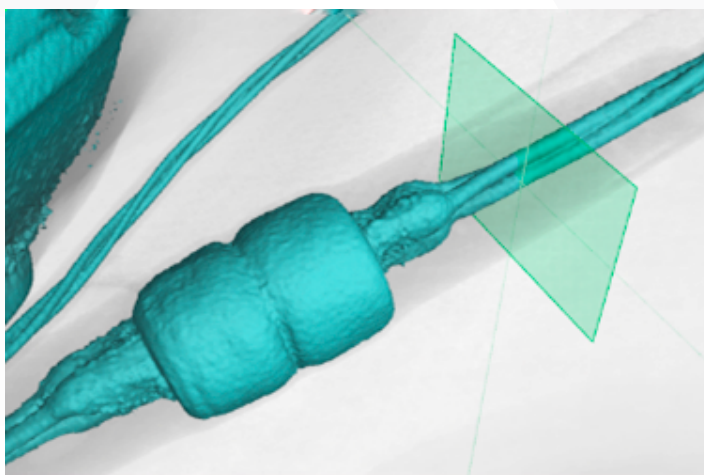


Obr. 1: 3D render naskenovaného Jetsurfu.

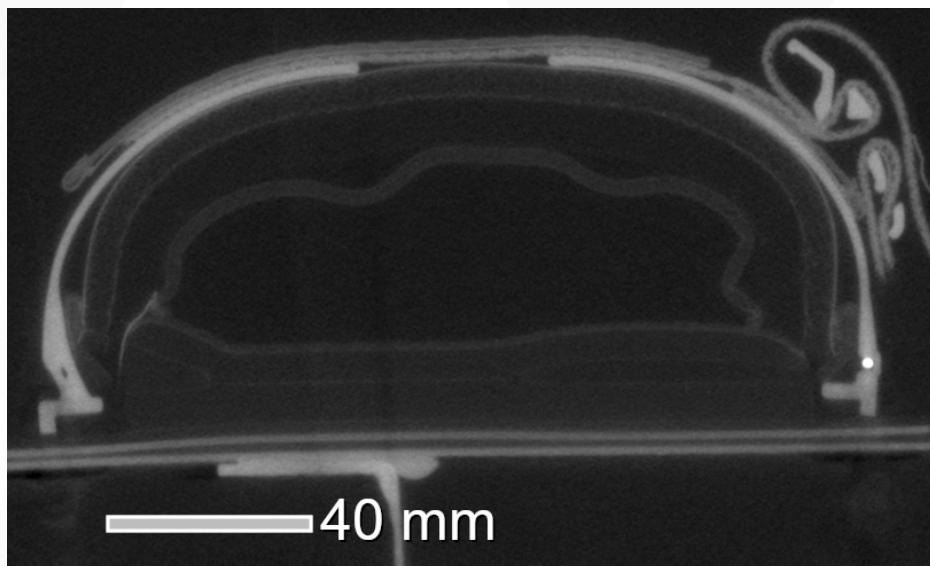
Otestovali jsme jednu z nejpokročilejších CT technologií!

Ve spolupráci s celosvětovým výrobcem CT zařízení, společností [Waygate Technologies](#), jsme pomocí speciální rentgenové počítačové tomografie na bázi [9MeV lineárního urychlovače \(LINAC CT\)](#) naskenovali celý [Jetsurf](#). Jde o dva metry dlouhý surf, který váží více než 50 kg a je poháněn elektrickým motorem. Tento surf plný různě pohltivých materiálů se skenoval přibližně 30 hodin a byl skenován na několik částí. Z měření jsme získali velice detailní data s voxelovým rozlišením 150 μm a velikosti přibližně 250 GB. Detailnost získaných dat demonstruje zobrazení svazku tří měděných vodičů o průměru 0,5 mm (Obr. 2), které jsou součástí ovládacího kabelu pro stojícího jezdce.

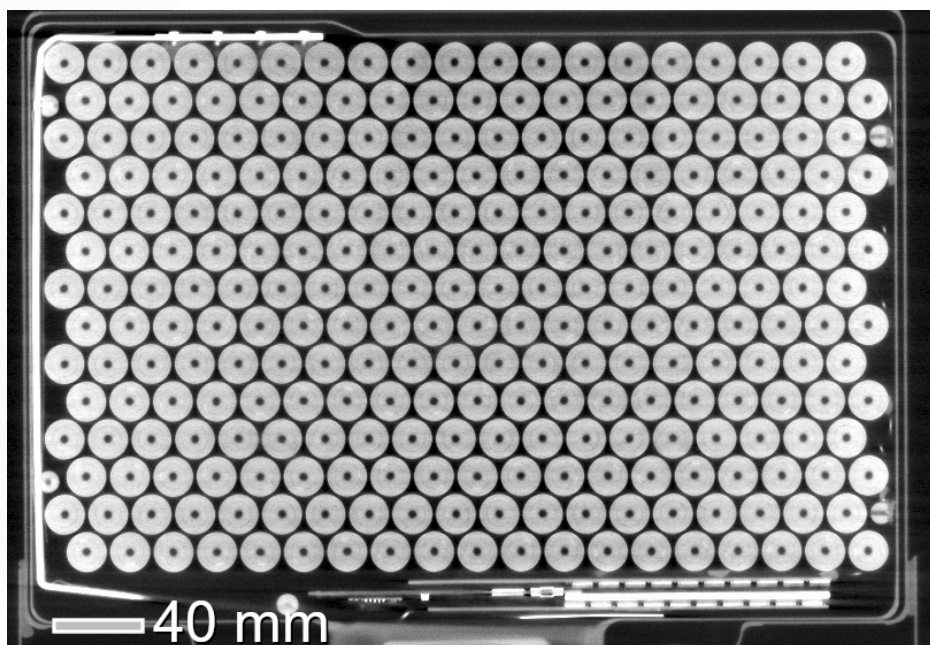
Tato technologie otevírá dveře k nedestruktivnímu testování velkých vzorků a složitých více-materiálových sestav s vysoce legovanými oceli, které bychom klasickou mikro tomografií nedokázali kontrolovat. To dokazuje i řez bateriovým modulem, ve kterém se jasně zobrazují jednotlivé cylindrické články (Obr. 4), bez přítomnosti kovových nebo rozptylových artefaktů. I přes použití vysoko-energetického RTG záření jsou lehké materiály jako karbonové tělo nebo polymery zobrazeny s překvapivě dobrým kontrastem (viz. Obr. 3).



Obr. 2: Zleva zelený referenční obrazec vybrané oblasti pro transverzální tomografický řez vodičem.



Obr. 3: Tomografický řez vázáním pro nárt nohy, které drží jezdce spojeného se surfem. Spodní část znázorňuje karbonové tělo surfu, na kterém je upevněna plastová přezka, suchý zip a pěnová podložka.

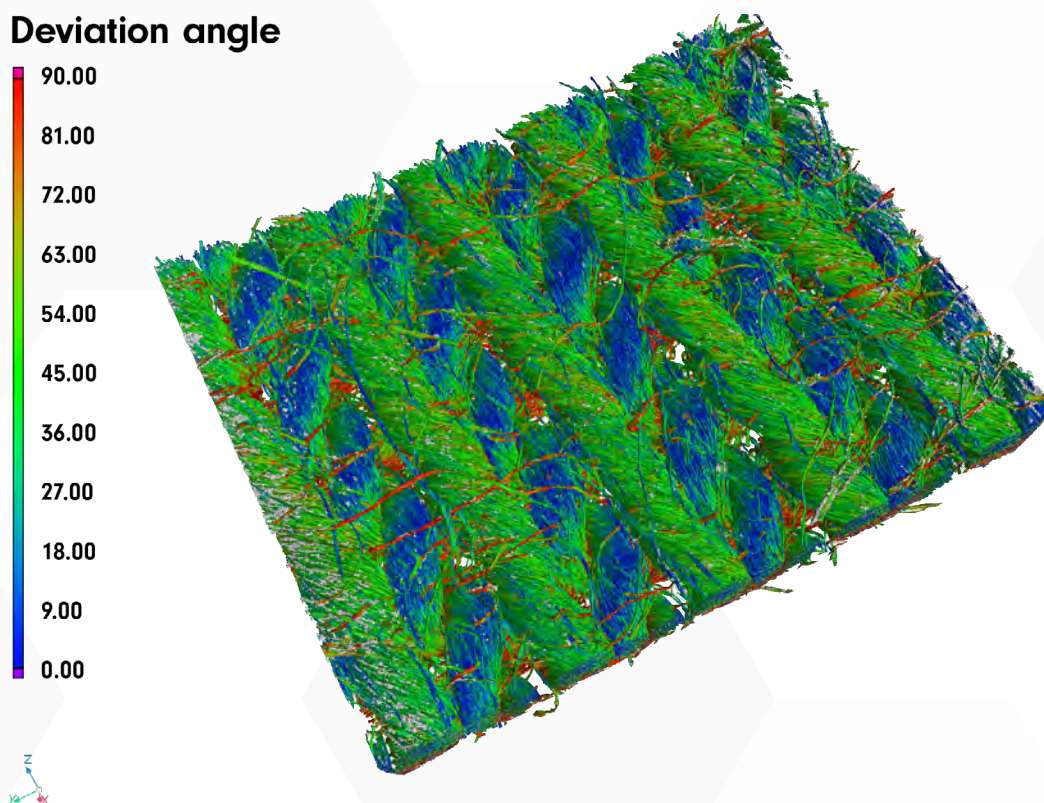


Obr. 4: Tomografický řez bateriovým modulem obsahujícím 266 Li-lontových cylindrických článků o průměru 18 mm.

Toto testovací měření je součástí přípravné fáze projektu [LINACTON](#), jehož cílem je přinést vysokoenergetickou CT technologii do České republiky a zavést ji jak v průmyslu, tak ve výzkumu.

ANALÝZA UNIKÁTNÍ TEXTILIE S CITYZEN® TECHNOLOGIÍ

Výroba bavlněných textilií je starým řemeslem, které se ovšem od původních výrobních procesů změnilo prakticky k nepoznání. Díky technologickým pokrokům je dnes možné vytvořit textilie s velmi přesně definovanými vlastnostmi. Při výrobě je klíčem k úspěchu velmi častá kontrola kvality tvořeného úpletu. Dnešní CT technologie umožňuje submikronová měření, která jsou zásadním bodem při odhalování vlastností textilie a kontrole jejích vazeb. Díky 3D datům získáváme unikátní informaci o testovaném materiálu, přičemž se tato měření stávají více populární právě v textilním průmyslu.



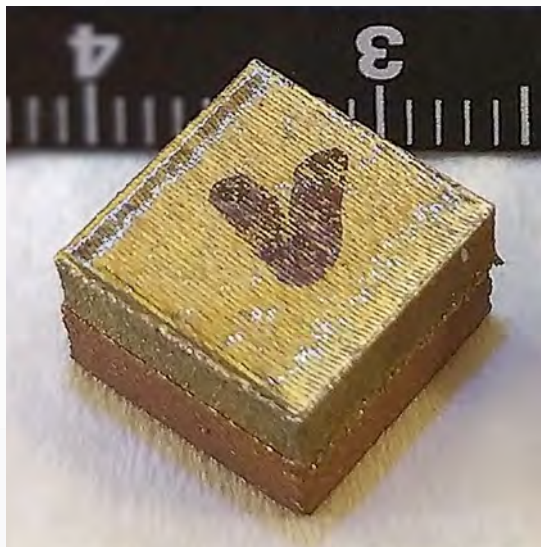
Obr. 5: Barevně znázorněná analýza orientace vláken ve 3D modelu textilie.

Pro CT analýzu jsme vybrali unikátní bavlněné úplety [CityZen®](#), které jsou populární díky svým vlastnostem. Samotná technologie je velmi složitý proces, kdy jednotlivé kroky jsou kvalitativně kontrolovány. Teplota sušení, fixace, pH zboží a rychlost, jsou parametry limitní pro pozitivní výsledek. Díky těmto procesům není při běžném nošení ani při sportovní zátěži na textilií vidět pot. Lícová vnější vrstva je navíc odpudivá pro špínu a tekutiny. Vrstva dotýkající se těla, je savá a maximálně odvádí vlhkost způsobenou tělesnou aktivitou.

V těchto pleteninách je použita dlouhovláknenná bavlna (20 tex). Vysoká kvalita dat umožňuje studium komplexní morfologie kolem vazeb. Na Obr. 5 je vidět jedolící vazba Single Jersey a provázanost příze v této vazbě. Díky vlastnostem pleteniny dochází v mezivazebních bodech k uvolňování vlhkosti a k odpařování potu. Aplikací technologie [CityZen®](#) nedochází k negativním změnám mezivazebních bodů. To znamená, že transportu potu a jeho vypařování není zamezeno.

EXPERIMENTÁLNÍ KOMBINACE KOVOVÝCH SLITIN V ADITIVNÍ VÝROBĚ

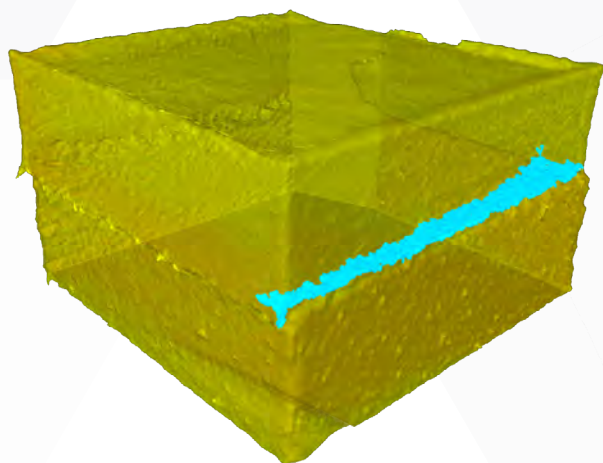
Metoda aditivní výroby SLM (selective laser melting), podobně jako jiné formy 3D tisku, umožňuje tvorbu komplexních částí s neobvyklými tvary, kterých nelze dosáhnout běžným obráběním. Výjimečnost SLM spočívá v tištění pomocí kovových materiálů, díky čemuž vyrobené části nabývají výborné vodivosti, pevnosti, tvrdosti, či jiných výhodných charakteristik. Výzkumníci z [Ústavu konstruování](#) na Vysokém učení technickém v Brně v současnosti usilují o překonání jednoho z mála limitů této poměrně mladé technologie, kterým je obtížná kombinace více různých slitin v rámci jednoho tisku. Rozhraní mezi vrstvami vytištěných materiálů může při nesprávném výrobním postupu být velmi náchylné na praskliny či rozpojení (delaminaci).



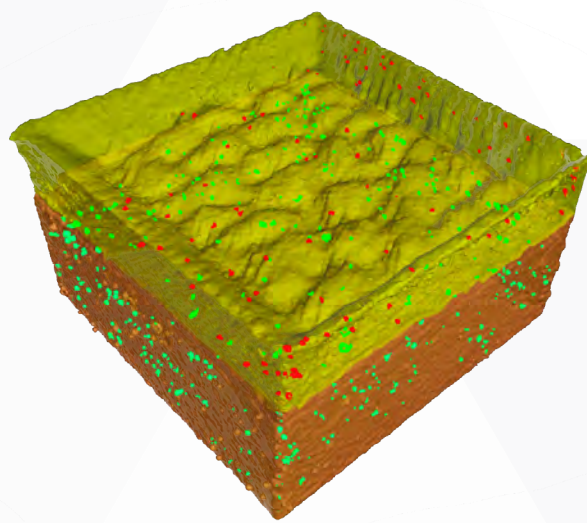
Obr. 6: Vytištěný díl.

Naše laboratoř měla možnost analyzovat dvě zkušební části vytištěné z pevné a tvrdé oceli zvané „maraging steel“ a tvrdé slitiny mědi s výbornou tepelnou vodivostí. Kombinace těchto materiálů může být využita například ve spalovacích komorách raketových motorů, kde vnitřní vrstva oceli odolá vysokým provozním teplotám a vnější vrstva slitiny zajistí odvod tepla a efektivní chlazení.

Měření těchto částí pomocí CT nám umožnilo zhodnotit oblast spoje obou materiálů v celé její šíři bez porušení integrity vzorků. U jedné části jsme tak byli schopni odhalit delaminaci a zobrazit její proměnlivou hloubku. U druhé části pak lze pozorovat rozložení pórů, které je nerovnoměrné jak mezi oběma materiály (relativní zastoupení pórů je zhruba 2.5× větší ve slitině mědi), tak i pro různé oblasti v rámci každého materiálu. Příliš velká hustota těchto pórů může oslabit pevnost výsledných částí a vést k selhání tištěného dílu. Tyto výsledky mohou pomoci identifikovat klíčové charakteristiky vytištěných rozhraní a na jejich základě zdokonalit výrobní proces SLM.



Delaminace



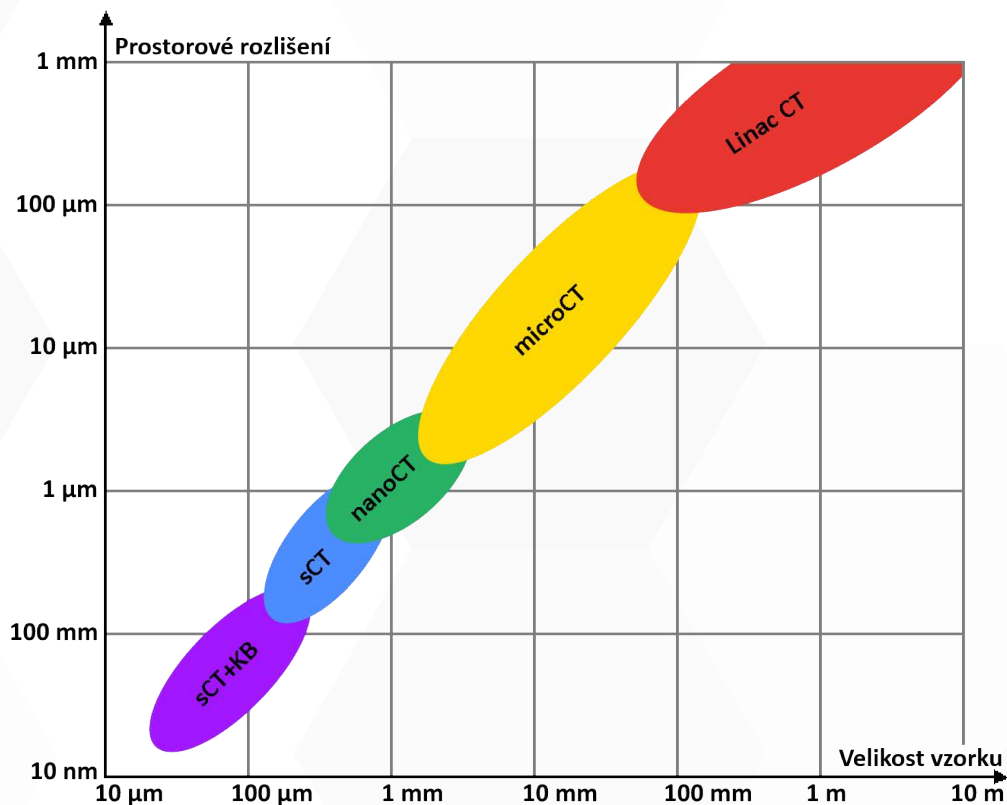
Cu slitina (0.01 % pórů)
Ocel (0.04 % pórů)

Obr. 7: Trojrozměrný model delaminace vlevo a vizualizace pórů vyskytujících se zejména podél okrajů vpravo.

LINEÁRNÍ URYCHLOVAČ JAKO ZDROJ RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ

Možnosti 3D nedestruktivních analýz se rozšiřují každým rokem. Hardware CT systémů se zdokonaluje tak, aby bylo možné dosáhnout maximálního rozlišení a skenovat větší nebo více denzní vzorky. Jednotlivé CT systémy se pak typově odlišují svým zaměřením, což se označuje názvy před zkratkou CT (Obr. 8). V současné době je skenování velkých vzorků, nebo vzorků s vysokou pohltivostí (radiodenzitou), limitováno použitím konvenčního rentgenového zdroje. Běžné rentgenové zdroje jsou omezeny urychlovacím napětím pro generování rentgenového záření, které se pohybuje typicky kolem 450 kV, maximálně až 600 kV. Skenování velkých nebo pohltivých vzorků je tak problematické kvůli nedostatečnému množství energie rentgenového záření, které by proniklo do materiálu. Řešením může být využití lineárního urychlovače (z anglického LINear ACcelerator LINAC), jako zdroje rentgenového záření, který dokáže tento limit překonat.

LINAC je typ urychlovače částic, který se používá k urychlování nabitých částic na velmi vysoké energie. Nabité částice jsou urychlovány elektrostatickým polem, které je tvořeno urychlovacími strukturami v lineárním uspořádání. Výsledkem je vygenerování vysokoenergetického svazku záření s vysokou intenzitou, což umožňuje přesné a detailní zobrazování vnitřních struktur vzorku při zachování ekvivalentního prostorového rozlišení jako u konvenčních CT přístrojů (Obr. 8). Zařízení LINAC mohou generovat rentgenové fotony s energiemi přesahujícími 1 MeV, pro účely výpočetní tomografie pak typicky 6 – 9 MeV.



Obr. 8: Srovnání velikosti skenovaného vzorku a prostorového rozlišení mezi přístroji různé konstrukce. Linac CT, mikro CT, nano CT, synchrotronové CT, synchrotronové CT využívající Kirzpatrick-Baezovu optiku.

LINAC je poměrně zavedené zařízení v lékařství pro radioterapeutickou léčbu rakoviny, a zřídka se používají také v průmyslu. Díky zvyšujícím se požadavkům v leteckém, obranném a automobilovém průmyslu přichází v posledních letech k vývoji a integraci LINAC také do CT technologie. Typickým využitím v průmyslu je pak skenování bateriových modulů, lopatek turbín z vysoko-legovaných ocelí, turbodmychadlových skříní, celých motorových bloků, skříní převodovek a rozměrných dílů aditivní výroby.

ZAHRANIČNÍ STÁŽ A SPOLUPRÁCE V JAPONSKU

Náš student Ing. Marek Zemek absolvoval šestměsíční stáž v Japonsku v rámci dlouhodobé spolupráce s firmou [Rigaku](#), pro kterou jsme aplikační laboratoří. Firma sídlí na západním předměstí Tokia a již více než 70 let se zabývá rentgenovou laboratorní technikou od difraktometrie, přes radiografii a výpočetní tomografii, až po spektroskopii. Marek se v rámci své stáže zabýval zejména eliminací artefaktů způsobených kovovými komponenty ve vzorcích, což má potenciál zefektivnit tomografická měření v automobilovém průmyslu a příbuzných odvětvích. Tato stáž rovněž znamenala obnovení pravidelných pobytů studentů naší laboratoře v Japonsku po více než dvouleté odmlce způsobené pandemií koronaviru. CT laboratoř se i po Markově návratu těší na další spolupráci s Rigaku, jak z hlediska výzkumných a vývojových témat, tak v rámci praktických aplikací našeho submikronového [CT systém nano3DX](#).

Autor: Marek Zemek

CENA WERNERA VON SIEMENSE PRO NAŠI STUDENTKU

Ing. Markéta Tesařová, Ph.D., čerstvá absolventka z naší laboratoře, byla oceněna prestižní [Cenou Wernera von Siemense](#) za třetí místo v kategorii Nejlepší disertační práce za její disertaci s názvem „[Kvantitativní 3D charakterizace biologických struktur pomocí rentgenové počítačové mikrotomografie](#)“. Současně získala i Ocenění za vynikající kvalitu ženské vědecké práce. Výsledky této práce mají dalekosáhlý význam nejen pro odbornou komunitu zabývající se zobrazovacími metodami, ale i pro samotné biologie. Díky těmto výsledkům se již podařilo například více objasnit regenerační schopnosti mloků nebo formování chrupavky a svalů u obratlovců.



Obr. 9: Slavnostní předání cen Wernera von Siemense, zleva rektor ČVUT doc. RNDr. Vojtěch Petráček, CSc.; generální ředitel skupiny Siemens Ing. Eduard Palíšek, PhD., MBA; vrchní ředitelka sekce vysokého školství, vědy a výzkumu prof. PaedDr. Radka Wildová, CSc.; vedoucí CTLAB doc. Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D. a oceněná Ing. Markéta Tesařová, Ph.D.

NOVÁ SADA NÁSTROJŮ NA PŘÍPRAVU VZORKŮ PRO SUBMIKRONOVÁ CT MĚŘENÍ

Příprava submikronových CT vzorků je velice obtížnou disciplínou, pro kterou je potřeba použít speciální nástroje, aby se tak malé vzorky nepoškodily a měření proběhlo bez komplikací. V rámci spolupráce naší CT laboratoře a společnosti [CactuX](#) vznikla Sada nástrojů [Essential Toolkit NANO](#), která tento problém řeší. Pořízení správných nástrojů zjednodušuje a zefektivňuje práci CT techniků. Díky své univerzálnosti a rozsahu použití je Essential Toolkit NANO vhodný pro širokou škálu aplikací napříč kategoriemi vzorků. Využití najde v R&D, v CT laboratořích analyzujících biologické, geologické, farmaceutické vzorky a další, kdy každá kategorie vzorků vyžaduje specifické postupy a vybavení. Sada obsahuje 18 nástrojů pro fixaci, řezání, manipulaci a uchycení vzorků. Nástroje byly zvoleny na základě dlouholetých zkušeností. Jsou bezpečné pro použití v CT systému, neovlivňují negativně proces CT měření a umožňují optimalizaci přípravy vzorků. Abychom zajistili, že vzorek nebude ovlivněn nebo poškozen prouděním vzduchu v měřicí komoře, zařadili jsme do sady také kaptonové trubičky. Ty izolují vzorek od prostředí komory, aniž by výrazně tlumily rentgenové záření. Nástroje pro fixaci vzorků jsou zastoupeny oboustrannou páskou, dentálním voskem, ale také lepidlem s vyšší viskozitou a dostatečnou pevností spoje. Sada dále obsahuje stojánky a držáky pro uchycení vzorků, a také skalpel, nůžky a další nástroje pro jejich přípravu.



Obr. 10: Essential Toolkit NANO - kompletní sada nástrojů na přípravu vzorků pro submikronová CT měření.

Autor: Petra Melicharová

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