

35 mm

NEWSLETTER PODZIM 2019

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. V tomto čísle se můžete dočíst o zajímavých analýzách, které jsme za poslední dobu na našich různých CT zařízeních provedli: kalibrace 3D vesmírné sondy, měření textilního vlákna se submikronovým rozlišením či analýza neobvykle velkého kusu meteoritu. V sekci Edukace Vám přiblížíme tomografické artefakty a v Novinkách si můžete přečíst o nových možnostech naší laboratoře, a sice v oblasti digitální radiografie na přístroji GE phoenix microme|x. Přejeme Vám příjemné čtení!

Tomáš Zikmund

Vedoucí tomografické laboratoře



CTLAB
X-ray Computed Tomography



CEITEC

Středoevropský technologický institut
BRNO | ČESKÁ REPUBLIKA

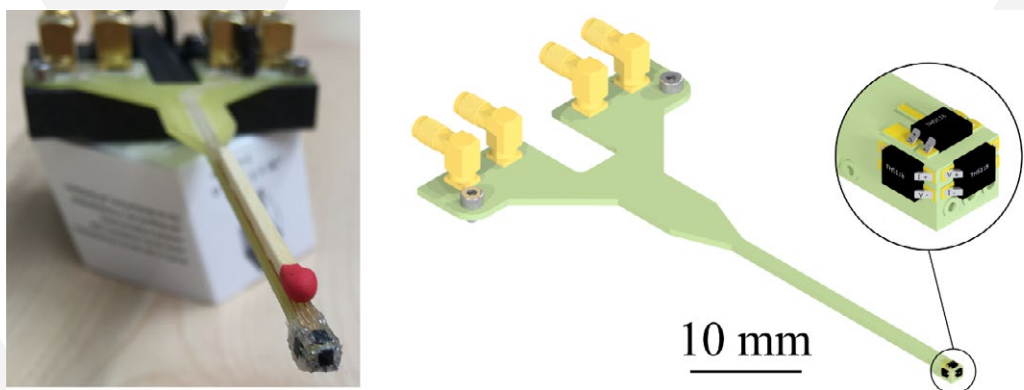
JAKÉ MOŽNOSTI CT PŘINÁŠÍ

REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ A KALIBRACE 3D SONDY MAGNETICKÉHO POLE

V rámci projektu rentgenového teleskopu agentury ESA - ATHENA sci.esa.int/web/athena získal CEITEC VUT ve spolupráci s Frentech Aerospace s.r.o. a L.K.Engineering projekt na návrh, výpočet a konstrukci pasivního magnetického vychylovače protonů pro dva detektory (X-IFU a WFI).

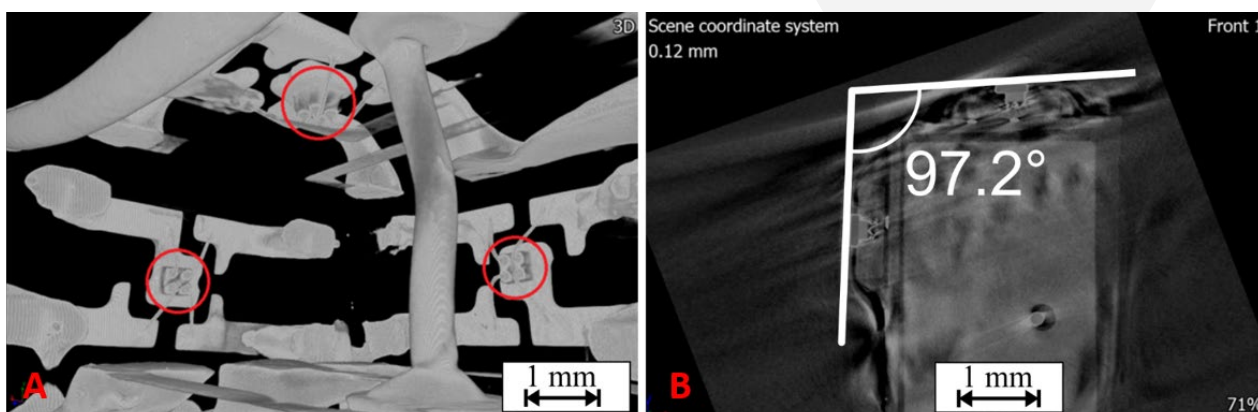
Úkolem navrženého zařízení je vychylovat vysokoenergetické protony mimo detektory, neboť by přispívaly do celkového měřeného signálu rentgenových fotonů. Koncept celého zařízení využívá speciálního Halbachova uspořádání permanentních magnetů, které klade důraz na potočení magnetizace tak, aby bylo dosaženo co největší homogenity pole v prostoru vychylovače.

Pro ověření výpočtů modelu magnetického pole v reálném vychylovači byla zkonstruována 3D Hallova sonda o extrémně malých rozměrech (Obr. 1). Malé rozměry kladou velké nároky na výrobu a náklon jednotlivých sond vůči sobě pak způsobuje chyby měření. Tyto výrobní nepřesnosti lze kompenzovat na základě znalostí o skutečném uspořádání sondy.



Obr. 1: Vlevo je zachycen obrázek reálné sondy. Pro porovnání velikosti je na sondě umístěna zápalka. Vpravo je CAD model celé sondy s detailem měřicí hlavy složené ze 3 jednotlivých měřicích elementů.

Rentgenová počítačová tomografie umožnila vytvořit celý 3D model sondy a změřit všechny relativní úhly jednotlivých elementů. Vzhledem k tomu, že aktivní oblast sondy je vyrobená z velice odlišného materiálu oproti jejímu obalu, musel být pro měření úhlů vhodně upraven kontrast tomografických řezů tak, aby došlo ke zvýraznění aktivních ploch sondy (Obr. 2). Na základě několika řezů a odměřených úhlů byl následně vytvořen analytický model, který transformací souřadnic umožnil potlačit chyby jednotlivých os. Sonda po této kalibraci může sloužit k měření magnetického pole vychylovače protonů.



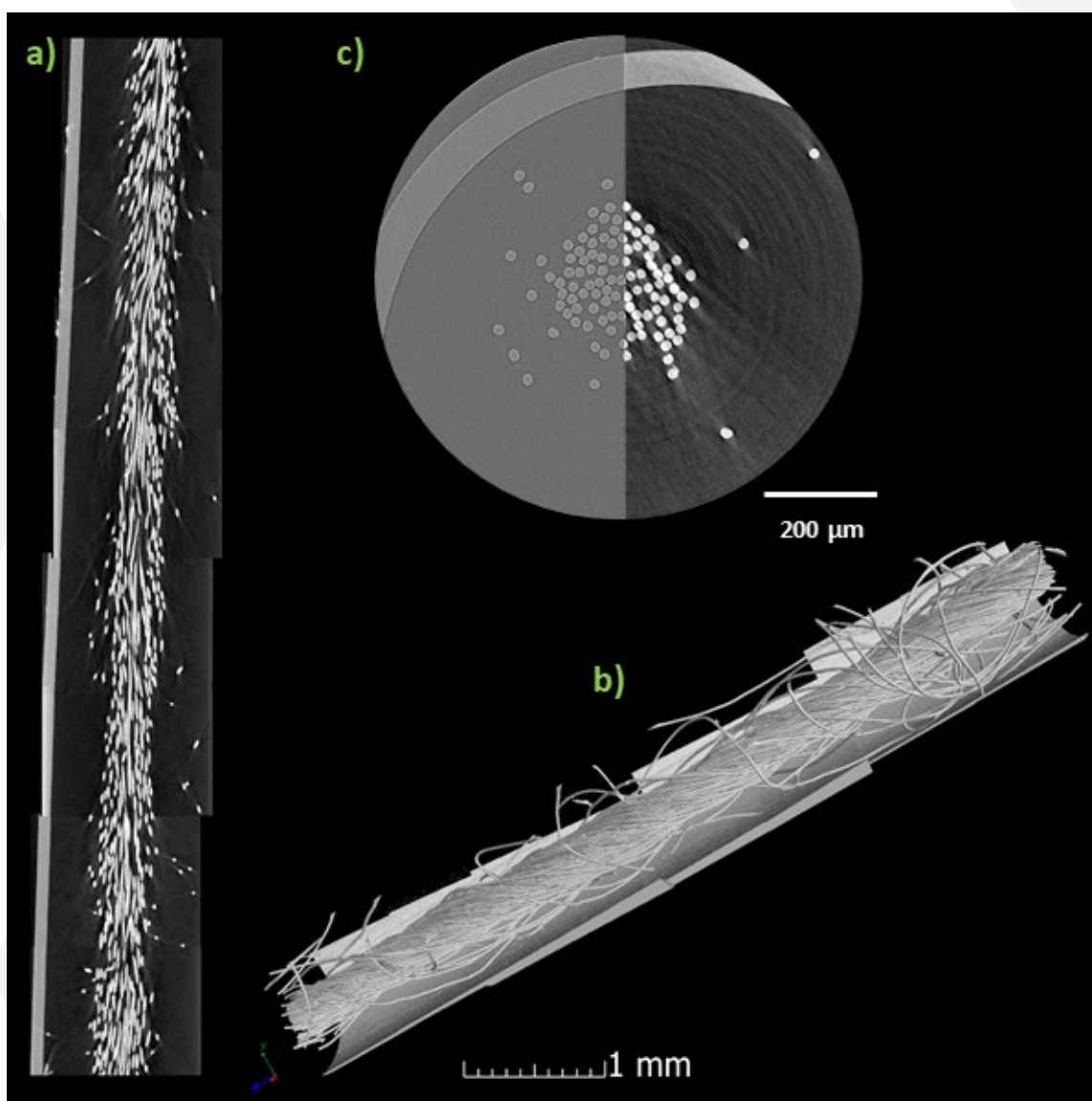
Obr. 2: A) vnitřní prostor sondy ve vysokém rozlišení (na 3D modelu v Obr. 1 je tento pohled směrem z obrázku – pozorovatel je v keramickém materiálu plošného spoje). Lze rozpoznat 500 mikrometrů velké oblasti (označené červeně), a také jednotlivé dráty propojující aktivní oblast sondy na externí obal. Kontrast pryskyřičného obalu je zcela potlačen stejně jako keramika plošného spoje. Na obrázku je možné pozorovat aktivní oblast sondy, externí kontakty či měděný plošný spoj, B) Extrahovaný řez s viditelnou dvojicí sond a odměřením relativního úhlu obou elementů.)

SUBMIKRONOVÉ CT MĚŘENÍ DÉLKOVÝCH ÚTVARŮ

V rámci spolupráce s Katedrou technologií a struktur Fakulty textilní, Technické univerzity v Liberci byla provedena tomografická analýza délkového textilního útvaru o průměru 0,5 mm a délce 5 mm s cílem sledovat vinutí jednotlivých vláken. Pro vizualizaci a detekci jednotlivých vláken délkového útvaru, jejichž průměr je cca 10 μm , bylo nutné provést tomografické měření se submikrometrovým rozlišením (tzn. velikost voxelu $\approx 0.5 \mu\text{m}$). Pro tento účel byla vyvinuta procedura zahrnující speciální fixaci vzorku, zvýšení kontrastu vláken a spojení série datasetů podél osy délkového textilního útvaru.

V prvním kroku byl vzorek zafixován do plastické trubičky, aby se zabránilo jakémukoli pohybu a také nedošlo k rozvinutí vláken. Pro CT měření byl použit systém Rigaku Nano3DX, který je pro dosažení daného rozlišení limitován velikostí zorného pole o rozměrech $0,9 \times 0,7 \text{ mm}$. Aby bylo možné pokrýt požadovanou délku vzorku, bylo nutné provést 8 CT měření s krokovým posunem vzorku ve směru osy délkového útvaru. Pro zvýšení kontrastu

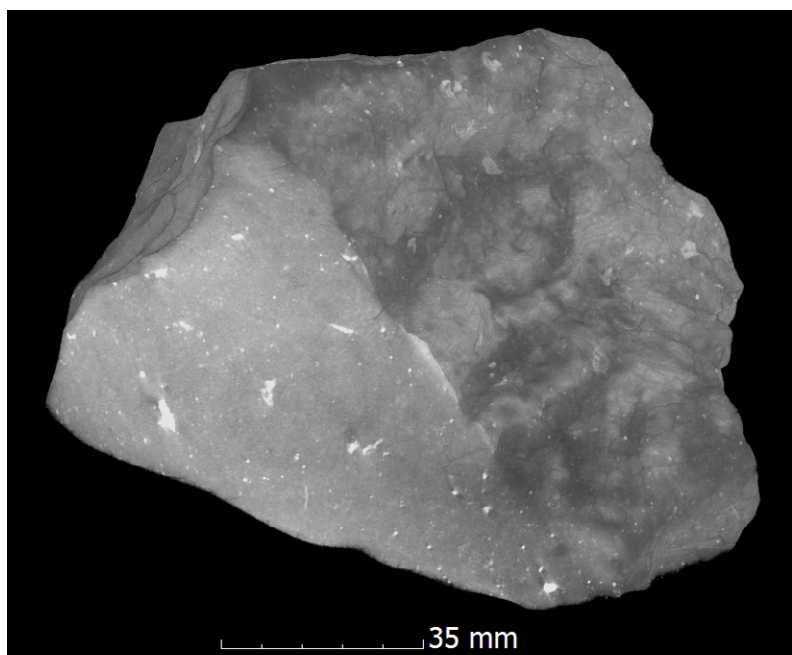
mezi vlákny a pozadím bylo využito úpravy dat pro zobrazení ve fázovém kontrastu (Obr. 3c). Výsledná CT data byla ekvalizována s cílem sjednotit jasové hodnoty mezi jednotlivými data sety (Obr. 3a) a následně byla spojena za použití registračních nástrojů ve VG Studiu MAX. 3D model vláken umožňuje studovat orientaci jednotlivých vláken (Obr. 3b).



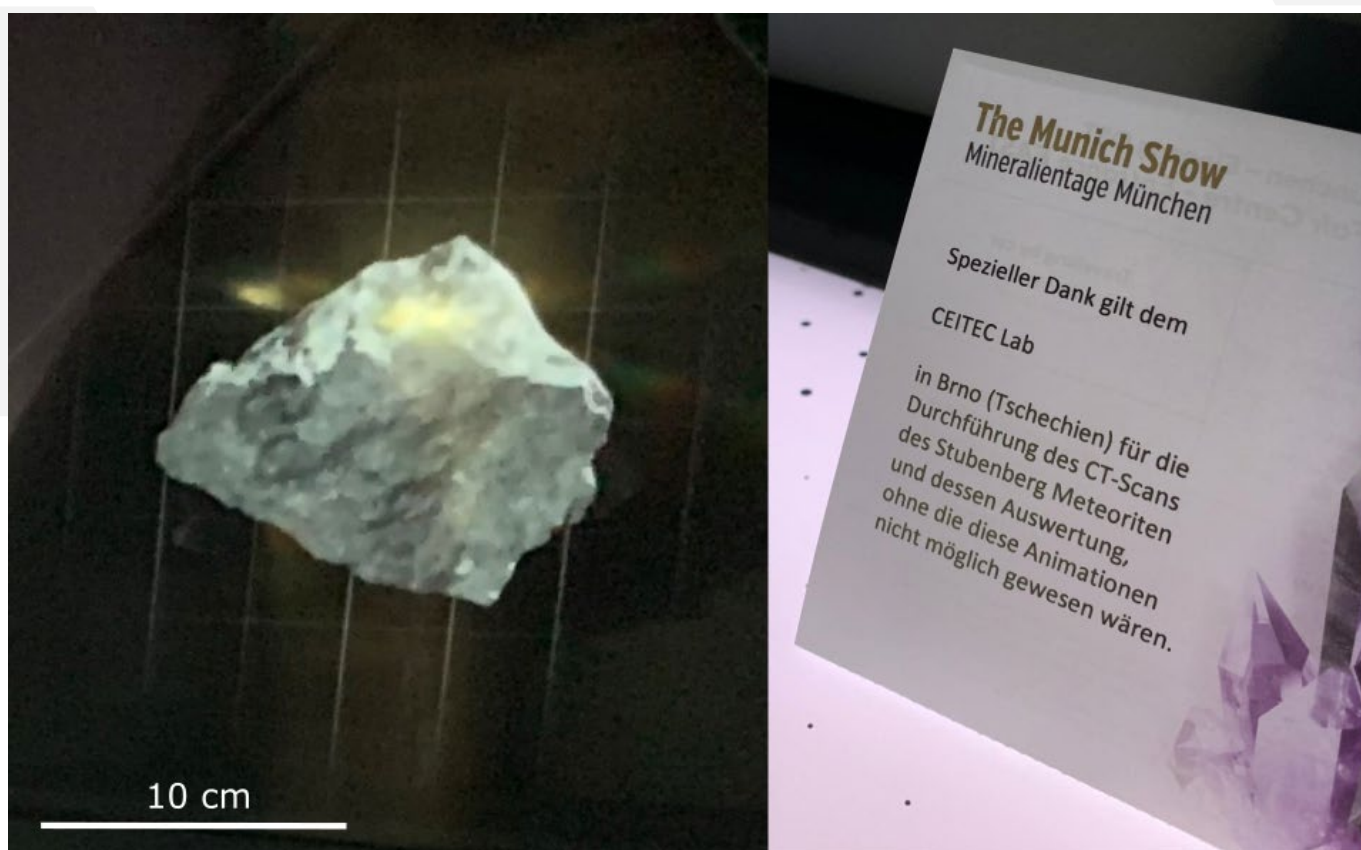
Obr. 3: Výsledky vyvinuté měřicí procedury aplikované na vzorek délkového textilního útvaru: a) podélný řez se sesazeným objemem; b) 3D zobrazení povrchu sesazeného objemu a c) srovnání zobrazení v absorpčním kontrastu (levá část) a zobrazení ve fázovém kontrastu po ekvalizaci jasových hodnot (pravá část).

CT PRO HOLOGRAM METEORITU

Pomocí microCT s voxelovým rozlišením 80 μm jsme analyzovali neobvykle velký kus meteoritu s hmotností 1320 g o rozměrech přibližně 11 \times 15 \times 4 cm. Meteorit byl nalezen v roce 2016 v blízkosti vesnice Stubenberg v Dolním Bavorsku v Německu. Cílem bylo vystavení jeho virtuálního 3D modelu v muzeu Ries-kratermuseum v Nördlingenu v Německu. Pro tento účel byl v CT datech určen povrch meteoritu a segmentovány částice kovů a sulfidů, ze kterých je meteorit složen. Tato data jsou využita pro tvorbu holografického modelu jak meteoritu, tak jeho vnitřní struktury. Návštěvník muzea pak bude moci přepínat mezi zobrazením jednotlivých struktur a bude moci vnímat komplexní složení meteoritu.



Obr. 4: Virtuální řez 3D modelem meteoritu Stubenberg, světlé oblasti prezentují kovové částice.

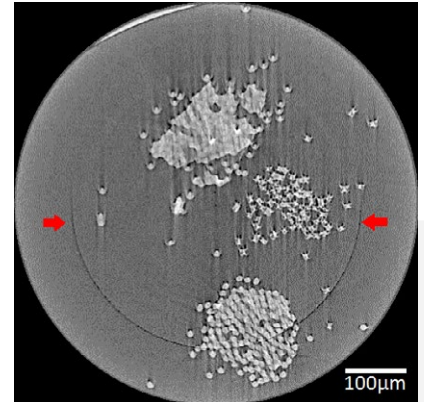


Obr. 5: 3D holografický model meteoritu vystavený na Munich Show 2019.

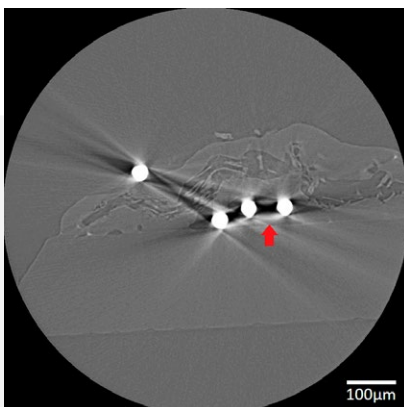
ARTEFAKTY TOMOGRAFICKÝCH SNÍMKŮ

Za artefakt můžeme považovat nežádoucí prvek obrazu, který poškozuje informaci tomografických dat. Tomografické artefakty lze dělit do několika skupin dle příčin vzniku. Mezi hlavní příčiny patří fyzikální jevy spojené s rentgenovým zářením, kompozice snímaného objektu a vlastnosti detektoru. V tomto příspěvku ukazujeme reprezentanta každé skupiny.

1. Prvním typem jsou kruhové artefakty, někdy nazývané také prstencové (Obr. 6). Jejich příčinou je změněná detekční účinnost či citlivost některého pixelu na detektoru. V obrazech se vytvoří výrazné kružnice či půlkružnice se středem v ose rotace. Větší množství kruhových artefaktů se eliminuje správnou kalibrací detektoru před každým měřením a nebo se používá změna polohy detektoru pro každý jednotlivý snímek během akvizice.



Obr. 6: Kruhové artefakty: tkanina, lineární rozměr voxelu 0,27 μm.

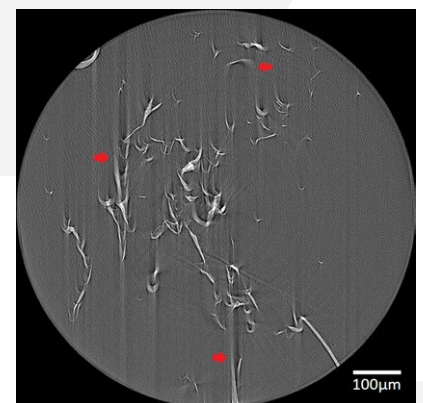


Obr. 7: Kovové artefakty: molybdenová vlákna v polymeru, lineární rozměr voxelu 0,27 μm.

2. Dalším typem jsou tzv. kovové artefakty (Obr. 7). Ty jsou způsobené především jevem „tvrdnutí svazku“, rozptylem záření na kovových částech a nedostatkem signálu na detektoru v případě, kdy se kovy překrývají ve směru rentgenových paprsků. Tyto artefakty se ve výsledných obrazech projeví především jako tmavé a světlé pruhy mezi objekty s vysokou hustotou. Mezi hlavní přístupy k redukci kovových artefaktů patří například filtrace rentgenového záření a nověji také využití duální energie, čím se naše laboratoř také zabývá. Filtrace spočívá v umístění měděné nebo cínové destičky před zářič. Filtr utlumí část spektra s nejnižšími energiemi, těžiště spektra se posune směrem k vyšším energiím. Přístup přes duální energie je založen na získání dvou datasetů, každý při jiné energii rentgenové trubice. Z nich se následně extrahují tzv. monoenergetické obrazy, u kterých jsou artefakty výrazně zredukovány.

Pro správnou analýzu naměřených dat je klíčové artefaktům v co největší míře předcházet optimálním nastavením přístroje a vhodnou volbou měřicí strategie. Až ve druhém kroku se je snažíme korigovat s použitím algoritmů obrazové analýzy.

3. Pohybové artefakty se projevují na některých místech jako světlé pruhy, uměle upravují skutečný tvar struktury a rozmazávají hrany vzorku. Proto je nutné zamezit pohybu vzorku a udržet teplotní stabilitu během celého procesu akvizice. Na správnou fixaci vzorku jsou kladeny velké nároky především při měření s rozlišením v řádu jednotek mikrometrů a méně, kde se případný pohyb v datech výrazně projeví (Obr. 8).



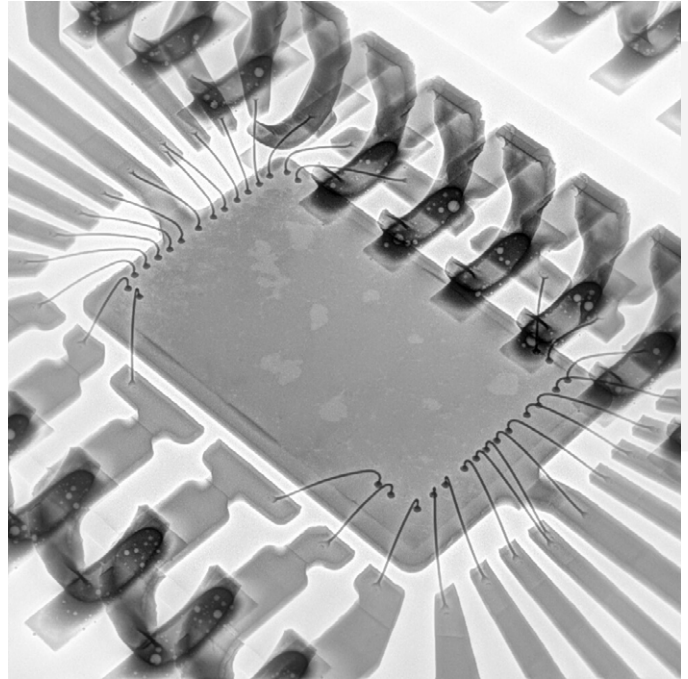
Obr. 8: Pohybové artefakty: polymerní struktura, lineární rozměr voxelu 0,27 μm.

NOVÁ EXPERTIZA PRO ELEKTRONICKÁ ZAŘÍZENÍ: GE MICROME | X

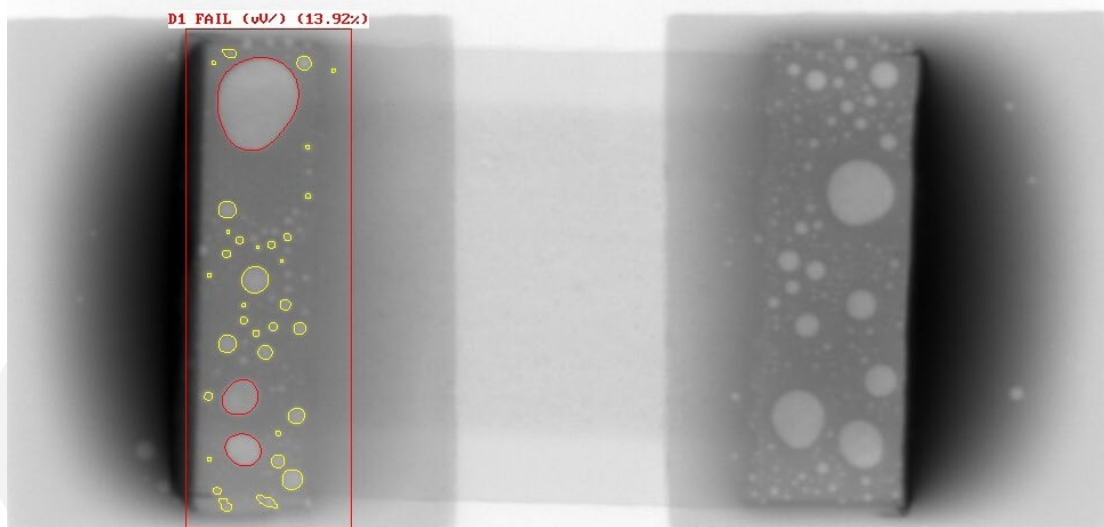
Naše portfolio expertiz v oblasti nedestruktivního testování nově rozšiřujeme o možnosti digitální radiografie (rentgenového snímkování). Toho se podařilo dosáhnout díky dlouhodobé spolupráci s firmou PBT Rožnov p.R., s.r.o., v rámci které využíváme profesionálního inspekčního systému GE phoenix microme|x (<https://www.industrial.ai/phoenix-micromex>) formou sdílené laboratoře.

Microme|x je navržený především pro inspekci složitých desek plošných spojů a SMT (Surface Mount Technology) sestav. Díky použití otevřené trubice je dosaženo vysokého rozlišení, vnitřní uspořádání zaručuje bezkonkurenční zvětšení s možností inspekce pájených plošných spojů či dokonce mikrotrhlin na kuličkách BGA (Ball Grid Array) pouzder. Maximální napětí trubice 180 kV umožňuje kontrolovat i velmi náročné desky osazené BGA pouzdry s chladiči či jiným kovovým kryty.

Pořízené rentgenové snímky jsou zpracovány unikátními nástroji s cílem zvýšení kontrastu dat a odhalení defektů. Software také umožňuje stanovit porozitu v pájených spojích. Inspekce většího množství stejných dílů lze částečně automatizovat pro účely třídění vadných dílů. Další možností je využití pokročilých metod jako je planární tomografie (laminografie), která dokáže vizualizovat vícevrstvé struktury ve 2D řezech (o této metodě více v příštím newsletteru).



Obr. 9: Filtrovaný rentgenový snímek mikročipu připájeného k plošné desce.



Obr. 10: Ukázka vyhodnocení porozity pájeného spoje z rentgenového snímku.

CERTIFIKOVANÉ ZKOUŠKY V SOULADU S AUTOMOBILOVÝMI NORMAMI

Naše laboratoř splňuje požadavky nejnovější normy IATF 16949:2016 (Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu) pro externí testovací laboratoře výrobních podniků v automobilovém průmyslu. Tato norma vznikla rozšířením normy ISO 9001 na základě požadavků výrobců automobilů na systém kvality pro návrh, vývoj a sériovou výrobu. Klade důraz na rozvoj systému managementu kvality, který je orientovaný na zlepšování, prevenci vad a snižování odchylek.

Především pak definuje pravidla využití externí laboratoře pro kontrolní, zkušební nebo kalibrační služby. Nově požaduje, aby takové zkoušky byly realizovány výhradně v laboratoři akreditované podle standardu ISO/IEC 17025. Tuto akreditaci pro zkoušku pomocí rentgenové počítačové tomografie má naše laboratoř již od roku 2016. Pro naše partnery tak můžeme nabídnout metrologická měření hned na dvou špičkových CT přístrojích (<http://ctlab.ceitec.cz/cs/akreditace/>).

KONTAKTY

Web:

ctlab.ceitec.cz

Email:

ctlab@ceitec.vutbr.cz

Telefon:

+420 541 149 867

Adresa:

CEITEC VUT

Vysoké učení technické v Brně

Středoevropský technologický institut

Purkyňova 656/123

612 00 Brno

Kontaktní osoba:

Ing. Tomas Zikmund, Ph.D.

tomas.zikmund@ceitec.vutbr.cz

+420 541 142 846