

307. Rozhovory v rámci Krystalografické společnosti - EXKURZE

„Krystalografie v jaderném údolí – od materiálů pro jadernou bezpečnost po kulturní dědictví“

1) Analytické metody (nejen) pro kulturní dědictví

a. Rentgenová prášková (mikro)difrakce, mobilní FTIR a Ramanův spektrometr (ALMA)

Akademická laboratoř materiálového průzkumu malířských děl (ALMA), společné pracoviště ÚACH AV ČR, v.v.i a AVU v Praze, se zabývá přírodovědným výzkumem oboru památkové péče a systematicky se zaměřuje na prohloubení znalostí o výtvarných materiálech a technice malby. Tyto znalosti pak začleňuje do komplexního posouzení výtvarného díla z hlediska jeho původu, stáří a autorské pravosti. Rozvíjí metody instrumentální analýzy a výsledky interpretuje v kontextu historie malířství a technologie materiálů.

Prášková rentgenová difrakce (XRPD) má v laboratoři ALMA dlouhou tradici. Jako jedna z prvních laboratoří v oblasti výzkumu kulturního dědictví začala ALMA používat laboratorní mikro-XRPD umožňující analýzu heterogenních mikro-fragmentů či jejich příčných řezů odebraných restaurátory ze závěsných či nástěnných maleb anebo polychromií. Tato technika je vzhledem ke vzorku nedestructivní a vzorek tak lze analyzovat dalšími mikroanalytickými metodami (SEM/EDS, FTIR, RAMAN ad.). V některých případech děl menších rozměrů (např. portrétních miniatur s obvyklými rozměry ca 10 cm x 10 cm) lze využít programovatelný nebo manuální stolek, a tudíž je prášková difrakce vzhledem k těmto dílům neinvazivní. Laboratoř XRPD je v současnosti vybavena 3 difraktometry firmy (Malvern-)PANalytical, které pokrývají různé typy úloh – měření v reflexním Bragg-Brentanově uspořádání či v transmisní geometrii, mikrodifrakční měření s různými typy kolimátorů, vysokoteplotní měření. K dispozici jsou konfigurace s měděnou či kobaltovou rentgenkou.

Sdílená mobilní laboratoř zahrnuje přenosná zařízení vlastněná oběma institucemi. Umožňuje provádět bodová měření *in situ* – v muzeích, galeriích, kostelích, zámcích. Analytický screening je důležitý v prvních fázích restaurování (např. sondáže) zejména v případech, kdy převoz díla není možný. Může být také součástí umělecko-historického výzkumu bez návaznosti na restaurování. V ÚACH jsou umístěny mobilní FTIR spektrometr a Ramanův spektrometr s vláknovou optikou a mobilním mikroskopem. Kromě studia reálných uměleckých děl zmíněné metody slouží ke studiu degradací malířských materiálů v modelových experimentech.

Během exkurze budou ukázány příklady výše popisovaných metod a zodpovězeny případné dotazy k metodice měření vzorků z uměleckých děl.

b. Exkurze k zařízením Laboratoře urychlovače TANDETRON (canam.ujf.cas.cz/lt)

Laboratoř urychlovače TANDETRON (canam.ujf.cas.cz/lt) je součástí Centra urychlovačů a jaderných analytických metod (CANAM). Urychlovač Tandetron 4130 MC, uvedený do provozu v roce 2005, slouží k produkci iontových svazků s energiemi v rozsahu od 400 keV do 30 MeV téměř všech prvků periodického systému. Jedná se o středněproudé (MC) provedení urychlovače s terminálovým napětím měnitelným od 200 kV do 3 MV. Produkované iontové svazky jsou využívány k analýze stopových prvků pomocí jaderných analytických metod a pro syntézu nových materiálů a strukturu, případně pro modifikaci povrchů ozařováním iontovými svazky.

Hlavním vybavením laboratoře jsou přístroje pro materiálovou charakterizaci iontovými analytickými metodami (RBS, RBS-channeling, ERDA, ERDA-TOF, PIXE, PIGE, PESA a Ion-Microprobe s laterálním rozlišením menším než 1 μm a skenovací iontovou transmisní mikroskopií STIM). Iontové svazky jsou využívány pro cílené modifikace složení, struktury a morfologie povrchů a povrchových vrstev materiálů s využitím iontové implantace, iontové litografie a iontového ozařování. Široké portfolio metod je využíváno v materiálovém výzkumu v optice, nanooptice a elektronice, bionice, sensorice, radiačním testování, dozimetrii, dopování polovodičů, v kosmických a jaderných energetických technologiích, materiálů odolných proti otěru atd. Iontová mikrosonda

je efektivně využívána pro litografii pomocí iontového svazku a pro 3D prvkové mapování v kombinaci s STIM, PIXE, PIGE a RBS.

Flexibilní instrumentace pro iontovou implantaci lze využít pro modifikace, záměrné vnesení defektů do mikrostruktury, nanostrukturování materiálů i pro testování ionizujícího záření v dozimetrii a vývoji detektorů. K dispozici je i externí svazek pro analýzy vzorků a artefaktů, které nelze umístit do vakua (např. archeologické artefakty, biologické preparáty, vakuově nestabilní materiály atd.). Iontové analytické metody se úspěšně a efektivně používají v mnoha aplikacích: interakce iontového paprsku s pevnými látkami, nanostrukturování, syntéza a charakterizace nano a mikrostruktur, kvantitativní a kvalitativní prvková analýza a zjišťování hloubkové distribuce prvků s vysokým rozlišením, charakterizace stopových prvků atd.

Parametry experimentálních zařízení laboratoře jsou plně srovnatelné s obdobnými zařízeními ve světě. Laboratoř je ojedinělá v České republice a je schopna vyhovět všem specifickým požadavkům českých i zahraničních výzkumných organizací.

Omezení: pracoviště TANDEDRON se nachází ve sledovaném pásmu, kde se pracuje s ionizujícím zářením. Vstup je zakázán osobám mladším 18 let, těhotným a kojícím ženám. K prohlídce je doporučeno přijít v uzavřené obuvi a mít dlouhé kalhoty.

2) [Exkurze k zařízením Laboratoře neutronové fyziky CANAM u výzkumného reaktoru LVR-15 \(\[canam.ujf.cas.cz/npl\]\(http://canam.ujf.cas.cz/npl\)\)](#)

Laboratoř neutronové fyziky (canam.ujf.cas.cz/npl) využívá k výzkumu horizontální svazky termálních neutronů a vertikální ozařovací kanál lehkovodního výzkumného reaktoru LVR-15, jehož provozovatelem je Centrum výzkumu Řež, s.r.o. Neutrony slouží k experimentům metodami neutronového rozptylu a pro jaderné analytické metody.

Rozptyl neutronů umožňuje studovat struktury a mikrostruktury materiálů (např. pokročilých kovů a keramik, ale i archeologických artefaktů) v různých velikostních škálách, od uspořádání atomů v krystalové mřížce až po studium heterogenit v materiálech v nano- a mikroskopických měřítcích. Vysoká prostupnost neutronů většinou materiálů dovoluje provádět tyto testy nedestruktivně ve velkém objemu materiálu a/nebo ve speciálním prostředí vzorku (nízké a vysoké teploty, mechanické zatížení). Pět neutronových difraktometrů se specializuje na práškovou difrakci (MEREDIT), mapování zbytkového napětí (SPN-100), malouhlový rozptyl neutronů (MAUD), neutronovou difrakci s vysokým rozlišením (TKSN-400) a vývoj neutronové optiky (NOD).

Jaderné reakce neutronů s hmotou se využívají k analýze koncentrací nebo koncentračních profilů prvků v pevných látkách i pro fundamentální jadernou fyziku. Neutronová aktivační analýza (NAA), hloubkové profilování pomocí neutronů (NDP), promptní gama aktivační analýza (PGAA)) jsou techniky využitelné např. v environmentálních, biomedicínských, geo- a kosmochemických oborech či v archeologii a materiálovém výzkumu.

Laboratoř neutronové fyziky poskytuje tato experimentální zařízení a související podporu také externím uživatelům v režimu otevřeného přístupu ([open access](#)).

Omezení: Pracoviště se nachází ve sledovaném pásmu, kde se pracuje s ionizujícím zářením. Vstup je zakázán osobám mladším 18 let, těhotným a kojícím ženám. K prohlídce je doporučeno přijít v uzavřené obuvi a mít dlouhé kalhoty.

3) Analytické metody pro radioaktivní materiály (max. 15 + 15 lidí) – CVŘ

a. Exkurze na horké komory CVŘ

Horké komory gama jsou určeny pro práci s radioaktivními konstrukčními materiály komponent jaderných elektráren s maximální zpracovávanou aktivitou ~300 TBq (přepočteno na energii Co60). Obvodovou stínící konstrukci tvoří ocelové bloky o maximální tloušťce 500 mm a průzory z olovnatého skla, umožňující operátorům sledování prací uvnitř horké komory. Uvnitř stínících bloků je umístěn (pro každou horkou komoru) vyjímatelný vnitřní vzduchotěsný box z nerezového plechu opatřený průhledem s krycím sklem.

Pro ozařování materiálů, produkci radiofarmak a experimenty s využitím neutronové radiografie a dalších aplikací neutronových svazků je využíván výzkumný reaktor LVR-15. Po ozáření je radioaktivní materiál transportován do komplexu horkých komor v obalovém souboru o dostatečném stínění i pro vysoce ozářené vzorky.

Přístrojové vybavení horkých komor pokrývá celý proces materiálového výzkumu, tj. od výroby vzorků ze základního ozářeného materiálu přes mechanické zkoušky, přípravu metalografických vzorků až po finální analýzu mikrostruktury. V průběhu posledních let byla v horkých komorách vybudovaná unikátní infrastruktura na testování ozářeného betonu a kameniva – přesné měření rozměrových změn, změn hustoty a pevnostních vlastností vlivem záření a evaluace změn na úrovni struktury jednotlivých komponent. Výstupy těchto analýz tvoří základ pro numerické modelování, predikci a prodloužení životnosti biologického stínění jaderných elektráren.

b. Laboratoře Centra vysoce citlivých analytických přístrojů (CVCAP)

V laboratořích Centra Vysoce Citlivých Analytických Přístrojů (CVCAP) je možné připravit vzorky z neozařených i ozářených kovových i nekovových materiálů pro následnou analýzu na transmisním elektronovém mikroskopu s vysokým rozlišením, skenovacím elektronovém mikroskopu s fokusovaným iontovým svazkem a rentgenovém difraktometru. Hlavním zaměřením centra je výzkum a vývoj materiálů využívaných v jaderné i klasické energetice. Primárně se jedná o hodnocení mechanických, fyzikálních a chemických vlastností materiálů po jejich vystavení pracovnímu nebo havarijnímu typu prostředí, jakým může být vlhkost, tlak, chemická reaktivita, mechanické napětí, radiace.

Skupina prvkové a izotopové mikroanalýzy EIMA (Elemental and Isotopic Microanalysis), která je členem Sítě analytických laboratoří NWAL (Network of Analytical Laboratories) Mezinárodní agentury pro atomovou energii IAEA (International Atomic Energy), provádí výzkum a vývoj v oboru jaderně-forenzních analýz, v rámci něhož se specializuje na analýzu mikroskopických prachových částic, zejména jejich prvkového a izotopového složení pomocí metody SIMS. Dalším zaměřením pracovníků laboratoří je analytická podpora státních a mezinárodních institucí při inspekcích jaderných materiálů a policejním vyšetřování jaderně forenzních incidentů.

Omezení: Obě pracoviště se nacházejí ve sledovaném pásmu, kde se pracuje s ionizujícím zářením. Vstup je zakázán osobám mladším 18 let, těhotným a kojícím ženám. K prohlídce je doporučeno přijít v uzavřené obuvi a mít dlouhé kalhoty.