

Ústav fyziky materiálů

Představování ústavů AV ČR, díl 3.

Tomáš Kruml¹, Jana Žďárská²

¹ Ústav fyziky materiálů AV ČR, Žižkova 513/22, 616 00 Brno; kruml@ipm.cz

² Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 00 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Posláním Ústavu fyziky materiálů je objasňovat vztah mezi chováním a vlastnostmi materiálů a jejich strukturními a mikrostrukturními charakteristikami. Prioritní je výzkum pokročilých kovových materiálů a kompozitů na bázi kovů ve vztahu k jejich mikrostruktuře a způsobu přípravy. Smyslem výzkumu je optimalizace užitečných vlastností materiálů a predikce jejich provozní životnosti teoretickými a výpočetními metodami podloženými experimenty.

Cílem seriálu o výzkumných ústavech Akademie věd (AV) ČR je představit jednotlivé výzkumné ústavy skutečně detailně a přinést vám, našim čtenářům, co možná nejvíce kompletní informace. Proto jsme se rozhodli popsat nejen vznik daného ústavu, jeho historii a zaměření, ale požádali jsme o rozhovor o výzkumném zaměření instituce a také vizích i jeho ředitele.

V tomto díle seriálu^{1,2} o ústavech AV bychom vám rádi představili Ústav fyziky materiálů (ÚFM), který sídlí v ulici Žižkova 513/22 v Brně. Historie ÚFM se datuje od roku 1955, kdy byl začleněn do tehdy nově vzniklé Československé akademie věd. Od té doby je neustále rozvíjen až do dnešní podoby. V současné době zaměstnává 165 pracovníků, z toho nadpoloviční většinu tvoří pracovníci s vědeckou kvalifikací a doktorandi.

Ústav vznikl z Laboratoře pro studium vlastností kovů, která byla založena v roce 1955 jako součást Čes-



Obr. 2 „Myslím si, že ÚFM je dlouhodobě mezinárodně známé pracoviště s vědci, kteří mají světovou úroveň,“ připomíná Tomáš Kruml.

koslovenské akademie věd. V roce 1963 byl název změněn na Ústav vlastností kovů a v roce 1969 na Ústav fyzikální metalurgie. Nynější název byl přijat v roce 1994. V roce 2007 byl změněn statut ústavu na veřejnou výzkumnou instituci.

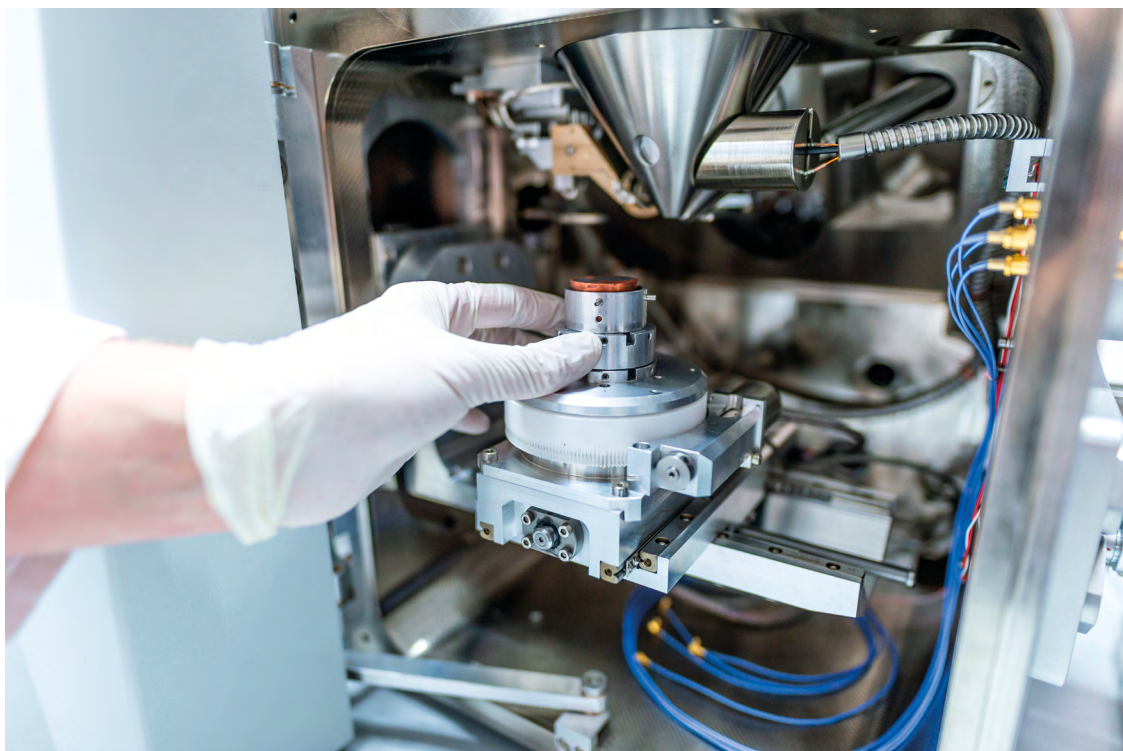
Zakladatelem a zároveň prvním ředitelem ústavu byl prof. Dr. Ing. Přemysl Ryš, DrSc.³ V čele ústavu se doposud vystřídal šest ředitelů – tím současným je prof. Mgr. Tomáš Kruml, CSc.

Ústav se člení na dvě vědecká oddělení a jedno oddělení servisní. Vědecká oddělení se dále rozdělují na celkem osm vědeckých skupin. „Oddělení mechanických vlastností se skládá z pěti vědeckých skupin. Je zaměřeno na výzkum fyzikální podstaty procesů probíhajících v materiálech během creepu, únavy, jejich spolupůsobení a dalších případů mechanického zatížení. Vlastnosti materiálů jsou zkoumány v relaci k technologickému postupu při jejich přípravě a k mikrostruktuře a jejím změně v průběhu působení vnějších sil. Významnou částí naší činnosti je i vývoj nových materiálů a spolupráce s průmyslovými podniky,“ připomíná Tomáš Kruml. Pozornost je věnována materiálům vyrobeným aditiv-



Obr. 1 Ústav fyziky materiálů AV ČR sídlí v Brně a vznikl v roce 1955, kdy byl začleněn do vzniklé Československé akademie věd.

- ¹ Jana Žďárská: Ústavy AV ČR a jejich výzkum. *Čs. čas. fyz.* 75, 51–52 (2025).
- ² Martin Pivokonský, Jana Žďárská: Ústav pro hydrodynamiku. *Čs. čas. fyz.* 75, 248–255 (2025).



Obr. 3 Přístrojové vybavení ÚFM je na velmi vysoké úrovni. Na snímku komora jednoho z elektronových mikroskopů.

ními technologiemi, materiálům využívaným v medicíně či pokročilým materiálům využívaným v dopravě, energetice a stavebnictví.

Oddělení experimentálních studií a modelování struktury se zaměřuje na teoretické víceúrovňové modelování vlastností a chování materiálů v různých pracovních režimech, na experimentální ověření těchto vlastností a na charakterizaci struktury materiálů pomocí nejnovějších technik elektronové a světelné mikroskopie a dalších analytických technik. Zkoumány jsou také termodynamické, difuzní, elektrické a magnetické vlastnosti materiálů a jejich vztah ke struktuře. Výzkum je zaměřen také na nové nanomateriály či přípravu vysoce kvalitních vzorků pro mikroskopické studie či kalibraci špičkových mikroskopů.

ÚFM spolupracuje s řadou organizací zabývajících se výzkumem a vývojem v České republice a zejména v zahraničí. S průmyslovými partnery probíhá spolupráce na projektech aplikovaného výzkumu a na bázi hospodářských smluv. Pokud byste chtěli zjistit více informací, naleznete je na webových stránkách ústavu <https://www.ipm.cz/> a také v přehledné publikaci ústavu na https://www.ipm.cz/wp-content/uploads/2025/03/IPM_Infra_2024_cz.pdf.

Vášeň pro výzkum materiálů

Rozhovor s Tomášem Krumlem z Ústavu fyziky materiálů AV ČR

V následujícím rozhovoru s Tomášem Krumlem budeme diskutovat především o zacílení probíhajícího výzkumu, ale i o tom, co tento výzkum společnosti přináší a jak může pomoci každému z nás. A přidali jsme i několik osobních otázek k dokreslení vize člověka, který od roku 2022 stojí v čele této důležité vědecké instituce.

■ **Jana Žďárská:** Ústav fyziky materiálů vedete od roku 2022. Jak dlouho jste předtím na ústavu působil a pracoval jste i v jiných vědeckých institucích?

Tomáš Kruml: S přestávkami jsem na ústavu celou svoji profesní kariéru, začal jsem zde už jako diplomant. Tyto přestávky trvaly více jak osm let, ve kterých jsem pracoval na vynikajících zahraničních vysokých školách. Působil jsem šest let na École Polytechnique v Lausanne (EPFL) ve Švýcarsku na Oddělení fyziky. Má práce byla zaměřena především na elektronovou mikroskopii a studium mechanismů deformace u intermetalik typu Ni_3Al . Tato chemicky uspořádaná slitina má velmi zajímavé a netypické vlastnosti, například v poměrně velkém intervalu teplot její pevnost roste (nikoli klesá, jak bychom očekávali) se zvyšující se teplotou. První dva roky jsem zde pracoval jako postdoc a následující čtyři roky jako asistent. Poté jsem byl v konkursu vybrán na místo univerzitního profesora na École des Mines v Nancy ve Francii. Po dvou letech jsem ale z rodinných důvodů podal rezignaci a vrátil se do Brna na Ústav fyziky materiálů AV ČR.

■ **JŽ:** Jakých bylo zmiňovaných šest let na École Polytechnique Fédérale v Lausanne ve Švýcarsku a co pro vás tato dlouhodobá zahraniční zkušenost znamenala?



Obr. 4 Z vernisáže k výstavě Geniální materiál, která ukazuje moderní materiálový výzkum včetně jeho aktuálních výzev.



Tomáš Kruml (*1966, Kroměříž) vystudoval obor Fyzika pevných látek na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Doktorské studium absolvoval v oboru Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálů. Pracoval 6 let na École Polytechnique v Lausanne, Švýcarsko, na Oddělení fyziky, zaměřením elektronová mikroskopie a studium mechanismů deformace u intermetalik (2 roky postdoc, 4 roky asistent). Ve 37 letech byl vybrán v konkursu na místo univerzitního profesora na École des Mines, Nancy, Francie. Po dvou letech podal z rodinných důvodů rezignaci a vrátil se do Brna na Ústav fyziky materiálů AV ČR. Do roku 2011 působil jako vědec ve skupině Nízkocyklové únavy, poté byl stále více zapojen do řízení vědy a administrativy. Jedno období byl členem Akademické rady AV ČR s odpovědností za koordinaci spolupráce AV ČR s GA ČR a dalšími poskytovateli financí pro vědecké projekty a také spolupráci s průmyslovou sférou. Působil rovněž ve Výzkumné radě TA ČR a od r. 2022 je ředitelem Ústavu fyziky materiálů AV ČR.

Odborně se věnuje výzkumu mechanismů deformace a poškození u moderních kovových materiálů a elektronové mikroskopii a je spoluautorem asi 200 vědeckých článků. Tato témata přednáší magisterským studentům na MUNI a VUT.

S manželkou Andreou mají dva syny a jednoho vnoučka, žijí v Brně.

TK: Byla to pro mě ta nejkrásnější životní zkušenost. EPFL a ETH v Zurichu jsou dvě nejlepší švýcarské vysoké školy. Do Lausanne jsem přijel v roce 1996 a měl jsem velké štěstí na svého vedoucího – prof. Jean-Luc Martin a vedoucí mé disertační práce prof. Jaroslav Polák jsou dodnes mými velkými vzory jako vědci i jako lidé. Škola byla výborně vybavená, řešili jsme zajímavá témata. Úžasní byli studenti – prestiž školy zajišťovala, že se o studium ucházeli ti nejlepší a nejmotivovanější. Velké poučení také plynulo z toho, jak je společnost organizovaná; v některých ohledech myslí Švýcaři úplně jinak než Češi. V Lausanne jsme žili s manželkou a našimi syny, kteří se tam naučili francouzsky. Chodili jsme často na náročné výlety do hor, a tím jsem synům zřejmě hory nadosmrti zprotivil. Ale bylo to krásné.

■ JŽ: V roce 2003 jste byl jmenován profesorem na École des Mines v Nancy. Co pro vás znamenalo působit ve Francii a jak se vám tam s rodinou žilo?

TK: Skupina prof. Martina byla při jeho odchodu do důchodu rozpuštěna. Lichotilo mi, že jsem ve 37 letech vyhrál konkurz na místo univerzitního profesora na další prestižní škole. Francie je krásná země na letní či zimní dovolenou; při našem pokusu o integraci k nám však prostředí moc vlnivé nebylo a po dvou letech jsme se raději vrátili do Brna. Co se týká výzkumu, ve Francii máme řadu známých vědců, se kterými spolupracujeme. Francouzi jsou nám povahově bližší

než Švýcaři, včetně podobného smyslu pro humor. Mají často zajímavé nápady, ale jsou i bonviváni, takže věci trvají trochu déle, než by měly. Hodně strašidelné bylo setkání s francouzskou administrativou – české úředníky jsem chtěl po návratu nosit na rukou.

■ JŽ: Myslíte, že je možné na základě těchto vašich zkušeností porovnat vědu ve Švýcarsku, Francii a v České republice?

TK: Myslím že ano. Máme světově uznávané odborníky, a když vyšleme naše doktorandy na postdoc pobyt, jsou schopni výborně fungovat i ve špičkových skupinách. Myslím, že úroveň české vědy, alespoň v oblasti materiálového výzkumu, je na světové úrovni. Rozdíl je v organizaci vědy; bylo by skvělé, kdyby na zahraniční stáže „na zkušenou“ vyjeli i naši úředníci a politici, kteří vědu řídí...

■ JŽ: Přemýšlel jste někdy o tom, že byste mohl stanout v čele Ústavu fyziky materiálů?

TK: Můj skvělý předchůdce prof. Ludvík Kunz mě přesvědčoval poměrně dlouho, abych po něm převzal vedení ústavu. Dalo mu to dost práce – nechtělo se mi úplně opustit vědu a zároveň jsem si uvědomoval, jak velkou odpovědnost bych na sebe vzal.

■ JŽ: Co vás nakonec přesvědčilo k tomu, abyste tuto nabídku přijal?

TK: To, co nakonec rozhodlo, byla skutečnost, že si o našem ústavu myslím, že jde o skutečně vynikající pracoviště se skvělými vědci. Vnímám jsem, že je na mně řada, abych mu věnoval svůj čas a zkušenosti, které jsem získal jak v zahraničí, tak při práci v Akademické radě AV ČR.

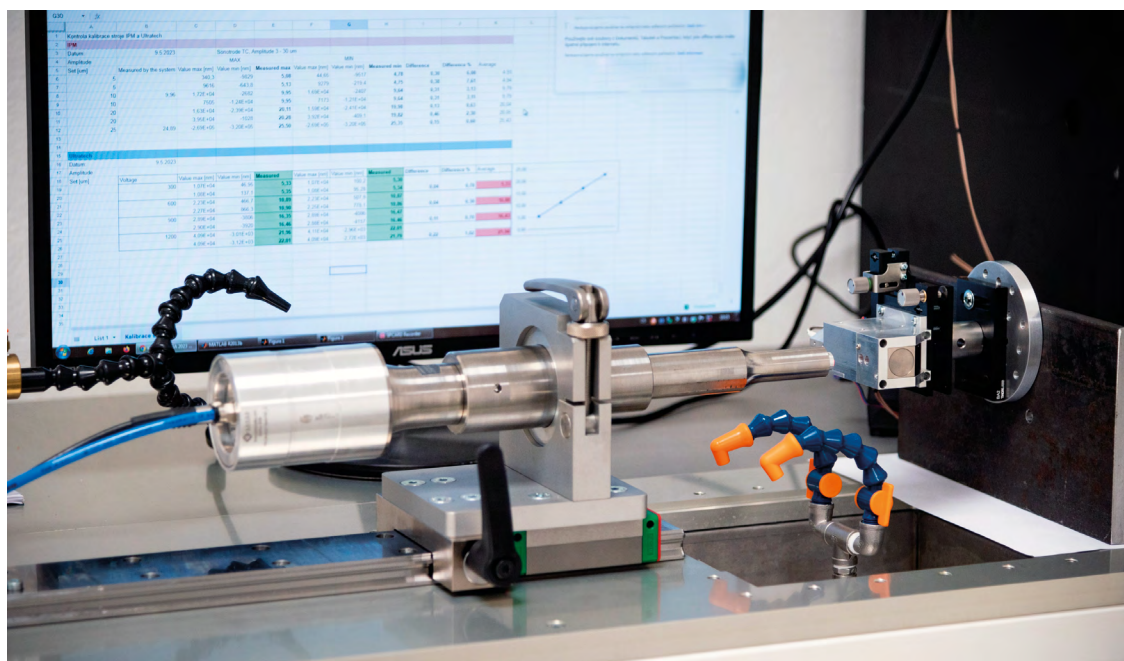
■ JŽ: S jakými plány a vizemi jste na pozici ředitele ÚFM vstupoval?

TK: Měl jsem a mám jen dvě priority: zaprvé snažit se o excelentní úroveň vědy na našem ústavu. Myslím si, že ÚFM je dlouhodobě světově známé pracoviště s vědci, kteří mají světovou úroveň. Na pozici ředitele se snažím jim poskytnout co nejlepší podmínky k vědecké práci. A mojí druhou prioritou je mít na ústavu příjemné, vstřícné pracovní prostředí.

■ JŽ: Vedete významný výzkumný ústav a stojíte tak v čele výzkumu fyziky materiálů v České republice. Zajímá vás se o přírodní vědy již od malička, nebo jste nějakým jiným způsobem k vašemu současnému profesnímu zaměření směřoval?



Obr. 5 Výstava Geniální materiál nabídla i řadu interaktivních exponátů – návštěvníci si mohli vyzkoušet, jak přenášejí zátěž různé tvary mostů – fotoelasticimetrie zde umožňuje vidět rozložení napětí v materiálu.



Obr. 6 Přístroj vlastní výroby pro gigacyklovou únavu dokáže rozvibrovat vzorek frekvencí 20 000krát (20 kHz za sekundu).

TK: Přírodní vědy mě skutečně bavily od malička, rád jsem četl popularizační články a knihy o vesmíru, elementárních částicích, velkých objevech ve fyzice (relativita, kvantová mechanika), i když jsem samozřejmě tehdy ještě máločemu rozuměl. Mám velkou radost, že na ÚFM díky doc. Janu Klusákovi je velmi aktivní skupina popularizující naši práci. Při dnu otevřených dveří i při jiných příležitostech mají jejich vystoupení vždy velký ohlas a třeba v nějaké škole povinně slečně nebo hochovi již zažehla podobnou zvědavost.

■ JŽ: Vystudoval jste obor Fyzika pevných látek na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Nastal v době vašich studií okamžik, kdy jste zjistil, že se vám věda skutečně stane profesním „osudem“?

TK: Měl jsem velké štěstí, že jsem si domluvil diplomovou práci na tehdejší Ústavu fyzikální metalurgie (ČSAV) pod vedením prof. Jaroslava Poláka. Jeho znalosti, nadhled, mezinárodní prestiž, ale i přístrojové vybavení a skvělá vědecká úroveň celého ústavu mě nadchly natolik, že jsem pokračoval na ÚFM doktorským studiem – a jsem tu dodnes.

■ JŽ: Ještě než se začneme věnovat jednotlivým oblastem výzkumu na ÚFM, mohl byste v několika větách shrnout, jakým způsobem je výzkum na vašem ústavu důležitý pro společnost a jak může pomoci běžným lidem?

TK: Materiál je pevná látka, ze které se chystáme vyrobit něco užitečného. Materiály jsou doslova všude a jejich vývoj znamenal milníky ve vývoji lidstva. Často je vyvinutí nového materiálu podmínkou nutnou pro kvalitativní posun společnosti; např. vývoj pevného hliníku umožnil rozvoj letectví, technologie výroby monokrystalů Si bez defektů umožnila vývoj mikroelektroniky a počítačů. Na každodenní bázi spolupracujeme s našimi průmyslovými partnery, ať už v rámci projektů TA ČR nebo jiných, nebo při řešení nenadálých problémů.

■ JŽ: Jak pobíhají realizace větších výzkumných projektů a jaké jsou jejich výsledky?

TK: Během těchto akcí jsme např. vyvinuli novou metodiku pro návrh náprav vysokorychlostních vládků, spoluvyvíjeli jsme nové materiály pro rotory leteckých turbín, vyvíjeli nové materiály pro pokrytí paliva v jaderných elektrárnách nebo různá zařízení pro vědeckou komunitu sloužící pro mechanické zkoušky nebo jako příslušenství k elektronovým mikroskopům. Stává se nám, že k nám někdo přiběhne se zlomenou součástkou a otázkou – proč se to stalo? Zakázek pro průmysl, od relativně jednoduché analýzy lomové plochy až po analýzy vyžadující velké soubory testovaných vzorků, jsme loni řešili kolem osmdesáti. Řada těchto spoluprací je již systematická, a tak jsme připravili společný projekt PSSITE z výzvy OP JAK Meziresortní spolupráce, ve kterém realizujeme platformu pro ještě užší a efektivnější spolupráci s našimi častými průmyslovými partnery a naším nejčastějším akademickým partnerem VUT v Brně.



Obr. 7 „Když mě můj předchůdce prof. Ludvík Kunz přesvědčoval, abych po něm převzal vedení ústavu, dlouho jsem váhal. Nechtělo se mi úplně opustit vědu a zároveň jsem si uvědomoval, jak velkou odpovědnost bych na sebe vzal. Ale vnímal jsem, že je na mně řada, abych ústavu věnoval svůj čas a zkušenosti, které jsem získal jak v zahraničí, tak při práci v Akademické radě AV ČR.“



Obr. 8 Některé přístroje, např. zatěžovací stroje pro vysokoteplotní zkoušky v creepu, si vědci sami vyrábějí a nabízejí do dalších laboratoří.

■ *JŽ: Jaké je oborové zaměření ÚFM? Mohl byste nám přiblížit, jakému výzkumu se vaši vědci věnují?*

TK: Hlavním (a zdaleka ne jediným) předmětem zájmu našeho vědeckého výzkumu jsou moderní kovové slitiny a jejich mechanické vlastnosti. Velkou výhodou ÚFM je, že všechny skupiny se zabývají vlastně podobným tématem – vlastnostmi materiálů, ale každá z trochu jiného pohledu. Vzájemně se tak mohou doplňovat a spolupracovat, jak v následujícím textu uvidíme.

■ *JŽ: Na ÚFM působí několik výzkumných skupin. Některé z nich se zabývají mechanickými vlastnostmi materiálů, jiné se dotýkají experimentálních studií a modelování struktur. Jednou z nich je skupina Vysokocyklové únavy. Čím se zde vědci zabývají?*

TK: Únavou materiálů se rozumí postupné poškození součástky kvůli opakovanému namáhání. Únava je tedy všude tam, kde se něco opakovaně zatěžuje, točí se, vibruje, mění se teplota – a to je skoro všude. Proto se uvádí, že únava je příčinou nebo alespoň jednou z příčin zhruba 80 % průmyslových havárií.

■ *JŽ: Kdy se vědci začali tímto „fenomémem“ poprvé zabývat? Kdy si toho všimli?*

TK: První setkání s únavou materiálů zažili němečtí inženýři v 19. století, když s překvapením zjistili, že se jim lámou železniční nápravy. Vlastnost únavového procesu je totiž taková, že mnoho opakovaných cyklů vede k malým, ale nevratným změnám v mikrostruktuře materiálu, ke vzniku trhliny, jejímu šíření a nakonec lomu. Únava si přitom spolehlivě najde nejslabší místo vzorku nebo součástky – nejčastěji nějaký defekt nebo vrub. Zde platí přísloví o řetězu, který je tak pevný jako jeho nejslabší článek. K lomu pak dojde i při překvapivě malých silách.

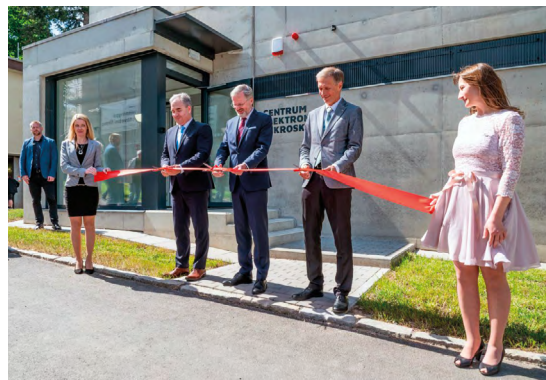
■ *JŽ: Mohl byste specifikovat, pro které obory je znalost únavové životnosti materiálů nejdůležitější?*

TK: Znalost únavového procesu a předpověď zbytkové životnosti je mimořádně důležitá v dopravě, zejména letectví – tam jde skutečně o životy. Například první komerční dopravní letoun s proudovým motorem de Havilland DH.106 Comet byl nasazen do provozu v roce 1952. V dalším roce hned tři tato letadla s pasažéry spadla kvůli únavovému lomu. Skupina Vysokocyklové únavy se zaměřuje právě na predikci únavové životnosti a má velmi úzké spolupráce s průmyslem. Kolegové například pomáhali svými výpočty firmě Bonatrans, výrobci železničních dvojkolí, v evropské certifikaci jejich dvojkolí pro vysokorychlostní železnice.

■ *JŽ: Jakými výzkumnými úkoly se zabývají vědci ve skupině Strukturní integrity cyklicky namáhaných materiálů?*

TK: I tato skupina se zabývá únavou, ovšem z více fyzikálního pohledu. Kromě únavové životnosti se kolegové zabývají zkoumáním deformačních mechanismů na úrovni atomů a snaží se odpovědět na otázky, proč je tento materiál odolnější než jiný. Hodně přitom využívají elektronovou mikroskopii a mají úzké spolupráce na vývoji nových materiálů. Jedna taková úspěšná spolupráce s kolegy z RWTH Aachen proběhla v rámci evropského projektu topAM⁴, a podílelo se na něm 13 institucí a firem. Šlo o výrobu prototypů dílů pracujících za vysokých teplot a v silně korozním

4 <https://www.aspire2050.eu/topam>



Obr. 9 Slavnostního otevření nové budovy, určené pro elektronovou mikroskopii, se zúčastnili i premiér Petr Fiala a předseda AV ČR Radomír Pánek.

prostředí metodou 3D tisku. Na našem ústavu probíhaly únavové, creepové a další zkoušky a také charakterizace materiálu a jeho chování při zatížení pomocí elektronové mikroskopie.

■ *JŽ: Zmiňujete pojmy jako creep, creepové mechanismy či creepové zatěžování. Mohl byste nám přiblížit, co všechno se pod tímto slovem skrývá?*

TK: Anglický termín creep se do češtiny někdy překládá jako „tečení“. Jde o nežádoucí deformaci materiálů typicky při vysoké teplotě, kdy např. difuzí atomů dochází k velmi pomalým, ale nezastavitelným deformacím součástky – až do jejího lomu nebo nepříjemné změny tvaru. Např. lopatky v turbínách leteckých motorů musejí mít délku co nejbližší rozměru komory – ale nesmí o ni škrtnat; s jejich postupným creepováním, tedy prodlužováním díky působení odstředivých sil, je

potřeba počítat už při návrhu motoru. Mimochodem, tyto lopatky jsou vyrobeny z takzvaných superslitin, speciálního materiálu pro velmi vysoké teploty obsahující tu zvláštní fázi Ni_3Al , o které jsme již mluvili. I tak je jejich teplota tání nižší než teplota spalin ve spalovací komoře – krásný úkol pro materiálový výzkum a inženýrský návrh!

■ *JŽ: Creepem se zabývá skupina perspektivních vysokoteplotních materiálů. Mohl byste nám objasnit, které materiály lze označit jako perspektivní a v jaké souvislosti?*

TK: Tato skupina se zabývá chováním materiálů za vysokých teplot, tedy především výše zmiňovaným creepem. Oblast vývoje materiálů schopných pracovat za vysokých teplot je v materiálové vědě „evergreen“ – stále živé téma. Jakýkoli posun pracovních teplot výše znamená větší efektivitu termodynamických cyklů, úsporu energie a tím i pomoc naší planetě. V současnosti jsou možná nejslibnější třídou nových materiálů ty zpevněné oxidickou disperzí (ODS materiály, tj. zpevněné velmi hustou disperzí malinkých oxidů o velikosti jednotek nanometrů), které tato skupina sama vyvíjí.

■ *JŽ: Jak bychom si mohli konkrétně představit creepové zkoušky a jaké je pro jejich provádění potřeba technické vybavení?*

TK: Princip je celkem jednoduchý: vzorek se zahřeje na zvolenou teplotu (nejčastěji 800–1 200 °C), zatíží se (např. pákovým mechanismem) a měří se průběh jeho prodloužení. Nejcennější zkoušky jsou ty, které trvají dlouho, ideálně roky – takže zatěžovacích strojů potřebujeme hodně. Sami si je na ústavu vyrábíme, máme jich okolo 50 a tyto stroje chceme i komerčně prodávat.

■ *JŽ: Další významnou výzkumnou skupinou ÚFM je skupina křehkého lomu. Jaký výzkum se skrývá pod tímto označením?*

TK: V této skupině se kolegové zabývají otázkami pevnosti, deformace a lomu kovových, keramických a kompozitních materiálů. Mají od letošního roku



Obr. 10 Petr Fiala si vyzkoušel ovládání nového elektronového mikroskopu. Na minci jsme mu vyryli český státní znak ve velikosti 10 mikrometrů.

novou „hračku“ – multimateriálovou tiskárnu, která umožňuje soutisk dvou materiálů, například kovu a keramiky. Jsou výborní i v řešení aktuálních problémů našich průmyslových partnerů.

■ *JŽ: Skupina s nejdelším jménem má akronym FRAC-TIGUE. Co se děje právě za jejími pomyslnými dveřmi?*

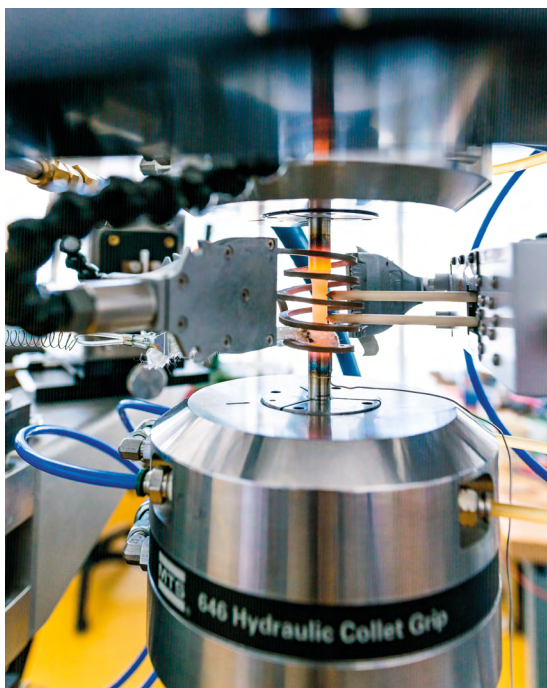
TK: I tato skupina má ve své „genetické výbavě“ problém únavy materiálu. Jde o skupinu, která se nedávno osamostatnila ze skupiny vysokocyklové únavy, specializují se na materiály používané ve stavebnictví a na gigacyklovou únavu.

■ *JŽ: V Oddělení experimentálních studií a modelování struktury působí skupina elektrických a magnetických vlastností. Čeho se týká tento výzkum?*

TK: Tato skupina je momentálně ve velkém rozletu. Zajímají ji především magnetické vlastnosti a kombinuje experimentální a výpočetní postupy. V oblasti modelování používá ty nejnáročnější techniky: metody kvantové mechaniky, využití AI a také kvantových počítačů. V oblasti kvantových počítačů je rozhodně mezi nejpokročilejšími týmy v ČR. Kolegové posílají výpočty na kvantové počítače na MIT a vedoucí skupiny Dr. Martin Friák koordinuje za ČR využívání strojového času na kvantovém počítači firmy IBM.



Obr. 11 Pavel Baran, Ilona Müllerová a Jiří Kotek, členové Akademické rady AV ČR při slavnostním otevření Centra elektronové mikroskopie.



Obr. 12 Rychlý indukční ohřev vzorku při únavových zkouškách umožňuje měnit zátěž i teplotu vzorku – data z tzv. termomechanické únavy jsou důležitá pro určení životnosti součástek.

■ **JŽ:** Pojdme nyní nahlédnout do zaměření skupiny víceúrovňového modelování a měření fyzikálních vlastností. Na co se zde badatelé specializují?

TK: Tato skupina se částečně zaměřuje na nanomateriály, a to opět jak experimentálně, tak pomocí simulací. Pracují také na tématech zlepšení vlastností polovodičů a mají přesah do materiálů pro lékařství. Konkrétně se jim podařilo vyvinout metodu syntézy nanočástic oxidů železa, které mají až třikrát lepší účinnost při léčbě rakoviny tzv. hypertermií než typické nanočástice.

■ **JŽ:** Mohl byste nám přiblížit, jak taková léčba probíhá?

TK: Nanočástice se dopraví (např. injekcí) do oblasti rakovinného nádoru a kolem se vytvoří vysokofrekvenční magnetické pole. Nanočástice se rozkmitají a místo lokálně zahřejí. Rakovinné buňky jsou méně odolné při zvýšení teploty než zdravá tkáň a odumřou tedy jako první.

■ **JŽ:** Další výzkumnou skupinou v oblasti experimentální je skupina struktury fází a termodynamiky. Jaký výzkum si pod tímto názvem můžeme představit?

TK: Skupina je světově známá v oblasti termodynamických výpočtů a simulací, tj. výpočtů termodynamických diagramů. Silnou aktivitou této skupiny je vývoj materiálů pro uskladnění vodíku.

■ **JŽ:** Možnost ukládání vodíku v pevných látkách⁵ představuje alternativu k ukládání vodíku v kapalné nebo plyné formě. Na jaké materiály se soustřeďujete? A je to lepší cesta než ukládání vodíku v kapalné či plyné formě? V této oblasti je dopad vašeho výzkumu na běžného člověka doslova hmatatelný – v souvislosti s elektromobily, že?

TK: Toto je samozřejmě obrovské téma. Pokud by se podařilo vyvinout metodu uskladňování energie, všechny ty větrníky a soláry by rázem dostaly smysl. Jak jste zmínila, s vodíkem jako palivem se experimentuje v dopravě, ale má také potenciál právě v uskladňování energie, kdy by se při přebytečných elektrické energie vodík vyráběl, skladoval a později využíval. Jenže vodík je velmi malá molekula, která v plynném stavu proniká do materiálů a způsobuje jejich křehnutí. Kapalný vodík má teplotu 20 K, což také způsobuje technologické problémy. Další možností, kterou se zabývá tato skupina, je absorbovat vodík do práškových materiálů, tedy vytvořit hydridy. V jednotce objemu je takto možné uskladnit více vodíku než v kapalné nebo plyné formě a je to zřejmě i bezpečnější způsob – tady zase můžeme myslet i na ta vodíkem poháněná auta.

■ **JŽ:** Jak jsme již zmínili výše, výzkum na ÚFM se prolíná i s lékařstvím, kde se zabýváte také problematikou materiálů pro bioaplikace. Jaký pokrok v tomto odvětví vidíte?

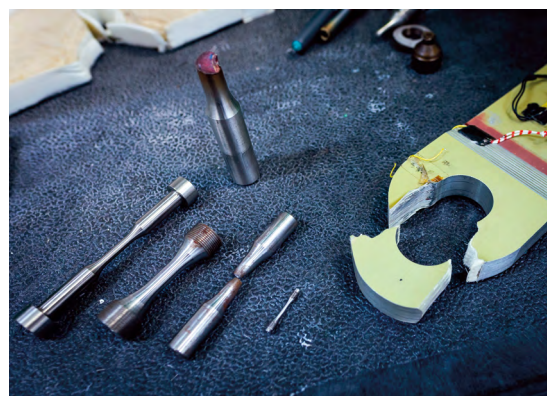
TK: Co se týká implantátů, existují prověřené materiály – nerezavějící oceli a slitiny Ti. Nabízejí se možnosti 3D tisku s výrobou „náhradních dílů“ na míru. Poměrně intenzivně jsme pracovali na problému degradace stentů, což jsou tenké struktury roztahující např. cévy – vyráběné ze slitiny NiTi, která je známá svou tvarovou pamětí. To je pěkné materiálové téma.

■ **JŽ:** Jak probíhají testy a experimenty týkající se únavových zkoušek? Mohli bychom začít u popisu zkoušek nízkocyklových?

TK: Zkoušky nízkocyklové únavy (tedy zkoušky, kdy vzorek praskne dříve než za 100 000 cyklů) provádíme nejčastěji na servohydraulických strojích. Pohyb pístu, který namáhá vzorek, je možné libovolně řídit; můžeme tedy např. měnit velikost namáhání, zařadit prodlevy, můžeme třeba sejmout zatěžovací spektrum na podvozku letadla při přistání a pak vyzkoušet, kolik „přistání“ materiál vydrží.

■ **JŽ:** Dalším typem únavových zkoušek jsou zkoušky vysokocyklové. Jak se dá vyzkoušet tak velké množství cyklů?

TK: Vysokocyklová oblast je oblast mezi 100 000 a 10 000 000 cyklů. K dosažení tak velkého počtu cyklů se používají rezonanční stroje, kde je vzorek uveden do rezonance se zatěžovacím systémem, kmitá frekvencí typicky 200 Hz a je možné se v reálném čase tedy



Obr. 13 Dokážeme si poradit s materiálovými vzorky různých tvarů i velikostí.

5 J. Žďárská: Ukládání vodíku v pevných materiálech. Čs. čas. fyz. 74, 462–464 (2024).



Obr. 14 Elektronový mikroskop Lyra brněnské firmy TESCAN, ověšený detektory.

dostat k požadovaným 10 milionům cyklů. Vše umíme provést v rozsahu teplot od $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

JŽ: *Zabýváte se též vývojem vlastních zařízení pro gigacyklové (vysokocyklové) únavové zkoušky. Jak tato zařízení pracují?*

TK: Využívají možností rozvibrovat vzorek pomocí ultrazvuku na frekvenci typicky $20\,000\text{ Hz}$, čímž se dostáváme právě do gigacyklové oblasti. Kolegové si jeden takový stroj koupili. Byl ovšem tak poruchový, že výrobce rychle zkrachoval a kolegové museli vlastními silami postupně opravit na stroji téměř všechno. S touto znalostí a ve spolupráci s firmou Ultratech pak postavili dva vlastní stroje pro gigacyklovou únavu s některými originálními prvky – také tyto stroje chceme nabízet k prodeji.

JŽ: *Vědci ÚFM se zabývají i vývojem zcela nových materiálů a slitin. Jakých úspěchů jste v této oblasti dosáhli a mohl byste nám přiblížit například některé nově vyvinuté slitiny?*

TK: Uvedu pro demonstraci pouze jeden z několika případů, jak je výzkum na ÚFM provázáný. Kolega Dr. Jiří Svoboda již několik let vyvíjí materiál s pracovním jménem FeAlOY – chemické složení Fe, Al a Y_2O_3 . Materiál připravuje práškovou metalurgií s řadou technologických kroků; cílem je materiál, který má levné vstupy, je vyladěný pro použití za extrémně vysokých teplot ($1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$), kde Al zajišťuje korozivzdornost a nanoxidy yttria pevnost (ano, je to ten ODS materiál, o kterém jsme již hovořili). U vyrobené varianty materiálu určí mechanické vlastnosti (pevnost, tvrdost, únavové vlastnosti, creepovou odolnost), charakterizuje mikrostrukturu na našich elektronových mikroskopech a zapojí různé simulační výpočty. Poté upraví

některý technologický krok a vyrobí další variantu své slitiny. Do vývoje tohoto materiálu tak může zapojit celý ústav.

JŽ: *Co je na celém takovém vývoji materiálu nejtěžší?*

TK: V tomto speciálním případě je nejtěžší přesvědčit Jiřího, aby už přestal experimentovat, vybral tu nejlepší variantu z těch více než 100 vyzkoušených a připravil její materiálový list, abychom mohli zkusit materiál uplatnit na trhu. Už dnes má tento vyvíjený materiál pro aplikace při teplotách $1\,100\text{--}1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ nejlepší creepovou odolnost ze všech známých kovových materiálů.

JŽ: *Mohl byste nám objasnit, jak funguje demonstrační laboratoř Zwick a jaké má vybavení?*

TK: Firma Zwick vyrábí mimo jiné tvrdoměry. My jsme poskytli místnost, firma Zwick v ní instalovala svoje tvrdoměry. Případný zájemce k nám může přijít, přístroje si prohlédnout a my mu proměříme jeho vzorky. Poskytneme také odbornou konzultaci, založenou na našich dlouholetých zkušenostech. Za to můžeme na přístrojích provádět sami bezplatně měření. Skutečnost, že máme na ústavu moderní zařízení zadarmo, které servisuje někdo jiný, se mi jako řediteli velmi líbí! Jen více demonstračních laboratoří.

JŽ: *ÚFM je významně zapojen do relevantních platform výzkumu, jako je špičkové výzkumné centrum CEITEC a velké projekty MEBIOSYS a MATUR. Jak tato spolupráce probíhá?*

TK: To je téma na dlouhé povídání, ale stručně řečeno je tato spolupráce velmi dobrá. ÚFM je jedním ze zakládajících členů CEITECu, brněnského výzkumného centra, které propojuje čtyři velké brněnské univerzity. Společně s VUT v Brně tvoříme „materiálovou“ část tohoto centra. Díky CEITECu jsme začali dale-



Obr. 15 „S elektronovým mikroskopem je nutné zacházet v rukavičkách – a to doslova...“ připomíná Tomáš Kruml.



Obr. 16 Ovládat transmisní elektronový mikroskop vyžaduje hluboké teoretické znalosti; uplatňuje se jak kvantová mechanika, tak speciální teorie relativity. Zobrazovacích a analytických technik je dnes mnoho a rozlišovací schopnost těchto přístrojů je lepší než vzdálenost atomů v pevné látce.

ko více spolupracovat na společných výzkumných tématech, máme možnost využívat přístrojové vybavení výzkumné infrastruktury CEITEC Nano a rozšířili jsme také vlastní přístrojové vybavení. Máme možnost podílet se na formulování PhD studia CEITEC PhD School, kam také přenášíme poznatky z vlastního výzkumu a samozřejmě také školíme doktorské studenty CEITEC VUT. MEBIOSYS a MATUR jsou dva velké projekty z Operačního programu Jan Ámos Komenský – Špičkový výzkum, zaměřené na materiálový výzkum. V rámci těchto projektů spolupracujeme s řadou významných českých univerzit na aktuálních tématech z oblasti ukládání energie, na vývoji materiálů s nižšími environmentálními dopady nebo materiálů využitelných ve zdravotnictví.

■ **JŽ:** ÚFM se také podílí na realizaci dílčích projektů národních center kompetence TAČR (NCK MESTEC a NCK STROJÍRENSTVÍ), která jsou více zaměřena na kooperaci s průmyslovou sférou. Mohl byste nám tuto oblast působení ústavu více objasnit?

TK: Tato centra zastřešují menší projekty s průmyslovými partnery. Téma našeho výzkumu má ke strojírenství i k „Mechatronice a chytrým technologiím pro strojírenství“, jak zní celý název centra MESTEC, velmi blízko. Domnívám se, že jsme v obou centrech platnými a oceňovanými partnery.

■ **JŽ:** Letos v květnu jste slavnostně otevřeli novou budovu s názvem Centrum elektronové mikroskopie⁶. Co bylo impulsem pro její zbudování a jaké technologie se v ní nacházejí?

TK: Elektronová mikroskopie je fascinující oblast. Elektrony, kterými zkoumáme látku, jsou urychleny

na rychlosti blízké rychlosti světla se všemi relativistickými efekty. Při interakci se vzorkem se chovají spíše jako vlny, takže využíváme vlnové jevy, jako difrakce a interference. Rozlišení těchto přístrojů je lepší, než je vzdálenost mezi atomy v pevné látce; můžeme proto přímo vidět umístění atomů, ale také typy defektů a jejich vlastnosti v materiálech, které zkoumáme. Mikroskopy, které používáme, jsou stále přesnější a kvalitnější, ale také mají větší nároky na místnost, vibrace, odrušení magnetických polí atd. Nová budova a nákup tří nových mikroskopů v posledních letech znamená, že ÚFM je dnes jedním z nejlépe vybavených pracovišť pro elektronovou mikroskopii v materiálových vědách v ČR.

■ **JŽ:** Vy sám se zaměřujete na mechanismy plastické deformace kovů, únavu materiálů a elektronovou mikroskopii. Co vás na vaší vědecké práci nejvíce zajímá a těší?

TK: Dříve mě nejvíce bavilo, když jsme se rozhodli prozkoumat nějakou dosud neznámou oblast chování materiálů – např. proč malá příměs nějakého prvku podstatně mění pevnost materiálu, jaký je mechanismus, jak by šel využít, optimalizovat. Příznám se, že dnes mě nejvíce těší, když vidím svoje bývalé studenty, jak si skvěle vedou na stážích v zahraničí, jak si budují své výzkumné týmy, případně jak se uplatnili mimo akademickou obec v průmyslu.

■ **JŽ:** V období 2013–2017 jste byl členem Akademické rady AV ČR, kde jste byl mimo jiné pověřen koordinací rozvoje inovací a transferu technologií do aplikační a podnikatelské sféry. Jak byste zpětně hodnotil svoje působení na této důležité pozici a jaká zlepšení či inovace se vám podařilo prosadit?

TK: Ve zmíněných letech byla AV vnímaná podnikatelskou sférou včetně Svazu průmyslu jako zbyteč-

⁶ <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2025/cislo-5/videt-znamenava-vedet.html>

ná organizace, která se zabývá nějakým tím neužitečným základním výzkumem. Věnovali jsme s kolegy, zejména s prof. Jiřím Drahošem a prof. Josefem Lazarem, velké úsilí, abychom ukázali řadu běžících spoluprací mezi pracovišti AV a průmyslovými podniky, abychom přesvědčili i politiky, že pracoviště AV řeší moderní problémy a abychom i dovnitř Akademie prosadili, že bychom neměli dělit výzkum na základní a aplikovaný – nýbrž na dobrý a špatný. Základní i aplikovaný výzkum mají v Akademii své místo. Také jsme se snažili nastartovat větší aktivity v oblasti transferu duševního vlastnictví, jde to dodnes pomalu, ale postupujeme.

■ JŽ: Jak vnímáte způsob organizace vědy v ČR a EU?

TK: Toto je smutné téma. V ČR příliš mnoho peněz teče do výzkumu přes projekty, což dělá výzkumné prostředí až nezdravě kompetitivní. Z projektů se platí i mzdy vědců (u každého poskytovatele jiné), takže naši mladí kolegové, kteří mají rodinu a hypotéku, potřebují projekty jako životní nutnost. Financování vědy přes projekty dává úředníkům moc vynucovat mnoho pravidel, která vědcům komplikují život – v tom zase vyniká EU. Za všechny bych jmenoval současné vynucování principů „Otevřené vědy“. Znamená to, že výsledky získané za peníze z EU musíme zadarmo sdílet přes datová úložiště. Data tam musejí zadat vědci sami, to za ně nikdo nemůže udělat, což je stojí čas navíc. Vědecké články zase musejí být publikovány v *open access* režimu. Za to ovšem musíte nakladateli vědeckého časopisu zaplatit. Částky se pohybují u těch dobrých časopisů kolem 4000 Euro za jeden článek. Princip *open science* není špatný sám o sobě – ale rád bych měl možnost sám (tedy samozřejmě s kolegy na ústavu) rozhodnout, která data a které články chceme sdílet v *open* režimu a u kterých to nepovažujeme za nutné. Příkaz úředníka „všechno musí být *open*“ je nehorázné vyhazování peněz daňových poplatníků z okna. Termín „akademická svoboda“, tedy názor, že o organizačních věcech výzkumné instituce nebo vysoké školy umí nejlépe rozhodnout její vedení, jsem bohužel už mnoho let neslyšel.

■ JŽ: Ve své odborné práci spolupracujete také na vývoji nových materiálů pro fúzní energetiku. Jak vnímáte výzkum v oblasti jaderné fúze?

TK: Toto téma mě hodně baví. Předseda AV prof. Radomír Pánek je pevně přesvědčený, že tokamaky budou jako zdroj elektrické energie fungovat. Nemůžu komentovat problémy fyziky plazmatu; z pohledu materiálů jde o velmi náročnou aplikaci s řadou výzev. Jeden příklad: při fúzní reakci deuteria a tricia vznikne atom helia, energie a volný neutron. Neutron bude absorbován někde v konstrukčním materiálu reaktoru, možná i dost hluboko nebo daleko od místa vzniku. Když jádro atomu absorbuje neutron, vznikne izotop, který může být radioaktivní. Bylo by proto nejlepší, kdyby se reaktor zkonstruoval z materiálů, které obsahují jen několik zvláště radiačně odolných prvků. Je mezi nimi naštěstí železo – už desetiletí se proto vyvíjí varianty ocelí vhodných pro fúzní reaktory.

■ JŽ: Působíte také jako pedagog na Masarykově univerzitě a Vysokém učení technickém v Brně. Jak vnímáte úroveň současného fyzikálního vzdělávání?

TK: Problém je samozřejmě malé množství studentů, kteří si tak náročný obor zvolí. Požadavky na studenty mi dnes připadají menší, zejména v požadované úrovni matematiky, než když jsem studoval já. Nicméně sami studenti jsou často skvělí – když jim dáte zajímavý problém, zajímavý přístroj a dobré vedení (např. při vedení diplomových prací), dokážou se nadchnout a je pak radost podílet se na jejich vědecké výchově.

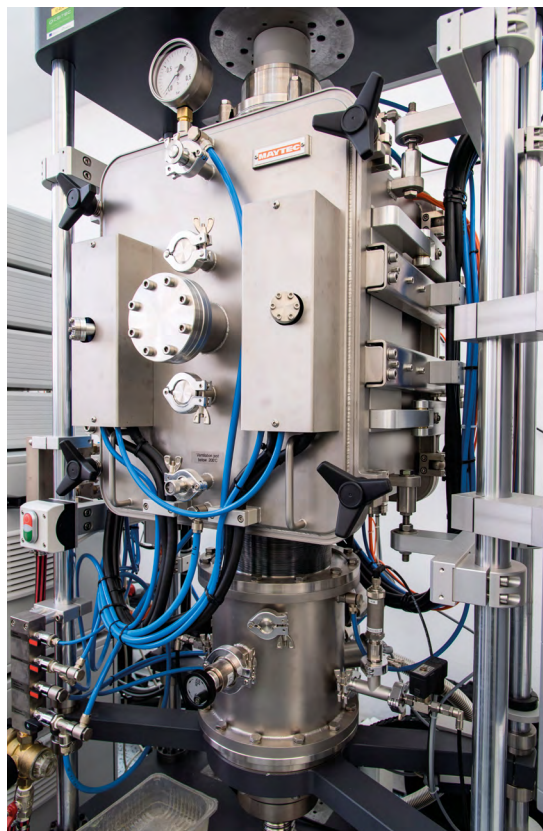
■ JŽ: Mohli bychom říct, že jsme pomyslně prošli výzkumnými prostorami ÚFM a pokusili se nahlédnout do všech jeho prostor a laboratoří. Jak se vám jako řediteli ústavu daří plnit vaše cíle a představy, se kterými jste na tuto pozici vstupoval?

TK: Díky pochopení vedení AV ČR i úspěchu v projektových soutěžích jsme v posledních letech výrazně zmodernizovali naše přístrojové vybavení. Snažíme se poskytovat podporu zejména mladým vědeckým kolegům v rozjezdu jejich kariéry. V neposlední řadě se snažím, aby mzdy na ÚFM byly spravedlivé a důstojné.

■ JŽ: Na závěr bych se vás ráda zeptala, co pro vás osobně věda znamená a jak ji vnímáte v souvislosti s rozvojem a směřováním lidské společnosti?

TK: Věda samozřejmě přináší pokrok a tedy příjemnější a kvalitnější život. Dožíváme se v pohodlí a dobré kondici podstatně vyššího věku než naše babičky. Zároveň však věda přináší i hrozby. Dnes dokážeme zničit planetu hned několika způsoby a změny ve stylu života jsou tak rychlé, že starší generace má problém zvládat moderní technologie a rozumět světu svých vnoučat.

■ JŽ: Děkuji vám za představení výzkumu Ústavu fyziky materiálů a za celou redakci přejeme vám i ústavu mnoho dalších důležitých výzkumných výsledků.



Obr. 17 Univerzální zatěžovací stroj pro zkoušky materiálů až do 1500 °C, tedy teploty vyšší, než je teplota tání oceli.

7 J. Mlynář, J. Žďárská: Tanec mezi tokamaky. Čs. čas. fyz. 73, 158–168 (2023).