Hodnocení životnosti materiálů pro jaderné reaktory

Rozhovor Radima Kopřivy s Milanem Brumovským u příležitosti jeho 85. narozenin

Radim Kopřiva[1], Milan Brumovský[2]

[1] Oddělení Mechanické vlastnosti, [2] Divize Integrita a technický inženýring; ÚJV Řež, a. s., Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec

Nedílným prvkem současné energetické koncepce nejen v České republice je bezesporu jaderná energie. Pro zajištění bezpečného a dlouhodobého provozu jaderných reaktorů je nutná precizní znalost vlastností jejich konstrukčních materiálů a odolnosti vůči působení provozních degradačních mechanismů. Jednou z největších osobností v oblasti hodnocení životnosti jaderných reaktorů je RNDr. Milan Brumovský, CSc., který výrobě komponent jaderných elektráren a jejich hodnocení zasvětil celou svou, stále aktivní, kariéru.

Pohled na areál v Řeži. *Zdroj: Archiv ÚJV Řež*

■ ***Ing. Radim Kopřiva, Ph.D.**: Jaderná energetika se rozvíjí stejně jako další vědní obory. Jak se tento rozvoj odráží na vývoji nových materiálů pro reaktory? Liší se materiály nových jaderných reaktorů od dob, kdy byly vyráběny první tlakové nádoby reaktorů typu VVER v Plzni?*

RNDr. Milan Brumovský, CSc.: V průběhu posledních desetiletí se jednoznačně zvýšila kvalita nových konstrukčních materiálů obecně, zejména z hlediska čistoty chemického složení. I technologie samotné výroby se postupem času mění a kupříkladu zahrnutí elektrických pecí na tavení oceli přispělo k výraznému zlepšení chemického složení materiálů. Menší obsah nečistot přispívá ke zvýšení odolnosti konstrukčních materiálů vůči působení degradačních mechanismů, jimž jsou materiály komponent za provozu vystaveny. Vyšší kvalita konstrukčních materiálů dává obecně předpoklad k delšímu možnému provozování dané komponenty. Je nutné ovšem zdůraznit, že konstrukční materiály pro reaktory typu VVER, tedy pro v současnosti provozované reaktory v České republice, musely vyhovět už od prvopočátku poměrně přísným požadavkům na chemické složení, obsah nečistot a současně i na výskyt necelistvostí. V porovnání s materiály „západních" typů reaktorů je tedy možné obecně považovat materiály reaktorů VVER vyráběných ve ŠKODA JS za kvalitnější.

■ *RK: Mezi jednotlivými typy jaderných reaktorů jsou tedy značné rozdíly v použitých materiálech a konstrukci jednotlivých komponent. Je možné při těchto rozdílech plnohodnotně rozvíjet spolupráci výzkumných institucí v oblasti jaderné energetiky na mezinárodní úrovni?*

MB: Přestože konstrukce reaktorů typu VVER se mírně odlišuje od reaktorů západního typu, degradační mechanismy probíhající během provozu se v zásadě neliší. Interakce konstrukčních materiálů s chladivem a degradace mechanických vlastností způsobená tokem rychlých neutronů je založena na stejných fyzikálních procesech bez ohledu na použité materiály. Mezinárodní spolupráce v oblasti hodnocení ozářených materiálů reaktorů je tedy nejen možná, ale také dlouhodobě využívaná a přináší velmi prospěšné výsledky. Bez mezinárodní spolupráce by výrazně obtížněji vznikala normativní dokumentace pro hodnocení životnosti jaderných elektráren a také standardy pro zkoušky mechanických vlastností. Pro vývoj a následnou implementaci nových zkušebních metod do průmyslové praxe je nutné vycházet z poměrně rozsáhlých mezilaboratorních porovnání, která by bez spolupráce na mezinárodní úrovni nebylo možné realizovat. Příkladem může být úspěšný vývoj nové zkušební me-

Práce na autoklávu. *Zdroj: Archiv ÚJV Řež*

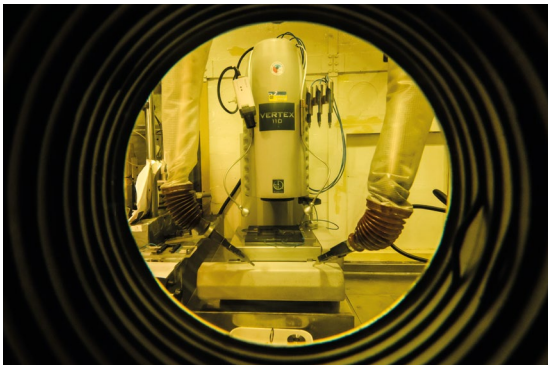
tody tenkých plíšků v rámci ASTM, tzv. *small punch test*. Standardizační aktivity inicioval ÚJV Řež v roce 2014 a byl organizátorem rozsáhlých mezilaboratorních porovnávacích zkoušek na šesti různých materiálech z jaderné energetiky, kterých se účastnilo 12 laboratoří z celého světa. V letošním roce byl standard ASTM E3205 úspěšně vydán a po jeho akreditaci ve zkušební laboratoři nic nebrání plnohodnotnému využití metody pro zkoušky ozářených materiálů jako doplňku klasických zkoušek mechanických vlastností i s následným zařazením do normativní dokumentace na hodnocení životnosti komponent. Dalším příkladem může být i využití mezinárodní spolupráce při přípravě normativních dokumentů pro hodnocení životnosti komponent rektorů typu VVER za provozu. V rámci této aktivity byla při evropských výzkumných projektech pod vedením ÚJV Řež za účasti expertů zemí provozujících reaktory typu VVER i „západního typu" vypracována metodika hodnocení VERLIFE, která byla později rozšířena jako metodika IAEA a následně přijata jako normativní dokumentace nejen pro české jaderné elektrárny, ale je používána i v dalších zemích VVER. Díky mezinárodní spolupráci expertů různých zemí je tato metodika pro reaktory VVER harmonizována s obdobnými metodikami pro „západní" typy reaktorů.

■ *RK: Během vaší kariéry jste se stal uznávaným nejen tuzemským, ale i mezinárodním expertem, což jistě obsahuje nemalou porci cestování. Procestoval jste v průběhu své kariéry již celý svět?*

MB: Dá se říct, že jsem se pracovně podíval zřejmě do všech světadílů. Nejen v rámci konferencí, ale také na expertních misích Mezinárodní agentury pro atomovou energii ve Vídni. Jejich předmětem bylo většinou pořádání vzdělávacích seminářů pro pracovníky místních výzkumných ústavů a elektráren a místa, kde byly tyto akce pořádány, byla poměrně rozmanitá – například Argentina, Brazílie, Mexiko, Ukrajina, Bulharsko, Čína, Indie či Bangladéš. Výměna zkušeností a znalostí je rovněž důležitou a nedílnou součástí mezinárodní spolupráce v oblasti jaderné energetiky. V tomto ohledu je užitečná aktivní účast v normativních činnostech mezinárodních organizací, jako je ASME nebo ASTM, protože přístup k hodnocení životnosti musí být principiálně jednotný, nezávislý na typu reaktoru nebo země provozovatele, protože bezpečnost je jen jediná. Důležitým aspektem je také účast na mezinárodních konferencích nebo seminářích – jak pro mladé pracovníky, tak i pro „otřelé" experty. Kromě toho, že se prezentují výsledky dané organizace a tím se získává mezinárodní renomé, mohou mladí během několika dnů získat přehled o současném stavu znalostí v daném oboru, zatímco pro „otřelé" experty jsou důležitější „kuloární" diskuze, kdy se mohou dozvědět podstatně více nejnovějších informací, které se dosud nepublikují, pokud vůbec. Současně lze během těchto diskuzí získat i informace o možných kontraktech nebo výzkumných projektech. A například do evropských projektů se bez obecného povědomí o organizaci nemáte šanci dostat.

■ *RK: Cestováni zní velmi poeticky a lákavě, ale mohou se někdy vyskytnout i nečekané potíže? Máte nějakou zkušenost s nedobrovolným setrváním na místě konání služební cesty?*

Samozřejmě, cestování s sebou přináší příjemné i ty méně příjemné zážitky. Mezi ty příjemné patří samozřejmě návštěvy zajímavých míst nebo příjemných scenérií, pokud se před nebo po konferenci najde volný čas. Mezi ty nezajímavější patří např. vodopády Iguazú na pomezí Argentiny a Brazílie v parném létě nebo Yellowstonský park v lednových teplotách –30 °C a potom bangladéšská Dháka se 40 °C a monzunovým deštěm. Situace se také podstatně mění – před padesáti lety jsem se o půlnoci bezpečně procházel po Riu de Janeiro, zatímco dnes to nebývá zcela bezpečné ani na Copacabaně v pravé poledne. Stejně tak před 30 lety nebyl problém v noci v Bombaji, ale při poslední návštěvě Bhabha Institutu mě samotného nepustili ani do města zařídit si letenky. Na druhé straně, řada navštívených konferencí nebo komisí ASME a ASTM se koná v USA, kdy přesun z Prahy zabere celý den a přesun přes Atlantik trvá zpravidla 10 až 12 hodin. A někdy doletíte na místo a zavazadla v nedohlednu – při změně letadel, např. při zpoždění, kdy nechytnete přípoj, letiště většinou nejsou schopna rychle reagovat a zavazadlo zůstane na letišti a potom nastane jeho hledání. Takto jsem několikrát zůstal i tři dny jen s příručním zavazadlem. Poučení je proto následující – notebook a konferenční materiály, léky, holení a hygienické potřeby s sebou do letadla. Stejně i potom zůstanete až tři dny v cestovním s jednou košilí, s čímž mám bohaté zkušenosti – cca jednou za pět let. Naopak při návratu domů je frekvence vyšší – obvykle aspoň jednou za rok nestihnou v Paříži nebo Amsterdamu včas přeložit kufr, který vám potom doručí až domů následující den, což už není kritické. Díky počasí můžete občas uvíznout na letišti i celý den, a potom se těžko hledají náhradní spoje. V současné době je k dispozici většinou velké množství spojů, a tak se v rozumné době najde náhradní spojení. Vzpomínám,



Zařízení pro měření rozměrů ozářených vzorků v polohorké komoře. *Zdroj: Archiv ÚJV Řež*

» Milan Brumovský přešel do ÚJV Řež ze Škody JS v době, kdy jsme stavěli ústav po privatizaci. Byla to těžká doba, neměli jsme dost odborníků. Milan Brumovský potřebné věděl a svoje znalosti navíc dokázal předávat ostatním. «
Ing. Jiří Žďárek, CSc.

» V oblasti hodnocení materiálů jaderných elektráren se pohybuji necelých patnáct let a po celou dobu je pro mne Milan Brumovský obrovským zdrojem zkušeností, nepřeberné energie a zároveň zdravého nadhledu. «
Ing. Radim Kopřiva, Ph.D.

že v osmdesátých letech nám v Moskvě Aeroflot zrušil rezervaci, jelikož potřeboval poslat domů prioritně nějaké poslance, a tak se nám pobyt protáhl o tři dny. Při jiném letu z Moskvy s mezipřistáním v Bratislavě jsme kvůli špatnému počasí v Praze dvakrát nalétávali na letiště v Praze, abychom nakonec zůstali v Bratislavě – osvobodil nás náš speciál letící z Košic, jinak jsme už dostávali jízdenku na vlak do Prahy.

■ *RK: Většina vaší kariéry je spojena s výzkumem a vývojem v Řeži u Prahy. Společnost ÚJV Řež, dříve Ústav jaderného výzkumu Řež, v letošním roce oslavuje 65 let od svého založení. Jaká je jeho aktuální role v procesu hodnocení ozářených materiálů jaderných elektráren?*

MB: Od svého založení byl výzkumný ústav v Řeži klíčovým prvkem v rozvoji jaderné energetiky v Československu. Z tohoto důvodu započala prakticky od začátku také úzká spolupráce s výzkumem Škoda JS jako výrobcem jaderných zařízení na hodnocení konstrukčních materiálů reaktorů. Nejdříve pro elektrárnu A-1 s přechodem na reaktory typu VVER, čehož jsem se aktivně zúčastnil, a nakonec to vyústilo mým přechodem do ÚJV Řež. Pro zajištění potřebných podkladů pro dlouhodobý provoz reaktorů je nadále důležitou součástí celého procesu hodnocení, jelikož disponuje jako jediný subjekt ve střední Evropě rozsáhlou experimentální infrastrukturou nutnou pro analýzy materiálů reaktorů, tzv. „horkými a polohorkými" komorami („horký" v tomto kontextu značí vysoce radioaktivní). Tyto laboratoře jsou zcela nezbytné pro realizaci zkoušek mechanických vlastností ozářených materiálů, které je nutné provádět v stíněném prostředí, prostřednictvím dálkově ovládaných manipulátorů. Úspěšné provedení zkoušek mechanických vlastností nicméně není jediným nutným prvkem v celém procesu hodnocení. Na provedené výsledky zkoušek dále navazují další činnosti nutné pro hodnocení integrity provozovaných zařízení, kupříkladu termohydraulické analýzy, výpočty pevnosti a výpočty neutronových polí v reaktoru. Podstatný vliv při hodnocení životnosti hrají i zkušenosti a znalosti získané za 35 let práce ve výzkumu Škoda JS, kde jsem získal unikátní znalosti o výrobní technologii reaktorů VVER včetně vlastností jejich materiálů za různých podmínek. Proces hodnocení životnosti tlakových nádob reaktorů je tak výsledkem spolupráce rozsáhlých multidisciplinárních týmů.

RNDr. Milan Brumovský, CSc.

ÚJV Řež oslavil 65 let

ÚJV Řež, a. s., pokračovatel Ústavu jaderné fyziky v Řeži, letos na jaře oslavil 65 let od svého založení. Stál u zrodu všech československých jaderných oborů a jeho historie i současnost jsou stále úzce spjaty se špičkovými odborníky a stěžejními energetickými projekty této země. Společnost prošla za dobu své existence řadou organizačních transformací i bouřlivým technologickým rozvojem. V současnosti se jako inženýrsko-technologická společnost a součást Skupiny ČEZ zaměřuje na komerční zakázky na trzích doma i v zahraničí. Orientace na projektové činnosti, bezpečnost a efektivní provoz energetických zařízení a komplexní nakládání s radioaktivními odpady se rozšířila o vývoj a výrobu radiofarmak, zejména pro metodu PET (pozitronovou emisní tomografii). ÚJV Řež je také mateřskou společností Skupiny ÚJV, kterou aktuálně tvoří ŠKODA PRAHA a. s, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s. r. o. a Centrum výzkumu Řež s. r. o.

Na schopnosti převést výzkumné projekty do reálné praxe a na zázemí erudovaných aplikačních inženýrů stojí řada mezinárodních úspěchů a ocenění firmy. Motto *„Lidé, inovace a technologie"* dobře charakterizuje hybné síly a směr dalšího rozvoje společnosti. Know-how, které v Řeži nashromáždily čtyři generace odborníků a nadšenců, se může pochlubit jen málo podniků v této zemi. Jednou z ikonických postav českého jaderného materiálového inženýrství je RNDr. Milan Brumovský, CSc., světově uznávaná osobnost současné jaderné energetiky a jeden ze zakladatelů moderních metod řízení životnosti tlakových nádob reaktorů.

Ing. Alena Rosáková

■ *RK: Je kromě rozsáhlé experimentální infrastruktury výzkumný ústav v Řeži ještě něčím unikátní?*

MB: Veškeré činnosti realizované v rámci procesu hodnocení životnosti jaderných reaktorů jsou založeny bezesporu také na dlouhodobých zkušenostech a know-how. ÚJV Řež se zcela jistě může mezi svými zaměstnanci pochlubit značným podílem expertů, pro něž byla Řež prvním zaměstnáním hned po ukončení studií, a zároveň jediným, protože jaderná energetika se stala, dá se říci, jejich celoživotním posláním. Toho je nyní možné s výhodou využít pro přenos znalostí mezi stávajícími experty a nastupující generaci výzkumných a vědeckých pracovníků. Úspěšné zvládnutí přenosu vědomostí a zkušeností je klíčové pro zachování dostatečné základny pracovníků zkušených v oblasti hodnocení životnosti komponent jaderných elektráren.

■ *RK: Hodnocení životnosti provozovaných tlakových nádob je poměrně komplexní soubor experimentálních aktivit a výpočtových analýz, nicméně značná část pozornosti je věnována zkouškám materiálových charakteristik ozářených materiálů. Kde se ozářené materiály pro tyto potřeby získávají?*

MB: Odběr dostatečného objemu ozářeného materiálu z provozované komponenty, nutného pro realizaci standardních zkoušek mechanických vlastností, by byl značně komplikovaný z hlediska možného nežádoucího ovlivnění integrity a funkce hodnocené komponenty. Pro zajištění zkušebních těles pro experimenty jsou v provozovaných reaktorech realizovány tzv. svědečné programy tlakových nádob reaktorů. Ty jsou založeny na ozařování zkušebních těles, která jsou vyrobena ze stejných materiálů jako hodnocená tlaková nádoba

reaktoru. Tato zkušební tělesa jsou umístěna v daném reaktoru blíže aktivní zóně, než je stěna hodnocené tlakové nádoby reaktoru, a tak jsou vystavena vyššímu neutronovému toku, což má za následek rychlejší míru degradace vlastností hodnoceného materiálu. Na základě toho je možné predikovat budoucí chování konstrukčních materiálů reálně provozované komponenty. Další využívanou metodou zajištění ozářených materiálů je realizace ozařovacích programů v experimentálních jaderných reaktorech. Pro potřeby hodnocení životnosti českých jaderných elektráren je nejvíce využíván experimentální reaktor LVR-15 v Řeži.

■ *RK: Existuje ještě nějaký možný způsob, jak rozšířit objem experimentálních dat potřebných pro zajištění bezpečného a dlouhodobého provozu reaktorů?*

MB: Částečným omezením pro experimentální hodnocení materiálů reaktorů je v návaznosti na aktuální trend prodlužování životnosti průmyslových komponent omezená dostupnost originálních archivních materiálů, které byly použity k výrobě komponent a které jsou využívány v rámci svědečných programů. V poslední době je tak věnována značná pozornost využití konstrukčních materiálů z již vyřazených jaderných elektráren. Vzhledem k rozdílným materiálovým charakteristikám a odlišnému chemickému složení připadají v úvahu pro hodnocení českých elektráren pouze reaktory typu VVER a materiály reaktorů „západního" typu je možné využít velmi omezeně. Tak byly již v minulosti odebrány konstrukční materiály z odstavené jaderné elektrárny typu VVER-440 Greifswald v Německu, které je možné je dále využít pro rozšíření souboru výsledků analýz použitelných pro hodnocení životnosti jaderné elektrárny Dukovany. Výhodou tohoto postupu je, že pro některé konstrukční prvky byla na obou elektrárnách použita při výrobě v Škoda JS zcela totožná tavba materiálu. Aktuálně se jako velmi slibná jeví možnost také podobného využití materiálů v rámci probíhajícího vyřazování prvního a druhého bloku jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice na Slovensku.

■ *RK: Jaká je podle vás budoucnost jaderné energie, nejen v České republice?*

MB: To je spíše otázka politická než technická. V nedávné době byl vypsán tendr na dostavbu dvou bloků v lokalitě jaderné elektrárny Temelín, nicméně byl bohužel zrušen. Nyní je očekáváno zahájení přípravy dostavby dalšího bloku jaderné elektrárny Dukovany, takže je evidentní, že je v rámci ČR s jadernou energetikou nadále počítáno do budoucna. Když se podíváme kupříkladu na blízké evropské země, tak situace není

Polohorké komory. *Zdroj: Archiv ÚJV Řež*

RNDr. Milan Brumovský, CSc.

úplně jednoznačná, nicméně je stále mnoho zemí, kde je jaderná energetika nezastupitelnou součástí energetického mixu. Především Francie a například země jako Polsko a Nizozemsko nově plánují výstavbu jaderných elektráren pro snížení produkce skleníkových plynů. S vývojem reaktorů nové generace je v budoucnosti počítáno se zapojením nových inovativních prvků, např. uzavřeného palivového cyklu, který přispěje k výraznému snížení objemu radioaktivního odpadu v podobě vyhořelého paliva. Rozvoj jaderné energetiky je tedy spojen se zvyšováním efektivity provozu a bezpečnosti současně s minimálním dopadem na životní prostředí. Věřím, že v České republice budeme nadále pokračovat tímto směrem a bude využito pevných základů tuzemského jaderného výzkumu a vývoje.

Životopis RNDr. Milana Brumovského, CSc.

Světově uznávaná osobnost současné jaderné energetiky, jeden ze zakladatelů moderních metod řízení životnosti tlakových nádob reaktorů.

Jaderná fyzika, koníček od školních let

Milan Brumovský se narodil 14. 10. 1935 v Bátovcích na Slovensku. Školní a studentská léta prožil v Teplicích v Čechách, kde také v roce 1953 maturoval. Ve studiu dále pokračoval na Matematicko-fyzikální fakultě Karlovy univerzity v Praze, na které v roce 1958 ukončil obor Jaderná fyzika. V roce 1970 mu byla udělena vědecká hodnost kandidáta fyzikálně-matematických věd v oboru Experimentální fyzika.

Od prvních reaktorů k řízení životnosti bloků

Jako absolvent nastoupil do Škody Plzeň, do tehdejšího *Závodu výstavby jaderných elektráren*. Od začátku své kariéry se věnoval hlavně materiálové problematice jaderných reaktorů. Nejprve ve výzkumu materiálů a pevnosti pro tlakovou nádobu prvního reaktoru A1, později i pro výrobu reaktorů typu VVER 440 a 1000. Postupně se propracoval k teoretickým a experimentálním úkolům, které řešil z pozice výzkumného a později také vědeckého pracovníka. Díky tomu získal široký přehled v technické problematice jaderné energetiky, především v interdisciplinárních oborech týkajících se aplikace jaderné fyziky, fyziky pevných látek, fyzikální metalurgie, mezních stavů a pevnosti. Tyto komplexní znalosti následně uplatnil při řešení náročných úkolů spojených s výrobou a výstavbou jednotlivých bloků jaderných elektráren v tehdejším Československu. Významně přispěl k výzkumu, zavedení a úspěšnému využívání lomové mechaniky v hodnocení integrity a ži-

» Kdekoliv na světě se člověk v komunitě odborníků na řízení stárnutí a materiály jaderných elektráren zmíní, že je z ÚJV Řež, každý okamžitě reaguje na jméno Milana Brumovského. Je to světově uznávaný expert a neopakovatelným způsobem buduje značku ÚJV Řež. «
Ing. Jan Wandrol

Ing. Radim Kopřiva, Ph.D. a RNDr. Milan Brumovský, CSc. na meetingu v Denveru v roce 2019, kde byl schválen technický standard pro zkoušky miniaturizovaných těles. *Zdroj: Archiv ÚJV Řež*

votnosti komponent jaderných elektráren. V průběhu výroby reaktorů typu VVER ve Škodě Plzeň se pravidelně zabýval posuzováním různorodých problémů při výrobě tlakových nádob. Od roku 1993 pracuje doktor Brumovský ve společnosti ÚJV Řež, a. s. (následník Ústavu jaderného výzkumu v Řeži), kde se v rámci divize *Integrita a technický inženýring* věnuje nadále problematice stárnutí komponent provozovaných bloků JE.

Svědečný program – klíčový pro jadernou bezpečnost

Doktor Brumovský je jedním ze zakladatelů modernizovaného „svědečného programu" pro hodnocení stavu tlakových nádob reaktorů 1. a 2. bloku elektrárny Temelín. Ten využívá nejnovějších poznatků v oblasti radiačního poškozování materiálu tlakových nádob jaderných reaktorů. Programem je možné průběžně monitorovat změny vlastností materiálu tlakové nádoby reaktoru, které mají zásadní dopad na bezpečnost provozu a životnost celého komplexu jaderné elektrárny. Svědečný program je také důležitou součástí posuzování stavu naší elektrárny Temelín v rámci opatření tzv. Melkského protokolu. Ověřenou koncepci tohoto svědečného programu aplikovali například i ruští specialisté na své nové projekty reaktorů VVER.

V národních i mezinárodních institucích

Zkušenosti Milana Brumovského nacházejí celý jeho profesní život národní i mezinárodní využití v exponovaných expertních činnostech. Pracoval a stále pracuje pro *Mezinárodní atomovou agenturu ve Vídni* (MAAE) a mnoho dalších organizací z jaderných oborů. Od osmdesátých let je českým zástupcem pracovní skupiny MAAE *International Working Group on Lifetime Management of Nuclear Power Plants* nebo reprezentantem v *Ageing Management European Strategy*. Drží rekord v české účasti na práci specializované skupiny *International Group on Radiation Damage Mechanisms in Pressure Vessel Steels*. Řadu let se podílí na činnostech ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) a spolupořádá technické konference ASME *Pressure Vessels & Piping*. Je také dlouholetým členem výboru pro reaktorové materiály v *American Society for Testing Materials* (ASTM International), kde se v loňském roce úspěšně podílel na přijetí nového technického standardu k použití zkušební metody miniaturizovaných těles ve formě tenkých plechů. Je autorem nebo spoluautorem minimálně dalších sedmi standardů pro zkoušky materiálů a hodnocení životnosti zařízení jaderných elektráren a iniciátorem evropského projektu VERLIFE – *Hodnocení životnosti komponent jaderných elektráren typu VVER*. Předsedá čtvrté sekci *Normativně technické dokumentace Asociace strojních inženýrů* ČR. A spolupracuje samozřejmě i se *Státním úřadem pro jadernou bezpečnost*.

Autorem a pedagogem

Rozsáhlá publikační činnost RNDr. Milana Brumovského zahrnuje více než 300 článků, příspěvků a dalších odborných děl pro českou i mezinárodní platformu. Je také spoluautorem řady publikací MAAE v oblasti radiačního poškození materiálů zařízení JE, stárnutí a řízení stárnutí JE a hodnocení integrity zařízení JE.

Svoje zkušenosti doktor Brumovský ochotně a průběžně předává mladším kolegům po celou svoji kariéru. V rámci expertních činností to bylo například pro výzkumné projekty MAAE v CNEA Argentina, ININ Mexiko, CDTN Brazílie, AEC Bangladéš. Působí i jako lektor na odborných tematických seminářích MAAE. V letech 2002–2005 opakovaně hostoval ve společném výzkumném středisku *Joint Research Centre – Institute of Energy* v nizozemském Pettenu.

Ocenění

Zásluhy Milana Brumovského o rozvoj bezpečnosti jaderných reaktorů samozřejmě nezůstávají bez ocenění. V roce 1985 obdržel medaili A. A. BIagonravova (Akademie věd SSSR) za práce v oblasti bezpečnosti tlakových nádob reaktorů, v roce 1990 mu byla udělena medaile Ch. Eichnera (francouzská Société de Métallurgie et des Matériaux a francouzská Commission Nationale de l'Énergie Atomique) za práce v oblasti studia tlakových nádob reaktorů. Je také držitelem dvou medailí Slovenských elektráren z roku 1998 – stříbrné medaile Slovenských elektráren za záštitu bezpečnosti provozu tlakových nádob reaktorů jaderné elektrárny Mochovce a medaile A. Stodoly za práce v oblasti studia tlakových nádob reaktorů jaderných elektráren na Slovensku. Je držitelem významných ocenění americké ASME z let 2009 a 2010. V roce 2017 získal v rámci Skupiny ČEZ individuální ocenění ČÉZAR.

Neutuchající entuziasmus

Milan Brumovský se nepřestává věnovat vědecké, publikační a osvětové práci ani dnes, kdy si mnozí z jeho vrstevníků užívají pracovního odpočinku. Stále je aktivní na české i zahraniční odborné scéně a svoje rozsáhlé znalosti v problematice předává v rámci ÚJV Řež mladším kolegům. K jeho letošnímu jubileu mu přejme další pracovní a osobní úspěchy a jeho manželce a synům s rodinami co nejvíce společně stráveného času.

Horká komora pro spektrometrické analýzy ozářených materiálů. *Zdroj: Archiv ÚJV Řež*