

4/4 21

JE

ročník 2 | 671 | 2021

V tomto čísle vám představíme Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT a další instituce působící v oblasti jaderného vzdělávání. / medailonku vás seznámíme s profesorem Bedřichem Heřmanským a docentem Jánem Haščíkem, dvěma významnými osobnostmi na poli jaderného vzdělávání.

Detailně se zaměříme na projekt CINCH, vzdělávací platformu ENEEP a software Biorad. Podělíme se s vámi o zkušenosti se zvyšováním tepelného výkonu reaktorů v českých JE a s vývojem nástrojů pro

sledování migrace kontaminantů v horninovém prostředí. Na následujících stránkách tradičně najdete i aktuality z oblasti jaderné energetiky, poslední část článku o komplexu horkých komor CVŘ, další díl seriálu „Ze vzpomínek Zdeňka Kříže“ a také nový seriál o jaderných zdrojích pro vesmír.

**jaderná
energie**

**jadrová
energia**

Jaderná energie

Jadrová energia

Základní úlohou časopisu „Jaderná energie/Jadrová energia“ je přispívat k úrovni kultury jaderné bezpečnosti. Časopis je psaný v českém a slovenském jazyce, vědecké a odborné články, abstrakty a anotace též v anglickém jazyce. Časopis vychází čtyřikrát ročně nákladem 400 výtisků a v elektronické podobě, která je volně dostupná na adrese jadernaenergie.online

OBSAH ČASOPISU JE ZAMĚŘEN NA:

- jadernou bezpečnost a radiační ochranu s důrazem na ochranu životního prostředí, zdraví profesionálních pracovníků a obyvatelstva,
- výzkum, vývoj a nové technologie,
- provoz a výstavbu jaderných elektráren,
- zpracování a ukládání radioaktivních odpadů,
- aplikace radioizotopů a ionizujícího záření,
- aktuální informace z dozorných orgánů,
- vzdělávání a rozvoj know-how.

Vydavatel:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec
Česká republika
IČO: 26722445

Úrad jadrového dozoru SR
Bajkalská 27
P.O.Box 24
820 07 Bratislava
Slovenská republika
IČO: 30844185

Redakce:

Michal Šafránek – šéfredaktor
redakce@jadernaenergie.online
+420 775 374 384
Mgr. Tereza Smékalová, Ing. Jiří Kuf,
Ing. Jan Procházka, Jan Trejbal.

Adresa redakce:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec
Česká republika

Redakční rada:

Ing. Aleš John, MBA – předseda
Ing. Daneš Burket, Ph.D., doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D., Ing. Jiří Duspiva, PhDr. Tomáš Ehler, MBA,
Ing. Miroslav Hrehor, Ing. Jiří Hůlka, prof. Ing. Jan John, CSc., Ing. František Pazdera, CSc.,
Ing. Alena Rosáková, prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc., Mgr. Petr Šuleř, Ing. Radek Trtílek,
Ing. Zdeněk Típek, Mgr. Miriam Vachová, Mgr. Ilona Vysoudilová, RNDr. Marek Vyšinka, Ph.D.,
RNDr. Vladimír Wagner, CSc., Ing. Jan Zdebor, CSc.

Grafika, sazba, jazykové korektury a tisk:

TOP Partners, s.r.o.
Classic 7 Business Park
Jankovcova 49
170 00 Praha 7
Česká republika

Registrace MK ČR

Časopis Jaderná energie/Jadrová energia
byl zapsán do evidence periodického tisku
Ministerstva kultury České republiky a bylo
mu přiděleno evidenční číslo MK ČR E 4671.
ISSN 2694-9024

Číslo 4/2021, ročník 2 [67]

Vychází 20. 10. 2021

editorial

Ohlédneme-li se do padesátých let minulého století, zjistíme, že jaderná energie měla zelenou. Přišlo se na to, že energii jádra lze využít nejen k vojenským účelům, ale že lze mít prospěch i z mírového využití jaderného štěpení. Dodnes si pamatujeme jména jako Obninsk, Schippingport, Carden Hall, ale i USS Nautilus a ledoborec Lenin. To jsou jména reálných historických projektů. Ale tenkrát se fantazii meze nekladly, a tak se mluvilo o autech a letadlech na jaderný pohon, dokonce se objevily projekty využití jaderných výbuchů na gigantické zemní práce. Lidská fantazie ohledně možného využití jádra byla úžasná – prostě *do každé rodiny atomové hodiny*. Nakonec symbol tohoto období – Atomium – stojí v Bruselu dodnes.

Československo nestálo mimo, a tak byl v červnu roku 1955 nařízením vlády ustaven vládní výbor pro výzkum a mírové využití atomové energie a pro provádění výzkumu a využití atomové energie pro mírové účely byl zřízen Ústav jaderné fyziky. V Řeži byl v roce 1957 spuštěn náš první jaderný reaktor.

V srpnu 1955 byla na Univerzitě Karlově zřízena Fakulta technické a jaderné fyziky jako klíčová vzdělávací instituce pro přípravu československých jaderných odborníků a jaderné studijní obory posléze vznikaly i na dalších vysokých školách.

A právě jadernému vzdělávání a výchově jaderných odborníků pro výzkum i pro praxi je věnováno toto číslo *Jaderné energie*. Ale nebudu předbíhat, to všechno se dočtete v časopise, jehož nové číslo právě držíte v ruce.

Vydávání časopisu jsme převzali v roce 2019 a máme tedy za sebou již dva úplné ročníky. A jak už to bývá, i přes sebepečlivější kontroly se občas objeví nějaká chyba, naposledy v jeho minulém čísle. V medailonku profesora Dubška byl uveden chybný popis u skupinové fotografie před budovou reaktoru BOR-60. Za profesora Dubška, který na fotografii vůbec není, jsme označili jinou osobu. Mrzí nás to a spoluautorům medailonku prof. Matalovi a Ing. Sobotkovi se za tuto chybu jménem celé redakční rady omlouvám. Medailonek jsme museli redakčně zkrátit, ale protože práce týmu prof. Dubška byla pro oblast sodíkových parogenerátorů klíčová, ještě se k této problematice článkem prof. Matala a Ing. Sobotky v některém z následujících čísel vrátíme.

Aleš John

předseda redakční rady



obsah

představujeme

- 65 let jaderného vzdělávání a výzkumu na Jaderce** 04
Doc. Ing. Lubomír Sklenka, Ph.D., Ing. Jana Matoušková

medailonek významných osobností

- Profesor Ing. Bedřich Heřmanský, CSc.** 10
Miroslav Hrehor
doc. Ing. Ján Haščík, Ph.D. 12
Branislav Vrban

výzkum, vývoj a nové technologie

- Infrastruktura horkých komor Centra výzkumu Řež – díl šestý** 15
Mgr. David Zoul, Ing. Markéta Koplová, Ph.D., Petra Krejčová
Vývoj nástrojů pro sledování migrace kontaminantů 24
(radionuklidů, těžkých kovů a nanomateriálů) v horninovém prostředí
RNDr. Václava Havlová, Ph.D., RNDr. Filip Jankovský, Mgr. Milan Zuna, Ph.D.,
Ing. Jakub Jankovec, Ph.D., Ing. Milan Hokr, Ph.D., Ing. Pavel Kůs, Ph.D.
Biorad – pokročilý SW nástroj k predikci efektivní dávky jednotlivce 32
z radionuklidů uvolněných z úložiště
Ing. Jiří Landa, Ph.D., Ing. Jakub Říha, Ph.D., Ing. Josef Chudoba, Ph.D., Ing. Jana Vitvarová, Ph.D.

provoz a výstavba jaderných zařízení

- Zkušenosti se zvyšováním tepelného výkonu reaktorů** 40
v českých jaderných elektrárnách při využití projektových rezerv
Ing. Oldřich Mach, Ph.D., Ing. Pavel Koňarčík

vzdělávání a rozvoj know-how

- Systém jadrového vzdelávania na Slovensku** 45
Prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.
Akadémia zručností v oblasti vyrad'ovania jadrových zariadení 49
Ing. Tibor Kukan, Ing. Vladimír Míchal, Ph.D., prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.
Projekt CINCH: Již 12 let spolupráce ve vzdělávání v jaderné chemii napříč Evropou 54
doc. Ing. Mojmír Němec, Ph.D., RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D., prof. Ing. Jan John, CSc.
Školiace a výcvikové stredisko personálu JZ 58
Ing. Peter Drobny, Ing. František Marekovič, Ing. Peter Karaba,
Ing. Marián Jančovič, Ph.D., Alena Zigová
Predstavenie Európskej jadrovej experimentálnej vzdelávacej platformy ENEEP 61
Ing. Štefan Čerba, Ph.D., doc. Ing. Branislav Vrban, Ph.D., Ing. Jakub Lúley, Ph.D.,
doc. Ing. Ján Haščík, Ph.D.
Jaderné vzdelávání v ČR 66
doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D., doc. Ing. Karel Katovský, Ph.D., Ing. Jan Zdebor, CSc.

zajímavosti z domova i ze světa

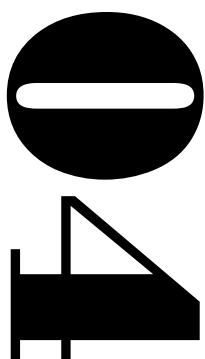
- Jaderné zdroje energie pro vesmír (1. díl – radionuklidové zdroje)** 74
RNDr. Vladimír Wagner, CSc.

okno do historie

- Z knihy o historii jaderné energetiky (8. část)** 80
Ing. Zdeněk Kříž

aktuality

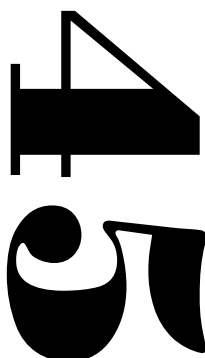
- Vzdělávání a odborná podpora pro zaměstnance dotčených orgánů** 82
podílejících se na povolovacích procesech nového jaderného zdroje
v lokalitě Dukovany (František Svoboda, Tomáš Ehler)
Konference HOTLAB 2021 (Michal Šafránek) 83
Spomienka na Jozefa Valoviča (Vladimír Slugeň) 84



65 let jaderného vzdělávání a výzkumu na Jaderce

Za více než šedesát pět let, které uplynuly od založení Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské se ukázalo, že „Jaderka“ má své pevné a nezastupitelné místo v akademickém vzdělávání v jaderných oborech stejně tak, jako v jaderném výzkumu.

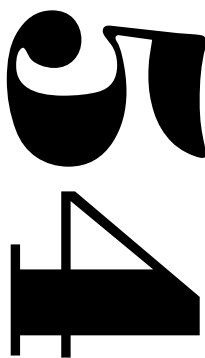
Doc. Ing. Lubomír Sklenka, Ph.D.,
Ing. Jana Matoušková



Systém jadrového vzdelávania na Slovensku

Článok je zameraný na priblíženie systému jadrového vzdelávania na Slovensku. Podrobnejšie sa venuje historickému vývoju i koreňom pozitívnych i negatívnych skúseností ako aj súčasným problémom, ktoré na jadrové vzdelávanie pôsobia.

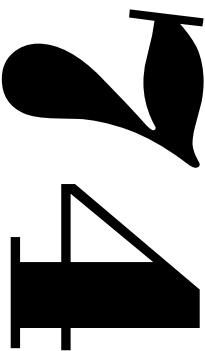
Prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.



Projekt CINCH: Již 12 let spolupráce ve vzdělávání v jaderné chemii napříč Evropou

Specializované jaderné obory se dlouhodobě potýkají s nedostatkem odborných pracovníků. Jednou z evropských iniciativ, která se snaží situaci zlepšit, je série projektů CINCH.

doc. Ing. Mojmír Němec, Ph.D., RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D., prof. Ing. Jan John, CSc.



Jaderné zdroje energie pro vesmír (1. díl - Radionuklidové zdroje)

Začátkem tohoto roku začalo na Marsu pracovat vozidlo Perseverance, kterému dodává elektřinu i teplo radionuklidový generátor. Člověk se chystá k návratu na Měsíc i cestě na Mars. Realizace těchto plánů se neobejde bez vesmírných jaderných zdrojů energie.

RNDr. Vladimír Wagner, CSc.

65 let jaderného vzdělávání a výzkumu na Jaderce

**Doc. Ing. Eubomír Sklenka, Ph.D.,
Ing. Jana Matoušková**

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Katedra jaderných reaktorů

Článek se zabývá rolí Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze v oblasti jaderného vzdělávání a výzkumu v Československu a v České republice. Za více než šedesát pět let, které uplynuly od založení Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské se ukázalo, že „Jaderka“ má své pevné a nezastupitelné místo v akademickém vzdělávání v jaderných oborech stejně tak, jako v jaderném výzkumu. Učitelé a výzkumní pracovníci úspěšně navazují a dále rozvíjejí odkaz zakladatelů jaderného vzdělávání a výzkumu v Československu, profesorů Václava Petržílky, Františka Běhouneka a Čestmíra Šimáněho.

The article deals with the Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering of the Czech Technical University in Prague in the field of nuclear education and research in Czechoslovakia and the Czech Republic. In the more than sixty-five years since the founding of the Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, it has become clear that „Jaderka“ has a strong and irreplaceable place in academic education in nuclear as well as in nuclear research. Teachers and researchers are successfully building on and further developing the legacy of the founders of nuclear education and research in Czechoslovakia, professors Václav Petržilka, František Běhounek and Čestmír Šimáně.

NA POČÁTKU BYL ENRICO FERMI

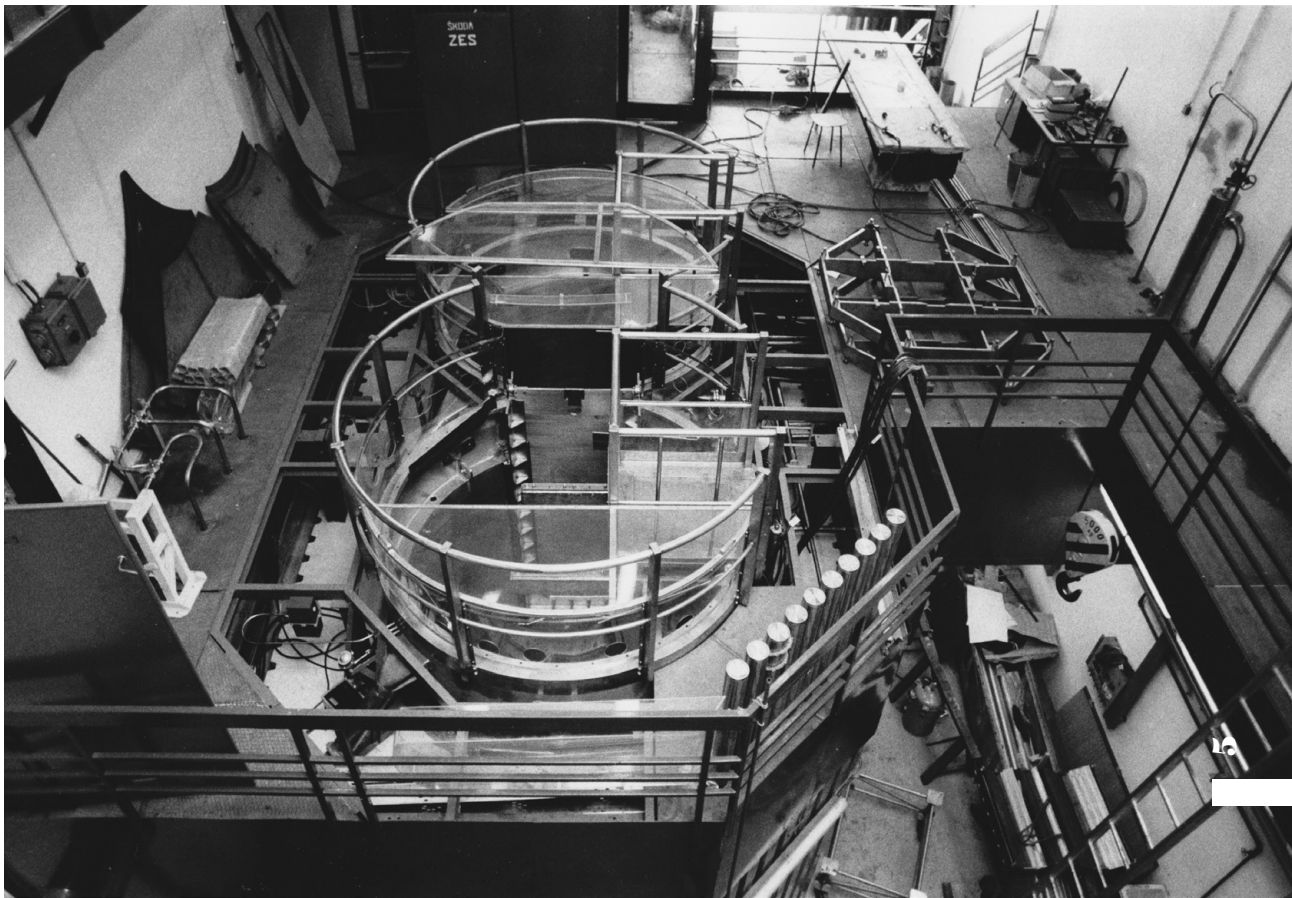
Druhá světová válka, atomová bomba, Hirošima, Nagasaki – slova která zná skoro každý. Vojenské využití jaderné energie a zejména strašlivé důsledky v případě prvního jejího použití v Hirošimě a Nagasaki provází po sedm desetiletí i obavy z jiného využití jaderné energie – mírového.

První jaderný reaktor Chicago Pile-1 postavil v americkém Chicagu italský fyzik Enrico Fermi, do provozu jej uvedl 2. prosince 1942 a provozoval jej dva měsíce. Přesto, že tento reaktor měl primárně vojenský účel, tak zároveň položil i základy mírovému využívání jaderné energie. Hned po druhé světové válce uvedli do provozu první jaderné reaktory i další země – Kanada (reaktor ZEEP v září 1945), Sovětský svaz (reaktor F-1 v prosinci 1945), Velká Británie (reaktor GLEEP v srpnu 1947) a Francie (reaktor ZOE v prosinci 1948).

V roce 1957 byla založena Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency), která jako mezinárodní organizace OSN sloužila a dodnes slouží jako místo vzájemné spolupráce zemí s různým politickým a společenským uspořádáním v oblasti mírového využívání jaderné energie. Padesátá léta minulého století kromě výzkumných reaktorů přivedla na svět a do provozu i první jaderné elektrárny v Sovětském svazu (elektrárna Obninsk v červnu 1954), ve Velké Británii (elektrárna Calder Hall v říjnu 1956) a v USA (elektrárna Shippingport v květnu 1958). Ve stejném období se pomalu začínal rozvíjet jaderný program i v tehdejší Československu.

PETRŽÍLKA, BĚHOUNEK, ŠIMÁNĚ

V padesátých letech minulého století se v Československu podobně jako i v jiných zemích sovětského bloku začal postupně



Obr. 1: Školní reaktor VR-1 ve výstavbě v roce 1989 (foto archiv FJFI ČVUT) |

rozvíjet jaderný program. Na rozdíl od jiných zemí, kde se začínalo prakticky od nuly, v Československu bylo možné navazovat na prvorepublikové průmyslové a vědecké tradice i na první zkušenosti s „jádnem“, které měli někteří přední čeští vědci. Například Václav Petržílka již před válkou pracoval na transmutaci prvků v Cavendishově laboratoři v Cambridge u Ernesta Rutherforda, František Běhounek studoval na pařížské Sorboně u Marie Curie-Skłodowské, nebo Čestmír Šimáně, ten pracoval hned po druhé světové válce ve Francii u Frédérica Joliot-Curieho a měl možnost být u toho, jak Frédéric Joliot-Curie staví první francouzský reaktor ZOE.

Reálně se československý jaderný program začal rozvíjet až v roce 1955, kdy Sovětský svaz nabídl pomoc v rozvoji jaderných oborů v Československu dodávkou výzkumného jaderného reaktoru, cyklotronu, Van de Graaffo-

va urychlovače a možností školení odborníků v Sovětském svazu. Již v té době bylo známo, že úspěšný dlouhodobý jaderný program musí být založen nejen na dovezených technologiích, ale i na vybudování vlastní domácí vědecké a technické základny a akademických institucí pro přípravu odborníků pro nejrůznější jaderné disciplíny.

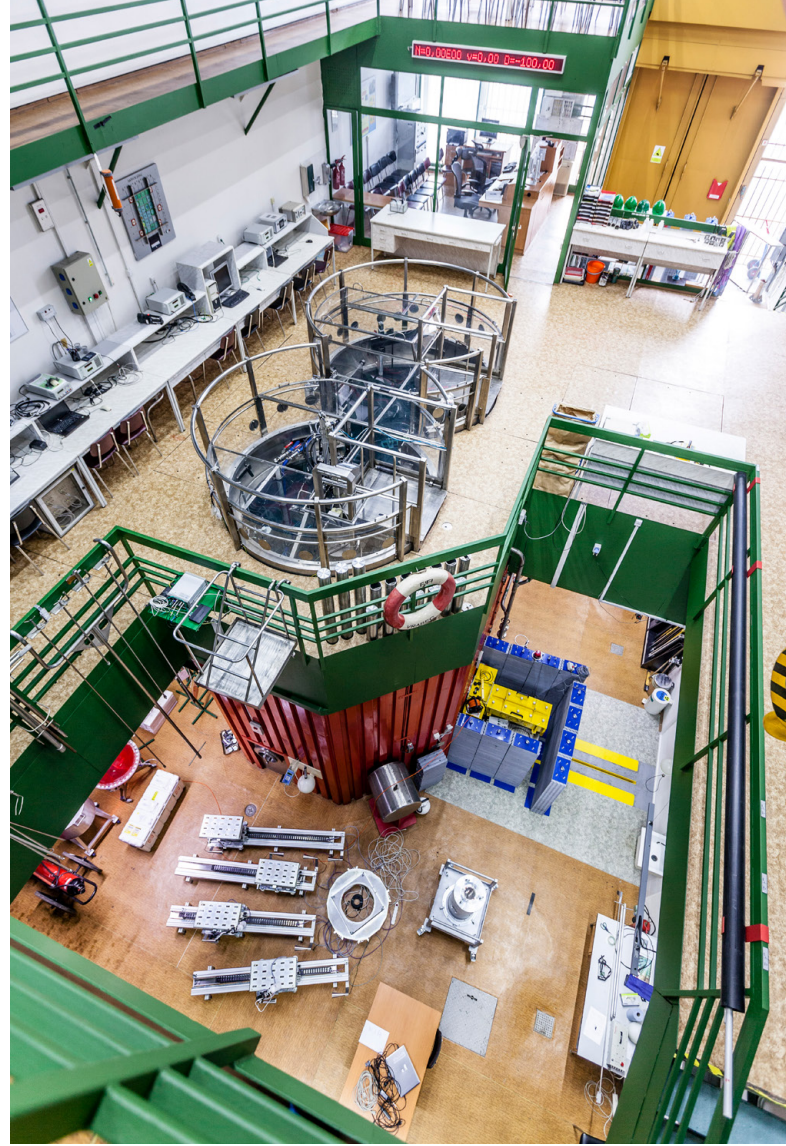
Rok 1955 byl v rozvoji jaderného programu v Československu opravdu klíčový. Kromě smlouvy se Sovětským svazem byl vládním nařízením ze dne 10. června 1955 založen vládní výbor pro výzkum a mírové využití atomové energie a také Ústav jaderné fyziky. V ústavu započaly práce na výstavbě našeho prvního jaderného reaktoru umístěného v Řeži u Prahy – reaktoru VVR-S, ten byl uveden do provozu 24. září 1957. V roce 1972 pak došlo i k vyčlenění nového Ústavu jaderného výzkumu (ÚJV) z původního Ústavu jaderné fyziky (ÚJF).

Obr. 2: Školní reaktor VR-1 po 25 letech provozu v roce 2015 (foto archiv FJFI ČVUT)

V srpnu 1955 byla na Univerzitě Karlově v Praze vládním nařízením zřízena Fakulta technické a jaderné fyziky jako klíčová vzdělávací instituce pro přípravu československých jaderných odborníků. Výuka na fakultě začala již v září téhož roku. O čtyři roky později v roce 1959 byla fakulta převedena z Univerzity Karlovy na České vysoké učení technické (ČVUT) a od roku 1968 používá současný název Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI). Události roku 1955 byly základními klíčovými milníky k vývoji, výstavbě a provozu první československé jaderné elektrárny A-1 v Jaslovských Bohunicích a později i k výstavbě a provozu jaderných elektráren typu VVER-440 v Jaslovských Bohunicích na Slovensku a v Dukovanech na Moravě.

REAKTORNÍCI, DOZIMETRICI I CHEMICI NA JEDNÉ FAKULTĚ

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská od svého založení postupně rozšířila svoji působnost z jaderných oborů i na obory fyzikální a matematické. Klasické jaderné obory zaměřené na mírové využití štěpných reaktorů, neutronových aplikací a jaderně-analytických metod jsou předmětem zájmu tří specializovaných kateder: katedry jaderných reaktorů, katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, a katedry jaderné chemie. Tyto klasické obory v současnosti doplňují fúzní jaderné technologie a jaderná a částicová fyzika, kterými se zabývá katedra fyziky.



Jaderné inženýrství se na fakultě vyučuje ve všech třech akademických stupních, tj. v bakalářském, magisterském i doktorském. Výuku zajišťují společně katedra jaderných reaktorů a katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření. Jadernou chemii ve všech třech akademických stupních zajišťuje katedra jaderné chemie. Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření také zajišťuje výuku dvou medicínsko-technických oborů – Radiologická technika (bakalářské studium) a Radiologická fyzika (magisterské studium). Nově akreditovaný multioborový studijní program Vyřazování jaderných zařízení z provozu zaměřený na konec jaderného palivového cyklu v bakalářském a magisterském stupni společně zajišťují všechny tři jaderné katedry. Podobně tyto tři katedry spolu s katedrou informační bezpečnosti Fakulty informačních technologií zahájily výuku v nově akreditovaném multioborovém doktorském programu Bezpečnost a zabezpečení jaderných zařízení a forenzní analýzy jaderných materiálů.



« Obr. 3: Studenti katedry při kontrole reaktorové nádoby v roce 2016 (foto archiv FJFI ČVUT)

◀ Obr. 4: Američtí studenti z MIIS Monterey z Kalifornie při praktické výuce radiační ochrany v roce 2019 (foto archiv FJFI ČVUT)

Nedílnou součástí práce každé katedry nebo vysokoškolského ústavu je propojení výuky s vědecko-výzkumnou činností. Výzkumné aktivity katedry jaderných reaktorů jsou zaměřeny na teoretickou a experimentální reaktorovou fyziku, termomechaniku jaderného paliva, termohydrauliku aktivní zóny reaktoru, bezpečný a spolehlivý provoz jaderných elektráren a výzkumných reaktorů, střední a zadní část palivového cyklu, neutronové aplikace a jaderně-analytické metody (neutronová aktivační analýza, neutronové zobrazování, Mössbauerova spektroskopie). Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření se zaměřuje především na výzkum metod pro studium památek, monitorování životního prostředí, vývoj a testování nových scintilačních materiálů a detektorů ionizujícího záření, dozimetrii vnitřního ozáření a aplikaci matematických metod transportu záření. Samostatná skupina výzkumných pracovníků se podílí na částicových experimentech v CERNu. Výzkumné aktivity katedry jaderné chemie jsou zaměřeny na radioekologii, výzkum chování radionuklidů a stopových prvků v životním prostředí, separaci radionuklidů a těžkých kovů, radioanalytickou chemii, radiofarmaceutickou chemii, na zneškodňování odpadů, využití radiačně chemických metod, modelování separačních a migračních procesů, použití radionuklidů a ionizujícího záření ve výzkumu, studium vlastností homologů supertěžkých prvků a na forenzní analýzy jaderných materiálů.

ZÁJEM O EXPERIMENTY ZAČAL JIŽ V PADESÁTÝCH LETECH

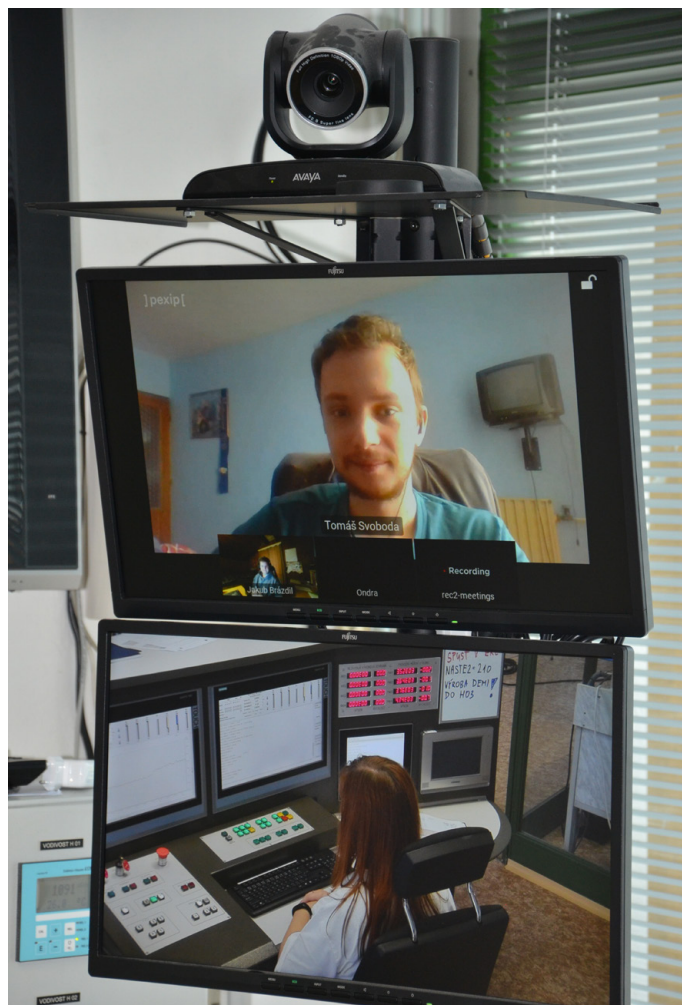
Učitelé a výzkumní pracovníci „Jaderky“ si hned od založení fakulty uvědomovali zásadní význam experimentálního výzkumu a experimentální výuky svých studentů. První ideový projekt vlastního reaktoru se objevil již koncem padesátých let. Návrhy a projekty školního reaktoru vznikaly zejména koncem šedesátých let a v sedmdesátých letech minulého století. Na návrzích a projektech se kromě pracovníků fakulty podíleli odborníci z výzkumných ústavů (např. Ústav jaderného

výzkumu v Řeži), výrobních podniků (např. Škoda Plzeň) nebo specializovaných projektových organizací (např. Chemoprojekt Praha).

Nerealizované projekty zahrnovaly různé typy reaktorů od malých těžkovodních kritických souborů ŠR-0P až po velký smyčkový materiálový reaktor SMR. Tyto reaktory měly být umístěné např. na Zbraslavi v areálu Ústavu jaderných paliv, v Malešicích v areálu Ústavu pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů nebo v areálu Ústavu jaderného výzkumu v Řeži. Koncem sedmdesátých let se k potenciálním lokalitám přidala i Troja, kde byla zahájena výstavba tzv. Matematicko-fyzikálního učiliště – společného kampusu MFF UK a FJFI ČVUT. A právě v Troji, pětatřicet let po založení fakulty, se naplnil sen jejích zakladatelů o vlastním reaktoru uvedením školního reaktoru VR-1 do provozu.

V současnosti fakulta provozuje kromě dvou jaderných reaktorů (štěpného reaktoru VR 1 a fúzního reaktoru Golem) i několik specializovaných jaderných laboratoří. Na katedře

Obr. 5: Laboratoř pro distanční experimentální výuku (Internet Reactor Laboratory) v roce 2020 (foto archiv FJFI ČVUT)



dozimetrie a aplikace ionizujícího záření jsou studentům i výzkumným pracovníkům k dispozici dozimetrické a spektrometrické laboratoře, např. laboratoř detekce záření, spektroskopická rentgenová laboratoř nebo laboratoř integrální dozimetrie. Komplex radiochemických a instrumentálních laboratoř, který provozuje katedra jaderné chemie, se skládá ze dvou radiochemických laboratoř druhé kategorie pro práci s otevřenými zdroji ionizujícího záření a několika laboratoř první kategorie nebo nově vybudované laboratoře forenzních analýz jaderných materiálů a materiálů dvojího užití. Laboratoře katedry jaderných reaktorů jsou soustředěny kolem školního reaktoru VR-1.

OD VR-1 PŘES REAKTOR VR-2 K EXPERIMENTÁLNÍMU JADERNÉMU CENTRU

Školní reaktor VR-1, který je již dostatečně známý široké odborné i laické veřejnosti, je klíčovým špičkovým experimentálním zařízením pro výuku jaderného inženýrství v České republice a také pro výzkumné a vývojové práce v jaderných oborech, zejména v oblasti studia bezpečného provozu jaderných zařízení a jeho zabezpečení, teoretické a experimentální reaktorové a neutronové fyziky, jaderné bezpečnosti, havarijní připravenosti a jaderného palivového cyklu. Reaktor slouží studentům doktorského studia jako modelo-

doc. Ing. Lubomír Sklenka, Ph.D.

lubomir.sklenka@jfifi.cvut.cz

Absolvent Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze v oboru Jaderné inženýrství. V letech 2008–2018 byl vedoucím Katedry jaderných reaktorů, jeho celý profesní život je spojený se školním reaktorem VR-1. Od roku 2009 je expertem IAEA v oblasti využívání výzkumných reaktorů. V posledních letech se mj. věnuje rozvoji multidisciplinárního jaderného vzdělávání a výzkumu a neutronovému zobrazování na výzkumných reaktorech velmi nízkého výkonu.



vé jaderné zařízení, kde lze studovat v praxi jak jadernou bezpečnost, tak i radiační ochranu, havarijní připravenost, fyzickou ochranu, nakládání s jadernými materiály a zdroji ionizujícího záření, synergii bezpečnosti a zabezpečení jaderného zařízení, aplikaci zárukového programu v praxi apod. Podrobnější popis reaktoru, jeho vybavení a využívání lze nalézt v mnoha publikacích, v češtině např. v [1], [2], [3], [4], [5].

V posledních deseti letech se kolem školního reaktoru VR-1 postupně budovaly laboratoře, které nejen doplňují, ale i významně rozšiřují, experimentální možnosti reaktoru. Postupně byly vybudovány a uvedeny do trvalého provozu laboratoř neutronové aktivací analýzy, laboratoř řídicích systémů jaderných zařízení, neutronová laboratoř, laboratoř fyzické bezpečnosti jaderných zařízení nebo laboratoř pro distanční experimentální výuku.

Poslední dvě laboratoře jsou unikátní jak v domácím, tak i v zahraničním měřítku. Laboratoř fyzické bezpečnosti jaderných zařízení je vybavena různými typy detekčních a zpěťovacích prvků včetně ústřední, kamerovým systémem a několika druhy vstupních a výstupních identifikačních systémů osob včetně



Obr. 6: Laboratoř fyzické bezpečnosti jaderných zařízení v roce 2020 (foto archiv FJFI ČVUT)

biometriky. Kromě hardwarových komponent systému fyzické ochrany je laboratoř vybavena i specializovaným softwarovým vybavením HYPO, které umožňuje provádět návrhy systémů fyzické ochrany hypotetického jaderného zařízení a hodnocení kvality a efektivnosti těchto návrhů. Laboratoř pro distanční experimentální výuku (Internet Reactor Laboratory) umožňuje „vysílat experimentální výuku“ z reaktoru přes internet. Původní projekt, který byl vyvinut pro potřeby International Atomic Energy Agency, byl v době pandemie Covid-19 inovován tak, aby experimentální výuku (tj. vysílání audio a video signálu z reaktoru spolu s experimentálními daty v reálném čase) bylo možné vysílat jakýmkoliv uživateli reaktoru – skupinám studentů i jednotlivcům doma i v zahraničí. I když je reaktor VR-1 nejvýznamnějším zdrojem neutronů katedry jaderných reaktorů, tak není jediným. Reaktor a laboratoře doplňuje široké spektrum zdrojů neutronů, např. neutronové generátory typu D-D a D-T, radionuklidové zdroje typu Am-Be nebo zdroj Cf-252. Experimentální možnosti doplňuje sada více než 70 detektorů neutronů různých typů, které lze využít v reaktoru i v laboratořích.

Poslední chybějící součást k dobudování tzv. Jaderného experimentálního centra VR-1, které zahrnuje reaktor VR-1 a všechny přílehlé laboratoře, je podkritický reaktor VR-2. Podkritický reaktor, tj. reaktor, který pro udržení štěpné řetězové reakce potřebuje externí zdroj neutronů, je druhý štěpný jaderný reaktor ČVUT. Reaktor VR-2 je právě ve výstavbě. Uvedení do provozu se očekává koncem roku 2022 nebo začátkem roku 2023, a jeho využití pro studenty v průběhu roku 2023. Konstrukce lehkovodního reaktoru VR-2 s nízkou obohaceným uranovým palivem bude umožňovat změny geometrie a rozteče palivových proutků v aktivní zóně, používání různých externích zdrojů neutronů (např. D-D generátor

nebo Am-Be neutronový zdroj) a také změnu hladiny a teploty moderátoru. V reaktoru bude možné dosáhnout hodnoty efektivního koeficientu násobení až 0,97. Podobně jako reaktor VR-1, i reaktor VR-2 bude sloužit studentům a výzkumným pracovníkům. Po uvedení reaktoru VR-2 do provozu bude Jaderné experimentální centrum VR-1 kompletní a od roku 2023 bude celé k dispozici domácím i zahraničním studentům, jakož i výzkumným pracovním z domova i ze světa.

ZÁVĚR

Za více než 65 let, které uplynuly od založení Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské, se ukázalo, že „Jaderka“ má své pevné a nezapustitelné místo v akademickém vzdělávání v jaderných oborech stejně tak, jako v jaderném výzkumu. Učitelé a výzkumní pracovníci úspěšně navazují na odkaz zakladatelů jaderného vzdělávání a výzkumu v Československu – profesorů Václava Petržílky, Františka Běhouneka a Čestmíra Šimáně – a dále ho rozvíjejí.

Ing. Jana Matoušková

jana.matouskova@fjfi.cvut.cz



Absolvovala Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze v oboru Jaderné inženýrství. V současnosti pokračuje v doktorském studiu na FJFI ČVUT a v disertační práci se věnuje možnosti využití neutronového zobrazování na výzkumných reaktorech velmi nízkého výkonu jako je reaktor VR-1. Od roku 2019 pracuje jako vědecký pracovník na Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze.

Reference:

- [1] Matějka, K., Fleischhans, J., Polách, S., Sklenka, L., Jílek, M. Školní reaktor VR-1 Vrabc na FJFI ČVUT je v provozu. In: Jaderná Energie. 1992, roč. 38, č. 12, s. 423–432. ISSN 0448-116X
- [2] Matějka, K., Kolros, A., Polách, S., Sklenka, L., Fleischhans, J. Provozní charakteristiky a podmínky školního reaktoru VR-1 Vrabc. Bezpečnost jaderné energie. 1994, 2 (40), (7/8)
- [3] Matějka, K., Sklenka, L. Školní reaktor VR-1 již dvanáct let připravuje odborníky pro českou jadernou energetiku. In: Bezpečnost jaderné energie. 2003, roč. 11 (49), č. 5/6, s. 170–176. ISSN 1210-7085.
- [4] Rataj, J. Školní reaktor VR-1 – Vrabc slouží již 25 let českému jadernému vzdělávání. Bezpečnost jaderné energie. 2015, 23 (9/10), 285–294. ISSN 1210-7085
- [5] Rataj, J., Fejt, F. Vývoj bezpečnostních analýz školního reaktoru VR-1. Energetika. 2020, 70 (1), 43–47. ISSN 0375-8842

Profesor Ing. Bedřich Heřmanský, CSc.

Prof. Ing. Bedřich Heřmanský, CSc. vyučuje na Katedře jaderných reaktorů při Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Aktivně se podílí na výuce mladých jaderných inženýrů v oblasti jaderné bezpečnosti a termomechaniky jaderných reaktorů. Za dobu své úctyhodné vysokoškolské praxe vychoval stovky jaderných inženýrů působících ve všech významných organizacích jaderné energetiky v ČR a v SR.

Prof. Heřmanský se narodil 5. května 1933 v Praze. Jeho osobnost formovalo v mládí členství v českém skautingu, které mu vstřípilo zásady cílevědomého plnění povinností vůči sobě, svému okolí i vyšším hodnotám. Po absolvování reálného gymnázia vystudoval strojní fakultu ČVUT se zaměřením na kotle a klasickou energetiku, kde promoval v roce 1957. Na strojní fakultě získal solidní základy fyziky od profesora Zdeňka Horáka, významného československého fyzika a pedagoga. To ovlivnilo jeho rozhodnutí o další profesionální orientaci. Nabídla se mu možnost nastoupit jako asistent na katedru jaderného inženýrství nově otevřené Fakulty technické a jaderné fyziky Univerzity Karlovy. Šlo o nový jaderný obor, ve kterém si prof. Heřmanský doplnil vzdělání formou dvouletého postgraduálního kurzu.

V roce 1967 byla fakulta technické a jaderné fyziky Univerzity Karlovy začleněna do ČVUT jako fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská a prof. Heřmanský jí zůstal věrný až do současné doby. Podílel se tak na výchově celé generace reaktorových specialistů.

Inženýrské vzdělání a možnost od samého počátku působit v rychle se rozvíjejících oborech jaderného inženýrství předurčily jeho další odborný vývoj. Svou vědeckou i pedagogickou činnost cílevědomě zaměřoval na technické aspekty rozvoje jaderných reaktorů, na otázky termohydraulické analýzy a zejména na dynamiku energetických reaktorů, kde patří k průkopníkům tohoto oboru.

V roce 1967 obhájil kandidátskou disertační práci na téma „Lineární prostorová dynamika

jaderných reaktorů“, v níž položil základy této disciplíny. Svou vědeckou přípravu pak završil jednoročním studijním pobytem na londýnské univerzitě Imperial College.

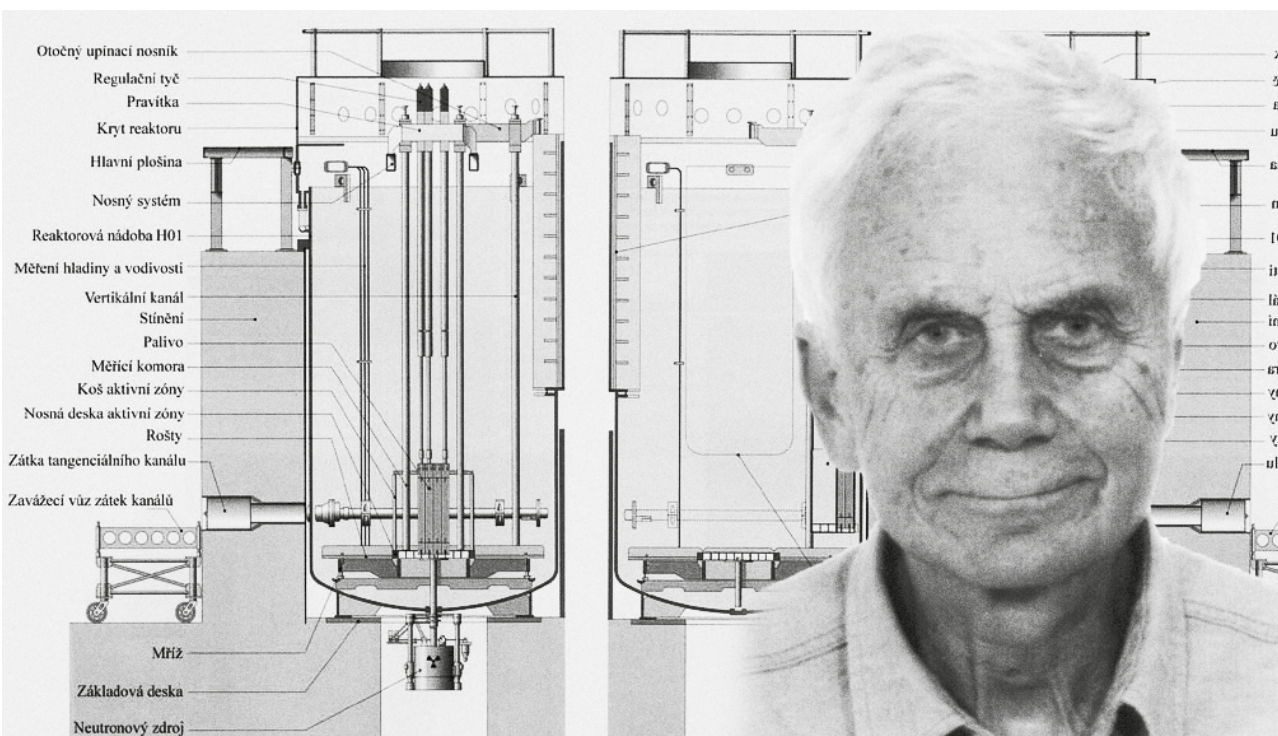
Prof. Heřmanský je autorem či spoluautorem mnoha učebnic a vysokoškolských skript, ale také populárně vědeckých knih. Jako aktivní vysokoškolský pedagog byl zadavatelem a vedoucím celé řady diplomových prací, jež předurčily další profesionální orientaci absolventů katedry jaderných reaktorů.

Jeho dlouholetá činorodá pedagogická a vědecká aktivita byly po zásluze oceněny prezidentem republiky Václavem Havlem, který jej v roce 1996 jmenoval do hodnosti vysokoškolského profesora.

Přes všechny výše uvedené mimořádné zásluhy a uznání, kterých se mu za rozvoj školství v oblasti jaderné energetiky dostalo, zůstal profesor Heřmanský skromný a věrný morálnímu kodexu skautingu, který získal v mládí – být vždy čistý v myšlenkách, slovech i skutcích.

MOJE OSOBNÍ VZPOMÍNKA NA PROF. HEŘMANSKÉHO

Profesora Heřmanského jsem se poprvé poznal v roce 1969, tehdy ještě jako asistenta, na přednáškách termodynamiky ve třetím ročníku studia na katedře jaderných reaktorů. Brzy po zahájení zimního semestru mi byla nabídnuta možnost pracovat pro něj jako „pomocná vědecká síla“, tzv. „pomvěd“. V praxi to znamenalo, že jsme společně ve



večerních hodinách, kdy už na katedře nikdo jiný nebyl, pracovali na skriptech, které pro výuku svého předmětu pro studenty připravoval. Již tenkrát mi imponovala jeho cílevědomá pracovitost. Naše spolupráce pokračovala až do konce studia, kdy jsem souhlasil, že bude mým vedoucím diplomové práce na téma „Modelování přechodových procesů v jaderných reaktorech“. Můj úkol byl vytvořit model dynamiky na analogovém počítači a porovnat jeho výhody a nevýhody s digitálním modelem. V té době se v zahraniční literatuře objevovaly stále častěji informace o uplatnění analogových počítačů v simulacích dynamiky jaderných reaktorů a prof. Heřmanského tyto aplikace zaujaly. Jednoduchý analogový počítač MEDA 81 T byl tehdy studentům k dispozici ve výpočetním středisku ČVUT v Horské ulici, takže nezbývalo, než se seznámit s programováním na tomto počítači a namodelovat rovnice bodové kinetiky reaktoru s několika modely integrální zpětné vazby. Model byl ve své podstatě elektrický obvod sestávající z kondenzátorů, cívek, rezistorů a potenciometrů.

Výstupem simulací byly grafické průběhy časového vývoje neutronového toku pro různé typy vnosu reaktivity – od skokových změn

přes lineární změny až po sinusové, simulující pohyby regulačních orgánů směrem nahoru a dolů. Měl jsem radost z toho, jak model krásně tyto přechodové procesy kreslí a hned s prvními výsledky jsem se běžel panu asistentovi pochlubit. Ten se nad některými grafy zamyslel a pochybovačně poznamenal, že neutronový tok není v některých případech vždy spojitá křivka, a že v těchto bodech nemá jeho průběh derivaci. „Něco se mi na tom nelíbí, v přírodě zpravidla všechny procesy probíhají spojitě, podívejte se ještě na to“, dodal. Byl jsem zklamán, měl jsem pro ony body své vlastní vysvětlení – při poklesu výkonu na okamžitých neutronech začnou v určitém momentu dominovat skupiny zpožděných neutronů, to jsou přesně ony momenty nespojitosti výkonu. To však prof. Heřmanský ode mě nevezal. A měl pravdu! Chybu v modelu jsem později objevil a diplomovou práci nakonec úspěšně obhájil. A pan profesor na tuto moji práci ani po letech nezapomněl – na našich společných přednáškách předmětu „Bezpečnost jaderných zařízení“ na FJFI během posledních 30 let mě vždy při představování studentům za tuto diplomovou práci chválil.

Miroslav Hrehor

Doc. Ing. Ján Haščík, PhD.

Niektorí ľudia zanechávajú za sebou takú významnú stopu, že sa priam žiada na ich výrazný vplyv poukázať, oceniť ich osobný vklad a podporiť ich v ďalšej tvorivej práci. Takouto osobnosťou je aj doc. Ján Haščík, PhD., ktorý pôsobí na Ústave jadrového a fyzikálneho inžinierstva na Fakulte elektrotechniky a informatiky spadajúcej pod Slovenskú technickú univerzitu v Bratislave. Ako študent doc. Haščíka mám tú česť týmto príspevkom vyjadriť mu obdiv a vďaka za jeho profesionalitu a zároveň sprostredkovať moje prvé stretnutie s energiou a pozitívnym myslením, ktoré boli a sú esenciou jeho prednášok.

Po náročnej študentskej nočnej aktivite som vchádzal v ospalej nálade do prednáškovej sály vtedajšej Katedry jadrovej fyziky a techniky na predmet s pomerne nevýrazným názvom Jadrové energetické zariadenia. Z letargie ma v momente vyviedol zvuk tlesku rúk a prenikavý energický pozdrav doc. Haščíka. Musím priznať, že som bol z návalu energie vykoľajený a potreboval som chvíľu na zorientovanie a bezpečné usadenie v relatívne malej prednáškovej sále. To už však doc. Haščík s jablkom v ruke začal svoju prednášku o životnom cykle neutrónov v aktívnej zóne jadrového reaktora. Aj keď som zvykol počas prednášok myšlienково ubiehať aj k iným aktivitám, pociťoval som zvedavosť, ktorá mi nedovolila prednášku mimotelovo opustiť. Výrazná gestikulácia, dynamika hlasu a dobre štrukturovaný výklad sprevádzaný rýchlym doplnením energie kúskom vždy pripraveného jablka ma do prednášky a problematiky vtahovala stále viac a viac. O niekoľko minút, teda aspoň podľa môjho subjektívneho vnímania času, bolo po prednáške a ja som musel rozmýšľať, aký hurikán sa to práve prehnal cez prednáškovú sálu. Taktiež vo mne zostal obraz nadšenia v očiach prednášajúceho. Hovorí sa, že oči sú brány do duše. V prípade doc. Haščíka do jadrovej energetiky. Tento zážitok a poznanie, že daná vedná oblasť takýmto výrazným spôsobom môže človeka aj po rokoch naplňovať, ma priviedla k rozhodnutiu svoje

ďalšie štúdium venovať oblasti reaktorovej fyziky priamo pod vedením doc. Haščíka. Rozhodnutie som nikdy neolutoval.

Osobnosť doc. Haščíka a jeho poznanie teoretických a praktických zákutí jadrovej energetiky siaha do šesťdesiatych rokov minulého storočia, kedy absolvoval štúdium na Moskovskom energetickom inštitúte v odbore Teplofyzika. Svoju prihlášku na toto štúdium na vtedajšej SVŠT skoro nesfinalizoval, avšak rozhodný prodekan prof. Dr. Puchner, DrSc. tvrdou skúsenou rukou nedovolil z pôvodného zámeru mladému študentovi vycúvať, čo sám doc. Haščík v mnohých spoločných rozhovoroch hodnotí ako zlomový okamih vo svojom profesijnom smerovaní. Z dôvodu svojho zamerania na využitie experimentálnych reaktorov sa v roku 1970 mladý Haščík po návrate začal aktívne zaoberať prípravou a dizajnom školského reaktora VR-1B, ktorý mal byť situovaný v Mlynskej doline. Táto aktivita mu zabezpečila aj miesto odborného asistenta na vtedajšej katedre jadrových reaktorov. Z archívneho návrhu na ocenenie Ing. Haščíka z roku 1987 v tejto súvislosti nemožno neuviesť nasledovnú úsmevnú formuláciu charakterizujúcu jeho povestnú neutíchajúcu vnútornú energiu: „Pri plnení povinností vedúceho pracovného kolektívu ... veľmi iniciatívne zabezpečuje aj neplánované úlohy, ktoré sa vyskytujú v priebehu vý-



stavby školského jadrového reaktora VR-1B. Z vlastnej iniciatívy zorganizoval brigády na vyčistení pozemku reaktora, a tak umožnil začatie predstihových prác súvisiacich s výstavbou ŠJR VR-1B ešte v tomto roku.“ Do prípravy školského jadrového reaktora VR-1B však negatívne zasiahli politické zmeny. Aj keď bolo vo februári 1988 vydané stavebné povolenie na výstavbu školského jadrového reaktora VR-1B v Mlynskej doline a v máji 1989 sa reálne začalo stavať, 6. 12. 1989 Ministerstvo školstva SSR stavbu pozastavilo a čas ukázal, že natrvalo. Tieto udalosti výrazne ovplyvnili potenciál jadrového výskumu v SR a s odstupom času možno jednoznačne vyhlásiť toto rozhodnutie za nesprávne [1].

Z hľadiska pedagogického doc. Haščík vypracoval a viedol prednášky z predmetov Teória jadrových reaktorov a Experimentálna reaktorová fyzika. V rámci oboch predmetov dlhodobou zabezpečoval cvičenia pre poslucháčov Ústavu jadrového a fyzikálneho inžinierstva

FEI STU (pred r. 2013 Katedry jadrovej fyziky a techniky) na školských jadrových reaktoroch Technickej univerzity v Budapešti, Českého vysokého učení technického v Prahe a Atominstítutu vo Viedni. Tieto experimentálne cvičenia boli a sú významným prínosom k vzdelávacie-mu procesu, ale aj k vytvoreniu hlbších vzťahov medzi študentmi a pedagógmi. Profesionálne a ľudské vzťahy pretrvávajú u absolventov štúdiá a dlhé roky po získaní diplomu tvoria základ pre spoluprácu praxe s akademickou pôdou. Príkladom takejto spolupráce sú aj postgraduálne kurzy organizované pre pracovníkov jadrového priemyslu na Slovensku a v Českej republike. Jedným z takýchto kurzov, ktoré dlhodobo doc. Haščík zabezpečuje a je takpovediac jeho dušou, je dvojsemestrálne štúdium s názvom Bezpečnostné aspekty prevádzky jadrových zariadení. Toto komplexné postgraduálne štúdium vytvára predpoklady na získanie a doplnenie odborných i špecializovaných vedomostí z bezpečnostných systémov, havárií a nehôd, spoľahlivosti, legis-

latív, manažmentu ťažkých havárií, ľudského faktora, bezpečnosti technologických a elektrických častí JE, chemických a materiálových aspektov, zneškodňovania RAO, ako aj vyhoreného jadrového paliva, činnosti jadrovoenergetických zariadení, radiačnej ochrany a ekologických aspektov. Prednášky zabezpečujú renomovaní univerzitní pracovníci, ako aj odborníci z praxe. Súčasťou prvého semestra je pracovná cesta po vybraných jadrových zariadeniach vo Švajčiarsku, kde sú spravidla navštívené laboratóriá výskumného strediska NAGRA – Grimsel Test Site a Mont Terri Underground Rock Laboratory, jadrové elektrárne Beznau a Leibstadt, ZWILAG – Würenlingen (Medzisklad VJP a spracovanie RAO) a ENSI Brugg (Švajčiarsky úrad jadrového dozoru). Postgraduálne štúdium Bezpečnostné aspekty prevádzky jadrových zariadení v sedemnástich behoch úspešne ukončilo 318 pracovníkov jadrového priemyslu. Doc. Haščík bol aj vedúci študentov viac ako 25-tich úspešne ukončených diplomových prác vo všetkých stupňoch štúdia a jeho diplomanti úspešne pôsobia vo všetkých inštitúciách relevantných pre oblasť jadrovej energetiky. Za jeho významnú pedagogickú aktivitu bol ocenený titulom Propagátor vedy a techniky za rok 2013, ktorý mu udelil vtedajší minister školstva, vedy, výskumu a športu SR.

Okrem výraznej pedagogickej aktivity je doc. Haščík aktívny aj v oblasti vedecko-výskumnej, kde je autorom približne 180-tich vedeckých publikácií z oblasti využitia jadrovo-fyzikálnych techník pri štúdiu materiálov, radiačného tienenia a reaktorovej fyziky. Taktiež je autorom a spoluautorom viacerých analýz pre Slovenské elektrárne, a.s. a Úrad jadrového dozoru SR, pôsobí v mnohých komisiách a poradných orgánoch vplývajúcich na jadrovú bezpečnosť. Doc. Haščík je

výraznou osobnosťou aj na poli nadnárodnej projektovej spolupráce, kde za zmienku stojí jeho dlhodobá účasť v aktivitách ENENU (European Nuclear Education Network) [2], v rámci ktorej pomohol zabezpečiť študentom jadrovej energetiky študijné a výskumné pobyty v Ruskej federácii a v Japonsku. Za najvýznamnejší počin v tejto oblasti možno považovať jeho vedúcu pozíciu v aktuálnom medzinárodnom projekte ENEEP [3] (European Nuclear Experimental Educational Platform), ktorý vytvára novú združenú platformu jadrových experimentálnych pracovísk v strednej Európe.

O nesmiernej kreativite a všestrannosti doc. Haščíka vypovedá aj jeho záľuba vo včelárstve, kde naberá životnú energiu a nachádza aj možnosť oddychu. Zvykne hovoriť, že vďaka jadrovej energetike a včelám stojí oboma nohami pevne na zemi a lepšie rozumie prírode aj ľuďom. Podľa jeho slov včelám má začo ďakovať, pretože mu priniesli pohyb a ten mu spolu s medom zlepšil aj zdravie. S dobrým jedlom je spojená aj jeho ďalšia výrazná osobnostná charakteristická črta. Doc. Haščík je známy ústavný kuchár, ktorý má vo svojej kompetencii tak prípravu vianočnej kapustnice, ako aj japonských placiek okonomiyaki a kórejskej fermentovanej kapusty kimchi. Jeho pochútky sú vždy stmelujúcim motívom priateľských stretnutí, ktoré robia naše uponáhľané pracovné životy príjemnejšie a ľudskejšie, čo si veľmi ceníme.

Záverom chcem poďakovať doc. Haščíkovi za jeho ľudský a pozitívny prístup k životu a popriať mu, aby jeho vnútorný zdroj energie pracoval minimálne tak spoľahlivo a efektívne ako tomu bolo doteraz.

Branislav Vrban

Literatúra:

- [1] Haščík J., Slugeň V., Hinca, R.: Potreba výstavby školského jadrového reaktora na Slovensku, Život. Prostr., Vol. 29, No 2, 98 – 100. Dostupné online: http://publikacie.uke.sav.sk/sites/default/files/1995_2_098_100_hascik.pdf, (27.08.2021)
- [2] European Nuclear Education Network, Dostupné online: <https://enen.eu/>, (27.08.2021)
- [3] European Nuclear Experimental Educational Platform, Dostupné online: <https://cordis.europa.eu/project/id/847555>, (27.08.2021)

Infrastruktura horkých komor Centra výzkumu Řež 6. díl

**Mgr. David Zoul, Ing. Markéta Koplová, Ph.D.,
Petra Krejčová**

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

V tomto článku si klademe za cíl seznámit čtenáře s novým pracovištěm horkých komor, které bylo v uplynulých letech postaveno v Centru výzkumu Řež u Prahy. Náš výzkumný program je zaměřen na strukturální diagnostiku a studium mechanických vlastností materiálů vystavených vysokým dávkám neutronové radiace v jaderných a termojaderných reaktorech. Dále pak cílí na výzkum a vývoj špičkových technologií a materiálů v oblasti rychlých reaktorů a v oblasti termojaderné fúze. Získání komplexního popisu degradace strukturálních a mechanických vlastností konstrukčních materiálů komponent jaderných reaktorů po dlouhodobé provozní expozici slouží k hodnocení jejich životnosti, spolehlivosti a bezpečnosti.

Původně neaktivní kovový materiál je vystaven vysokému neutronovému toku, tlaku, teplotě, chemickým vlivům prostředí. Vzniklý materiál s vysokou aktivitou je v horkých komorách přetvořen na vzorky vhodného tvaru a rozměru, které jsou pak podrobeny mechanickým zkouškám a metalografickým analýzám (zkouška tahem, vrubové houževnatosti rázem, lomové houževnatosti, rychlosti růstu trhliny při cyklickém zatěžování a za zvýšených teplot, malocyklové únavy a creepu). Hodnocení degradace materiálů je založeno na zkoumání mikrostruktury metalurgických vzorků po mechanické zkoušce. Další užitečnou informací přináší stanovení prostorové distribuce aktivity ve vzorku.

V této závěrečné části popíšeme způsob vstupování pracovníků do nitra horkých komor za účelem rutinní údržby a dekontaminace.

In this article, we aim to acquaint our readers with the new workplace called hot cells, which was built in Research Centre Řež near Prague in recent years. Our research programme is focused on structural diagnostics and study of mechanical properties of materials exposed to high doses of neutron radiation in nuclear and thermonuclear reactors. Furthermore, it contains the research and development of high technology and materials in the field of fast reactors and thermonuclear fusion. Obtaining a comprehensive description of degradation of structural and mechanical properties of construction materials for nuclear reactor components after long-term operational exposure serves to assess their durability, reliability, and safety.

The originally inactive metal material is exposed to high neutron flux, pressure, temperature, and environment. The resulting highly active material is cut into samples of suitable shape and size, which are then subjected to mechanical testing and metallographic analysis (tensile, fracture toughness, crack growth rate under cyclic loading and elevated temperatures, low-cycle fatigue and creep tests) in hot cells. Evaluation of material degradation is based on the examination of the microstructure of metallurgical samples after mechanical testing. Another useful information is the determination of the spatial distribution of activity in the sample.

In this last part, we will describe the way in which workers enter the interior of hot cells for the purpose of routine maintenance and decontamination.

1. ÚVOD

Dekontaminace komor se provádí za účelem běžné údržby nitra hermetického boxu, aby se v něm po skončení prací snížila aktivita na úroveň umožňující vstup pracovníků v ochranných oblecích. Pokud by se pravidelné dekontaminace neprováděly, radioaktivita uvnitř boxu by s časem nekontrolovaně narůstala a brzy by bylo nemožné vstoupit do komory za účelem servisního zásahu při provozních poruchách zařízení, kalibrace měřidel

a vyjmutí měřidel určených ke kalibraci, čištění zanesených součástek strojů a přístrojů, výměny opotřebovaných součástek a obráběcích nástrojů, výměny řezných kapalin a maziva a dalších úkonů standardní údržby zařízení uvnitř HK. V některých případech jsou zkušební vzorky natolik malé a křehké, že je nemožné je instalovat do zkušebních přístrojů a upínacích přípravků jinak než ručně po fyzickém vstupu operátora do komory.



Obr. 1: Exteriér a interiér přestupního ochranného krytu |

Z těchto důvodů se pravidelně provádí dekontaminace nitra hermetických boxů (HB), které tvoří vnitřní ochranné vložky horkých komor. Dekontaminaci je vhodné provádět plánovaně vždy po ukončení jedné zakázky, popř. operativně v případech, kdy je nutno provést nezbytnou opravu porouchaného zařízení. Dekontaminaci je rovněž potřeba nařídit tehdy, pokud během plnění zakázky vzroste radioaktivita a stupeň kontaminace uvnitř komory natolik, že by v případě pokračování práce došlo k příliš silnému zamoření komory, které by znemožnilo ji následně odmořit standardními postupy popsány níže.

2. PŘÍPRAVA KOMORY PŘED OTEVŘENÍM

Odřezky vysokoaktivních vzorků, brusné kotouče a ostatní víceaktivní pevné lisovatelné i nelisovatelné RAO (tzv. VAO) se před otevřením HK umístí dálkovými manipulátory do prázdných plechovek, které se důkladně zazátkují a dočasně převezou zavázcím zařízením do trezoru v HK6, nebo do jiné vhodné

komory. Do ní se buď ještě před zavezením VAO, nebo později, spustí jeřábem olověný sud, do kterého se následně VAO přemístí dálkovými manipulátory. Provede se dozimetrické ohledání teleskopickou sondou FHZ, zda PDE na povrchu sudu nepřekračuje 2 mSv/h, a sud se následně likviduje již standardním způsobem jako RAO dle příslušného pracovního postupu (PP).

3. POK - VSTUPOVÁNÍ DO KOMOR

K bezpečnostnímu oddělení prostor zavázcí haly od prostoru horké komory (HK) během servisních prací uvnitř HK, je určen tzv. přestupní ochranný kryt (POK) – Obr. 1. Jedná se o mobilní předkomoru manipulovatelnou halovým jeřábem nosnosti 25 t. Pro kontinuální monitorování radiační situace uvnitř HK slouží sondy MG-04, pevně instalované uvnitř každé HK. Pakliže sonda MDG-04 signalizuje radiační situaci umožňující odzátkování stropního stínění příslušné HK a vstup pracovníků do HK dle Programu monitorování (dávkový příkon <0,5 mGy/h), lze vydat pokyn pro

připojení POK k HK. Proškolený jeřábník a vazač halovým jeřábem nejprve odstraní stropní zátku vstupního otvoru HK. Vazač zavěsí na halový jeřáb vyvažovací zařízení a jeřábník jej vyzdvihne nad POK. Po žebříku vystoupí vazač na střešku POK a na závěsná oka POK připevní nosné háky vyvažovacího zařízení. Jeřábník zdvihne POK nad podlahu a pomocí dálkového ovládání vyvažovacího zařízení provede vyvážení POK, který poté umístí na stropní stínění odzátkované HK, mezi kovové zářky vymezující správnou polohu POK. Průlez v podlaze POK se pak přesně kryje se vstupním otvorem do HK.

POK usazený na hrdlo odzátkované HK se nyní musí připojit na:

- 1) přívod elektrické energie prostřednictvím zásuvky na jeho vnější zadní stěně,
- 2) přívod dýchatelného stlačeného vzduchu skrze ventil na jeho vnější zadní stěně,
- 3) nouzový odtah vzduchu skrze trubici SPIRO s ručně uzavíratelnou klapkou, která prochází zadní stěnou POK.

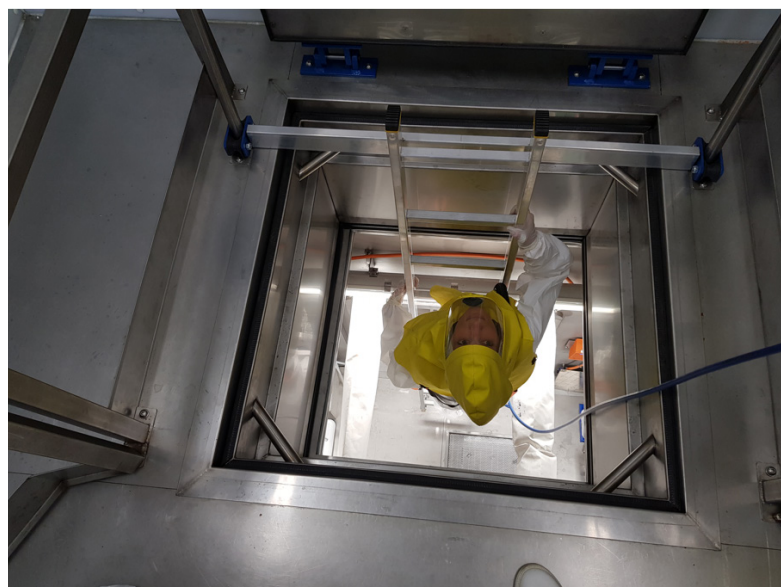
4. PERSONÁLNÍ ZAJIŠTĚNÍ

Dle PP pro vstup do HK přes POK se dekontaminačních prací účastní minimálně 4 pracovníci, z toho jeden OPDRO, dva PDK a operátor inkriminované komory – odborně proškolený pracovník, který rozumí ovládání a demontáží přístrojů, jež se mají dekontaminovat.

Každý den je před zahájením činností vedoucím výzkumné aktivity vydán pracovní příkaz, v němž jmenovitě uvede pracovníky, kteří budou dekontaminaci provádět, a jmenuje pracovníka, který bude práce řídit. Pracovník (OPDRO) pověřený řízením provede před zahájením prací pokaždé důkladné seznámení ostatních pracovníků s postupem práce pro daný den a s hrozícími riziky.

Zatímco OPDRO z POK řídí a koriguje práci uvnitř HK, podává pomůcky do komory a vytahuje předměty z komory prostřednictvím dálkově ovládaného klešťového manipulátoru, obsluhuje vysavač atd., druhý pracovník (PDK) mezi tím soustavně monitoruje radiační situ-

aci v POK, PDE na povrchu vysavače a PDE na povrchu vyzdvižených sáčků s RAO a s kontaminovanými předměty určenými k odmoření a opětovnému použití. Jedna osoba (PDK) vně POK zajišťuje spojení s vnějším světem, odnáší sáčky s RAO do skladu a sáčky s předměty k dekontaminaci do dekontaminační laboratoře, zajišťuje podporu při ukládání RAO do připravených betonových sudů a dozimetrickou podporu při výstupu pracovníků z POK. Další, v pořadí čtvrtá osoba (zpravidla operátor HK) provádí manipulace uvnitř HK (ať již pomocí manipulátorů z operátorovny, či manuálně přímo uvnitř HK).



Obr. 2: Pracovnice sestupující po žebříku z prostoru přestupního ochranného krytu do nitra horké komory

5. VNITŘNÍ VYBAVENÍ POK

Komunikace mezi pracovníky uvnitř a vně POK probíhá prostřednictvím interkomu, vizuální kontakt zajišťují dva zasklené průzory. Z důvodu udržení čistoty je za dveřmi POK umístěn lepkavý ošlapový pás. Uvnitř POK je provozní a nouzové osvětlení. Do vnitřního prostoru je přiváděn vzduch pro dýchání skrze trubici SPIRO na přední stěně POK, opatřené větrací mřížkou a zpětnou klapkou. Trubička je umístěna nad vchodovými dveřmi.

Pro dopravu hmotnějšího materiálu slouží 2 mostové jeřáby – jeden operující uvnitř HB (nosnost 200 kg), druhý operující přímo v POK (nosnosti 250 kg). Uvnitř POK má personál k dispozici ochranné pomůcky, jako jsou ochranné obleky (včetně přetlakových). Dále základní vybavení pro vykonání servisních úkonů (pracovní stůl se svěřákem, nad ním plechová skříňka s náradím, elektrická dvojjásuvka 230 V, 16 A, přívod stlačeného vzduchu 1 MPa a interkom, druhá dvojjásuvka 230 V, 16 A, je upevněna společně s hlavním elektrickým vypínačem a vypínačem jeřábu na boční straně elektrorozvodné skříňe na zadní stěně POK). K dispozici je rovněž vana pro oplach zamořených částí, opatřená sběrnou plastovou nádržkou na kapalné RAO, určená k dekontaminaci osob i vynášených předmětů, nerezová lavice pro převlečení do ochranných obleků a obuvi před vstupem do HK, a plechová skříňka na stěně, obsahující základní pomůcky pro dekontaminaci.



Obr. 4: Diferenční manometr Magnehelic |

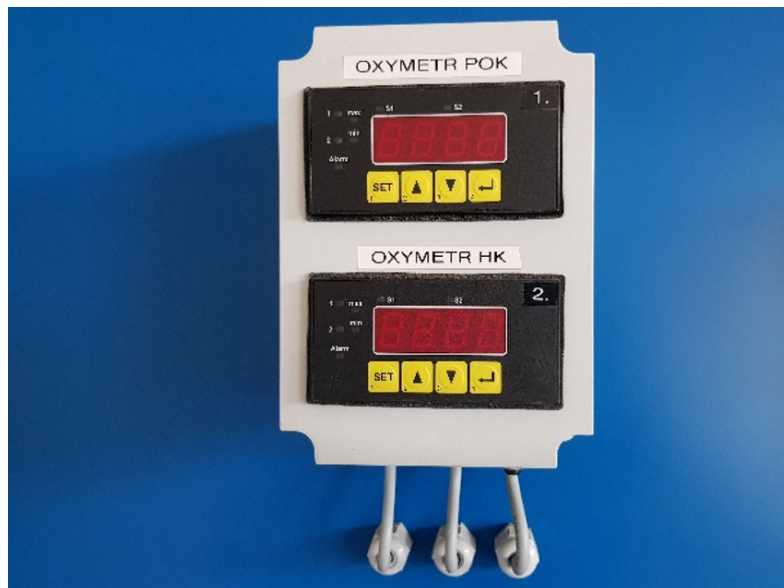


6. VSTUP PRACOVNÍKŮ DO POK

Do POK vejdou pracovníci v OOPP dle pracovního příkazu: tyvek, 2× návleky (jednoduché a vysoké), 2× rukavice, respirátor, popř. polomaska, maska nebo přetlaková kukla. Zapnou hlavní elektrický jistič na elektrorozvodné skříňce na zadní stěně POK a stisknutím elektrického vypínače umístěného na stěně u vstupních dveří rozsvítí osvětlení. Pakliže to radiční situace a míra zamoření uvnitř HK vyžaduje, pracovník, který bude vstupovat do HK, se následně v POK oblékne ještě do přetlakového obleku – Obr. 3. Filmový dozimetr pracovník ponechá na referenčním místě pracovního oblečení. Elektronický dozimetr bude umístěn vně tyveku nebo přetlakového obleku.

Před obléknutím přetlakového obleku či kukly je potřeba připojit oblek hadic k ventilu stlačeného vzduchu na stěně POK. Přetlakové kukly jsou vybaveny ručičkovým průtokoměrem plynu, přetlakové obleky pak elektronickým průtokoměrem plynu, signalizujícím dostatečný průtok vzduchu oblekem rozsvícením zelené LED. Další centrální plynový průtokoměr je umístěn na přípojném ventilu na stěně POK. Před vstupem do HK si pracovník upevní bezpečnostní úvaz připojitelný na mostový jeřáb HK, resp. POK, pro případ ohrožení života a nutnosti vyprostit pracovníka jeřábem.

Obr. 3: Oblékání pracovnice do přetlakového obleku |



Obr. 5: Vnitřní a vnější zobrazovací jednotky oxymetrů OXY 3690 MP pro stanovení hladiny kyslíku uvnitř POK a HK

Pro vstup do HK je nejprve nutno otevřít pohyblivou část ochranného zábradlí, zdvihnout nerezový poklop zakrývající vstupní otvor do HK a zajistit jej proti pádu sklopením držáku poklopu. Do vstupního otvoru se spustí propojovací límec. Před hermetickým připojením POK na HB musí být klapka nouzového odtahu vždy uzavřena (aby nedošlo k nasávání vzduchu z HK do POK). Pracovníkovi, který zůstal vně POK, je dán pokyn k otevření elektricky ovládaného hermetického uzávěru HB. Provede se kontrola těsnosti propojení POK a HB měřením poklesu tlaku uvnitř POK diferenčním manometrem Magnehelic (Obr. 4) a kontrola koncentrace kyslíku uvnitř HK a POK dvěma oxymetry OXY 3690 MP (Obr. 5).

Jeden z oxymetrů je vybaven sondou na kabelu v délce 10 m, která se spustí do HK. Druhý oxymetr měří přímo uvnitř POK. Zobrazovací jednotky obou oxymetrů jsou uvnitř i vně POK. Provede se dálkové dozimetrické mapování nitra komory teleskopickou sondou FHZ.

Pomocí dálkových manipulátorů a mechanických kleští se přendají z komory do POK plastové sáčky obsahující prázdné plechovky, ampule, igelity, zavičované kýble s radioaktivním kalem, lešticí kotouče a další středně aktivní odpad. Jednotlivé sáčky s RAO nesmí přesáhnout povrchový PDE 6 mSv/h, aby ve vzdálenosti 2 m, kde stojí manipulující osoby, nepřesáhl PDE 100 μ Sv/h – vše se následně

umístí dvoumetrovým klešťovým manipulátorem do předem připravených vybetonovaných přepravních sudů na RAO vyložených případně ještě olovem či olovenou vatou a likviduje jako RAO. Důležitou podmínkou pro možnost přepravy takto zabaleného RAO k likvidaci, je PDE na povrchu obalu nepřekračující 2 mSv/h.

Postupně se odstraní veškeré zbývající nízkoaktivní RAO (jak pevné, tak kapalné) z komory a následně rovněž z POK. PDE na povrchu sáčku či kanystru tentokrát nesmí přesáhnout 1 mSv/h, tento odpad lze uložit přímo do skladu RAO. Ve skladu RAO může uvnitř klece vzniknout zvýšené pozadí, které však nesmí nikdy a na žádném místě překročit 10 mSv/h. Vně skladu RAO smí být radiační pole max 100 μ Sv/h v prostorách technické haly s omezeným přístupem a 10 μ Sv/h v ostatních prostorách, což je zajištěno vhodným rozmístěním ocelových stínících paravánů.

7. HRUBÉ VYSÁTÍ KOMORY

Před započítáním vysávání radioaktivních zbytků prachu, brusiva a špon uvnitř HK je potřeba zkontrolovat, zda je ve vysavači správně vložen filtrační sáček a PDE na povrchu vysavače nepřesahuje 100 μ Sv/h. Dále, že je řádně vložen čistý filtrační koš v separátoru vysavače uvnitř HK (obsluha dálkovými manipulátory) viz Obr. 6. S filtračními sáčky v POK se manipuluje pouze v ochranném oděvu (tyvek) a minimálně s celoobličejovou maskou.



Obr. 6: Separátor vysavače |

Přístroje, misky a falešná podlaha HB jsou poté důkladně vysáty od špon, brusiva a radioaktivního prachu, prostřednictvím dálkových manipulátorů ovládaných z operátorovny. Během vysávání pověřený PDK uvnitř POK neustále monitoruje PDE na povrchu vysavače. Pokud by se blížil 1 mSv/h, přeruší práci a filtrační sáček se vymění.

V POK pracujeme se zapnutým vysavačem zásadně jen v přetlakových kuklách napojených hadicí na vnější přívod dýchatelného vzduchu.

8. VYKLIZENÍ PRACOVNÍHO NÁČINÍ A JEHO ODMOŘENÍ

Po důkladném vysátí se vyjmou z komory pomocí dálkových manipulátorů v plastových sáčcích do prostoru POK palety, misky, kádinky a další náčiní pro opětovné použití, které lze odmořit v ultrazvukové pračce. PDE na povrchu každého jednoho sáčku nesmí překročit 1 mSv/h, aby mohl být přenesen do ultrazvukové pračky v dekontaminační laboratoři – Obr. 8.

Předměty jsou následně vyprány a odmořeny na nestíratelnou aktivitu působením kombinace vhodných chemikálií (voda, lihobenzín, kyselina citronová, popř. brusné částice, jako např. korund), vysokých teplot (až 80 °C) a ultrazvukových vln. Přitom je potřeba dbát zvýšené opatrnosti, neboť se pracuje s radioaktivní kapalinou ohřátou na vysokou teplotu, navíc s obsahem hořavin a kyselin. Při práci s pračkou je rovněž potřeba počítat s výparry, jež sice bývají zpravidla neaktivní, ale při vdechování mohou dráždit dýchací cesty.

Z toho důvodu je potřeba používat obdobné OOPP, jako při práci v POK a v komorách (tyvek, návleky, rukavice, plynová maska).

Před vyjmutím každého odmořeného předmětu z pračky je tento důkladně opláchnut lihem, pečlivě otřen buničinou a proměřen scintilačním měřidlem povrchové aktivity CoMo 170. V ultrazvukové pračce se po prvním praní sníží aktivita praných předmětů zpravidla jen na úroveň zprůměrované aktivity, která se rozpustila v celém objemu lázně. Proto je po prvním praní potřeba kontaminovanou lázeň vypustit do připraveného plastového barelu, vnitřek pračky otřít buničinou a lihem, napustit novou čistou lázeň, a celý proces praní ještě minimálně jednou či dvakrát opakovat.

Pokud ani po třetím praní nejsou některé předměty očištěny pod 4 Bq/cm², použije se buničina s neodekontem pro důkladné očištění předmětů. Stěry se poté změří přístrojem CoMo a když se ukážou neaktivními, teprve poté je lze prohlásit za odmořené na nestíratelnou aktivitu.

Poznámka: dekontaminační laboratoř odpovídá svým vybavením dle vyhlášky č. 422/2016 Sb. volné pracovní ploše s pracovními stoly (koef. vybavenosti 0,0001). Během dekontaminace se pracuje za mokra s těžkými kapalinami, jako je např. lihobenzín, nebo perchloretylen, což představuje nejvyšší přípustnou aktivitu zpracovávanou na tomto pracovním místě 1 600 Sv/h_{inh}. Pro nejčastěji se vyskytující radionuklid ⁶⁰Co činí h_{inh} 10⁻⁸ Sv/Bq, čemuž odpovídá maximální množství naráz zpracovávané aktivity 16 MBq.

9. DOČIŠTĚNÍ KOMORY VYSAVAČEM

Jakmile je POK zbaven veškerých předmětů, provede se další dozimetrické ohledání nitra HK6, popř. se s pomocí dálkových manipulátorů vysají zbytky špon a prachu tam, kde byl ještě zjištěn zvýšený PDE. Z igelitových fólií na podlaze komory se prach vysává obtížně, proto je potřeba je před vysáváním vždy nejprve postupně opatrně uvolnit, sbalit prostřednictvím manipulátorů, aby z nich nečistoty nevypadly na obnaženou podlahu a umístit je do přípra-

vených plastových kbelíků, které se následně zavíčkují a vyzvednou z komory jako RAO. Prach, který během této činnosti přece jen ulpí na podlaze, je poté znovu vysát do čista.

V případě vysokého PDE na povrchu separátoru je následně potřeba dálkovými manipulátory vyměnit filtrační koš v separátoru za čistý a ten s obsahem RAO umístit do igelitového sáčku. Sáček sbalit manipulátory do předem připraveného plastového kbelíku, zavíčkovat a následně převézt zavážecím zařízením do stíněného sudu připraveného v SPB nebo jiné vhodné komoře.

Znovu se provede důkladný dálkový monitoring radiační situace v komoře a podle výsledků bude rozhodnuto, zda již dovnitř mohou vstupovat na omezenou dobu osoby v přetlakové kukle a mohou být zahájeny ruční dekontaminační práce.

10. VSTUP PRACOVNÍKA DO HORKÉ KOMORY

Operativní monitoring vnitřku HK se provádí přístrojem FH 40 s připojenou dálkovou sondou FHZ 612-10, která se buď spustí do HK volně na kabelu, nebo zasune do HK prostřednictvím teleskopického výsuvného držáku Teleprobe FH 40 TC (Obr. 7). Žádný pracovník nesmí vstoupit do HK, dokud k tomu nedostane výslovný pokyn od PDK. Pokud PDE ve výšce 1 m nad falešnou podlahou HK poklesne pod $100 \mu\text{Sv/h}$ a na podlaze pod 1 mSv/h , koncentrace kyslíku dosahuje nejméně 18 %,

a při otevření elektricky ovládaného hermetického poklopu HB došlo k signifikantnímu poklesu tlaku na diferenčním manometru uvnitř POK (hermetickému propojení POK s HK), vydá PDK pokyn ke vstupu do komory.

Pracovník v přetlakové kukle opatrně vsune do HK sklápěcí žebřík, jenž je součástí příslušenství POK. Uvnitř HK se nohy žebříku opřou o stěnu HB (žebřík nedosahuje až k falešné podlaze, aby se od ní nekontaminoval) a zkontroluje se jeho stabilita. Takto připraveným průlezem poté pracovník sestoupí do HK. K ochraně pracovníka před pádem do HK a k usnadnění sestupu po žebříku slouží bezpečnostní pevné zábradlí, jehož je pracovník povinen se při vstupu na žebřík přidržovat.

Při otevřeném průlezu, jímž se momentálně nepohybuje žádný pracovník, je vždy nutno uzavřít pohyblivou část ochranného zábradlí nad vstupním otvorem do HK, aby se zamezilo nebezpečí náhodného pádu pracovníka či předmětu z prostoru POK do HK.

Doba pobytu je omezena dosaženou denní dávkou na elektronickém osobním dozimetru na $100 \mu\text{Sv}$. Současně je povinné nošení prstových dozimetrů, neboť dávkové příkony na ruce mohou při některých činnostech přesahovat i několik mSv/h .

Při použití přetlakových obleků či kukel uvnitř HK je vždy jeden pracovník povinen zůstat v POK a permanentně sledovat centrální

Obr. 7: Přístroj FH 40 s dálkovou sondou FHZ 612-10 a teleskopickým výsuvným držákem Teleprobe FH 40 TC



plynový průtokoměr, aby mohl okamžitě vyzvat pracovníky k výstupu z HK v případě významného poklesu průtoku vzduchu.

11. ČIŠTĚNÍ KOMORY

Některé předměty mohou mít nadlimitní PDE na kontakt, ale se vzdáleností PDE poměrně rychle klesá, takže v 1 m nad podlahou nikde nepřesahuje deklarovaných 100 $\mu\text{Sv/h}$. U předmětů, které mají na kontakt méně než 10 mSv/h a méně než 1 mSv/h ve vzdálenosti 50 cm, je možné ruční dočištění použitím peňanu s navlhčenou vatou, nebo buničinou, pokud je pracovník vybaven prstovým dozimetrem. Předměty o PDE menším, než 1 mSv/h je také možno vyzvednout do prostoru POK, postavit do dekontaminační vany a zde je ručně dekontaminovat buničinou a dekontaminačními chemickými prostředky mimo radiační pozadí HK.

V další fázi svého pobytu pracovník v přetlakové kukle uvnitř HK ručně vysaje vysavačem zbytky prachu uvnitř jednotlivých přístrojů, ke kterým se nebylo možno dostat dálkovými manipulátory. Ručně vymění filtrační koš v separátoru, slijí a odstraní z komory zbytky kapalného RAO či kalu po odpaření kapalného RAO, který bylo nebezpečné či neproveditelné slít prostřednictvím dálkových manipulátorů. Ze záchytné vany přístrojů provede slití případných radioaktivních emulzí a radioaktivního oleje do připravených plastových kanýstrů. Pokud pracovníkem z nějakého důvodu nemůže být samotný operátor příslušné HK, všechny činnosti napřed důkladně konzultuje s operátorem HK. Během těchto operací je třeba maximální opatrnosti, aby nic nezateklo na holou podlahu a do spár (vypodložit igelíty a plastovými vanami).

Tím se zpravidla PDE všude v komoře podaří snížit pod 1 mSv/h a budou moci být zahájeny standardní dekontaminační práce.

Pracovníci v tyveku a celoobličejových maskách resp. přetlakových kuklách provedou případné nezbytné opravy či výměny poškozených částí vnitřního zařízení, důležitých pro správné fungování komory. Zvlhčenou buničinou otřou nejvíce kontaminované plochy strojů, manipulátorů a dalších zařízení uvnitř



Obr. 8: 40 kHz ultrazvuková čistička (pračka) ENETRON o objemu 30 l

boxu. Filtr vzduchotechniky, který může mít jednotky mSv/h, se vyjme a likviduje jako RAO.

Jakmile se podaří snížit PDE v celém prostoru boxu pod 100 $\mu\text{Sv/h}$, je nejprve potřeba vyčistit komoru od hotspotů – drobných ploch s řádově zvýšenou povrchovou aktivitou ve srovnání s okolním průměrem. Následně se očistí falešná podlaha a ostatní vodorovné plochy od snadno stíratelné aktivity.

Jakmile se z HK vytáhnou kontaminované čisticí a ochranné prostředky (buničina se stěry, zbytky OOPP apod.) a pozadí uvnitř klesne pod 10 $\mu\text{Sv/h}$, je zcela bezpečné pobývat zde již po dobu jednotek hodin v tyveku a masce či polomasce.

Vyjmou se zamořené kleště manipulátorů, vložky pecí apod., a vyperou v sonické pračce. Vše se odmoří až na nestíratelnou aktivitu. Vyčistí se rukávy manipulátorů, dekontaminují olověné cihly.

Na nestíratelnou úroveň se postupně odmoří rovněž falešná podlaha HB, na níž se ještě mohou vyskytovat hotspotsy o aktivitě několika desítek Bq/cm², které je potřeba dočistit – rozebrat podlahu a vyčistit spáry pod ní. Poté lze v základních OOPP (tyvek, celoobličejová maska, návleky, rukavice) sestoupit pod falešnou podlahu HB.

Po rozebrání desek falešné podlahy je nutno každou jednotlivou desku zespodu pečlivě očistit buničinou a dekontaminačními prostředky. Taktéž i horní plochy rastru, na kterých desky leží. Obvykle se výrazná stíratelná aktivita nalézá rovněž zespodu rastru, takže je potřeba jej rovněž rozebrat, důkladně proměřit a vyčistit každý jednotlivý nosný segment.

12. ÚKLIDOVÉ A DOČIŠŤOVACÍ PRÁCE

Zkontroluje se a odstraní případná stíratelná aktivita na pojezdech, kabelech, šroubech jeřábu a dalších místech, kde obvykle leží vrstva prachu a oleje, která se snadno kontaminuje.

Dále je potřeba sestoupit pod falešnou podlahu a proměřit přístrojem CoMo, zda tam během čištění nezatekly kontaminované kapaliny. Případné zaschlé radioaktivní kapky dočistit. Poté je nutno vysavačem vysát prach a zbytky buničiny spadané pod falešnou podlahu na dno boxu a do otvorů jednotlivých pecí. Po opětovné kontrole přístrojem CoMo následuje kompletace rastru a desek falešné podlahy.

13. UVEDENÍ KOMORY DO PŮVODNÍHO STAVU - PŘEDÁNÍ K DALŠÍMU UŽÍVÁNÍ

Po dekontaminaci je třeba uvést komoru do původního stavu. Po navrácení všech dílů falešné podlahy, odmořených součástí a přístrojů na své místo, zaznamenáme a označíme fixem veškeré hotspoty s fixovanou aktivitou nad 4 Bq/cm^2 a také fixovanou aktivitu na odmořených předmětech vnitřního vybavení HK.

V řadě případů se komora ani po důkladné dekontaminaci již nemůže považovat za úplně čistou. Je třeba jasně deklarovat, že v HK trvale zůstává stíratelná povrchová kontaminace, zaznamenat její hodnoty a poučit pracovníky, že vstup do komory je povolen pouze v OOPP, tyvek, respirátor, návleky, rukavice.

14. VÝSTUP PRACOVNÍKA Z KOMORY

Po výstupu pracovníka z HK do prostoru POK, se tento nejprve zbaví jednorázových ochranných prostředků, které se následně likvidují jako lisovatelný radioaktivní odpad. Poté PDK proměří úroveň kontaminace opakovaně použitelných OOPP (plynové masky a polomasky, přetlakové obleky), popř. dalších vynášených předmětů, měřidlem CoMo. V případě zjištění nadlimitní kontaminace částí těla, oděvu, či vynášených předmětů, je nutné před výstupem z POK snížit tuto úroveň pod limity stanovené

v Programu monitorování ($<0,4 \text{ Bq/cm}^2$). Jako prostor pro dekontaminaci slouží nerezová vana pro oplach zamořených částí, opatřená sběrnou plastovou nádržkou na KRAO. Před opuštěním POK pracovníci otevřou ruční klapku nouzového odtahu vzduchu na zadní stěně POK, z důvodu jeho odvětrání a vypnou hlavní elektrický jistič na elektrorozvodné skříni. Během opuštění POK jsou pracovníci povinni si očistit obuv na lepkavém ošlapovém pásu u východu z POK. Po výstupu z POK se pracovníci ještě jednou důkladně proměří na přistaveném mobilním detektoru kontaminace rukou a nohou HF-350.

Prezentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektů CZ.1.05/2.1.00/03.0108 a CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_008/0000293.

Mgr. David Zoul



david.zoul@cvrez.cz

Absolvoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy v Praze v oborech Bezpečnost jaderných zařízení a Kvantová biofyzika. Na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze poté získal akreditaci pro výkon zdravotnického povolání v oboru radiologická fyzika. V letech 2001–2013 pracoval ve Fakultní nemocnici v Motole a v Nemocnici Na Homolce jako dohlížející osoba v oblasti radiodiagnostiky a jako lékařský fyzik v oboru radiační onkologie, se zaměřením na léčbu dětské leukémie a stereotaktickou radioterapii mozkových nádorů.

V letech 2006–2013 přednášel lékařskou fyziku na 2. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze a Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT.

Od roku 2014 pracuje ve společnosti Centrum výzkumu Řež v oblasti dozimetrie ionizujícího záření, kde se zabývá mimo jiné výzkumem a vývojem organických integrujících dozimetrů a přístrojů pro gama tomografii. Současně vykonává soustavný dohled nad dodržováním požadavků radiační ochrany na pracovištích s otevřenými a uzavřenými radionuklidovými zdroji.

Vývoj nástrojů pro sledování migrace kontaminantů (radionuklidů, těžkých kovů a nanomateriálů) v horninovém prostředí

**RNDr. Václava Havlová, Ph.D.¹, RNDr. Filip Jankovský¹,
Mgr. Milan Zuna, Ph.D.¹, Ing. Jakub Jankovec, Ph.D.²,
Ing. Milan Hokr, Ph.D.³, Ing. Pavel Kůs, Ph.D.⁴**

¹ ÚJV Řež, a. s.

² Progeo, spol. r.o.

³ Technická univerzita v Liberci

⁴ Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Kvantifikace procesů migrace kontaminantů se stala leitmotivem projektu TA ČR TH02030543 Vývoj nástrojů pro studium transportu kontaminantů v puklinovém prostředí. Projekt směřoval především k vývoji nástrojů pro hodnocení bezpečnosti antropogenních činností, které mohou do životního prostředí uvolňovat kontaminanty (radionuklidy, těžké kovy, ale i nanomateriály), jež pak následně migrují. Pro stopovací experimenty s různými typy stopovačů (neaktivní stopovače – např. KI, KBr, NaCl; těžké kovy – Pb, nanomateriály – nFe, radionuklidy – ³H, ¹⁸⁸Re) byly zkonstruovány instrumentované fyzikální modely se semi-umělou a přirozenou puklinou. Stopovací experimenty byly pak provedeny za různých experimentálních podmínek. Simulace stopovacích experimentů byly realizovány jednak s využitím komerčních SW nástrojů (MODFLOW/MT3DMS, FEFLOW), jednak pomocí kódu Flow123d, vyvíjeného na Technické univerzitě v Liberci. Předmětem simulací byl popis tlakového pole a konzervativního nebo reaktivního transportu v průběhu experimentů prováděných na fyzikálních modelech umělé a přirozené pukliny. Výstupy projektu (fyzikální modely, certifikované metodiky, publikace) prokázaly, že je možno vyvinout a využívat i laboratorní nástroje středního měřítka pro hodnocení migrace a retence kontaminantů v horninovém prostředí.

Quantification of contaminant migration processes has become the leitmotif of the TA ČR project TH02030543 Development of tools for the study of contaminant transport in a fractured environment. The project aimed primarily at developing tools for assessing the safety of anthropogenic activities that can release contaminants (radionuclides, heavy metals, but also nanomaterials) into the environment, which then migrate. Instrumented physical models with semi-artificial and natural fractures were constructed for trace experiments with different types of tracers (inactive tracers – e.g. KI, KBr, NaCl; heavy metals – Pb, nanomaterials – ZVI(Fe), radionuclides – ³H, ¹⁸⁸Re). Trace experiments were then performed under various experimental conditions. Simulations of trace experiments were performed using commercial software tools (MODFLOW / MT3DMS, FEFLOW), as well as the code Flow123d, developed at the Technical University of Liberec. The subject of the simulations was the description of the pressure field and conservative or reactive transport during experiments performed on physical models with artificial and natural fissure. The outputs of the project (physical models, certified methodologies, publications) have shown that it is possible to develop and use medium-scale laboratory tools for evaluating migration and retention of contaminants in the rock environment.

1. ÚVOD

Antropogenní činnosti s sebou přináší, kromě produktů a vymožeností pro lidstvo, také produkci odpadů či cizorodých látek, které mohou významným způsobem ovlivnit člověka i životní prostředí. Kvantifikace těchto procesů se stala leitmotivem projektu

TA ČR TH02030543 Vývoj nástrojů pro studium transportu kontaminantů v puklinovém prostředí. Projekt směřoval především k vývoji nástrojů pro hodnocení bezpečnosti antropogenních činností, které mohou do životního prostředí uvolňovat kontaminanty (radionuklidy, těžké kovy, ale i nanomateriály), jež pak



Obr. 1a, b Proces štípání bloku pro vytvoření fyzikálního modelu (a, nahoře); detailní 3D skenování pukliny před sesazením bloku (b, dole)

Obr. 2 Experimentální sestava při stopovacích experimentech (blok MS2 v nerezové vaně)

následně migrují. Migrací kontaminantů je míněn jejich přesun v různé formě ze zdroje horninovým prostředím do biosféry. Migrace v horninovém prostředí je závislá na vlastnostech samotného kontaminantu, na procesech, kterým kontaminant podléhá v tomto prostředí (advekce, difúze, disperze, sorpce) i na vlastnostech okolní horniny.

Těžiště prací spočívalo v provedení migračních experimentů na fyzikálních modelech puklin s cílem predikovat je matematickými nástroji a následně definovat míru neurčitosti při získávání dat z těchto experimentů pro hodnocení bezpečnosti.

2. VÝVOJ MODELU UMĚLÉ PUKLINY

2.1 FYZIKÁLNÍ MODEL

V rámci první části projektu byly zhotoveny instrumentované bloky se semi-umělou puklinou ze žuly z lomu Mrákočín. Z velkoformátového horninového bloku bylo vyříznuto celkem šest identických bloků (MS1 – MS6) o rozměrech: 80 cm × 50 cm × 40 cm. Každý blok byl uměle rozštípnut (viz Obr. 1a).

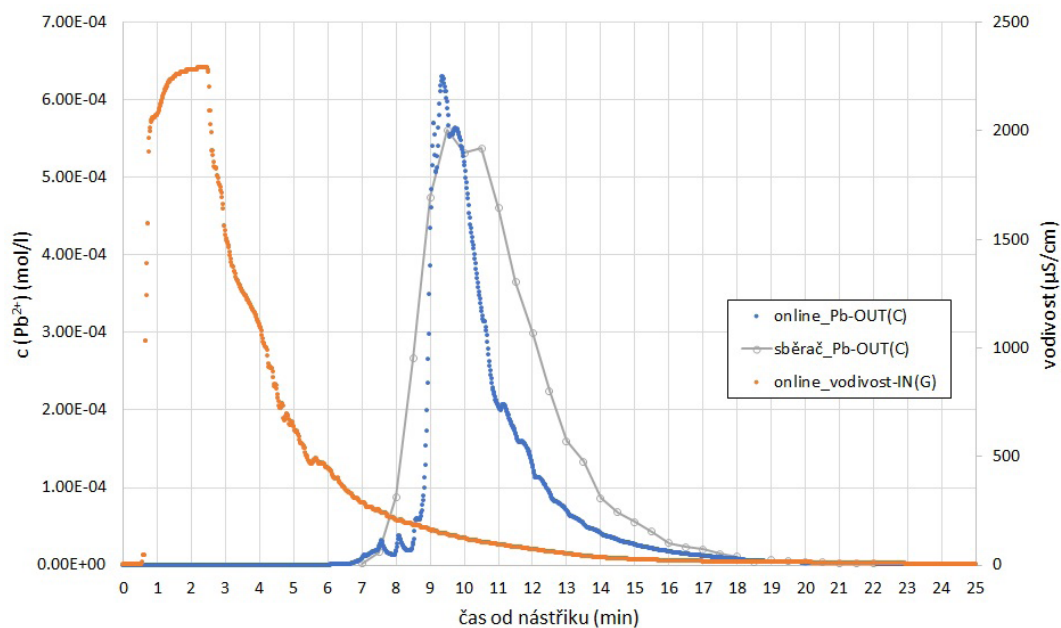
U všech horninových bloků byla po naformátování provedena charakterizace povrchu pomocí 3D skenovacího ramene ROMER Absolute Arm (viz Obr. 1b).

2.2 INSTRUMENTACE

V blocích MS1 a MS2 bylo zhotoveno 9 vertikálních monitorovacích vrtů v pravidelné síti (Obr. 2). Tyto otvory byly osazeny měřicími sondami pro záznam měrné elektrické vodivosti, magnetické susceptibility nebo tlakového pole. Obě části rozlomeného bloku byly sesazeny a spára byla zatěsněna. Horninový blok byl následně po obvodu opatřen osmi vstupy pro vedení stopovacích experimentů.

Dalším krokem bylo zajištění saturace vnitřního prostoru pukliny a následně celého bloku pomocí nerezové, případně plexisklové vany, ve které byla průběžně doplňována demineralizovaná voda. Celý systém byl schválen jako užitečný vzor ([4]; Obr. 2).





Obr. 3 Srovnání průnikových křivek Pb z on-line záznamu (konduktivita na vstupu, iontově selektivní elektroda na výstupu) a bodových analýz odebraných vzorků.

2.3 STOPOVACÍ EXPERIMENTY

V rámci projektu byla na fyzikálním modelu s umělou puklinou provedena široká škála stopovacích zkoušek s různými stopovacími látkami a okrajovými podmínkami. Jako nesorbující konzervativní stopovače byly použity 0,01M roztoky NaCl, KCl a KI. V průběhu všech stopovacích experimentů byla vždy zaznamenávána buď on-line konduktivita (NaCl, KCl), nebo koncentrace (KI) na vstupu do bloku a na výstupu. Výsledkem tohoto postupu je užitečný vzor pro měřicí zařízení pro simultánní vícekanálové měření impedance roztoků [6]. V rámci vybraných stopovacích zkoušek byly navíc nezávisle odebrány vzorky pomocí sběrače frakcí pro následnou analýzu pomocí AAS (stanovení koncentrace kationtů) nebo elektroforézy (stanovení koncentrace aniontů).

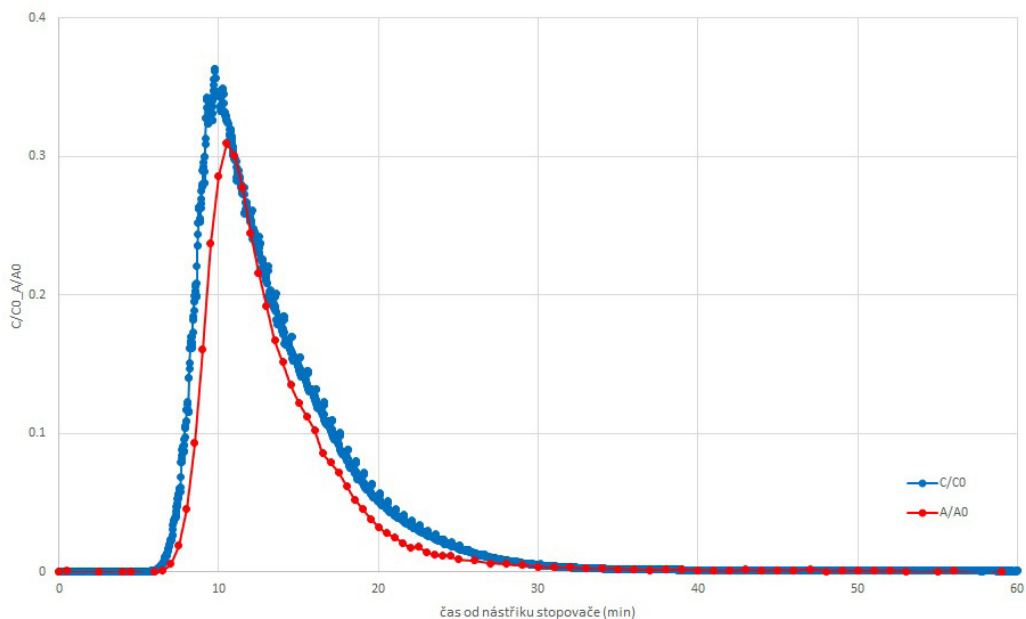
Pro studium migrace těžkých kovů puklinou bylo zvoleno Pb (zde 0,01M roztok $Pb(ClO_4)_2$, příp. $Pb(NO_3)_2$). Srovnání typických průnikových křivek z on-line záznamu a z off-line analýz je uvedeno na Obr 3.

Horninové bloky MS1 a MS2 umožňují i omezenou práci s radioaktivními stopovači při

zajištění radiační bezpečnosti a minimalizace radioaktivních odpadů. Jako reprezentant bylo zvoleno tritium (zde ve formě HTO). 3H je beta zářič a jako takový nelze detekovat žádným dostupným on-line systémem. Roztok HTO byl proto označen i 0,01M NaCl, aby bylo možné kontrolně sledovat průběh vodivostní průnikové křivky v on-line režimu (viz Obr. 4). Obdobným způsobem byly provedeny i testy s deuteriem (D_2O).

Pro zajištění minimalizace radioaktivních odpadů při experimentu je možno uvažovat i o využití krátkodobých radioaktivních stopovačů, např. Re (^{188}Re ve formě NH_4ReO_4). Postupy přípravy, použití tohoto stopovače i analytické postupy měření byly vyvíjeny a testovány v návaznosti na sesterský projekt RADEMET (projekt MPO TRIO FV30430; [8]).

Ve finální fázi projektu byla vyvinuta i aparatura a metodika pro sledování migrace nanomateriálů. Výsledkem je certifikovaná metodika pro migrační zkoušky s nanočásticemi železa [7];[2], která představuje unikátní možnost, jak sledovat migraci nanočástic v horninovém prostředí.



Obr. 4 Stopovací experiment s ^3H : srovnání průnikových křivek off-line měření aktivity ^3H na výstupu s měřením vodivosti (NaCl , on-line)

3. VÝVOJ MODELU PŘIROZENÉ PUKLINY

3.1 FYZIKÁLNÍ MODEL PŘIROZENÉ PUKLINY

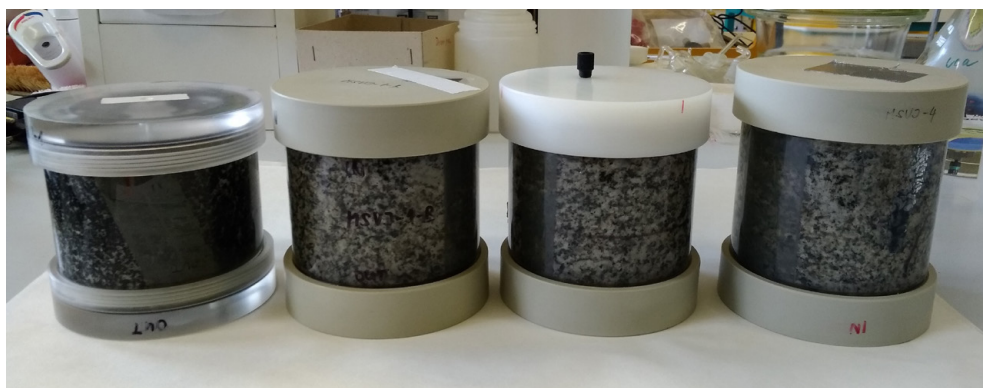
Koncept umělé pukliny neodpovídá zcela reálnému prostředí horninového masivu. Z tohoto důvodu byly v projektu použity i instrumentované vzorky skutečných puklin (vzorky z PVP Bukov a ze skladu hmotné dokumentace v GEAM Dolní Rožínka; se svolením SÚRAO; případně z granitového bloku z Mrákotína).

Pro popis vnitřní struktury vzorku byla využita metoda Micro-Computed Tomography (μCT) v partnerském pracovišti HZDR (Německo).

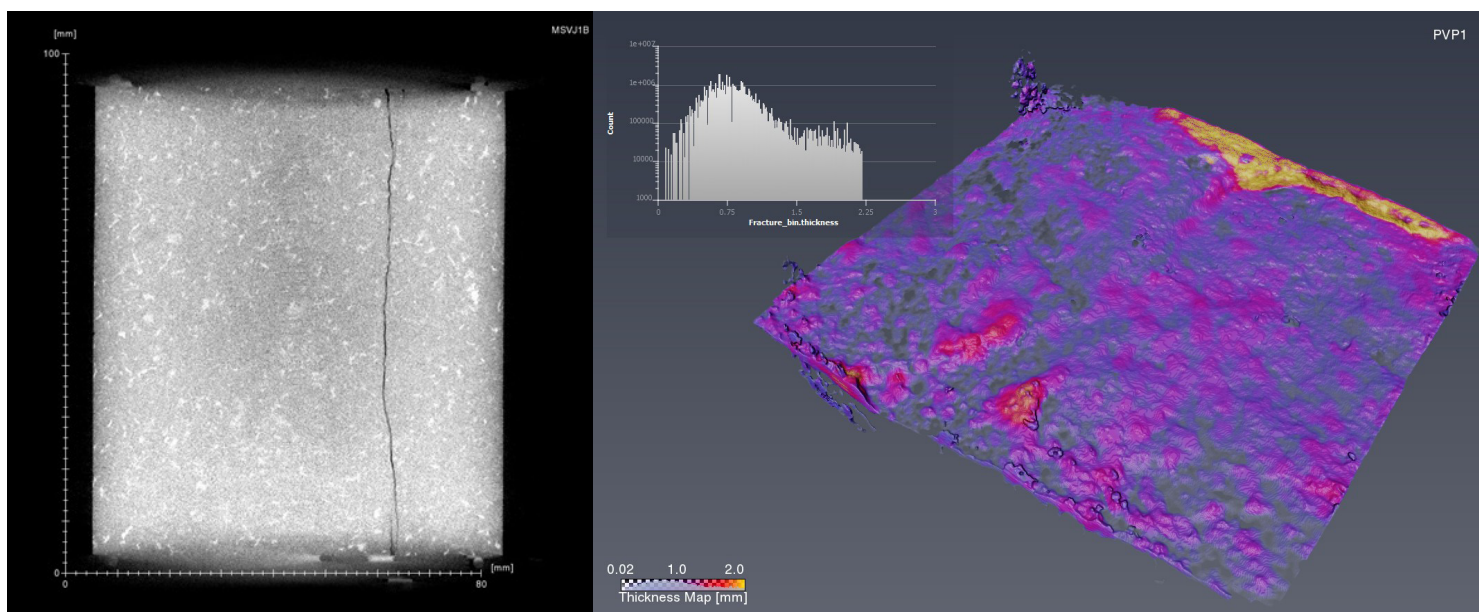
Po úvodní charakterizaci byly vzorky zalaty pryskyřicí do transparentního PE válce. Po zatvrdnutí byly vzorky opatřeny koncovými čely se vstupním a výstupním otvorem pro vedení průnikových experimentů. (Obr. 5). Příklad vyhodnoceného snímku horninového jádra z projekce μCT spolu se segmentovanou puklinou pomocí programu Avizo je na Obr. 6a, b.

3.2 INSTRUMENTACE

V průběhu řešení byla vyvinuta a postupně optimalizována aparatura pro provádění stopovacích experimentů při velmi nízkých průtocích (od $0,017 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$). Veškeré roz-



Obr. 5: Fyzikální modely s přirozenou puklinou (zleva doprava): PVP1, MSVJ1-B, MSVJ2 a MSVJ4



Obr. 6a, b Vlevo: vyhodnocený snímek vzorku MSVJ1-B, provedený metodou μ CT; vpravo: segmentovaná puklina pomocí programu Avizo

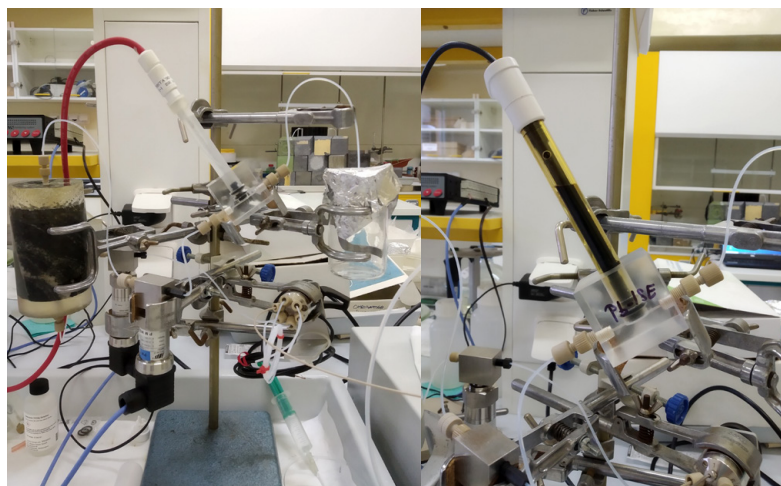
vody protékajícího média byly zajištěny pomocí PEEK kapilár nebo vysokotlakých hadiček o vnitřním průměru max. 0,5 mm pro co nejmenší mrtvý objem v systému. Taktéž průtočné cely byly upraveny pro instrumentování iontově selektivních elektrod se spodním měřicím terčíkem. Výsledkem je přijatý užitečný vzor (Obr. 7; [5]).

3.3 STOPOVACÍ EXPERIMENTY

Na vzorku přirozené pukliny byla podobně jako na vzorcích s umělou puklinou provedena série stopovacích experimentů s neaktivními stopovači (KI, KBr, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) i s radioaktivními stopovači (^{18}F , ^{188}Re).

Pro migrační experimenty s radioaktivními stopovači na vzorku PVP1 byl zvolen krátkodobý radionuklid ^{188}Re . Výroba izotopu ^{188}Re byla realizována ozařováním NH_4ReO_4 v reaktoru LVR-15 (CVŘ) jako jeden z výsledků projektu RADEMET (FV30430). Podmínky testu byly nastaveny dle výsledků neaktivních experimentů (KI). Pro online měření a vizualizaci časoprostorového šíření radionuklidu puklinou byla využita aparatura, vyvinutá v rámci projektu FV30430, která umožňovala natáčení detektorů pro měření gamma aktivity v krocích 30° od 0° do 90° . Na výstupu byly odebrány kontrolní vzorky pro off-line analýzu aktivity pomocí gama spektromet-

Obr. 7a, b Vlevo: optimalizovaná experimentální sestava pro neaktivní stopovací experimenty (vzorek S-20) s iontově selektivní elektrodou pro měření I (I-ISE), vpravo: detail upravené průtočné cely s Pb-ISE

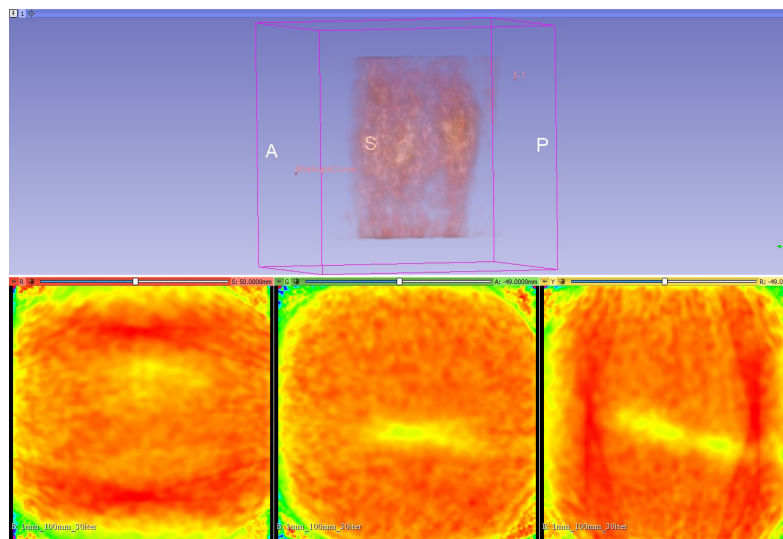


rie. Pro ilustraci je na Obr. 8 uveden 3D záznam průniku ^{188}Re vzorkem PVP1, měřený šesti gama kamerami MiniPIX TPX3 (projekt RADEMET FV30430), kde je možné pozorovat nehomogenní proudění stopovače přirozenou puklinou s ohledem na puklinové výplně a efekt channelingu.

Finálním výsledkem je pak Certifikovaná metodika migračních zkoušek s radionuklidy v laboratoři, certifikovaná SÚJB [3].

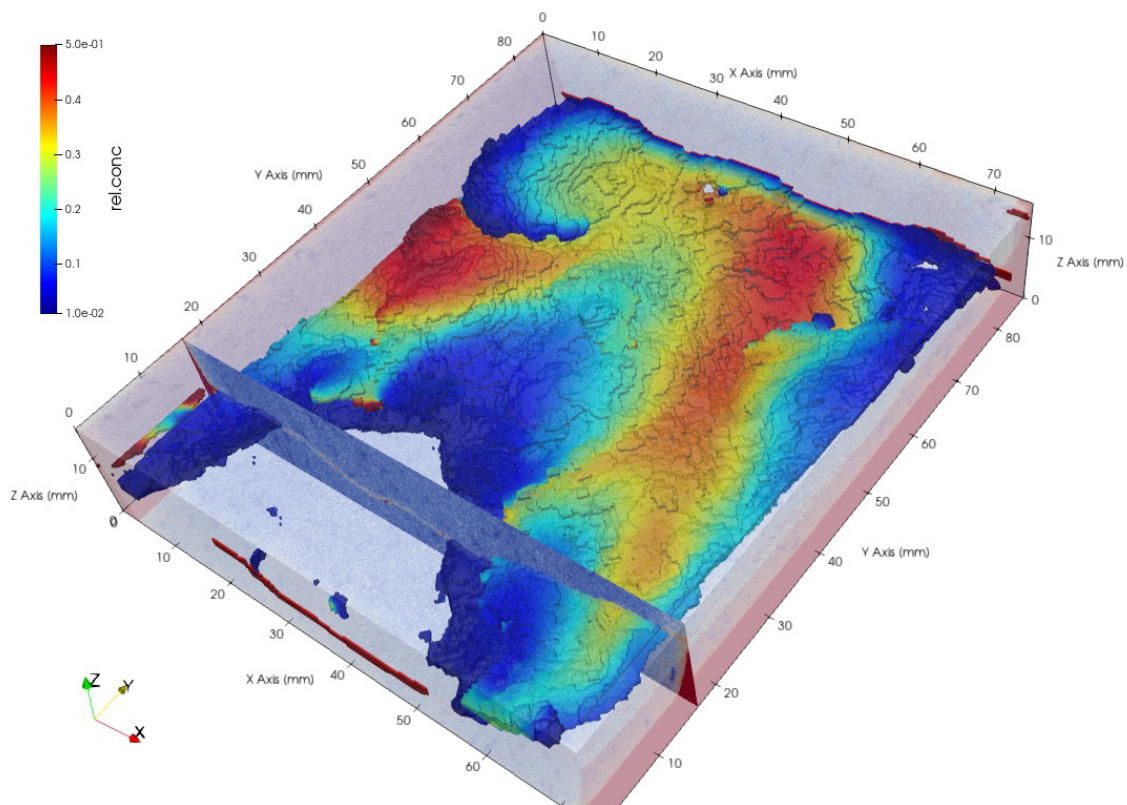
4. MODELOVÁNÍ

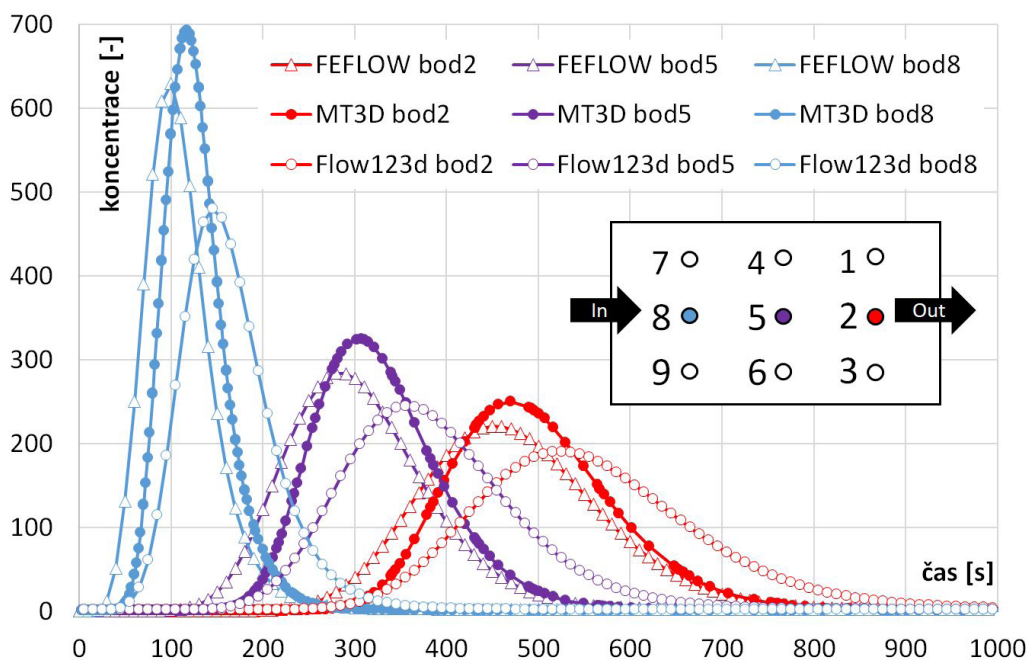
Simulace stopovacích experimentů byly realizovány jednak s využitím komerčních SW nástrojů (MODFLOW/MT3DMS, FEFLOW), jednak pomocí kódu Flow123d, vyvíjeného na Technické univerzitě v Liberci. Předmětem simulací byl popis tlakového pole a konzervativního nebo reaktivního transportu v průběhu experimentů prováděných na fyzikálních modelech umělé a přirozené pukliny (příklad viz Obr. 9). I zde je možno pozorovat nehomogenní proudění stopovače puklinou a efekt channelingu.



Obr. 8: Příklad zrekonstruované 3D projekce rozložení aktivity (^{188}Re) v puklině přirozeného horninového vzorku PVP1 (dole zobrazeny řezy X.Y.Z).

Obr. 9: Příklad modelování distribuce koncentračního mraku přirozenou puklinou při průtoku 0.1 ml/min v čase $T+1000$ s, test s KBr (MODFLOW / MT3DMS)





Obr. 10 Příklad modelování průnikových křivek konzervativního stopovače KCl pomocí SW nástrojů MT3D, FEFLOW a Flow123d v monitorovacích bodech bloku MS2 (dle Hokr et al., 2020).

Mezi základní charakteristiky pukliny, stanovené na základě modelového vyhodnocení, se řadí její hydraulické a transportní rozevření. Použití různých modelových nástrojů (MODFLOW/MT3DMS, FEFLOW a Flow123d) a přístupů ke kalibraci nevedlo vždy k dosažení zcela identických výsledků (Obr. 10). Všechny se však shodují ve stanovení rozdílných hodnot rozevření – sestupně rozevření měřeného, transportního a nejnižšího hydraulického. Tyto závěry je vzhledem k vyhodnocení většího množství experimentů možné zobecnit a aplikovat i na jiné úlohy, týkající se migrace v puklinovém prostředí.

Jako unikátní se ukázalo zejména použití dat z výpočetní tomografie (μ CT), která byla použita za vstup do numerických modelů experimentů s přirozenou puklinou. To přineslo zásadní krok pro poznání procesů na úrovni měřítek v řádech μ m. Pro zpracování

dat tak byla zásadní podpora ze strany týmu HZDR (Lipsko, Německo). Výsledky modelových vyhodnocení pro umělou i přirozenou puklinu byly prezentovány na konferencích (např. [1]) a budou předmětem další samostatné publikace.

5. ZÁVĚR

Výstupy projektu prokázaly, že je možno vyvinout a využívat i laboratorní nástroje středního měřítko pro hodnocení migrace a retence kontaminantů v horninovém prostředí pro posouzení bezpečnosti antropogenních činností.

Rozsah dat a variabilita okrajových podmínek zaujaly spoluřešitele ve WP Development and Improvement Of Numerical methods and Tools for modelling coupled processes EJP EURAD [9]. Organizace Gesellschaft für Reaktorsicherheit (DE) se je rozhodla použít pro

vyhodnocení variability a nejistot, spojených s popisem migrace radionuklidů v horninovém prostředí krystalických hornin a testování vlastního vyvíjeného modelu d³f.

Vyvinuté metody budou následně implementovány v projektu EJP EURAD ve WP FUTURE, která je zaměřena na migraci radionuklidů v horninovém prostředí, a dále i v projektech SÚRAO Konektivita puklinové sítě v PVP Bukov (2020–2023) a Long Term Diffusion Phase IV. (Grimsel test site, 2021–2025), ve kterých budou v rámci laboratorního programu řešeny průnikové migrační experimenty se stopovači.

Finanční prostředky na řešení projektu TH02030543 byly poskytnuty Technologickou agenturou ČR. Finanční prostředky na řešení projektu FV30430 byly poskytnuty MPO ČR.

RNDr. Václava Havlová, Ph.D.



vaclava.havlova@ujv.cz

RNDr. Václava Havlová, Ph.D. se věnuje oblasti migrace radionuklidů a ukládání radioaktivních odpadů od ukončení studia na Univerzitě Karlově v Praze, Přírodovědecké fakultě v oboru geochemie. Od roku 2013 vede Oddělení chemie palivového cyklu v ÚJV Řež, a. s.

Specializuje se na geochemii a radiochemii radioaktivních odpadů, migraci radionuklidů a interakční procesy bariér úložišť, dále se věnuje přírodním analogům a hodnocení bezpečnosti ukládání RAO. Koordinuje řadu vědeckých projektů jak národních (SÚRAO, dotační projekty), tak mezinárodních (projekty pro JAVYS, EU projekty FUNMIC, C-ROCK, DOPAS, EURAD, PREDIS). Je členkou řady mezinárodních platform a expertních skupin (EGU, EAGE, NAWG, IGSC, NEA/OECD Crystalline club).

Reference:

- [1] Hokr M., Balvín A., Jankovec J., Grecká M., Jankovský F.: Inverse model of single-fracture hydraulic and tracer experiments including a laser scanning data correction. Prezentace č. EGU2020-21395, EGU General Assembly 2020, May 4–8, 2020, Vienna.
- [2] Hokr M., Parma P., Jankovský F., Zuna M., Mrazík M.: Laboratory experiment of iron nanoparticle transport in a rock fracture with online concentration detection probes, NANOCON 2020 Conference Proceedings, str. 311–316, Tanger s.r.o., ISBN 978-80-87294-98-7.
- [3] Jankovský F., Zuna M., Havlová V.: Certifikovaná metodika migračních zkoušek s radionuklidy v laboratoři. Osvědčení č. SÚJB/ONRV/14301/2021, SÚJB, Praha, 2021.
- [4] Jankovský F., Zuna M., Kašpar V.: Zařízení pro provádění transportních experimentů ve formě stopovacích zkoušek na horninovém vzorku s umělou puklinou, přihláška užitého vzoru (PUV 2020-38306), Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2020.
- [5] Jankovský F., Zuna M., Kašpar V., Dobrev D.: Zařízení pro provádění dynamických transportních experimentů ve formě stopovacích zkoušek při nízkých průtocích horninovým vzorkem s přirozenou puklinou, přihláška užitého vzoru (PUV 2020-38278), Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2020.
- [6] Kůs P., Polívka P., Kotowski J., Hübner P.: Měřicí zařízení pro simultánní vícekanálové měření impedance roztoků, užité vzor, číslo přihlášky: PUV 2020-38156, číslo zápisu: 34662, datum zápisu: 08. 12. 2020, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha, 2020.
- [7] Parma P., Hokr M., Mrazík M., Jankovský F., Zuna M., Havlová V.: Laboratorní migrační zkoušky s nanočásticemi železa v krystalické hornině. Certifikovaná metodika, 20 str. Osvědčení č. MZP/2021/660/851, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 2021.
- [8] Zuna M., Dobrev D., Jankovský F., Havlová V., Kůs P., Šoltés J., Vratislavská H. A., Jakůbek J., Doubravová D., Palušák M.: Využití krátkodobých RAdiostopovačů a vývoj jejich DEtekcíních METod pro popis procesů, ovlivňujících transport kontaminantů v životním prostředí (RADEMET). Závěrečná zpráva projektu – Technická zpráva, TZ ÚJV Z5628.
- [9] www.ejp-eurad.eu

Biorad - pokročilý SW nástroj k predikci efektivní dávky jednotlivce z radionuklidů uvolněných z úložiště

**Ing. Jiří Landa, Ph.D., Ing. Jakub Říha, Ph.D.,
Ing. Josef Chudoba, Ph.D., Ing. Jana Vitvarová, Ph.D.**

Technická univerzita v Liberci

Biorad je SW nástroj k výpočtu příkonu efektivní dávky z radionuklidů uvolněných z úložiště. Byl vyvinut na Technické univerzitě v Liberci pro účely hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště, ale může být použit i při hodnocení bezpečnosti přípovrchových úložišť či k hodnocení prostého přestupu radioaktivního znečištění k jedinci obyvatelstva. Biorad by vyvinut za finanční podpory z programu THÉTA Technologické agentury ČR (TA ČR). Základní výhodou programu Biorad je přímá provázanost na modelování jednotlivých scénářů transportu radionuklidů v horninovém masivu od úložiště k povrchu, přičemž je následně tímto novým nástrojem modelován přestup biosférou k jedinci obyvatelstva. Umožňuje tak modelovat a posuzovat scénáře vývoje úložiště v plném komplexu, od uvolnění radionuklidů z úložiště, jejich přestup do geosféry (v prostředí SW Flow123d) a následně do biosféry, a může tak sloužit k optimalizaci jak úložného systému jako takového, tak umístění úložiště v konkrétních podmínkách dané lokality. Možnost načtení výstupů výpočtů, tzn. konkrétních parametrů lokality je jedním z nových prvků programu Biorad.

Vlastní SW Biorad se skládá ze čtyř částí, z modulu nenasycené zóny, značeného jako Biorad1, modulu biosféry, značeného jako Biorad2, databáze potřebných dat, zejména konverzních faktorů, transferových koeficientů, údajů o spotřebě potravin apod. a grafického rozhraní.

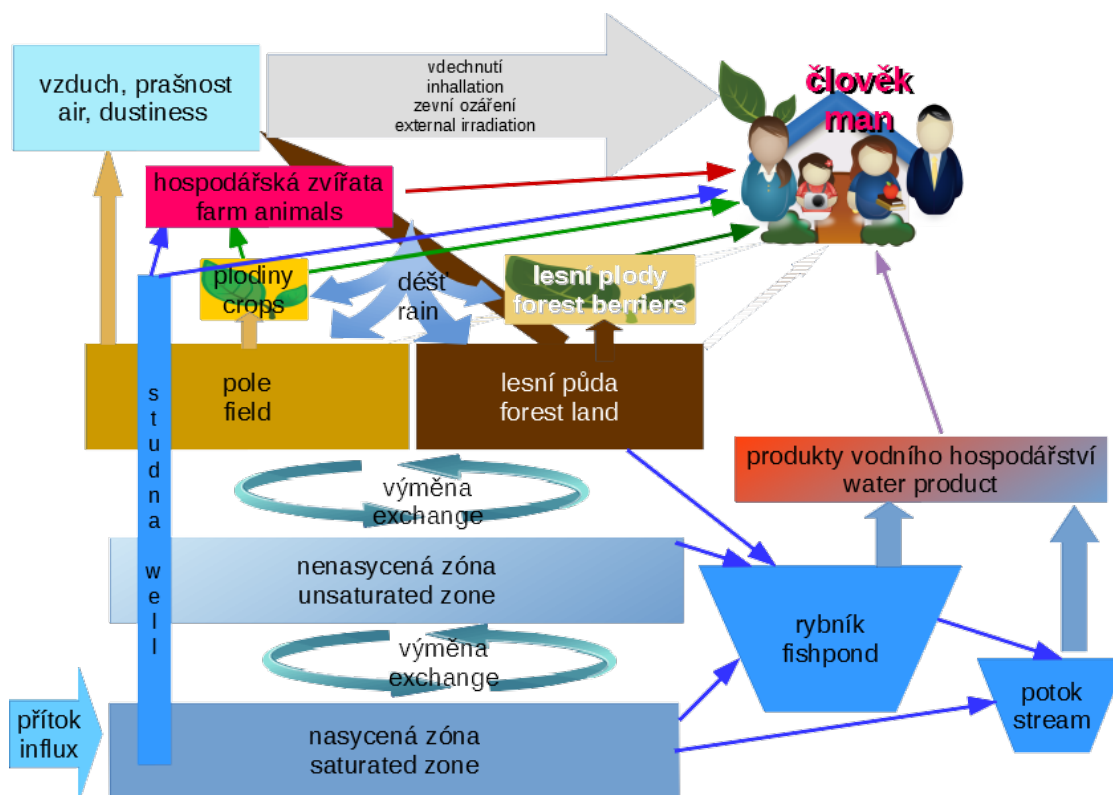
Biorad is a SW tool for computation of effective dose received from radionuclides released from a deep repository. It was developed at the Technical University of Liberec with the aim of deep repository safety assessment but may also be used for safety assessment of shallow repositories or evaluation of simple radioactive pollution transfer towards an individual. Biorad was developed with a financial support from the Technology Agency of the Czech Republic (within the THÉTA programme). The main advantage of the Biorad SW is a direct connection to radionuclide transport simulations in rock mass from a deep repository towards the surface; the Biorad tool simulates transfer through a biosphere towards an individual. It thus allows to simulate and to evaluate scenarios of repository evolution in full: radionuclide release from a repository, their transfer through a geosphere (using Flow123d simulation SW) and through biosphere. It could be used for optimization of repository system as a whole as well as its situation within a given site.

Biorad SW consists of four parts: unsaturated zone module called Biorad1, biosphere zone module called Biorad2, database of necessary data (conversion factors, transfer coefficients, consumption data, etc.) and graphical user interface.

ÚVOD

Technická univerzita v Liberci se dlouhodobě zabývá vývojem vlastních predikativních modelovacích nástrojů transportu látek v horninovém prostředí a podzemních vodách, včetně odtoku do vod povrchových. V minulých dekádách byly vytvořeny SW nástroje k modelování hydrogeologických poměrů jak pro průlinové, tak pro puklinové horninové prostředí, postupně soustředěné do platformy Flow123d. Flow123d tak má širokou škálu

využití pro nejrůznější účely, jak modelování stavu podzemních vod a jejich přestupu do vod povrchových, tak může být využit pro modelování transportu kontaminantů. V současné době je tento SW (jako jeden ze tří) užíván pro modelování transportu radionuklidů z hlubinného úložiště radioaktivních odpadů na rozhraní geo-biosféry. Nástroje Flow123d umožňují jak stochastické predikce, tak může pracovat s diskrétními prvky. Modelovány byly podmínky na všech potenciálních



Obr. 1: Biorad – koncepční modelové schéma přestupu kontaminace do biosféry

lokalitách hlubinného úložiště v ČR, tak i testovací lokality Melechov, či v posledních letech byly vytvořeny modely pro experimentální program v Podzemním výzkumném pracovišti Bukov. Nástroje Flow123d bylo rovněž využito pro modelování různých testovacích úloh v rámci mezinárodního projektu Decovalex 2011, 2015 a 2019. Na testovacích úlohách v rámci projektu Decovalex bylo mnohokrát prokázáno, že tento nástroj snese srovnání s dalšími nástroji v oblasti modelování transportu radionuklidů uvolňovaných z uložených odpadů v hlubinném úložišti. Na základě velmi pozitivních zkušeností s aplikací Flow123d bylo logicky uvažováno o doplnění tohoto nástroje o nadstavbovou platformu modelující přestup kontaminace do biosféry a k jedinci žijícímu na lokalitě. Vznikl tak projekt Biorad, financovaný z programu THÉTA Technologické agentury ČR (TA ČR). SW nástroj Biorad je určen k výpočtu příkonu efektivní dávky z radionuklidů uvolněných z úložiště jako jeden z volitelných výstupů SW platformy Flow123d. Je prioritně vyvíjen pro

hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště, ale může být použit i pro posuzování např. bezpečnosti přípoверхových úložišť či prosté predikci přestupu jakéhokoliv radioaktivního zamoření k jedinci obyvatelstva.

1. POPIS SW BIORAD

K přestupu kontaminace do biosféry dochází procesy v nenasycené zóně, tj. půdní vrstvy a horninové vrstvy nad úrovní vodní hladiny až k vlastnímu povrchu. Následují pak vlastní biologické procesy zachycení kontaminace v živé hmotě rostlin a živočichů potravního řetězce jedince populace, žijícího na povrchu. Procesy tak jsou matematicky popisovány v jednotlivých modulech, ke kterým jsou pak doplněny některé další části, umožňující jak přístup k databázím přestupových koeficientů, tak i uživatelské ovládání SW a prezentaci výsledků modelování. SW Biorad se tak skládá ze čtyř částí, modulu nenasycené zóny, značeného jako Biorad1, modulu biosféry, značeného jako Biorad2, databáze potřebných dat (3), zejména konverzních faktorů, transferových

koeficientů, údajů o spotřebě potravin apod. a grafického rozhraní (4)

Modul nenasycené zóny (Biorad1), navazuje na výsledky 3D transportního modelu předpokládaného úniku radionuklidů z hlubinného (či jiného) úložiště radioaktivních odpadů z nasyčené zóny a modeluje přestup kontaminace prostředím nenasycené zóny až do povrchových částí (kompartimentů), tzn. půdy a povrchové vody. Biorad1 navazuje na transport dle jednotlivých scénářů v nasyčené zóně a pracuje s navazujícími, kompatibilními scénáři nenasycené zóny, přičemž vstupy do modulu Biorad 2 jsou z Biorad 1 načítány pomocí grafického rozhraní

Biosferický modul (Biorad2) modeluje distribuci aktivity v biosféře a na jejím základě příkon efektivní dávky na základě vlastních scénářů a přestupových cest potenciálního přestupu kontaminantů k jedinci obyvatelstva na lokalitě žijícího. Vstupem pro výpočty jsou aktivity čtyř částí (kompartimentů) biosféry, tedy aktivity podzemní vody, povrchové vody, zemědělské půdy a lesní půdy.

Databáze obsahuje údaje o chemických prvcích, radionuklidech, dávkové konverzní faktory, transferové faktory, údaje o spotřebě potravin a chování spotřebitele ve formě spotřebních košů, údaje o spotřebě hospodářských zvířat (tzn. krmiva, vody, rychlosti dýchání...) apod.

Grafické rozhraní je určeno k ovládní celého SW, zadávání parametrů úloh a zobrazování výsledků. Výsledky mohou být zobrazovány ve formě grafů, výsekových grafů nebo mohou být exportovány do tabulek. Forma výsledků modelování určitého scénáře je na volbě uživatele.

Samostatným rozhraním je pak umožněn vstup pro diskrétní uživatelská data. SW Biorad tak umožňuje načtení uživatelských dat, tedy aktivit prostředí, které byly získány jiným způsobem, než výpočtem pomocí modelu nenasycené zóny (Bioradu1). Může jít například o data získaná monitorováním prostředí, měřením in situ či výpočtem jiným nezávislým modelem.

2. MODEL BIOSFÉRY A VÝPOČET PŘÍKONU EFEKTIVNÍ DÁVKY

2.1. KONCEPČNÍ MODEL

Přestup radionuklidů z úložiště je předpokládán (jak už bylo výše nastíněno) do nasyčené zóny transportem ve vodní fázi kombinací difúzních a adventivních procesů až k rozhraní mezi nasyčenou a nenasycenou zónou, tj. k volné hladině podzemních vod. Zde nastupují procesy šíření kontaminace nenasycenou zónou, ovlivněné povrchovými klimatickými a biologickými jevy jako jsou vodní srážky a transpirace, vlivy vegetace a čerpání vodní fáze kořenovými systémy vod a další a další. Kontaminace se těmito vlivy a procesy šíří přes nenasycenou zónu do povrchové vody (prameny a průsaky) a do půdy transpiračními procesy a procesy spojenými s růstem vegetace na povrchu. Kontaminovaná voda se tak stává zdrojem biologického materiálu sloužícího k obživě jedince, tak i přímým zdrojem k jeho životu jako voda pitná (ingesce).

Celkový příkon efektivní dávky jedince je pak počítán z ingesce vody a půdy, rostlinných produktů, živočišných produktů a produktů vodního hospodářství. Doplňkem k celkovému příkonu efektivní dávky jedince jsou pak inhalace, která je počítána z prašnosti, tzn. prachu půdy v daném prostředí (pole, les) a zevní ozáření, které je počítáno jednak z aktivity podloží, případně vody při koupání a také z prašnosti v daném prostředí. Celkově je počítáno 19 různých příspěvků příkonu efektivní dávky a dalších 8 jako součet příslušných uvažovaných příspěvků. Celkové koncepční schéma biosferického modelu je na Obr. 1.

2.2. MATEMATICKÝ MODEL A POČÍTANÉ CESTY

Celkový příkon efektivní dávky je počítán jako suma přes všechny uvažované cesty a radionuklidy, viz rovnice (1). Jako hlavní cesty kontaminace jsou v modelu uvažovány příjem požitím vody (rostlinných produktů jako listová zelenina, kořenová zelenina, houby, živočišných produktů jako masa, mléka, vnitřností, vajec, produktů vodního hospodářství jako ryb a půdy, dále příjem vdechnutím na poli nebo v lese, dále zevní ozáření, které je

uvažováno na poli, v lese a ve vodě (při koupání). Jde o celkem 19 položek, v rovnici (1) jsou označeny indexem p.

$$(1) \quad \dot{E} = \sum_j \sum_p \dot{E}_{j,p}$$

kde:

\dot{E} celkový příkon efektivní dávky
[L²·T⁻³], [Sv·a⁻¹]

$\dot{E}_{j,p}$ příkon efektivní dávky pro radionuklid j,
cestou p [L²·T⁻³], [Sv·a⁻¹]

j index radionuklidu

p index cesty
(požití, vdechnutí, zevní ozáření)

2.2.1. PŘÍKON EFEKTIVNÍ DÁVKY POŽITÍM

Příspěvek požitím vody je počítán z aktivity podzemní vody. Ostatní položky jsou počítány z aktivit povrchových kompartmentů, tj. povrchové vody, zemědělské půdy a lesní půdy. Příkon efektivní dávky požitím pro konkrétní radionuklid je počítán násobením konverzního faktoru pro příjem požitím, množstvím přijaté potravin a kontaminací dané potravin uvažovaným radionuklidem, viz rovnice (2). Zvykem bývá, že aktivita i spotřeba pevných potravin bývá udána v měrných jednotkách a u kapalných potravin pak v objemových jednotkách. Při výpočtu je nutné kontrolovat, zda si jednotky aktivity a spotřeby potravin odpovídají.

$$(2) \quad \dot{E}_{ing_j} = h_{ing_j} \cdot \sum_{ip} (a_{ip_j} \cdot I_{ip})$$

kde:

h_{ing_j} konverzní faktor radionuklidu j pro
příjem požitím, [L²·T⁻¹], [Sv·Bq⁻¹]

\dot{E}_{ing_j} příkon efektivní dávky požitím (ingescí)
radionuklidu j, [L²·T⁻³], [Sv·a⁻¹]

a_{ip_j} měrná/objemová aktivita potravin
ip radionuklidu j, [T⁻¹·M⁻¹], [Bq·kg⁻¹]
nebo [T⁻¹·L⁻³], [Bq·m⁻³, Bq·l⁻¹]

I_{ip} příjem potravin ip reprezentativní
osobou, [M·T⁻¹], [kg·a⁻¹]
nebo [L³·T⁻¹], [m³·a⁻¹, l·a⁻¹]

ip index potravin

j index radionuklidu

Výpočet kontaminace (aktivity) potravin je rozdělen do následujících skupin.

Kontaminace (aktivity) nebiologických částí biosféry

Nebiologickými částmi biosféry pro příjem aktivity požitím myslíme zejména vodu a půdu. Aktivita vody bývá přímým výstupem transportních modelů. Pro výpočet použijeme aktivitu vody ze studny, která je uvažována tam, kde je aktivita podzemní vody nejvyšší.

Aktivita povrchové vody

Koncentrace ve vodní fázi (roztoku) bývá většinou udávána v jednotkách odpovídajících fyzikálnímu rozměru M·L⁻³, např. kg·m⁻³. Pro výpočet dávky je ale nutné znát místo koncentrace objemovou aktivitu, fyzikální rozměr T⁻¹·L⁻³, jednotky Bq·m⁻³. Pro přepočtení na aktivitu nebo koncentrace na objemovou aktivitu slouží vztahy v modelu nadeřinované a v dokumentaci popsané vztahy.

Aktivita půdy

K požití půdy dochází náhodně, například požitím špatně umyté zeleniny, případně z nečistých rukou apod. Výpočet aktivity půdy je možný pomocí distribučních faktorů z aktivity podzemní vody, vhodnější je však výstup z modelu povrchových vrstev, který vypočte aktivitu půdy se započtením migračních procesů, které v těchto vrstvách působí.

Kontaminace (aktivity) rostlinného produktu

Spotřeba rostlinných produktů bývá uváděna v hodnotě čerstvé, kdežto transferové faktory pro přenos rostlina → půda bývají stanoveny pro sušinu. Kontaminaci rostlinného produktu lze tedy spočítat jako součin měrné aktivity půdy, transferového faktoru pro přenos půda → rostlina a obsahu sušiny. Zejména u listové zeleniny můžeme ještě počítat s usazováním kontaminovaného prachu na jejím povrchu. I tento výpočet je v modulu Biorad 2 zohledněn.

Výpočet kontaminace (aktivity) živočišného produktu

Spotřeba živočišných produktů bývá uváděna v jednotkách kg·a⁻¹, případně l·a⁻¹, podle toho, zdali jde o pevný nebo kapalný produkt. Kontaminace živočišných produktů je počítána pomocí růstových transferových

faktorů pro hospodářská, případně divoká zvířata a jejich příjmu kontaminovaného krmiva, půdy, vody a dýchání kontaminovaného vzduchu. Příjem aktivity hospodářským/divokým zvířetem lze vypočítat součtem tří položek, příjmu vodou (napájení), krmivem (a půdou) a příjmem dýcháním (vdechování prachu). Krmení může mít obecně více složek, ale lze uvažovat pouze jedna.

Výpočet kontaminace (aktivity) produktu vodního hospodářství

Kontaminace produktů vodního hospodářství, tedy zejména ryb, lze spočítat vynásobením aktivity vody a koncentračního faktoru pro daný produkt a chemický prvek.

2.2.2. PŘÍKON EFEKTIVNÍ DÁVKY VDECHNUTÍM

Příkon efektivní dávky inhalací je vypočítán z rychlosti dýchání a aktivity vzduchu. Obecně se může člověk pohybovat v různých prostředích (např. les, pole, louka), kde je ve vzduchu různá aktivita, proto celkový příkon efektivní dávky počítáme jako součet částečných příkonů přes různá prostředí, viz rovnice (3). Pro každé prostředí je stanovena relativní doba pobytu, součet relativních dob pobytu je pak roven jedné. Aktivitu vzduchu můžeme vypočítat z aktivity prachu rozptýleného v půdě. Aktivita půdy by měla být výstupem z modelu kontaminace povrchových vrstev.

$$(3) \quad \dot{E}_{inh_j} = h_{inh_j} \cdot br \cdot \sum_e r_e \cdot a_{e_j}$$

kde:

- \dot{E}_{inh_j} příkon efektivní dávky vdechnutím (inhalací), [L²·T⁻³], [Sv·a⁻¹]
- h_{inh_j} konverzní faktor radionuklidu j pro příjem vdechnutím, [L²·T⁻¹], [Sv·Bq⁻¹]
- a_{e_j} objemová aktivita vzduchu radionuklidu j v prostředí e [T⁻¹·L⁻³], [Bq·m⁻³]
- br rychlost dýchání člověka [L³·T⁻¹], [m³·a⁻¹]
nebo [m³·d⁻¹]
- e index prostředí, např. pole, les, louka, atd.
- r_e relativní doba pobytu v prostředí e

2.2.3. PŘÍKON EFEKTIVNÍ DÁVKY ZE VNÍM OZÁŘENÍM

Příkon efektivní dávky zevním ozářením lze spočítat jako součet zevních ozáření ze všech prostředí, kde člověk pobývá, tedy zejména pole, les, voda (tím je myšleno například koupání v rybníce). V každém z těchto prostředí se zevní ozáření skládá z více složek, např. na poli to je zejména půda a vzduch, v lese to je též půda a vzduch, ale může to být například i ze stromů, pokud tyto budou významně kontaminovány radioaktivitou. Při koupání se provede výpočet zevního ozáření zejména z vody a ze vzduchu. Vztah pro výpočet viz rovnice (4). Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření bývají uvedeny pro objemovou kontaminaci (tedy takovou, která je rozptýlena v prostředí a je vztažena k objemu) nebo povrchovou (aktivita je na povrchu, tedy ve spadu radioaktivního prachu a je vztažena na plochu).

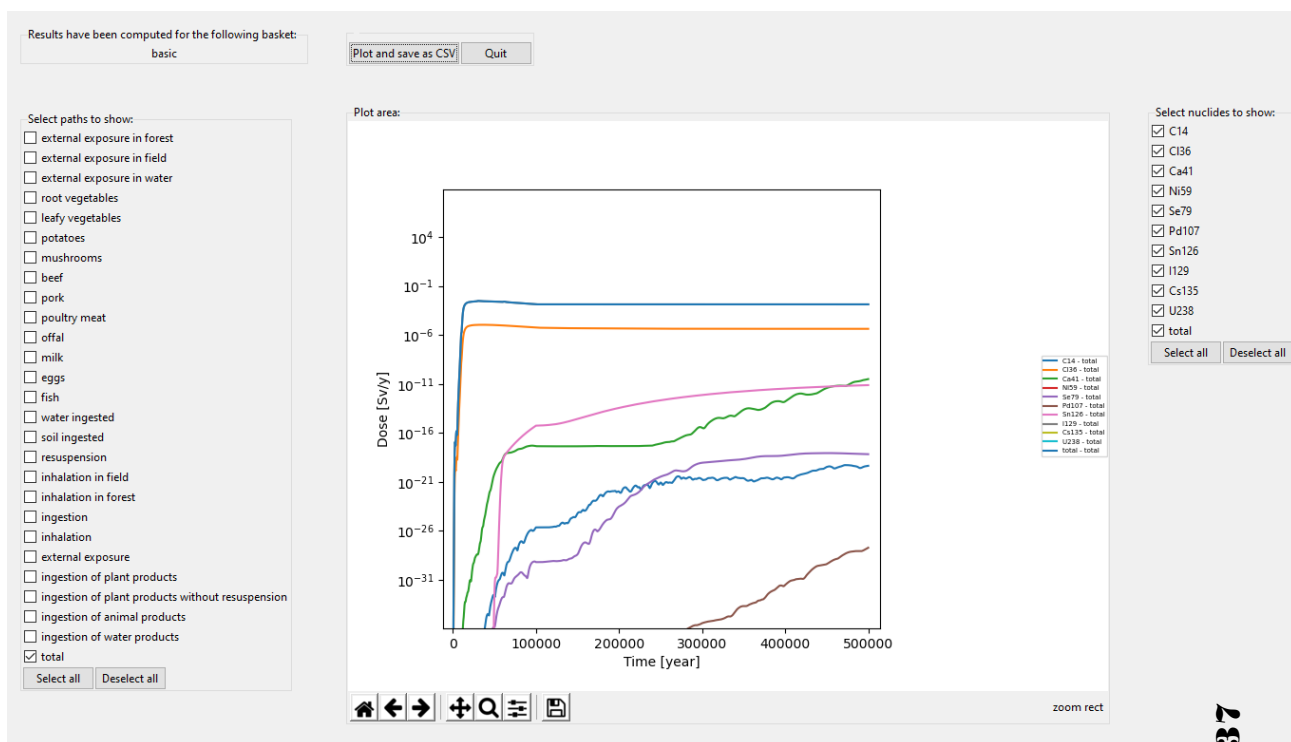
$$(4) \quad \dot{E}_{ext_j} = \sum_e \left(r_e \cdot \sum_{ep} (h_{ep_j} \cdot a_{ep_j}) \right)$$

kde:

- \dot{E}_{ext_j} příkon efektivní dávky zevním ozářením radionuklidem j [L²·T⁻³], [Sv·a⁻¹]
- h_{ep_j} dávkový konverzní faktor pro zevní ozáření z části prostředí ep radionuklidu j [L⁵·T⁻²], [(Sv·s⁻¹)/(Bq·m⁻³)] nebo [L⁴·T⁻²], [(Sv·s⁻¹)/(Bq·m⁻²)] (někdy bývá značeno jako h_{ext} ale z důvodu nutnosti použít více indexů používáme pouze h)
- a_{ep_j} aktivita části prostředí ep radionuklidu j v jednotkách odpovídajících koeficientu pro zevní ozáření h, [T⁻¹·L⁻³], [Bq·m⁻³]
nebo [T⁻¹·L⁻²], [Bq·m⁻²]
- e index prostředí, např. pole, les, louka atd.
- ep index části prostředí, např. půda, vzduch, voda, apod.
- re relativní doba pobytu v prostředí e

3. DATABÁZE

V rámci vývoje sw Biorad byla vyvinuta databáze ve formátu SQLite, která obsahuje údaje o chemických prvcích, radionuklidech, transferové faktory, dávkové konverzní faktory, distribuční koeficienty, přednastavené spotřební koše apod.



Obr. 2: Biorad – Ukázka výstupu SW – zobrazení příkonu efektivní dávky pro všechny přestupové cesty a zvolený radionuklid.

Data jsou použita zejména z následujících zdrojů: [1] – chemické prvky a radionuklidy, [2] a [3] poločasy přeměny, [4] – dávkové konverzní faktory, [5] a [6] transferové faktory, [7] – distribuční koeficienty, [8] dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření.

4. POSTUP VÝPOČTU

V prvním kroku výpočtu dojde k načtení konfiguračního souboru. Konfigurační soubor je vytvořen pomocí grafického rozhraní. Konfigurační soubor obsahuje název a umístění souboru databáze, zvolené potravinové spotřební koše, seznam radionuklidů, název souboru s aktivitami prostředí a přepínače volby pro načtení aktivit. Program umožňuje uživateli postupovat třemi způsoby. V základním stavu (1) jsou načítány aktivity podzemní a povrchové vody a aktivity půdy jsou dopočítány jako rovnovážné s povrchovou vodou, pomocí dalších údajů (distribuční koeficient K_d , hustoty, porozity, vlhkosti) obsažených v databázi. Druhou možností (2) je načtení pouze aktivity podzemní vody. V tomto pří-

padě jsou aktivity povrchové vody dopočítány pomocí konstantního poměru ředění obsaženého v databázi. Hodnota poměru ředění je nastavena na 10 000, a v současné době nelze uživatelsky měnit. Aktivity půd jsou pak dopočítány stejně jako v předchozím případě do rovnovážného stavu s povrchovou vodou. Pro případ, že by uživatel chtěl použít jiné ředění, lze použít předchozí volbu s tím, že aktivity povrchové vody si uživatel dopočítá pomocí své hodnoty ředění. Třetí možností (3) je načtení všech aktivit, tj. aktivity podzemní vody, povrchové vody, zemědělské půdy a lesní půdy. Tato varianta výpočtu je připravena pro případ, že údaje jsou k dispozici jak případným měřením, tak pomocí třetího SW. Vzhledem k tomu, že výstupem z transportních modelů mohou být hmotnostní koncentrace, je možné pomocí jiného přepínače načíst hmotnostní koncentrace. V takovém případě dojde po načtení těchto koncentrací k přepočtu na aktivity, též pomocí údajů obsažených v databázi.

V závěrečném kroku dojde k načtení všech potřebných dat z databáze, zejména transferových koeficientů, dávkových konverzních faktorů a spotřebních košů. Veškeré údaje v databázi jsou v jednotkách podle příslušného zdroje. Všechny jednotky mají v databázi přepočítání na základní jednotky podle SI. Při jejich načtení dojde automaticky k přepočtu na základní jednotky, ve kterých následně probíhá výpočet příkonu efektivní dávky. Po skončení výpočtu je vypočtený příkon efektivní dávky přepočítán na jednoty $\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ a následně jsou výsledky předány zpět grafickému rozhraní pro jejich zobrazení, viz ukázka na obr. 2.

5. ZÁVĚR

SW Biorad je jednoduchý nástroj k výpočtu efektivní dávky jedince obyvatelstva, vyvíjený zejména pro účely hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště. Pro tento účel je sestaven i jeho koncepční model. Souběžně vytvářená databáze je ale vyvíjena obecněji a obsahuje i údaje, které nejsou pro hodnocení HÚ potřebné. V zásadě je možné tento SW použít i pro hodnocení přípovrchových úložišť.

SW Biorad umožňuje stanovení efektivní dávky na základě předpokládané skladby spotřebního koše a svou koncepcí a propojením s databázemi transferových koeficientů, dávkových konverzních faktorů a složením spotřebního koše umožňuje řešit konkrétní modelové situace variantním způsobem v přímé návaznosti na výstupy modelů šíření kontaminace v saturovaném horninovém prostředí. Umožňuje rovněž provázání modelových dat s konkrétními zjištěními (daty) na posuzované lokalitě. Spojením s modelovými nástroji Flow123d, predikujícími uvolnění a šíření kontaminace od zdroje (úložiště) přes horninové prostředí k povrchu, s přestupem přes nesaturovanou zónu umožňuje komplexně hodnotit, modelovat různé scénáře vývoje úložiště a jejich dopadů na jednotlivce z obyvatelstva.

V budoucnosti je SW Biorad připraven na další vývoj, např. doplnění modulu pro výpočet dávky při radioaktivním spadu nebo přizpůsobení SW jiným potřebám uživatele, a to jak v návaznosti na transport kontaminace v podzemních vodách, tak samostatně.

Specifickou výhodou SW Biorad (např. oproti SW Resrad) je možnost výpočtu dávek z různě definovaných vstupních údajů – například diskretních časových řad z monitoringu.

Poděkování.

Tento článek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu EPSILON, podporou projektu TH03030274 Software pro hodnocení šíření radionuklidů na rozhraní geosféra – biosféra a dopadů na člověka.

Ing. Jakub Říha, Ph.D.

jakub.riha@tul.cz

Vystudoval obor Aplikované vědy v inženýrství na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci. V současnosti působí jako asistent výzkumu na Oddělení modelování procesů Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace Technické univerzity v Liberci. Má 10 let odborné praxe v oblasti modelování proudění podzemní vody a transportu látek v ní rozpuštěných.



Reference:

- [1] Wikipedia, [Online]. Available: <https://www.wikipedia.org/>.
- [2] Laboratoire National Henri Becquerel, „Recommended data.“ [Online]. Available: http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm. [Přístup získán 22. 8. 2019]
- [3] NuDat 2.8, „<https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>.“ [Online].
- [4] SÚJB, 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 23. prosince 2016
- [5] IAEA, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, sv. technical reports series no. 472, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010.
- [6] L. H. Staven, K. Rhoats, B. A. Napier a D. L. Strenge, A Compendium of Transfer Factors for Agricultural and Animal Products, USA: Pacific Northwest National Laboratory, U. S. Department of Energy, June 2003.
- [7] C. Yu, S. Kamboj, C. Wang a J.-J. Cheng, Data Collection Handbook to Support Modeling Impacts of Radioactive Material in Soil and Building Structures, Chicago, USA: Argonne National Laboratory, September 2015.
- [8] K. F. Eckerman a J. C. Ryman, EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER, AND SOIL, sv. EPA-402-R-93-081. Oak Ridge, Tennessee / USA: Oak Ridge National Laboratory, September 1993.
- [9] J. Landa, Modely distribuce radionuklidů v biosféře pro účely hodnocení bezpečnosti ukládání radioaktivních odpadů, shromáždění dat a výpočty biosferických dávkových konverzních faktorů. Řež: Ústav jaderného výzkumu Řež a.s., prosinec 2008.
- [10] R. Trtílek, J. Landa, D. Trpkošová, J. Podlaha a V. Havlová, „Bezpečnostní rozbor skládky velmi nízko aktivních odpadů.“ Bezpečnost jaderné energie, pp. 139-146, 5/6 2015.
- [11] A. Vokál, V. Havlová, M. Hercík, J. Landa, D. Lukin a J. Vejsada, Hodnocení dlouhodobé bezpečnosti HÚ, Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, III. etapa studie zadávací bezpečnostní zprávy, C. dokumentární část C.2 Hodnocení dlouhodobé bezpečnosti HÚ, Řež, 09/2010.
- [12] SÚJB, 307/2002 Sb. Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 13. června 2002
- [13] Český statistický úřad, „Retrospektivní údaje o spotřebě potravin - 1920 - 2006.“ 31. 07. 2008. [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/czso/retrospektivni-udaje-o-spotrebe-potravin-v-letech-1920-2006-n-7sg9bp0osn>. [Přístup získán 12. 12. 2018].
- [14] „Výnosy zeleniny podle knihy Encyklopedie pro zahrádkáře.“ Biozahrada - Fórum o biozahrádkách, ekozahrádkách, rostlinách a zahradních zvířatech, 30. 1. 2010. [Online]. Available: <http://diskuse.nachvojnic.cz/viewtopic.php?f=74&t=208#p867>. [Přístup získán 2019].
- [15] B. Moldan, Atmosferická depozice na území Československa v letech 1976-1987, Praha: Národní klimatický program ČSFR, 1992.

Ing. Jiří Landa, Ph.D.



jiri.landa@tul.cz

Absolvent Fakulty chemického inženýrství na VŠCHT Praha a doktorského studia na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Absolvoval rovněž postgraduální studium matematického modelování na Matematicko-fyzikální fakultě UK. Působil ve společnostech IBM a ÚJV Řež. Od roku 2001 se věnuje problematice ukládání radioaktivních odpadů, zejména výpočtům hodnocení dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště vysoceaktivních odpadů. Nyní pracuje na Technické univerzitě v Liberci v Ústavu nových technologií a aplikované informatiky a na Fakultě zdravotnických studií.

Zkušenosti se zvyšováním tepelného výkonu reaktorů v českých jaderných elektrárnách při využití projektových rezerv

Ing. Oldřich Mach, Ph.D.¹, Ing. Pavel Koňářík²

¹ ÚJV Řež, a. s.

² ČEZ, a. s.

Cílem článku je podat informace o projektech Využití projektových rezerv JE Dukovany a JE Temelín. V článku je popsáno vytvoření podmínek pro využití výkonových rezerv bloků JE a přenesení zvýšeného elektrického výkonu do elektrizační soustavy.

The article provides information on the "Utilisation of the Dukovany and Temelin Nuclear Power Plants Project Reserves" projects. It describes conditions to use unit output reserve and transmission of the increased power to the electricity supply system.

Společným cílem všech projektů Využití projektových rezerv (dále jen VPR) bylo zajistit bezpečný a spolehlivý provoz reaktorů se zvýšeným výkonem a tomu odpovídající zvýšení elektrického výkonu. Projekty VPR byly založeny především na využití výkonových a kapacitních rezerv zařízení, zejména primárního okruhu. Vlastní zvýšení tepelného výkonu reaktorů bylo dosaženo zvýšením výkonu aktivní zóny reaktorů a přizpůsobením parametrů primárního a sekundárního okruhu.

V souladu se zadáním bylo zvýšení výkonu jednotlivých bloků dosaženo využitím stávajících projektových rezerv a tam, kde analýzy prokázaly potřebu, také modifikacemi systémů a komponent při zachování akceptovatelných bezpečnostních rezerv (safety margins). Projektové rezervy rozhodujících zařízení byly přítom čerpány pouze do úrovně zachovávaných dostatečných bezpečnostních rezerv. Při reali-

zaci byl respektován požadavek na zachování projektové životnosti nevyměnitelných a těžce vyměnitelných komponent primární i sekundární části s tím, že je zachována možnost prodloužení provozu nad 40 let. Všechna taková zařízení byla analyzována a jejich životnost posouzena v kontextu s plánovaným prodloužením životnosti jednotlivých jaderných bloků. Prioritou samozřejmě bylo plnění všech podmínek licenčního povolení SÚJB pro provoz bloků na zvýšeném výkonu.

Hlavním cílem projektů byla logicky vyšší výroba elektrické energie při přijatelně vyšších ročních provozních nákladech a nízkých investičních nákladech, tj. ekonomická výhodnost projektů. Jako první krok byly vždy zpracovány „předběžné“ studie, které měly za cíl stanovit možnosti zvyšování výkonu při zachování dostatečných bezpečnostních rezerv. Druhým krokem bylo zpracování předběžného vyhod-

Country	NPP - Reactor	Model	Capacity (MW)			%
			Thermal	Gross	Net	
Czech Rep.	Dukovany-1	VVER V-213	1 444*	500*	468*	105*
	Dukovany-2	VVER V-213	1 444*	500*	471*	105*
	Dukovany-3	VVER V-213	1 444*	500*	468*	105*
	Dukovany-4	VVER V-213	1 444*	500*	471*	105*
Finland	Loviisa-1	VVER V-213	1 500	531	507	109
	Loviisa-2	VVER V-213	1 500	531	507	109
Hungary	Paks-1	VVER V-213	1 485	500	479	108
	Paks-2	VVER V-213	1 485	500	477	108
	Paks-3	VVER V-213	1 485	500	473	108
	Paks-4	VVER V-213	1 485	500	473	108
Russia	Kola-3	VVER V-213	1 375	440	411	100
	Kola-4	VVER V-213	1 375	440	411	100
Slovakia	Bohunice-3	VVER V-213	1 471	505	471	107
	Bohunice-4	VVER V-213	1 471	505	471	107
	Mochovce-1	VVER V-213	1 471	470	436	107
	Mochovce-2	VVER V-213	1 471	470	436	107
Ukraine	Rovno -1	VVER V-213	1 375	420	381	100
	Rovno -2	VVER V-213	1 375	415	376	100

Tab. 1

IAEA: REFERENCE DATA SERIES No. 2 Nuclear Power Reactors in the World, 2020 Edition *) v rámci projektu VPR2 EDU může být (po úspěšném ukončení licenčního řízení a vydání Rozhodnutí SÚJB) tepelný výkon zvýšen na 1 475 MW_t a elektrický výkon na 512 MW_e.

nocení rezerv technologických zařízení primární části, sekundární části, elektrické části, hodnocení vlivu na ŽP v oblasti vodního hospodářství, mikroklimatu a radioaktivních výpusť pro konkrétní zvýšené výkony.

Ve všech projektech byly přitom zohledněny již realizované, ale i plánované modernizace některých zařízení sekundárního okruhu včetně elektrické části bloků.

Následně byla provedena variantní technicko-ekonomická posouzení z pohledu ekonomické výhodnosti při zachování možnosti prodloužení provozu nad 40 let. Na základě technicko-ekonomického porovnání variant byla pro VPR1 EDU doporučena varianta zvýšení nominálního tepelného výkonu bloků na 1 444 MW_t, tj. 105 % projektového výkonu, pro VPR ETE na 3 120 MW_t, tj. 104 % projektového výkonu a pro VPR2 EDU 1 475 WM_t, tj. 107,27 % projektového výkonu. Všechny provedené analýzy byly provedeny pro vyšší vý-

konové úrovni tak, aby plně pokrývaly oblast bezpečnostních rezerv, stejně jako případné možné nepřesnosti měření a regulace.

Na základě výše uvedených podkladů bylo v ČEZ provedeno komplexní posouzení z pohledu možných dopadů na:

- plnění legislativních požadavků a vnitřní dokumentaci ČEZ,
- rozsah dokumentace předávané dodavatelem včetně dokladování zabezpečení jakosti dodavatele,
- proškolení, požadavky a omezení kladená na personál,
- projekt simulátoru,
- souvislosti s projektem zavedení paliva TVSA-T (ETE), PK3+ (EDU) a prodloužení kampaní na 16 měsíců (EDU),
- bezpečnostní a provozní rizika projektu zvýšení výkonu a jejich vazbu na rozsah analýz a hodnocení zdůvodňujících jejich přijatelnost, případně opatření k jejich eliminaci.

Tepelný výkon reaktoru [%]	100	105	107,25
Tepelný výkon reaktoru [MW_t]	1375	1444	1475
Tlak horké smyčky na výstupu z TNR [MPa]	12,36	12,362	12,362
Teplota horké smyčky na výstupu z TNR [°C]	297±2	298,4	300,4
Tlak studené smyčky na vstupu do TNR [MPa]	12,625	12,668	12,668
Teplota studené smyčky na vstupu do TNR [°C]	267±2	267,9	269,3
Celková produkce páry v PG [kg/s]	753,3	796,14	815,7
Tlak páry v HPK [MPa]	4,49	4,570	4,67
Projektový průtok [m^3/hod]	39 000–42 500	41 500	41 500

Country	NPP - Reactor	Model	Capacity (MW)			%
			Thermal	Gross	Net	
Czech Rep.	Temelin-1	VVER V-230	3 120	1 082	1 027	104
	Temelin-2	VVER V-230	3 120	1 082	1 027	104
Russia	Balakovo-1-3	VVER V-230	3 000	1 000	950	100
	Balakovo-4	VVER V-230	3 200	1 000	950	106,7
	Kalinin 3-4	VVER V-230	3 200	1 000	950	106,7
	Rostov 1-2	VVER V-230	3 200	1 000	950	106,7
	Rostov 3	VVER V-230	3 000	1 000	950	100
	Rostov 4	VVER V-230	3 000	1 030	979	100
Ukraine	Chmelnický -1	VVER V-230	3 000	1 000	950	100
	Chmelnický -2	VVER V-230	3 000	1 000	950	100
	Rovno 3-4	VVER V-230	3 000	1 000	950	100
	Jihoukrajinská 1-3	VVER V-230	3 000	1 000	950	100
	Zápороžská 1-6	VVER V-230	3 000	1 000	950	100

Tab. 2 a 3 |

IAEA: REFERENCE DATA SERIES No. 2 Nuclear Power Reactors in the World, 2020 Edition

Projekt VPR1 EDU (zvýšení tepelného výkonu jednotlivých bloků o 5 % tzn. 1 375 MW_t -> 1 444 MW_t) byl realizován v letech 2009–2012. Projekt běžel souběžně s obnovou SKŘ a modernizací zařízení související s výhledem na prodloužení životnosti. Zvolený dodavatelský model představoval ruskou projekční organizaci OKB Gidropress,

ÚJV Řež, a. s., Divize Energoprojekt Praha (výkon funkce Architekt inženýr), ŠKODA PRAHA Invest, s.r.o. (výkon funkce generálního dodavatele) a 12 dalších dodavatelů.

VPR ETE a VPR2 EDU přešla na shodný dodavatelský model, kdy JSC TVEL (dodavatel jaderného paliva) zastřešoval dodávky ruských

projekčních organizací a ÚJV Řež, a. s. jako generální dodavatel potom zastřešoval veškeré práce českých dodavatelů. Výjimkou byla nezávislá dokumentace jaderného paliva, kterou pro VPR2 EDU dodávala ŠKODA JS, což souviselo i se souběžně běžícím projektem přechodu bloků EDU na palivo PK3+.

Využití projektových rezerv jaderných bloků s reaktory VVER je doporučováno i projektanty těchto reaktorů a před realizací na českých JE bylo již prakticky ověřeno na reaktorech VVER-440 např. na JE Loviisa, JE Paks a na reaktorech VVER-1000 na JE Balakovská a JE Rostov. (viz Tab. 1)

Podle zkušeností ze zahraničních JE s reaktory VVER-440 V 213 není problém se zvýšením tepelného výkonu primární části až do 110 %. Omezení na EDU je dáno požadavkem provozovatele na minimalizaci dopadů do rozhodujících technologických komponent, jako jsou turbogenerátory, blokové transformátory, rychlozávěrné armatury, hlavní regulační armatury a další. Současně se provozovatel EDU při všech modernizacích úspěšně snaží jít cestou zvyšování efektivity provozu. Při porovnání s JE Paks a JE Bohunice je vidět vyšší efektivita bloků EDU, kdy elektrický výkon bloků EDU je prakticky stejný i při nižším tepelném výkonu primárního okruhu EDU.

Limitujícím parametrem v zadání byla teplota horké smyčky na výstupu z reaktoru.

Na základě výsledků výpočtu stacionárního stavu bloku EDU na zvýšeném výkonu lze uvést následující porovnání základních parametrů: (viz Tab. 2 a 3)

Projekt VPR ETE prakticky navazoval na již realizovaný projekt záměny paliva VV6 (Westinghouse) za palivo TVSA-T (TVEL). Z projektu implementace TVSA-T byla v projektu VPR ETE v plném rozsahu převzata kritéria přijatelnosti pro bezpečnostní analýzy, které jsou schváleny ze strany SÚJB. Stejně tak byly akceptovány, případně aktualizovány, metodiky pro bezpečnostní analýzy a bezpečnostní hodnocení palivových vsázek, značení dokumentů, systém projednávání předávané dokumentace, pravidelná společná pracovní jednání, tzv. Technical Review Meeting a mnoho dalších organizačních postupů.

Realizace vlastního zvýšení výkonu proběhla v JE Temelín na 2 blocích v průběhu jednoho roku. Projektem zvýšení výkonu ETE byl zároveň realizován přechod analýz Provozní bezpečnostní zprávy (PrBZ) – do doby VPR byly ruské analýzy v PrBZ jako hlavní a české jako nezávislé ověření, od zvyšování výkonu je to naopak.

Tab. 4

Tepelný výkon reaktoru [MW _e]	3 000	3 120
Tlak horké smyčky na výstupu z TNR [MPa]	15,73	15,73
Teplota horké smyčky na výstupu z TNR [°C]	318,80	320,30
Tlak studené smyčky na vstupu do TNR [MPa]	16,18	16,18
Teplota studené smyčky na vstupu do TNR [°C]	289,40	290,00
Celková produkce páry v PG [kg/s]	1 643,84	1 717,00
Tlak páry v HPK [MPa]	6,10	6,08
Projektový průtok [m ³ /hod]	88 000	88 000

Výkonová hladina 104 % N_{nom} ETE byla zvolena s ohledem na využití zkušeností s implementací obdobného projektu na JE Balakovo a JE Rostov, možnosti paliva TVSA-T, možnost realizace se současnými TG (respektive s modernizovanými turbínami), nezvýšení autorizovaných limitů výпустů a limitů odběru surové vody a nevyvolání významných modifikací zařízení ETE. Přestože se realizace VPR ETE byla realizována se stávajícími TG, je v projektu zohledněna také plánovaná modernizace NT dílů TG a některých dalších zařízení sekundárního okruhu, včetně elektrické části bloku.

Limitujícím parametrem v zadání byla opět teplota horké smyčky na výstupu z reaktoru.

Na základě výsledků výpočtu stacionárního stavu bloku ETE na zvýšeném výkonu lze uvést následující porovnání základních parametrů: (viz Tab. 4)

Součástí projektu VPR ETE byl i „Dohledový program zkušebního provozu“ v trvání 1 roku, který potvrdil správnost projektového řešení s tím, že žádná z odchylek od nominálního stavu bloků ETE v hodnoceném období nebyla přímo vyvolána realizací projektu Zvýšení výkonu.

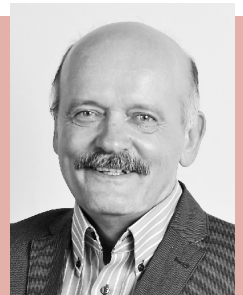
V průběhu realizace projektů VPR byl vytvářen dokument Safety Case, sloužící k identifikaci rizik a hodnocení jejich závažnosti, která mohou nastat při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie, mimo jiné i při přípravě a realizaci rekonstrukcí a modifikací. Zároveň jsou v tomto dokumentu popsána opatření pro eliminaci rizik, tj. jejich odstranění, případně zmírnění, včetně ověření, že jsou tato opatření účinná. Celý dokument je vytvářen postupnou iterací obsahu a rozsahu kapitol v souladu s postupem a harmonogramem prací. Po dokončení Safety Case komplexně

dokumentuje dosažení vyhovujícího (přijatelného) stavu z pohledu jaderné bezpečnosti, technické bezpečnosti, radiační ochrany, BOZP, požární ochrany a ochrany životního prostředí v oblastech dotčených zvýšením výkonu jaderných bloků.

Realizací VPR1 EDU, VPR ETE a rozpracovaností VPR2 EDU byla prokázána robustnost projektů Jaderných elektráren s reaktory VVER-440 i VVER-1000 a bylo potvrzeno, že i při zachování dostatečných bezpečnostních rezerv přinášejí po zvýšení výkonu očekávané ekonomické přínosy.

ÚJV Řež prokázalo svojí rolí v projektech VPR, že disponuje dostatečnou kapacitou odborníků pro komplexní řešení a řízení rozsáhlých projektů pro potřeby českých, ale nejen českých, jaderných elektráren s reaktory VVER.

Ing. Oldřich Mach, Ph.D.



oldrich.mach@ujv.cz

Je absolventem VUT Brno, fakulta elektrotechnická, obor Mikroelektronika a doktorandského studia na Vojenské univerzitě Brno, fakulta ekonomiky a managementu, obor Ochrana obyvatelstva. Od roku 1974 pracoval na výstavbě JE Dukovany jako technický dozor investora. Po ukončení výstavby působil v ČEZ, a. s. na JE Dukovany postupně v pozicích vedoucího směny systémů elektronické ostrahy a následně vedoucího oddělení havarijní připravenosti. Podílel se na vypracování vnitřního havarijního plánu, souvisejících zásahových instrukcí a zpracování řídicí a licenční dokumentace v oblasti zajištění havarijní připravenosti. Od roku 2005 působí v ÚJV Řež, a. s., kde vede rozsáhlé projekty vědy a výzkumu, zaměřené na bezpečnost provozu JE a projekty zvyšování výkonu ETE a EDU.

System jadrového vzdelávania na Slovensku

Prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.

Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Slovenská technická univerzita v Bratislave

Článok je zameraný na priblíženie systému jadrového vzdelávania na Slovensku. Podrobnejšie sa venuje historickému vývoju i koreňom pozitívnych i negatívnych skúseností ako aj súčasným problémom, ktoré na jadrové vzdelávanie pôsobia.

Paper is focused on the Slovak education system in nuclear power engineering. Historical roots, positive and negative experiences or actual nuclear education problems are discussed in detail.

1. ÚVOD

Výstavba, prevádzka, údržba i likvidácia jadrových elektrární je spojená s množstvom technických problémov, ktoré sú schopní riešiť len kvalitne pripravení odborníci. Vysoká úroveň zamestnancov jadrových elektrární ako aj príslušných inžinierskych a výskumných pracovísk i pracovníkov dozoru nad jadrovou bezpečnosťou podmieňuje bezpečnú, ekologickú a ekonomicky efektívnu prevádzku slovenských jadrových elektrární [1]. Kvalitné vzdelávanie v oblasti prevádzky a vyradovania jadrových elektrární (JE) nadobúda v súčasnosti nový rozmer a to najmä z nasledujúcich dôvodov:

- a) Po havárii vo Fukušime sa i na Slovensku zvýšila potreba nezávislého hodnotenia jadrovej bezpečnosti prevádzkovaných jadrových zariadení, ktoré by bolo založené na hlbokých znalostiach vychádzajúcich z výskumnej činnosti, ktoré by boli garantované akademickou inštitúciou nezávislou na prevádzkovateľovi a poskytovalo podporu Ministerstvu hospodárstva, či Úradu jadrového dozoru SR v oblasti výskumu i vzdelávania. Podobné závery súvisia aj so snahou o predĺžovanie životnosti našich jadrových zariadení.
- b) Desiatky JE v Európe (podobne ako JE V-1 v Jaslovských Bohuniciach) boli odstavené a začínajú sa práce na ich vyradovaní. Na Slovensku podobne ako v zahraničí nie je dostatok kvalifikované-

ho personálu pre túto činnosť. Chýbajú i experimentálne zariadenia. Na druhej strane existuje v oblasti vyradovania veľká štátna akciová spoločnosť JAVYS, a. s., ktorá by mohla mať potenciál stredoeurópskeho lídra v tejto oblasti. Spolupráca s FEI STU a IAEA formou Collaborative centre vyzerá byť zmysluplná a sľubná.

- c) Slovensko sa hlási k projektu ALLEGRO (plynom chladený, rýchly reaktor) a ak by sa realizoval, bude zmysluplné poskytovať kvalitné vzdelávanie i zázemie pre riešenie výskumných úloh. Búrlivý rozvoj vodíka a na neho naviazaných technológií je bez jadrovej energetiky a najmä vysokoteplotných reaktorov veľmi otázný.

2. ÚSKALIA JADROVÉHO VZDELÁVANIA

Jadrové disciplíny sú náročné na vzdelávanie. S ohľadom na zložité technológie v jadrovej energetike i požiadavky vysokej technickej i jadrovej bezpečnosti to nemôže byť inak. Bez vzťahu študenta či pedagóga k prírodovedným disciplínam, najmä matematike, fyzike alebo technike je to len trápenie. Úroveň výučby fyziky najmä na stredných školách je nedostačujúca. V päťdesiatych rokoch bol jadrový fyzik alebo energetik považovaný takmer za génia. Spoločenské uznanie a obdiv boli motivujúce. V nasledujúcom období, najmä v 80. rokoch sa pod tlakom „ochranárov“, menil pohľad na jadrových energetikov.



Obr. 1: Prednáška v parogenerátore
(exkurzia v školiacom stredisku v Paksi)

Výrazne pokleslo aj ich platové ohodnotenie. Po roku 1989 riešil štát problémy spojené s transformáciou na trhové hospodárstvo, zdôrazňujúc, že nechce do ničoho zasahovať. Politické strany závislé na verejnej mienke i médiách dávali „ruky preč“ od všetkého, čo súviselo s jadrovou energetikou. Štátne orgány sa dlho spoliehali na robustnosť systému, ktorý bol budovaný v minulosti (Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Prahe, medziodborové štúdium Jadrová energetika na SVŠT v Bratislave, viaceré kvalitné výskumné ústavy). Súkromné firmy riešia požiadavky na kvalifikáciu komerčne – kurzami či školeniami, ktorými splnia najmä formálne predpisy. Týmto sa bohužiaľ dnes nahrádza špecializované univerzitné vzdelávanie. Pochybné kurzy i sporné doklady o ich absolvovaní nemôžu zabezpečiť získanie skutočných vedomostí.

Pri vyššie uvedených vonkajších podmienkach je ťažké udržať doterajšiu úroveň univerzitného vzdelávania v jadrovej energetike. Aby vzdelávanie malo zmysel, musí byť komplexné a s kvalitnými teoretickými základmi, na ktoré je potrebných cca 10–12 špecializovaných predmetov. Na tie treba aspoň 6–10 pedagógov a aspoň 6–10 vedeckovýskumných pracovníkov, pretože bez praktických znalostí a výskumu vzdelávacej inštitúcie nemôže byť ani kvalitné vzdelávanie. V posledných rokoch končilo študijné zameranie Jadrová energetika na FEI STU v Bratislave cca 10 absolventov ($\pm 3\sigma$), čo znamená pomer 2 pracovníci na 1 študenta. Ak dekan fakulty tvrdí, že je to neefektívne v porovnaní napríklad s infor-

matikou, určite má pravdu. Keďže škola honoruje svojich pedagógov najmä za odučené človekohodiny, znamená to finančnú diskrimináciu pre tých, ktorí učia len 6 študentov v predmete. Pre kvalitného pedagóga a či výskumníka nie je problém pozmeniť svoje zameranie alebo odísť z fakulty. Toto všetko však vedie k ďalšej redukcii predmetov i k znižovaniu úrovne vzdelávania.

Špecializované vzdelanie pre jadrovú energetiku sa dalo v minulom storočí získať najmä na Strojníckej a Elektrotechnickej fakulte STU. Medziodborové štúdium „Jadrová energetika“ na STU bolo tzv. „minimalizovaným optimom“, ktoré je dodnes prevádzkovateľmi vysoko oceňované, nakoľko pripravovalo kvalitných absolventov pre prax i aplikovateľný výskum. Niekoľkonásobné zmeny v študijných zameraniach a neskôr študijných programoch, rušenie, prípadne zlučovanie viacerých jadrových predmetov, odchod viacerých významných pedagógov z STU, ako aj začlenenie oblasti jadrovej energetiky do neadresne znejúceho študijného programu „Elektrotechnika“ znamená ďalší pokles záujmu študentov o oblasť jadrovej energetiky na FEI STU. S redukciou počtu záujemcov (tých, ktorých neodradí ani prečítanie si profilu absolventa Elektrotechniky a príslušných predmetov) sa postupne redukuje i rozsah vedomostí absolventov. Na tomto mieste je dôležité pripomenúť, že FEI STU je poslednou fakultou na Slovensku, ktorá je schopná vzdelanie v tomto odbore komplexne i kvalitne zabezpečiť na úrovni bakalárskeho, inžinierskeho ba i doktorandského štúdia. Progresívne riešenia sú však závislé od legislatívy, ministerstva školstva, hospodárstva, resp. nových majoritných vlastníkov energetických podnikov na Slovensku.

Okrem uvedených negatívnych faktorov netreba zabúdať na pozitíva. Dovolím si tvrdiť, že Slovensko je „jadrová krajina“, ktorá do rozvoja tejto oblasti dlhodobo investovala (vybudovanie dobrej infraštruktúry v školstve, výskume, dozore nad jadrovou bezpečnosťou). Naši odborníci i inštitúcie sú plne kompetentní i v porovnaní so zahraničím. Máme dlhoročné skúsenosti s výstavbou, bezpečnou pre-

vádzkou i likvidáciou jadrových zariadení. Už pár rokov však žijeme z podstaty. Po miernom oživení spojenom so spúšťaním EMO 1.2 prišla stagnácia. Môžeme sa utešovať, že v mnohých európskych krajinách je to ešte horšie, ale to nám nepomôže.

Upozorňujem na nutnosť zabezpečiť plynulý prechod od inštitucionálnej podpory vzdelávania v jadrovej fyzike, technike a energetike (poskytovanej najmä štátom) k novému modelu, kedy podpora uvedených oblastí by mala byť zabezpečovaná aj od súkromných spoločností na základe efektívnej legislatívy. V súčasnosti navrhujem aj širšie využitie európskych fondov, čo o pár rokov už nebude možné.

V súčasnosti je nevyhnutné bojovať aspoň zachovanie jadrového vzdelávania na FEI STU v jeho neoklieštenej forme. Určite sa to fakulte, prevádzkovateľovi JE, ale aj štátu mnohonásobne oplatí. Zdecimovať, prípadne zrušiť i túto poslednú možnosť komplexného jadrového vzdelávania na Slovensku je jednoduché. Znovuvybudovanie by mohlo trvať cca 10 rokov a stáť desiatky miliónov Euro (bez zarátania dôsledkov prípadnej jadrovej havárie, ku ktorej tento prístup vedie) [2].

3. ÚSTAV JADROVÉHO A FYZIKÁLNEHO INŽINIERSTVA FEI STU V BRATISLAVE

V máji 2011 sa zlúčením Katedry jadrovej fyziky a Katedry fyziky FEI STU v Bratislave vytvoril Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva (UJFI) [3]. Pokračuje v predchádzajúcich činnostiach a zintenzívňuje najmä medzinárodnú spoluprácu v jadrovom výskume a vzdelávaní. Popri cca 40 erudovaných pracovníkoch tu vyrastajú diplomanti a doktorandi, ktorí si nachádzajú uplatnenie v jadrovej energetike doma, prípadne v zahraničí.

Činnosť UJFI je dominantne zameraná na:

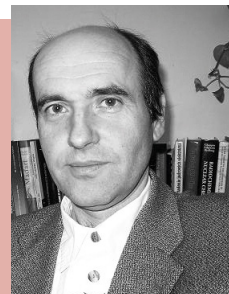
a) oblasť vzdelávania a pedagogickej činnosti (zabezpečuje študijný program Jadrové a fyzikálne inžinierstvo v bakalárskom i inžinierskom stupni vzdelávania, ako aj študijný program Jadrová energetika v doktorandskom stupni),

- b) oblasť základného a aplikovaného výskumu a vývoja,
- c) oblasť spolupráce s praxou a vývoj aplikácií,
- d) oblasť diseminácie výskumných a vzdelávacích činností a poznatkov do praxe.

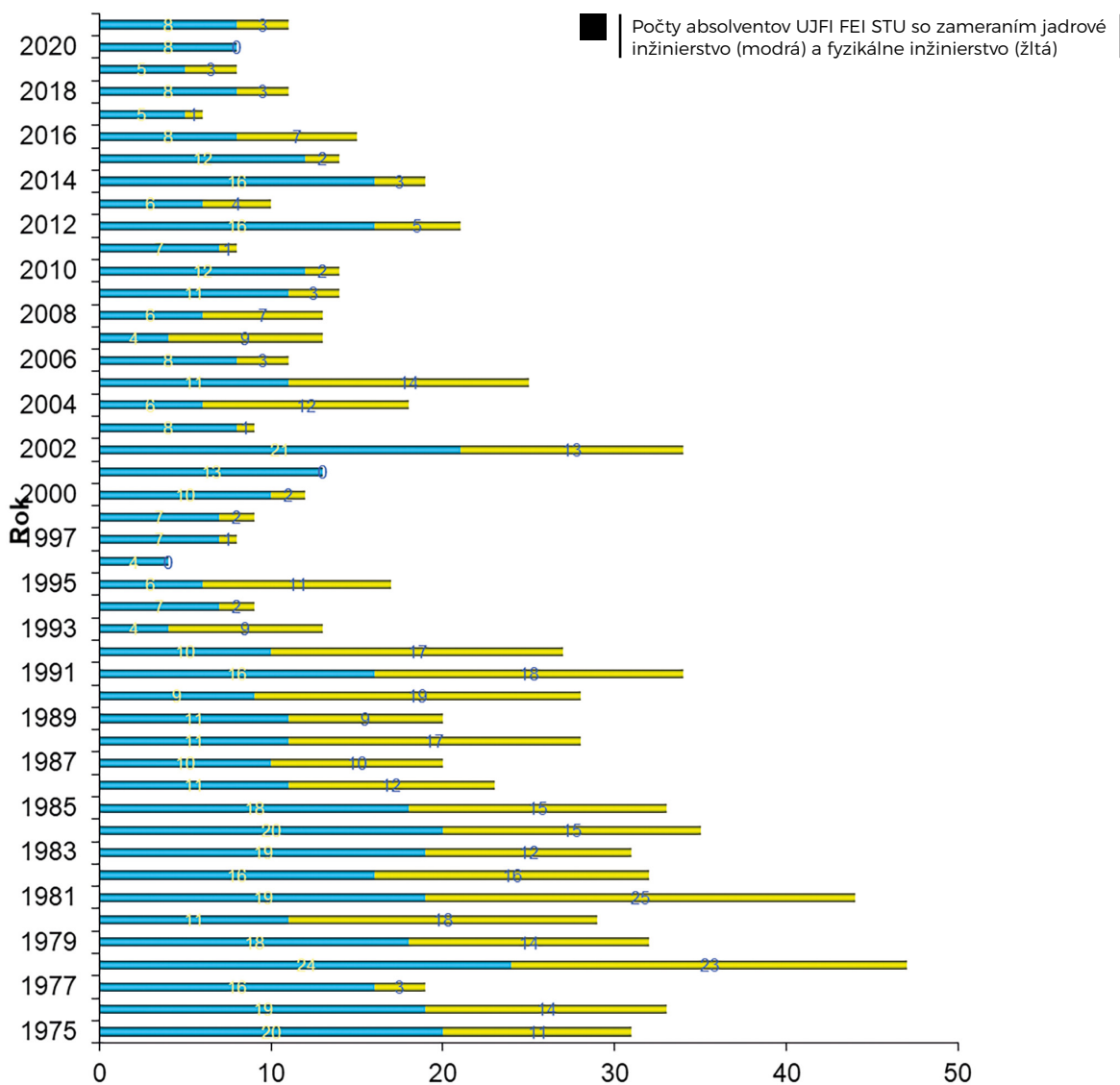
Absolventi študijného programu Jadrové a fyzikálne inžinierstvo budú oboznámení s fyzikálnymi procesmi a metódami používanými v diagnostike a technologických modifikáciách materiálov pre analýzu mechanických, tepelných, elektrických, magnetických, či optických vlastností materiálov. Absolventi získajú hlboké znalosti o fyzikálnych procesoch v rôznych materiáloch vrátane diagnostických metód a ich aplikácií v praktickom živote. Bezpečnú konštrukciu, prevádzku i vyradovanie jadrových elektrární je možné študovať až do hlbokých detailov v rámci predmetov ako sú: Jadrové zariadenia, Jadrová fyzika a technika, Materiály jadrových elektrární, Jadrová elektronika a detektory, Experimentálne metódy v jadrovej fyzike, Fyzika jadrových reaktorov,

Prof. Ing. Vladimír Služen, DrSc.

vladimir.slugen@stuba.sk



V roku 1985 ukončil medziodborové štúdium Jadrová energetika na Elektrotechnickej fakulte SVŠT v Bratislave. Je autorom 6 kníh, 12 vysokoškolských skrípt a vyše 500 vedeckých a odborných prác (H-index 14). Bol zodpovedným riešiteľom 14 medzinárodných vedeckých projektov v oblasti jadrového paliva, materiálového výskumu a jadrovej bezpečnosti. Od roku 2005 je riadnym profesorom v odbore jadrová energetika (DrSc. 2010). V roku 2015 založil v Bratislave European Decommissioning Academy. Od roku 2004 je predsedom SNUS a v rokoch 2009–2011 bol prezidentom ENS so sídlom v Bruseli. Od 2009 je členom predsedníctva World Nuclear Council. V rokoch 2011–2015 bol prvým riaditeľom Ústavu jadrového a fyzikálneho inžinierstva FEI STU. Od roku 2007 je podpredsedom Rady správcov Národného jadrového fondu SR, kde zastupuje Ministerstvo financií SR.



Strojné zariadenia JE, Dozimetria a radiačná ochrana, Termomechanika, Bezpečnosť a spoľahlivosť JE, Prevádzka JE, Vyradňovanie JE, Meranie a regulácia JE, Urýchľovače, Kinematika a dynamika JR, Stochastické a deterministické metódy v jadrovom inžinierstve.

Ročné počty absolventov inžinierskeho štúdia sú v priloženom grafe.

4. ZÁVER

Napriek tomu, že klesá nielen záujem študentov o technické oblasti (teda aj o jadrovú fyziku i energetiku), klesá i záujem prevádzkovateľov jadrových zariadení i štátnych inštitúcií o vzdelaných absolventov. Nie ten deklaratívny, ale ten skutočný, ktorý sú ochotní vyjadriť i finančne. Ak by Slovensko skutočne

chcelo v budúcnosti stavať nový jadrový zdroj, prípadne aktívnejšie sa zapájať do medzinárodnej spolupráce v oblasti vyradňovania JE a nakladaní s rádioaktívnymi odpadmi, musí jednoznačne viac investovať do vzdelávania i výskumu [4]. Hlavne musí byť mladá generácia motivovaná skutočným záujmom o rozvoj a dlhodobú perspektívu tohto odvetvia.

Referencie:

- [1] HASPEL, N., FUCHS, M., KLEEN, U., NIESSEN, S., STEINWARZ, W., WIMMER, H.: Kompetenzhaltung in Kerntechnik. In: ATW, 11/2012
- [2] SLUGEN, V. a kol.: Vzdelávanie a odborná príprava v oblasti jadrovej energetiky v Európskej únii a na Slovensku. Výskumná správa, FEI STU, 2018, 118s
- [3] www.ujfi.fei.stuba.sk
- [4] SLUGEN, V.: Európska cesta za slovenským výskumom a vzdelávaním v jadrovej energetike. In: Bezpečnosť jaderné energie 18 (2010), 257-267

Akadémia zručností v oblasti vyrad'ovania jadrových zariadení

**Ing. Tibor Kukan¹, Ing. Vladimír Míchal, PhD.²,
prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc.³**

¹ JAVYS, a. s., Jaslovské Bohunice

² IAEA Viedeň

³ Slovenská technická univerzita v Bratislave

Unikátne skúsenosti získané v lokalite Jaslovské Bohunice Jadrovou a vyrad'ovacou spoločnosťou, a. s. (JAVYS) môžu slúžiť ako základ pre vzdelávanie v oblasti vyrad'ovania a nakladania s rádioaktívnymi odpadmi aj na európskej úrovni. Vhodné vedomosti a zručnosti sa dajú získať najmä reálnymi činnosťami v procese vyrad'ovania jadrových zariadení.

Unique experiences obtained by JAVYS company in locality Jaslovské Bohunice can be effectively used as a base at European level for nuclear education focused on nuclear decommissioning and rad-waste treatment. Proper knowledge and skills can be obtained mainly via real performance of nuclear facilities decommissioning processes.

ÚVOD

V súčasnosti sa v lokalite Jaslovské Bohunice realizuje vyrad'ovanie havarovanej jadrovej elektrárne A1 (reaktor typu KS-150), ktoré je príkladom technicky unikátneho a finančne náročného procesu vyrad'ovania jadrovej elektrárne s plánovaným ukončením jej vyrad'ovania v roku 2033. Súbežne s vyrad'ovaním jadrovej elektrárne A1 je vyrad'ovaná aj jadrová elektráreň V1 s reaktormi koncepcie VVER-440 (typ V-230), ktorá je typickým príkladom vyrad'ovania jadrovej elektrárne po ukončení štandardnej prevádzky. Ukončenie procesu jej vyrad'ovania je naplánované do konca roku 2027. Za implementáciu procesu vyrad'ovania týchto jadrových elektrární je zodpovedná spoločnosť JAVYS.

Efektívnu a bezpečnú implementáciu procesu vyrad'ovania jadrových elektrární A1, V1 umožňujú v podmienkach Slovenskej republiky najmä nasledovné základné faktory:

- kvalifikovaný personál spoločnosti JAVYS s potrebnými skúsenosťami a zručnosťami,
- dostupnosť infraštruktúry a technologických systémov potrebných pre nakladanie s RAO a VJP,

- dostatok finančných zdrojov na ich vyrad'ovanie, teda národné (spravované NJF^[1]) a vlastné zdroje spoločnosti JAVYS pre JE A1 / JE V1) a finančné zdroje Európskej únie (administrované EBOR^[2] a SIEA^[3] pre JE V1),
- využívanie medzinárodnej spolupráce a čerpanie skúseností, okrem iných, z IAEA^[4] a OECD/NEA^[5].

TECHNOLOGICKÉ SYSTÉMY PRE NAKLADANIE A PREPRAVU RKM/ RAO^[6] GENEROVANÝCH V RÁMCI VYRAĎOVANIA JADROVÝCH ELEKTRÁRNÍ A1 A V1

Proces vyrad'ovania jadrových elektrární A1 (od roku 1999) a V1 (od roku 2011) prirodzene generuje aj rádioaktívne odpady od triedy prechodných až po stredne aktívne RAO. Dostupnosť infraštruktúry potrebnej pre bezpečné nakladanie s nimi (vrátane prepráv) je jedným zo základných predpokladov efektívneho procesu vyrad'ovania jadrových zariadení. V súčasnosti spoločnosť JAVYS^[7] disponuje technologickými systémami, ktoré umožňujú pretriedené rádiologicky kontaminované



Obr. 1: Spracovanie RKM na Dekontaminačnej a fragmentačnej linke inštalovanej v HVB[9]JE V1 a v strojovni JE A1



Obr.2: Spaľovanie RAO v priestoroch Bohunického spracovateľského centra RAO (súčasť jadrového zariadenia TSÚ RAO)

materiály z vyradovania jadrových zariadení spracovať, následne vzniknuté rádioaktívne odpady upraviť a v konečnej fáze uložiť v Republikovom úložisku RAO spoločnosti JAVYS. Tento uzavretý cyklus nakladania s RAO v spoločnosti JAVYS predstavuje optimálnu úroveň efektivity implementácie procesu nakladania s RAO^[8]. Jeho nespornou výhodou je zásadne zníženie rozsahu potreby dlhodobého skladovania RAO, ktoré nie je možné uložiť do certifikovaného úložiska.

S cieľom zvýšenia ekonomickej efektívnosti a úrovne environmentálnej prijateľnosti procesov nakladania s RAO spoločnosť JAVYS neustále investuje finančné prostriedky do zdokonaľovania svojich technologic-

kých systémov potrebných pre nakladanie s nimi. Tento trend bol potvrdený aj výstavbou modernej spaľovne rádioaktívnych odpadov a zariadenia na pretavbu kovových rádioaktívnych odpadov. Oba tieto technologické systémy, okrem iného, v konečnom dôsledku zásadne redukujú objem RAO, ktorý je potrebné upraviť na linkách Bohunického spracovateľského centra RAO a následne uložiť do úložných boxov Republikového úložiska RAO v Mochovciach. Toto prinesie spoločnosti JAVYS zvýšenie efektívnosti procesov nakladania s RAO pri zvýšení environmentálnej prijateľnosti týchto procesov, čo má taktiež pozitívny vplyv na zvýšenie úrovne trvalej udržateľnosti procesov nakladania s RAO v podmienkach Slovenskej republiky.

Bezpečné a efektívne nakladanie s RKM/RAO je na slovenských jadrových lokalitách Jaslovské Bohunice / Mochovce umožnené aj kvalitne a cielene školeným personálom. Príprava a vzdelávanie zamestnancov je dôležitý proces získania a udržiavania kvalifikovaného personálu pre bezpečnú realizáciu činností prevádzky a vyradovania jadrových zariadení držiteľa povolení JAVYS. Z dlhodobého pohľadu je tento proces neodmysliteľnou súčasťou firemnej kultúry spoločnosti JAVYS. V zmysle legislatívy spoločnosť JAVYS vybudovala systém odbornej prípravy zamestnancov na báze jej dlhoročných skúseností z prevádzkovania a vyradovania jadrových zariadení, ktorý je vopred plánovaný a podlieha kontrole dozorných orgánov. Jeho hlavným cieľom je „Pripraviť a udržiavať kompetentný personál na zabezpečenie bezpečnej, spoľahlivej, ekologickej a ekonomickej prevádzky jadrových zariadení spoločnosti v duchu zásad princípov kultúry bezpečnosti a princípov ALARA^[10].“

Okrem vynikajúcich odborných znalostí dosahujú zamestnanci spoločnosti JAVYS aj vysokú úroveň stotožnenia sa so zásadami kultúry bezpečnosti, ktorá predstavuje jeden zo základných pilierov bezpečnej realizácie procesov záverečnej časti jadrovej energetiky na Slovensku.

Spoločnosť JAVYS podporuje vzdelávanie v oblasti vyradovania jadrových zariadení a nakladania s RAO aj formou zdieľania nadobudnutých skúseností v rôznych formách :

- spoluprácou s Fakultou elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (FEI STU) pri realizácii postgraduálneho vzdelávania v oblasti vyradovania jadrových zariadení a nakladania s RAO),
- spoluprácou s OECD/NEA a s IAEA na príprave publikácií popisujúcich oblasti vyradovania JZ a nakladania s RAO,
- participáciou na konferenciách ECED^[11] organizovaných Slovenskou nukleárnou spoločnosťou (SNUS),

- podporou implementácie projektu „European Decommissioning Academy“ implementovaného FEI STU,
- napĺňaním požiadaviek Nariadenia rady (Euratom) 2021/100 – zdieľaním informácií o vyradovaní JE V1 s vybranými držiteľmi povolení na vyradovanie JE (Kozloduy/Ignalina) a ostatnými relevantnými organizáciami Európskej únie,
- zriadením „Centra spolupráce s IAEA^[12]“ a následne Decommissioning Skills Academy.

Zvláštnu pozornosť si určite zaslúži zriadenie „Centra spolupráce IAEA/JAVYS“ (03/2021), ktorého cieľom je predovšetkým výmena odborných skúseností v oblasti vyradovania jadrových zariadení medzi všetkými členskými



Obr. 3: Úprava rádioaktívnych odpadov cementovaním do vlákno-betónového kontajnera (VBK) na cementačnej linke prevádzkovej v priestoroch BSC RAO (TSÚ RAO)



Obr. 4: Ukladanie RAO upraveného zacementovaním vo VBK do úložného boxu Republikového úložiska RAO v Mochovciach

de „Centra spolupráce IAEA/JAVYS“ akademickým partnerom Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, ktorá má s IAEA uzavretú dohodu o vzdelávaní.

VZDELÁVANIE VO VYRAĎOVANÍ NA SLOVENSKU A VO SVETE

V rámci inžinierskeho štúdia na Fakulte elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v programe Jadrové a fyzikálne inžinierstvo je pre absolventov od roku 1997 povinný predmet Vyrad'ovanie jadrových elektrární. V rokoch 2011 a 2014 boli zorganizované uvedenou fakultou dva dvojsemestrálne postgraduálne kurzy zamerané na vyrad'ovanie JE a nakladanie s RAO. Tejto oblasti sa venuje aj Školiace a výcvikové stredisko VUJE v rámci požiadaviek firmy JAVYS, resp. Úradu jadrového dozoru SR.

V roku 2015 bola na Ústave jadrového a fyzikálneho inžinierstva založená European Decommissioning Academy, ktorá v spolupráci s IAEA a EC zrealizovala dva vzdelávacie kurzy (2015 a 2018), ale po neúspešnom projekte EC-H2020 ELINDER v roku 2018 a obmedzeniach z dôvodu COVID-19 dnes len „hibernuje“.

Vo svete existuje množstvo vzdelávacích kurzov, ktoré ponúka i oblasť vyrad'ovania JE a nakladania s RAO. Katalóg týchto kurzov je dostupný na <https://ec.europa.eu/jrc/en/event/training-course/eda>.

IAEA venuje vzdelávaniu mladých profesionálov na podporu prípravy a realizácie jadrového vyrad'ovania príslušnú pozornosť. To zahŕňa vývoj e-learning modulov v tejto oblasti, prípravu publikácií, organizovanie workshopov a tréningových kurzov. Oblasť vzdelávania je taktiež zahrnutá v činnostiach Spolupracujúcich centier vo vyrad'ovaní (Collaborating Centres on Decommissioning), napr. s organizáciami JAVYS alebo SOGIN.

štátmi IAEA a zvyšovanie efektívnosti realizácie projektov vyrad'ovania jadrových zariadení a nakladania s odpadmi na celom svete. Prostredníctvom centier spolupráce s IAEA môžu organizácie v jej členských štátoch napomáhať IAEA v realizácii originálneho výskumu/vývoja a odbornej prípravy v oblasti jadrovej vedy, technologických systémov a ich bezpečného a overeného využitia. Dohoda medzi IAEA a spoločnosťou JAVYS taktiež prispieva aj k dlhodobému rozvoju kvalifikovanej pracovnej sily a k prenosu technických poznatkov najmä v oblasti vyrad'ovania reaktorov typu VVER. Ciele centra spolupráce sú napĺňané najmä formou tematických prezentácií/video simulácií a organizáciou workshopov z oblasti vyrad'ovania jadrových elektrární s reaktormi typu VVER. Pre spoločnosť JAVYS je v prípa-

IAEA e-learning moduly boli vytvorené v roku 2016 postupne v anglickej a japonskej verzii. Zahŕňajú osem modulov, pričom štyri sú zamerané na prípravu vyradovania (Stratégia a plánovanie, Inventár materiálov, Náklady a financovanie, Prechodová fáza medzi prevádzkou a vyradovaním) a štyri sú pre realizáciu vyradovania (Projektové riadenie, Technické aspekty, Opätovné využitie, Praktické príklady). Všetky moduly sú dostupné na <https://elearning.iaea.org/m2/> a využívajú sa napr. účastníkmi podujatí projektov technickej spolupráce ako vstupný rozsah informácií pre ďalšie vzdelávanie.

Medzi IAEA publikácie ktoré sa zaoberajú témou vzdelávania patrí napr. „Vyradovanie jadrových zariadení: Školenia a ľudské zdroje“ (NG-T-2.3, 2008), ktorá je v súčasnej dobe v revízii. Nová publikácia bude zahŕňať taktiež problematiku budovania kapacity ľudských zdrojov a nakladanie s vedomosťami.

Workshopy a tréningové kurzy IAEA sú organizované ako podujatia oddelení Jadrovej energie, Jadrovej bezpečnosti alebo Technickej spolupráce. Príkladom môžu byť tréningové workshopy pre moderátorov „jadrovej wiki“ alebo workshopy zamerané na vyradovanie určitých typov reaktorov.

ZÁVER

Spoločnosť JAVYS získala vďaka činnostiam budovania, prevádzkovania, vyradovania jadrových zariadení a nakladania s RAO/VJP za posledných cca 50 rokov významné množstvo skúsenosti. Ich zdieľaním v rámci relevantných fór tak významne prispieva k zintenzívneniu a zefektívneniu procesov vyradovania jadrových zariadení a nakladania s RAO/VJP využívaných aj v ostatných členských štátoch IAEA. V rámci Decommissioning Skills Academy sú ponúkané nielen krajinám, ktoré prevádzkujú reaktory VVER, ale aj firmám, ktoré v danej oblasti chcú dlhodobo a kvalifikovane pôsobiť.

Referencie:

- [1] Národný jadrový fond
- [2] Európska banka pre obnovu a rozvoj
- [3] Slovenská inovačná a energetická agentúra
- [4] Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (International Atomic Energy Agency)
- [5] Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj / Agentúra pre jadrovú energetiku (Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency)
- [6] RKM/RAO – rádiologicky kontaminované materiály/rádioaktívne odpady
- [7] Spoločnosť JAVYS (predtým GovCo) vznikla v roku 2006 odčlenením odštepných závodov SE-VYZ a SE-EBO V1 zo Slovenských elektrární a. s. a prevzala zodpovednosť za doprevádzkovanie jadrovej elektrárne V1, vyradovanie jadrovoenergetických zariadení, zaobchádzanie s rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom. Spoločnosť JAVYS má teda už takmer 50 rokov skúseností s budovaním, prevádzkou, vyradovaním jadrových zariadení a nakladaním s rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom.
- [8] Od vzniku RAO až po jeho uloženie v Republikovom úložisku RAO
- [9] Hlavný výrobný blok JE V1
- [10] ALARA (As Low As Reasonable Achievable)
- [11] Eastern and Central European Decommissioning
- [12] International Atomic Energy Agency

Ing. Tibor Kukan



kukan.tibor@javys.sk

Štúdium materiálovo-technologickej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Trnave ukončil v roku 1995. Po dlhšom pôsobení na manažérskych pozíciách strojárskych podnikov v roku 2009 prijal ponuku spoločnosti JAVYS, a.s. (Jadrová a vyradovacia spoločnosť, a.s.) na výkon pozície projektového manažéra projektov vyradovania jadrovej elektrárne V1 v Jaslovských Bohuniciach. V roku 2011 ukončil postgraduálne štúdium v odbore Vyradovanie jadrových zariadení na fakulte elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Medzi jeho súčasné zodpovednosti patria, okrem iného, optimalizácia činností vyradovania JE V1 v Jaslovských Bohuniciach, monitoring a reporting aktivít vyradovania JE V1 pre účely Európskej únie, riešenie otázok firemného manažmentu poznatkov, riadenie a výkon aktivít Centra spolupráce MAAE/JAVYS.

Projekt CINCH: Již 12 let spolupráce ve vzdělávání v jaderné chemii napříč Evropou

**doc. Ing. Mojmír Němec, Ph.D.,
RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D.,
prof. Ing. Jan John, CSc.**

Katedra jaderné chemie, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

Specializované jaderné obory se dlouhodobě potýkají s nedostatkem odborných pracovníků. Jednou z evropských iniciativ, která se snaží situaci zlepšit, je série projektů CINCH (Cooperation in education and training In Nuclear CHemistry). Projekty se zaměřují na zlepšení vzdělávání v oblasti radiochemie a jaderné chemie včetně podchycení zájmu o tyto vědní obory již u středoškolských studentů. V článku je představena tato série projektů, uveden výběr nástrojů a výsledků podporujících teoretickou i praktickou výuku a podány informace o diplomu „NRC Euro-Master“.

Specialized nuclear fields struggle with a shortage of different professionals over a long period. One of the European initiatives that tries to improve the situation is the series of CINCH (Cooperation in education and training In Nuclear CHemistry) projects. This series focuses on improving education in the field of radiochemistry and nuclear chemistry, including motivating high school students for a future career in the nuclear field. The article describes this series of projects and presents a selection of tools and results supporting theoretical and practical teaching, further, information about the „NRC Euro-Master“ diploma is provided.

POSLÁNÍ PROJEKTU - KVALITNÍ VZDĚLÁVÁNÍ A ZAJIŠTĚNÍ JADERNÝCH ODBORNÍKŮ

V roce 2009 iniciovala Katedra jaderné chemie FJFI ČVUT v Praze vznik konsorcia evropských institucí zabývajících se výukou jaderné chemie, jaderných výzkumných ústavů a zástupců jaderného průmyslu. Konsorcium si dalo za úkol sjednotit a zlepšit vzdělávací programy v oblasti výuky a celoživotního vzdělávání v oblasti radiochemie a jaderné chemie tak, aby byly vzájemně kompatibilní, a s cílem zvýšit počet pracovníků kvalifikovaných v tomto oboru. Tím vznikl první ze série evropských projektů CINCH – Cooperation in education In Nuclear CHemistry. Od roku 2020 probíhá již čtvrtý navazující projekt (A-CINCH, Augmented-CINCH, [1]), který je financován v rámci „Euratom research and training programme 2019–2020“. Projektu A-CINCH se účastní 17 univerzit, výzkumných a průmyslových institucí ze 13 evropských zemí.

EFEKTIVNÍ LABORATORNÍ VÝUKA

Na platformě pro hostování kompletních kurzů CINCH Moodle [2] lze kromě teoretických výukových záznamů nalézt i kurzy typu „blended-learning“, které kombinují teoretickou distanční výuku a návody pro praktickou laboratorní část. Tento typ kurzů byl řešiteli projektů CINCH vyhodnocen jako nejefektivnější způsob výuky mezinárodních laboratorních vzdělávacích aktivit – studenti absolvují teoretickou část kurzu včetně zkoušení na domovské univerzitě a na praktickou část se sjedou na hostující pracoviště. Tím se docílí nejenom maximální kvalita výuky a využití specializovaných pracovišť, ale i snížení cestovních a pobytových nákladů jak studentů, tak i vedoucích kurzů. Kurzy nabízené jednotlivými partnery nebo vyvinuté v rámci projektů CINCH je možné si prohlédnout nebo se do nich i přihlásit na nově vytvořené platformě CINCH VET e-shopu (Vocational Education and Training Portal, [3]).



Obr. 1: Řešitelé projektu A-CINCH

- 1 Česká vysoké učení technické v Praze, Česká republika (koordinátor)
- 2 Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Německo
- 3 Politecnico di Milano, Itálie
- 4 Institut Jožef Stefan, Slovinsko
- 5 Chalmers tekniska högskola AB, Švédsko
- 6 Helsingin yliopisto, Finsko
- 7 University of Leeds, Spojené království
- 8 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Německo
- 9 National Nuclear Laboratory, Spojené království
- 10 Institut Mines-Télécom, Francie
- 11 European Nuclear Education Network, Belgie
- 12 University of Cyprus, Kypr
- 13 Universitetet i Oslo, Norsko
- 14 Secretary of State for Environment, Food and Rural Affairs, Spojené království
- 15 Evalion s.r.o., Česká republika
- 16 Lomonosov Moscow State University, Ruská federace
- 17 Instituto Superior Técnico, Portugalsko

JADERNÁ WIKIPEDIE NUCWIK

Pro sdílení výukových materiálů a na podporu vzájemné spolupráce vysokých škol i výzkumných institucí byly vytvořeny stránky „jaderné wikipedie“ – NucWik [4]. Studenti i pedagogové ocení zejména pestré aktivity a volně dostupné ověřené informace. Jedná se zejména o přístup k dálkově ovládaným cvičením v radiochemické laboratoři RoboLab, učebnici

základů detekce ionizujícího záření, návodům na laboratorní úlohy, výpočetním úlohám, nebo výpočetním simulacím.

3D VIRTUÁLNÍ LABORATOŘ

V současné době probíhá vývoj kompletní 3D virtuální radiochemické laboratoře, kde budou moci studenti i učitelé využít sadu klasických radiochemických praktických

úloh v bezpečném virtuálním prostředí s implementovanou fyzikou i základními chemickými interakcemi. Nastavení obtížnosti umožní využití jak pro účely propagace, doplnění základní i pokročilé výuky například v kurzech typu „blended-learning“, tak pro testování v rámci výuky či profesních požadavků (výcvik a bezpečnostní školení). Rozšíření a interakce jsou vyvíjeny i pro mobilní telefony a virtuální realitu.

MASSIVE OPEN ONLINE COURSE (MOOC)

Jedním z velkých počínů projektu je Massive Open Online Course (MOOC), do češtiny volně překládán jako „hromadný otevřený online kurz“. Hlavním cílem MOOCu s názvem „Essential radiochemistry for society“ je nabídnout studentům i zájemcům z řad veřejnosti ucelený online kurz, jehož absolvováním se zlepší nejenom povědomí o praktickém využití jaderné chemie a radiochemie, ale může přilákat i nové zájemce o studium.

Obsah kurzu je rozdělen do pěti částí, tematických celků (Radiochemie pro životní prostředí, zdraví, průmysl, jadernou energii a společnost). Každému odpovídá jeden týden a přibližná studijní zátěž pěti hodin. Každá podkapitola celku obsahuje motivační úvod, pestré originální studijní materiály (texty, videa, infografiky, kvízy, materiály nad základní rámec kurzu) a je ukončena závěrečným testem, kterým student ověří pochopení a orientaci v dané problematice. Kurz je v angličtině a je zdarma dostupný na [5].

STANDARD KVALITY VZDĚLÁVÁNÍ - „NRC EURO-MASTER“

Užitečným benefitem, který projekt CINCH přinesl, je zavedení známky kvality „NRC Euro-Master“ pro absolventy magisterského a doktorského studia. Systém je obdobný zaběhnutému titulu Chemistry Euromaster™, který je udělován na chemických vysokých školách. Dodatek „NRC Euro-Master“ k diplo-

mu deklaruje, že student vystudoval obor, jehož náplň splňuje minimální požadavky pro jadernou chemii a radiochemii definované konsorciem CINCH. Odborným garantem NRC Euro-Master je Divize pro jadernou chemii a radiochemii Evropské chemické společnosti (EuChemS). Právo udělovat svým absolventům tento titul získalo ČVUT v Praze a University of Helsinki.

doc. Ing. Mojmír Němec, Ph.D.



mojmir.nemec@jfifi.cvut.cz

Mojmír Němec se habilitoval v oboru jaderné chemie na FJFI ČVUT v Praze a je odborníkem na radiochemii, separační chemii, jaderné, radioanalytické a datovací metody. Je koordinátorem představeného projektu A-CINCH a klíčovým vědeckým pracovníkem projektu RAMSES, který se zabývá výzkumem ultrastopových izotopů a jejich využití v sociálních a environmentálních vědách pomocí urychlovačové hmotnostní spektrometrie.

RNDr. Ing. Petr Distler, Ph.D. et Ph.D.



petr.distler@jfifi.cvut.cz

vystudoval doktorský studijní program Jaderná chemie na FJFI ČVUT v Praze a didaktiku chemie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. V profesním životě se zabývá separačními systémy pro dělení lanthanoidů a minoritních aktinoidů při zpracování ozářeného jaderného paliva a také osvětou dané problematiky mezi veřejností, středoškoláky i jejich učiteli.



Obr. 2: Ukázka pracovního místa v radiochemické laboratoři. Foto: Ing. Barbora Drtinová, Ph.D.

DALŠÍ PLÁNY A VIZE

Dalším z plánů probíhajícího projektu je vytvoření platformy „CINCH Hub“. Ta bude obsahovat všechny předchozí výsledky projektů CINCH a doplní ji i nově připravené kurzy a vyvinuté nástroje, včetně přelomové virtuální radiochemické laboratoře. To vše v uživatelsky přívětivém a snadno ovladatelném rozhraní na jednom místě.

Reference:

- [1] www.cinch-project.eu
- [2] moodle.cinch-project.eu
- [3] eshop.cinch-project.eu
- [4] www.nucwik.com
- [5] www.pok.polimi.it

prof. Ing. Jan John, CSc.



jan.john@jfifi.cvut.cz

je vedoucím Katedry jaderné chemie FJFI ČVUT v Praze a předsedou České společnosti chemické. Specializuje se na separační a radioanalytické metody, jadernou spektroskopii, nakládání s radioaktivními odpady a radioekologii. Působil jako koordinátor prvních dvou projektů série CINCH a řešitel české části celé řady evropských projektů, např. Advanced fuels for Generation IV reActors: Reprocessing and Dissolution (ASGARD) nebo GEN IV Integrated Oxide fuels Recycling Strategies (GENIORS).

Školiace a výcvikové stredisko personálu JZ

**Ing. Peter Drobny, Ing. František Marekovič,
Ing. Peter Karaba, Ing. Marián Jančovič, PhD.,
Alena Zigová**

VUJE, a. s.

Dokument opisuje 42 ročnú históriu prípravy personálu jadrových zariadení tak v bývalom Československu ako aj na Slovensku. Školiace a výcvikové stredisko spoločnosti VUJE, a. s. bolo vždy lídrom v príprave personálu a zamestnávalo špičkových odborníkov v jadrovej energetike.

The 42 years history of NPP personnel trainings in Czechoslovakia and later in Slovakia is described in this article. VUJE NPP training centre has been always a leader in personnel trainings and has employed the most experienced people in nuclear business.

Školiace a výcvikové stredisko personálu JZ pôsobí v oblasti prípravy odborníkov pre energetiku už viac ako 42 rokov a počas tejto doby vyškolilo viac ako 70 000 rôznych špecialistov, predovšetkým zamestnancov slovenských a českých jadrových elektrární Jaslovské Bohunice, Mochovce, Dukovany a Temelín.

Učebňami strediska však prešlo aj množstvo zahraničných expertov a absolventov rôznych špecializovaných kurzov poriadaných v spolupráci s Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu.

KRÁTKO Z HISTÓRIE

V pionierskych časoch československej jadrovej energetiky získavali naši odborníci svoje vedomosti priamo pri výstavbe a neskôr i prevádzke JE A-1. Ďalší absolvovali odbornú prípravu v bývalom Sovietskom zväze a svoje skúsenosti potom zúročili pri spúšťaní a prevádzke 1. bloku JE V-1 v Jaslovských Bohuniciach. Aby však bolo možné sa vyrovnat' vyspelým prevádzkovateľom JE v oblasti spoľahlivosti ľudského činiteľa, rozhodla sa vtedajšia vláda zaviesť systém a jednotnosť do odbornej prípravy personálu JE Smernicou č. 1/1979 FMPE (Federálne ministerstvo palív a energetiky) s názvom „Zásady prípravy personálu pre prevádzku a údržbu jadrových



Obr. 1: Začiatky využívania výpočtovej techniky v Školiacom a výcvikovom stredisku personálu JZ

elektrární". Bol vypracovaný „Jednotný systém prípravy zamestnancov pre JE v ČSSR“ a jeho odborným gestorom v rezorte FMPE sa stal Výskumný ústav jadrových elektrární.

VZNIK ŠKOLIACEHO STREDISKA

Na základe rozhodnutia FMPE sa jednotný systém prípravy začal realizovať 1. januára 1979 založením Rezortného školiaceho

Obr. 2: Reprezentatívny plnorozsahový simulátor JZ EBO V-2

a výcvikového strediska, ktorého prevádzku zabezpečuje spoločnosť VUJE, a. s. doteraz (už pod názvom Školiace a výcvikové stredisko personálu JZ).

Prvý kurz odbornej prípravy začal 1. marca 1979 a bol určený pre budúcich špecialistov s priamym vplyvom na jadrovú bezpečnosť.

Kým odborná príprava manažmentu, inžinierskych profesií a stredoškolsky vzdelaných zamestnancov jadrových elektrární sa uskutočňovala v Rezortnom školiacom a výcvikovom stredisku (RŠVS) v Trnave, príprava robotníckych a základných riadiacich profesií bola vykonávaná v koncernových školiaciach a výcvikových strediskách v Jaslovských Bohuniciach (KŠVS) a v Brne (ŠKVS). Až v roku 1994 vedenie SE, a. s. zrušilo pracovisko KŠVS v Jaslovských Bohuniciach a prenieslo teoretickú časť prípravy do Školiaceho a výcvikového strediska personálu JZ.

Ďalšou úlohou bolo vybudovanie plnorozsahového simulátora pre výcvik stálej obsluhy blokových dozorní JE. Realizáciou simulátora JE EBO V-2 bol poverený kolektív firmy ORGREZ Brno, ktorý naprojektoval a vyvinul simulátor JE VVER-440 s reaktorom V-213. Do prevádzky bol simulátor uvedený v roku 1984 v Školiacom a výcvikovom stredisku personálu JZ.

Obslužný personál blokových dozorní JE EBO V-1 však nemal k dispozícii simulátor a preto musel absolvovať simulátorový výcvik vo Voronežskej JE. Z toho dôvodu bol vybudovaný a sprevádzkovaný najskôr multifunkčný simulátor (1996) a následne aj plnorozsahový simulátor pre JE VVER-440 s reaktorom V-230. Po odstavení JE EBO V-1 bol tento



simulátor v roku 2013 pod vedením tímu špecialistov VUJE, a. s. prevezený do Arménska a upravený tak, že je dodnes používaný ako reprezentatívny plnorozsahový simulátor (RPS) JE Metsamor.

Odborná príprava personálu JE sa stále skvalitňovala a kontinuálne zdokonaľovala. Skupiny špecialistov intenzívne pracovali na rozvoji a zavedení jednotného systému odbornej prípravy pre všetky kľúčové pozície zamestnancov JE. V odvetví jadrového priemyslu a energetiky sa postupne podarilo pripraviť a zrealizovať odbornú prípravu pre personál jadrových elektrární a zaviesť systematický prístup k príprave (SAT).

SÚČASNOSŤ ŠVS

Premeny v oblasti energetiky na Slovensku boli pre školiace stredisko príležitosťou preukázať svoje odborné kvality, flexibilitu a plné využitie vlastného intelektuálneho potenciálu pre prípravu personálu JZ.

Stredisko disponuje kvalifikovaným tímom odborníkov, poskytuje odborné zázemie pre realizáciu teoretickej prípravy a simulátorového výcviku a pohotovo reaguje na nové

1979	prvý kurz teoretickej prípravy pre JE EBO V-1
1983	ŠVS presťahované do priestorov v Trnave
1984	vybudovanie simulátora JE EBO V-2
1987	začiatok realizácie periodických kurzov teoretickej prípravy pre SE, a.s.
1992	začiatok odbornej prípravy personálu JE EMO
1994	rozšírenie aktivít do oblastí klasickej energetiky
1996	multifunkčný simulátor JE EBO V-1
2000	vybudovanie vnútorného polygónu sietí a začiatok výcviku prác pod napätím
2001	rekonštrukcia simulátorov JE EBO V-1 a JE EBO V-2
2002	simulátor elektrizačnej sústavy SR (RIS – KARPATY)
2004	realizácia malých PC simulátorov staníc elektrizačnej sústavy
2005	vývoj PC simulátora pre výcvik manipulátov ZSE, a. s. a PC simulátorov vyvedenia výkonu z EBO V-2 a z EMO
2008	realizácia simulátora pre Slovenský energetický dispečing v Žiline
2013	odovzdanie simulátora pre arménsku JE Metsamor
2014	modernizácia simulátora EBO V-2
2019	realizácia simulátora vlastnej spotreby elektrickej stanice Križovany pre SEPS, a. s.

Tab. 1: Historické míľniky ŠVS |

požiadavky zákazníkov. Takisto poskytuje služby zamerané na vývoj simulátorov a nových vzdelávacích programov a to nielen pre oblasť jadrovej energie, ale rovnako tak aj pre ostatné odvetvia priemyslu a energetiky. Za svoje kreatívne a inovátorské výstupy na poli vzdelávania zamestnancov v slovenskej energetike získalo stredisko viackrát ocenenie „Inovatívny čin roka“ udeľovaný Ministerstvom hospodárstva SR.



Ing. Peter Drobný



peter.drobný@vuje.sk

Vyštudoval Materiálovotechnologickú fakultu STU v Trnave a od roku 1999 pracuje v energetike. Do spoločnosti VUJE, a. s., nastúpil v roku 2007 ako softvérový inžinier na reprezentatívny plnorozsahový simulátor EBO V2 a od roku 2019 zastáva pozíciu riaditeľa školiaceho a výcvikového strediska jadrových zariadení.

Obr. 3: Teoretická odborná príprava personálu JZ (lektor: Ing. Beňo) |

Predstavenie Európskej jadrovej experimentálnej vzdelávacej platformy ENEPP

**Ing. Štefan Čerba, PhD., doc. Ing. Branislav Vrban, PhD.,
Ing. Jakub Lüley, PhD., doc. Ing. Ján Haščík, PhD.**

Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva Bratislava, Slovensko

ÚVOD

Jednou z kľúčových oblastí zabezpečenia bezpečnej a spoľahlivej prevádzky jadrových zariadení, ktorá je podporená pokrokom vo výskume a vývoji, sú bezpochyby vzdelaní a kvalifikovaní pracovníci [1]. Je však dôležité poznamenať, že požadovanú vedomostnú úroveň v takej špecifickej vednej oblasti, akou je jadrová energetika, nie je možné vybudovať bez praktického vzdelávania a periodickej odbornej prípravy (angl. Education & Training – E&T). Špecifikom vzdelávania je, že základné praktické skúsenosti nie je možné získať až počas prevádzky samotného jadrového zariadenia, ale je potrebné prejsť plnohodnotnou praktickou prípravou. Tá sa však často podceňuje v prípade pracovných zameraní, ktoré len čiastočne súvisia s prevádzkou jadrového zariadenia. Kvalifikovaný tréning a vzdelávanie vyžaduje dostupnosť výskumných, prípadne školských, reaktorov a špeciálnych laboratórií. Prehľad dostupných výskumných a školských reaktorov (VR) v Európe je možné nájsť v dokumente [2]. Žiaľ, musíme konštatovať, že ich počet postupne klesá. Potrebu vzdelávania a odbornej prípravy podčiarkuje aj fakt, že v nasledujúcich desaťročiach môže nastať v dôsledku generáčnej výmeny nedostatok kvalifikovaných pracovníkov, ktorých vysoké školy a univerzity nebudú schopné flexibilne

doplniť a bude potrebné pristúpiť až k rekvalifikácií pracovníkov z príbuzných odborov. Na základe definície OECD NEA z hľadiska pracovných pozícií relevantných pre oblasť jadrovej energetiky možno uvažovať o troch kategóriách pracovníkov.

1. Personál s adekvátnym vzdelaním v jadrovej energetike, ako napríklad jadroví fyzici, inžinieri, chemici a pracovníci radiačnej ochrany.
2. Personál so vzdelaním v príbuzných vedných odboroch, avšak nie v jadrovej energetike, ako napríklad strojní, elektro alebo stavební inžinieri, prípadne ďalší.
3. Personál pripravený po dodatočnom vzdelaní a odbornej príprave z jadrovej energetiky zabezpečiť určité pracovné úkony.

Napriek tomu, že ide na prvý pohľad o odlišné kategórie pracovníkov, existuje pre všetkých efektívny spôsob získania relevantných skúseností a odborností, a to práve využitím experimentálnych a praktických cvičení na dostupných zariadeniach. Vzhľadom na dostupnosť a rôznorodosť experimentálnych zariadení v EÚ je prirodzenou voľbou pre poskytnutie potrebného praktického odborného vzdelávania vytvorenie medzinárodnej vzdelávacej siete. Takáto medzinárodná, ale



European Nuclear Experimental Education Platform

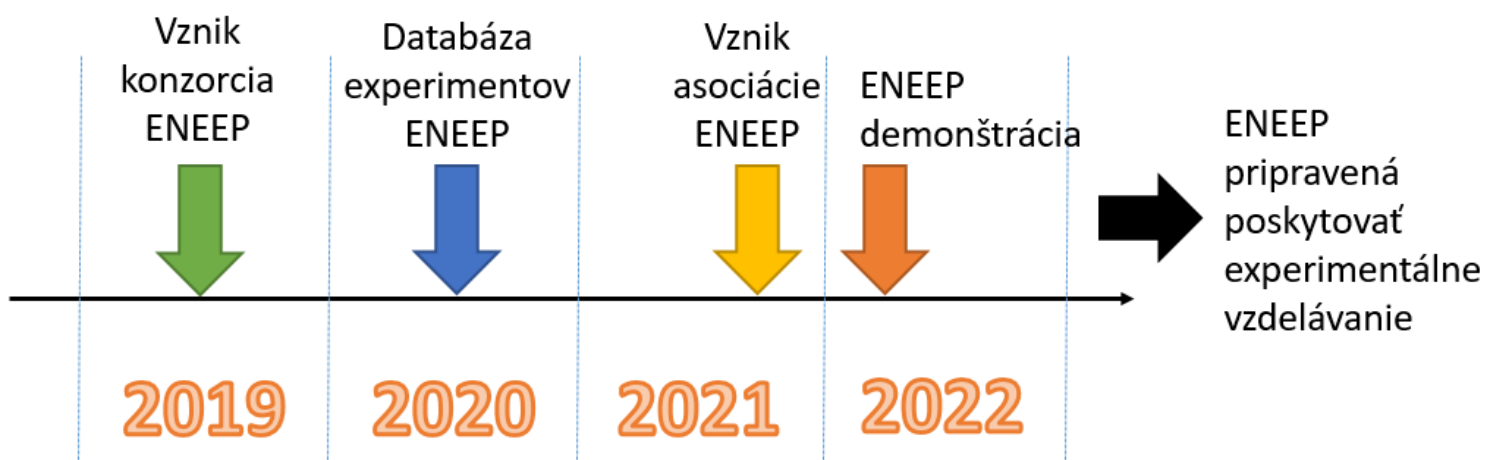


Obr. 1: Schéma asociácie ENEEP |

hlavne regionálna spolupráca, dokáže pomôcť aj k zefektívneniu zdieľania osvedčených pracovných postupov a vzdelávacích metód [1]. Zabezpečenie prístupu študentom k výskumným a školským reaktorom však nie je vždy jednoduché. V prvom rade ide o čoraz prísnejšie požiadavky na jadrovú bezpečnosť a ochranu jadrového materiálu pred zneužitím. Rovnako dôležité sú aj otázky týkajúce sa financií a logistiky. V prípade vzdelávacieho kurzu v rozsahu niekoľkých týždňov môžu finančné náklady a logistické výzvy zahŕňať nielen prevádzkové náklady samotného zariadenia, ale aj cestovné náklady, proces získavania víz, zabezpečenie ubytovania, stravy, lokálnej prepravy, ale taktiež aj zmierňovanie kultúrnych rozdielov medzi účastníkmi. Tieto otázky, ale taktiež možné stratégie zníženia výpadku kvalifikovanej pracovnej sily boli v roku 2012 uvedené v správe, ktorú vydalo OECD NEA [1]. S cieľom postaviť sa čelom k týmto výzvam a s ambíciou stať sa jednou z najvýznamnejších európskych sietí zabezpečujúcich vzdelávanie a odbornú prípravu v jadrovej energetike a príbuzných odboroch formou experimentálnych cvičení sa päť významných stredoeurópskych inštitúcií pričínilo k založeniu Európskej jadrovej experimentálnej vzdelávacej platformy ENEEP (angl. European Nuclear Experimental Educational Platform).

PROJEKT ENEEP

Projekt na vytvorenie a demonštráciu platformy ENEEP je financovaný Európskou úniou v rámci výzvy NFRP-2018-7 „Availability and use of research infrastructures for education, training and competence building“ [3]. Projekt je zabezpečený piatimi partnermi zo stredoeurópskeho priestoru, ktorí dlhodobo spolupracujú. Koordinátorom je Slovenská technická univerzita v Bratislave (STU), presnejšie Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva Fakulty elektrotechniky a informatiky. Ďalšími partnermi sú České vysoké učení technické v Praze (ČVUT) z Českej republiky, Jožef Stefan Inštitút (JSI) zo Slovinska, Budapešti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) z Maďarska a Technische Universität Wien (TUW) z Rakúska. Všetci partneri projektu sú dlhodobo aktívni v experimentálnom vzdelávaní, pričom štyria z nich prevádzkujú experimentálne alebo školské reaktory, ktoré sú vhodné na praktické vzdelávanie, odbornú prípravu a budovanie kompetencií v jadrovej energetike. Piaty partner má špeciálne laboratória vhodné na demonštráciu základných, ale aj pokročilých jadrovo-fyzikálnych princípov, štúdium vlastností materiálov a analýzy tienenia ionizujúceho žiarenia. Okrem základných aktivít projektu, medzi ktoré patrí zladenie experimentálneho vzdelávania a hľadanie prienikov medzi experimentálnymi vymože-



■ | Obr. 2: Najvýznamnejšie míľniky ENEEP |

nosťami partnerov, je dôležité aj vytvorenie spoločnej asociácie ENEEP, ktorá bude disponovať právnou subjektivitou a bude po skončení projektu ďalej ponúkať infraštruktúru ENEEP. Asociácia bude založená na prelome 2021/2022 štyrmi z piatich partnerov projektu a bude postupne rozširovaná aj o ďalších záujemcov, s ktorými už v súčasnosti prebiehajú intenzívne rokovania. Ďalšou významnou črtou projektu ENEEP je demonštrácia vzdelávacích možností, ktorá je plánovaná na začiatok roka 2022, v rámci nej budú záujemcovia mať prostredníctvom jedno- a dvoj-týždňového kurzu alebo individuálnych aktivít prístup k infraštruktúre ENEEP.

CIELE PROJEKTU ENEEP

V dnešnej dobe počítačové modelovanie pomaly nahrádza skutočné experimenty, čo je prirodzené, pretože pokrok v oblasti výpočtovej techniky a informačných technológií je enormný a počítačové modelovanie a simulácie nevyžadujú také vysoké náklady ako udržiavanie alebo vývoj samotných experimentov. Aj keď je tento trend nezastaviteľný a pochopiteľný, treba vziať do úvahy, že bez skutočných experimentálnych činností a bez praktických skúseností budú jadroví inžinieri znevýhodnení oproti ich predchodcom a v princípe môžeme len pripomenúť, že praktické skúsenosti nemôže nahradiť žiadna teória a ani simulácia. Je všeobecne uznávané, že silné výskumné programy, účasť na me-

dzinárrodných iniciatívach a väčšie zapojenie vlád, priemyslu a akademickej obce do výskumu a odbornej prípravy pracovníkov môžu výrazne zvýšiť záujem študentov a mladých výskumných pracovníkov o pracovné pozície a zároveň zlepšiť aj ich vedomostnú úroveň [1]. Preto je úloha konzorcia ENEEP na pôde európskeho vzdelávania a odbornej prípravy komplexná a neľahká.

Hlavným cieľom platformy ENEEP je priblížiť praktické vzdelanie takmer každému. Napriek tomu, že vzdelávacie činnosti sú založené na experimentoch, využívajú výskumné a školské reaktory a profesionálne laboratórne vybavenie, pre budúcich účastníkov vzdelávacích aktivít nebudú existovať žiadne obmedzenia vyplývajúce z ich aktuálneho vzdelania. Práve naopak, ENEEP sprístupní praktické vzdelanie aj ľuďom bez predošlých skúseností, ktorí majú záujem o jadrovú energetiku. Môžu to byť napríklad ľudia z iných technických odvetví, ako strojárni alebo chemici, ale rovnako aj pracovníci dozorných orgánov, vládnych organizácií, manažéri alebo právnici. Vzdelávací program platformy ENEEP je založený na štandardných kurzoch, rokmi overených partnerskými inštitúciami. V súčasnosti ponúkané, takzvané „à la carte“ kurzy, predstavujú základ portfólia platformy ENEEP a pripraví potenciálnych účastníkov porozumieť základným fyzikálnym javom a ich konkrétnejším aspektom. Široký diapazón dostupných expe-



| Obr. 3: Online vzdelávania v rámci ENEEP |

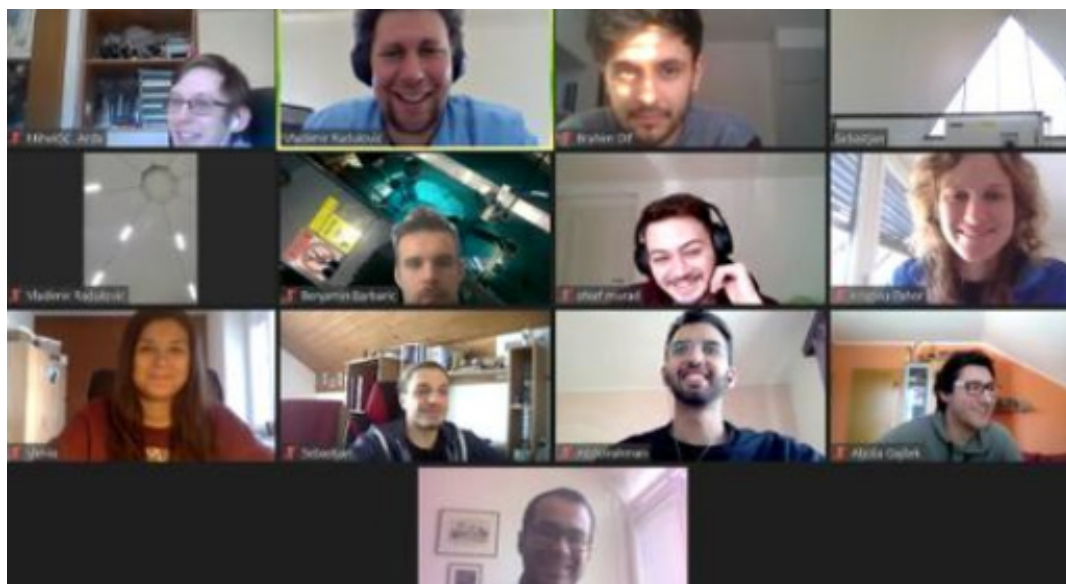
rimentov (60+) vybraných odborníkmi v tejto oblasti, členmi vedeckej a vzdelávacej rady platformy ENEEP, slúži ako odrazový mostík k rozvoju odborne orientovaných kurzov pripravených na základe skutočného dopytu záujemcov. Tieto kurzy môžu byť zorganizované buď v jednej inštitúcii konzorcia ENEEP, alebo sa môžu organizovať v rámci medziinštitucionálnej spolupráce s využitím výhod každého zapojeného zariadenia. Práve druhá možnosť je tou preferovanou, nakoľko práve takto je možné získať dôležité poznatky o implementácii jednotlivých metód v lokálnych podmienkach danej krajiny, ktoré účastníkom môžu poskytnúť príležitosť vybrať si tú najlepšiu pre svoje domáce prostredie. Motiváciou poskytovať kurzy šité na mieru je optimalizovať množstvo informácií a zručností, ktoré účastníci získajú a z ktorých budú môcť ťažiť počas svojej ďalšej profesionálnej kariéry.

ENEEP A COVID-19

Čím je svet prepojenejší, tým pribúdajú aj riziká, ktorým čelíme. Bez ohľadu na geografickú polohu neexistuje ani jedna oblasť ľudskej činnosti, ktorá by nebola ovplyvnená pandémiou COVID-19, v prípade vzdelávania a odbornej prípravy to platí dvojnásobne. Pandémia COVID-19 spôsobila najväčší kolaps vzdelávacieho systému od 2. svetovej vojny, podľa odhadov OECD zasiahla v roku 2020 takmer 1,6 miliardy študentov vo viac

ako 190 krajinách na všetkých kontinentoch planéty [4]. Väčšina rozvinutých krajín reagovala na pandemickú situáciu presunutím vzdelávacích aktivít do online priestoru.

Otázky súvisiace so vzdelávaním sa netýkajú len vzdelávania na školách a univerzitách, ale aj odbornej prípravy mladých profesionálov, ktorá tvorí veľkú časť cieľovej skupiny aktivít platformy ENEEP. Na základe časového plánu aktivít znázornených na Obr. 2 by mala byť v blízkej budúcnosti vykonaná demonštrácia platformy ENEEP. Táto demonštrácia by mala byť uskutočnená prostredníctvom skupinových a individuálnych aktivít organizovaných v zariadeniach partnerov projektu ENEEP. Napriek tomu, že tieto činnosti sú naplánované na začiatok roka 2022, je potrebné prijať opatrenia, aby bolo možné vykonávať väčšinu demonštračných činností bez ohľadu na pandemickú situáciu. Traja partneri, STU, ČVUT a JSI, ako súčasť prípravy na demonštráciu ENEEP už pracujú na vývoji metodiky online vzdelávania. Online, resp. hybridný spôsob vzdelávania už bol overený počas online kurzu reaktorovej fyziky na JSI pre študentov Uppsala University vo Švédsku, online reaktorového laboratória na ČVUT pre študentov Middlebury Institute of International Studies at Monterey v Kalifornii, USA a nie na poslednom mieste, počas programu celoživotného vzdelávania na ÚJFI FEI STU v Bratislave.



Obr. 4: Online vzdelávanie v rámci ENEEP

ZÁVER

Platforma ENEEP sa aj počas pandemickej situácie snaží sprístupniť svoju infraštruktúru a pripraviť moderné jadrové vzdelávanie, odbornú prípravu a budovanie kompetencií všetkým, či už sú to študenti, mladí profesionáli z technických smerov alebo iní netechnickí uchádzači so záujmom o jadrovú energetiku. V súčasnosti je dostupných viac ako 60 experimentov na štyroch výskumných reaktoroch a v desiatkach výskumných laboratórií. Príprava asociácie ENEEP je v plnom prúde a na prelome 2021/2022 bude schopná poskytovať vzdelávanie a odbornú prípravu v jadrovej energetike. Dôležité je podotknúť, že sa finalizujú aj prípravy na demonštráciu platformy ENEEP, ktorá sa uskutoční začiatkom roka 2022 na piatich partnerských inštitúciách. Študenti a mladí profesionáli z krajín EÚ sa tejto aktivity môžu bezplatne zúčastniť. Pre viac informácií sledujte webovú stránku www.eneep.org alebo <https://www.facebook.com/ENEPP>.

Projekt ENEEP bol financovaný z prostriedkov Európskej únie prostredníctvom programu Horizon 2020, výzvy NFRP-2018-7 "Availability and use of research infrastructures for education, training and competence building" pod číslom grantovej zmluvy 847555.

Referencie:

- [1] Nuclear Energy Agency. "Nuclear Education and Training: From Concern to Capability." OECD/NEA, NEA No. 6979, OECD PUBLICATIONS (2012)
- [2] M. CAGNAZZO et al. "The European Nuclear Experimental Educational Platform (ENEPP) for Education and Training," ATW - Int. J. Nucl. Power, 65, (2020)
- [3] European Nuclear Experimental Educational Platform. Online: <https://cordis.europa.eu/project/id/847555> (access November 20, 2020)
- [4] A. SCHLEICHER. "The impact of COVID-19 on education - Insights from education at a glance 2020," OECD, (2020)

Ing. Štefan Čerba, PhD.

stefan.cerba@stuba.sk



Vyštudoval Slovenskú technickú univerzitu v Bratislave, kde titul „PhD.“ získal v odbore Jadrová energetika v roku 2015. Počas doktorandského štúdia sa zúčastnil ročného pracovného pobytu vo výskumnom ústave KAERI v Južnej Kórei. Od roku 2014 pôsobí na Ústave jadrového a fyzikálneho inžinierstva ako výskumný pracovník a podieľa sa na vedení domácich a medzinárodných výskumných projektov. Od roku 2015 je aj predsedom občianskeho združenia NURECO – Spoločnosť pre jadrový výskum.

Jaderné vzdělávání v České republice

Jaderné vzdělávání na ČVUT v Praze

doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D.

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky

Jaderné vzdělávání na ČVUT v Praze není jenom Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, jaderný studijní program najdeme i na Fakultě strojní a témata důležitá pro jadernou energetiku se vyučují i na Fakultách elektrotechnické a stavební.

Nuclear education at the Czech Technical University in Prague is not only the Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, the nuclear study program can also be found at the Faculty of Mechanical Engineering, and topics important to nuclear energy are also taught at the Faculties of Electrical Engineering and Civil Engineering.

Vzdělávání pro jadernou energetiku je na ČVUT v Praze představováno primárně Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou, která vychovává vysoce specializované odborníky v oblastech specifických pro jaderné inženýrství. O této fakultě pojednává samostatný článek v tomto čísle *Jaderné energie*. Pojďme se tedy podívat i na další pracoviště na ČVUT v Praze. Pro jadernou energetiku jsou klíčové i další technické směry, hlavně obory strojní, elektro a stavební. I zde má ČVUT v Praze co nabídnout, a to hlavně ve studijním programu *Jaderná energetická zařízení* Fakulty strojní či v oboru *Stavby pro energetiku* na Fakultě stavební.

Jaderné vzdělávání na Fakultě strojní je spjata s osobou prof. Františka Klika, který na Fakultě strojní absolvoval v roce 1952 obor parní turbíny. Pracoval v Ústavu jaderného výzkumu v Řeži, mezi léty 1967–1972 jako inspektor jaderných materiálů MAAE ve Vídni, v letech 1972–1977 jako vedoucí odboru jaderné bezpečnosti a záruk Československé komise pro atomovou energii a v letech 1977–1982 jako ředitel oddělení inspektorů jaderných materiálů MAAE. Po jmenování profesorem jaderné energetiky v roce 1982 se na Katedře tepelných a jaderných zařízení Fakulty strojní (dnešním Ústavu energetiky) zasadil o vytvoření samostatného jaderně energetického

oboru, který stavěl na dlouhodobých zkušenostech s výukou jaderných předmětů na této katedře. Tento obor byl s malými změnami později transformován do již zmiňovaného studijního programu *Jaderná energetická zařízení*, který Ústav energetiky nabízí v současnosti. Na tomto studijním programu s pedagogy Ústavu energetiky spolupracují odborníci z praxe, zejména z ÚJV Řež a Centra výzkumu Řež, ŠKODA JS a ČEZ. Takové propojení akademické a průmyslové sféry zaručuje relevantnost výuky a umožňuje studentům získat cenné kontakty již během studia. Všichni naši průmysloví partneři se podílí na teoretické výuce, ale též umožňují návštěvy svých provozů s výkladem ve specializovaných předmětech. Není výjimkou, že v některých předmětech studenti každou přednášku tráví někde jinde nebo s jinými přednášejícími, kterými jsou přední odborníci z praxe. Studenti tak získají ucelený přehled o všech aspektech jaderné energetiky a souvisejícího průmyslu. Další praktické zkušenosti studenti získávají při exkurzích na jaderných elektrárnách v ČR, Německu, na Slovensku či na Ukrajině.

Za všechny hlas jednoho z našich studentů: *„Studovat jadernou energetiku na Fakultě strojní jsem se rozhodl hned v prvním ročníku bakalářského studia, kdy jsem i získal mož-*

nost podílet se na výzkumných projektech v našich laboratořích. Díky vstřícnému přístupu doktorandů a vyučujících jsem na katedře zůstal a pokračoval zde v magisterském studiu. Pro tento obor jsem se rozhodl také proto, že spojuje klasickou a jadernou energetiku. Vedle komplexních znalostí z oboru jaderných zařízení jsem získal i vědomosti z oboru čerpadel, turbín, chladicí techniky a fúzních zařízení. Studium bylo doprovázeno mnohými exkurzemi na pracovištích CVŘ a ÚJV Řež, Škoda JS, Ústavu fyziky plazmatu a s Ústavem fyziky FS jsme měli možnost se podívat i do Černobylu. Vyučující podporují studenty při jejich zaměstnání v oboru, díky tomu jsme získali cenné praktické zkušenosti a nyní většina z nás pracuje v oboru, ve společnostech jako jsou ČEZ, SÚRO, CVŘ, ÚJV Řež, Doosan Škoda Power či Škoda JS.“

Obor Jaderná energetická zařízení na Fakultě strojní ČVUT v Praze si často vybírají i studenti Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské. Každý, kdo chce studovat jadernou energetiku, automaticky předpokládá, že musí jít na tuto fakultu. Pokud je ale praktičtěji zaměřen, často zjistí, že toto teoreticky velice náročné studium mu ne zcela vyhovuje. Takoví studenti pak chtějí své teoretické znalosti získané během bakalářského studia spojit s reálnou aplikací v průmyslu. Tyto studenty pak rádi uvítáme na našem oboru, kde si obvykle cení individuální přístup a možnost zaměření napříč celým jaderným odvětvím, od strojírenství, přes materiálový výzkum až po výzkum fúzních reaktorů. Naši přednášející jsou experty na danou problematiku a jsou otevření diskusí, mimoškolní spolupráci, či exkurzím do provozu, což je klíčové vzhledem k faktu, že většina studentů našla své uplatnění již během studia v předních českých výzkumných a průmyslových centrech. Snažíme se jim vyjít vstříc i při rozvrhování předmětů tak, aby zvládali i své mimoškolní povinnosti. Motivace studentů je nám pak velkou odměnou a rádi nasloucháme jejich návrhům na další zkvalitňování našeho studijního programu.

Kromě specializovaného studijního programu Jaderná energetická zařízení je možné na Ústavu energetiky studovat i studijní program Energetika, který dává studentům celkový

přehled o všech energetických technologiích, včetně jaderných. I zde tak studenti mohou absolvovat celou řadu jaderných předmětů a kvalifikační práci skládat na jaderné téma.

Další témata zaměřená na jadernou energetiku lze najít i na Fakultě elektrotechnické (Katedra elektroenergetiky) a Fakultě stavební. Nejedná se však o ucelený studijní program zaměřený na jadernou energetiku, nicméně působí zde řada odborníků přispívajících k návrhům a analýzám elektrotechnické části jaderných elektráren a speciálním stavbám pro jadernou energetiku, jako jsou například kontejnment nebo bazény vyhořelého paliva.

doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D.

vaclav.dostal@fs.cvut.cz



V roce 2000 absolvoval studium na Českém vysokém učení technickém v Praze, na Fakultě strojní obor Tepelná a jaderná energetická zařízení. Doktorské studium v oboru Jaderné inženýrství na Massachusetts Institute of Technology ukončil v roce 2004 obhajobou práce zaměřené na tepelný oběh s nadkritickým oxidem uhličitým pro pokročilé jaderné reaktory. Od roku 2005 do roku 2007 pracoval jako postdoktorand na Tokyo Institute of Technology v týmu, který se věnoval vývoji olovo-vízmutem chlazeného varného rychlého jaderného reaktoru. Po návratu nastoupil do Ústavu energetiky fakulty strojní Českého vysokého učení technického v Praze. Zde připravil k akreditaci studijní program Jaderná energetická zařízení, který připravuje odborníky pro jaderný průmysl. Program navazuje na jaderné vzdělávání nabízené na tomto pracovišti a významně je rozšiřuje. V minulosti zastával pozici místopředsedy sdružení CENEN a nadále je jeho aktivním členem. Od roku 2019 je členem výboru ČNS. Na částečný úvazek pracoval v ÚJV Řež. V současnosti je částečně zaměstnán na Západočeské univerzitě v Plzni a v Centru výzkumu Řež. Hlavním vědeckým zaměřením jeho práce je, kromě již zmiňovaného tepelného oběhu s nadkritickým oxidem uhličitým, termohydraulika jaderných reaktorů a návrh nových jaderných systémů.

Jaderné vzdělávání na VUT v Brně

doc. Ing. Karel Katovský, Ph.D.

VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky

Vysoké učení technické v Brně je technickou vysokou školou, která již od svých počátků vzdělává odborníky v oblasti energetiky, od šedesátých let i jaderné. I když na VUT v Brně není akreditován žádný jaderně vzdělávací studijní program, jaderné předměty je možné studovat na fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií, fakultě strojního inženýrství, fakultě chemické či fakultě stavební. Univerzita je připravena stát se oporou české energetiky při výstavbě nového bloku EDU5.

The Brno University of Technology is technical university, which is dealing with power engineering education from the very beginning, from sixties also in nuclear engineering. Although there is no special nuclear education study programme at the moment, students are able to study nuclear related course at the faculty of electrical engineering and communication, at the faculty of mechanical engineering, at the faculty of chemical engineering, and also at the faculty of civil engineering. The university is ready to be a pillar of Czech power industry during building a new NPP Dukovany 5 unit.

Historie Vysokého učení technického v Brně sahá až do poloviny 19. století, kdy v roce 1847 schválil císař Ferdinand I. založení Technického učiliště v Brně. Vysokým učením se toto učiliště stalo dne 19. září 1899, kdy císař František Josef I. podepsal dekret zřizující C. K. českou vysokou školu technickou v Brně. Během své stovčacetileté historie vyrostla škola na druhou největší technickou vysokou školu v ČR, která na 11 fakultách a vysokoškolských ústavech vzdělává bezmála 18 tisíc studentů a zaměstnává více než 3 800 zaměstnanců.

Vzdělávání v energetických oborech má na VUT silnou tradici, podpořenou zejména velkou koncentrací energetického průmyslu v městě Brně a okolí. Nikoliv nadarmo zde v roce 1956 vznikla specializovaná Fakulta energetická, kde přednášeli také odborníci z různých brněnských podniků. Fakulta byla v roce 1959 rozdělena na Fakultu strojní a Fakultu elektrotechnickou. Odborníci VUT se mimo výuky zapojili také do odborné činnosti, do přípravy první československé jaderné elektrárny A1 či do vývoje unikátních parních generátorů pro rychlé reaktory. Tento výzkum je spojen se jmény profesora Františka Dubšeka a profesora Oldřicha Matala. Mikročlánkové sodíkem vyhřívané parní generátory pro sovětské reaktory BOR-60 a BN-350 provozované od roku 1969 v Dimitrovgradu resp. od roku 1973 v Aktau byly a jsou obrovským

úspěchem českého jaderného inženýrství. Inženýrské úspěchy pedagogů FSI se přenesly i do výuky, kde v rámci katedry Tepelných a jaderných energetických zařízení vznikla v době výstavby jaderné elektrárny Dukovany specializace Jaderná energetika. Touto specializací prošlo v 80. a 90. letech minulého století mnoho odborníků pro české i slovenské jaderné elektrárny, zejména pro jadernou elektrárnu v Dukovanech a později i pro Temelín.

Vzdělávání a výzkum na Fakultě elektrotechnické se zaměřoval více směrem k elektroenergetice, ale i zde byla vazba na jadernou energetiku silná. Historie elektroenergetiky na VUT sahá až do roku 1909, kdy byl zřízen Ústav konstruktivní elektrotechniky vedený profesorem Vladimírem Listem. Profesor List se zasloužil nejen o vybudování dobrého jména energetických oborů na VUT, avšak měl také velký podíl na úspěšné elektrifikaci Moravy či zřízení pražského metra. Od sedmdesátých do začátku devadesátých let 20. století zde byla v rámci oboru Elektroenergetika vyučována specializace Jaderná energetika. Jaderné vzdělávání na této fakultě je spojeno se jmény docenta Antonína Matouška a docenta Jiřího Račka, kteří přednášeli jádro na VUT až do roku 2017 (resp. 2014).

Mírové využívání jaderné energie našlo uplatnění ve výzkumu a výuce i na jiných fakultách,

na Fakultě stavební působila skupina profesora Leonarda Hobsta, zabývající se využitím ionizujícího záření ve stavebním zkušebnictví, která navázala na dílo profesora a rektora VUT Arnošta Höniga, jenž zde založil Ústřední středisko radiční defektoskopie. V jaderné energetice byla a je aktivní i skupina současného rektora, profesora Petra Štěpánka, zabývající se posuzováním stavebních konstrukcí při projektových a nadprojektových haváriích či seizmickým z odolňováním budov jaderných elektráren. Na Fakultě chemické působil dlouhá léta význačný český jaderný chemik profesor Jiří Hála.

V devadesátých letech minulého století a v prvních letech nového tisíciletí se VUT zapojilo do vývoje urychlovačem řízených jaderných reaktorů (ADSR) chlazených tekutými solemi. Na strojní fakultě zde pod vedením profesora Matala vzniklo experimentální zařízení FLUORIDA – smyčka s tekutými fluoridovými solemi (k výzkumu ADSR se VUT vrátilo po roce 2013 na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií, kde se této problematice věnujeme dodnes).

Aktuálně se na VUT v Brně jaderná energetika vyučuje na Ústavu elektroenergetiky Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií v rámci oboru Elektroenergetika a na Energetickém ústavu Fakulty strojního inženýrství v rámci oboru Energetické inženýrství. Jaderné vzdělávání na VUT je nejvíce ovlivněno blízkostí jaderné elektrárny Dukovany, která se nachází 36 km vzdušnou čarou od vysokoškolského kampusu Pod Palackého vrchem. Studenti těží z této blízkosti nadstandardní možností exkurzí, praxí a stáží na dukovanské elektrárně. Studenti VUT bývají pravidelnými účastníky Letních univerzit ČEZ, účastní se Letní školy jaderného inženýrství, Letní školy na ukrajinských jaderných elektrárnách (díky spolupráci se ZČU v Plzni), navštěvují Letní praxi ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů v Dubně a již dva roky jezdí na semestrální stáži na korejskou univerzitu KEPCO International Nuclear Graduate School do lokality Shin-Kori.

Blízkost jaderné elektrárny umožňuje brněnským studentům také spolupracovat na svých diplomových pracích s odborníky z provozu či získat téma přímo z Elektrárny Dukovany. Brněnské fakulty jsou členy sítě partnerských škol ČEZ, a. s. a spolupracují s provozovatelem jaderné elektrárny na organizaci přednášek

ředitele, operátorů, fyziků a dalších pracovníků elektrárny či útvaru Nové jaderné zdroje. Rozvíjí se i spolupráce s brněnským školicím střediskem firmy ČEZ. VUT spolupracuje s dalšími jadernými firmami v regionu – s NUVIA, a.s., MICO, a.s., TES, s.r.o., EGÚ Brno, a.s. a dalšími. Velmi důležitá je synergická spolupráce se středními školami v regionu, zejména se Střední průmyslovou školou Třebíč. Vysoké učení technické v Brně je také členem české sítě jaderného vzdělávání CENEN.

Na závěr bych rád zmínil to, že Vysoké učení technické je již 19 let organizátorem konference s názvem Mikulášské setkání sekce mladých České nukleární společnosti. Tato akce vznikla v roce 2001 pod záštitou profesora Matala a byla 12 let organizována EÚ FSI, od roku 2013 převzal žezlo organizátora ÚEEN FEKT, kde se akce koná dosud. Jedná se o odbornou česko-slovenskou konferenci šedesátky mladých odborníků z praxe, výzkumu a rovněž studentů, kteří po tři dny prezentují a diskutují své jaderné poznatky. Akce přináší cenné kontakty do budoucí praxe a pevná přátelství na celý život.

doc. Ing. Karel Katovský, Ph.D.

katovsky@vut.cz



Karel Katovský se narodil a bydlí v Třebíči. Studoval na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské na ČVUT v Praze. V roce 2008 dokončil doktorské studium, v rámci kterého strávil více než rok v Laboratoři jaderných problémů ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů v Dubně u Moskvy. Zde se zabýval jadernými daty pro urychlovačem řízené transmutační systémy. Mezi lety 2005 a 2012 pracoval na částečný úvazek jako odborný asistent na Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT, kde vyučoval reaktorovou fyziku a termomechaniku. Od roku 2008 do roku 2012 vedle toho pracoval na částečný úvazek na Elektrárně Dukovany jako vědecký pracovník odboru Výpočty oddělení Fyzika ve ŠKODA JS a zabýval se optimalizací palivových vsázek reaktorů VVER-440. Od roku 2013 pracuje na plný úvazek na Ústavu elektroenergetiky VUT v Brně, kde vyučuje jadernou energetiku, vede bakalářské, diplomové a disertační práce a řeší vědecko-výzkumné projekty. Aktuálně se jeho skupina zabývá problematikou zvyšování bezpečnosti a efektivity jaderného paliva a pokračuje ve studiu urychlovačem řízených transmutačních systémů.

Jaderné vzdělávání na Západočeské univerzitě v Plzni

Ing. Jan Zdebor, CSc.

ZČU v Plzni, Fakulta strojní

Počátky osvojování jaderných technologií ve Škodovce v padesátých a šedesátých létech minulého století jsou úzce spojeny se studiem v oborech zaměřených na jadernou energetiku na Vysoké škole strojní a elektrotechnické v Plzni. Na to navazuje dnešní Západočeská univerzita. Po celou tuto dobu se na výuce významně podílejí přední odborníci z praxe.

The beginnings of the acquisition of nuclear technologies in Škoda in the 1950s and 1960s are closely connected with the study in the fields focused on nuclear energy at the Technical University of Mechanical and Electrical Engineering in Pilsen. This is followed by today's University of West Bohemia. Throughout this time, leading experts from practice play a significant role in teaching.

Západočeská univerzita v Plzni (ZČU) je jednou z českých vysokých škol, které dlouhodobě vzdělávají nové odborníky pro jadernou energetiku. Studijní obor Stavba jaderných energetických zařízení, zaměřený na jadernou energetiku byl otevřen na Fakultě strojní ZČU už v roce 1963. Specializace Stavba jaderné energetických zařízení je dnes akreditována na katedře Energetických strojů a zařízení Fakulty strojní. Po celou dobu zajišťovali výuku odborných předmětů kromě akademických pracovníků ZČU také přední odborníci z průmyslových podniků v Plzni. Z blízkosti podniků jaderného strojírenství těží ZČU dodnes, a je tak jedinečná významnou účastí odborníků z praxe ve výuce. Studenti navazujícího magisterského studia absolvují stáže, praxe a trainee programy u průmyslových partnerů, během nich řeší reálné projekty z praxe. Rovněž zadání kvalifikačních prací, a to jak bakalářských a diplomových, tak i doktorských, je většinou z průmyslové praxe. Mezi nejvýznamnější partnery ZČU v jaderném oboru patří firmy ŠKODA JS a.s., Doosan Škoda Power s.r.o., ZAT a.s. a ČEZ, a. s.

Fakulta elektrotechnická v rámci specializací studijního programu vychovává absolventy se zaměřením na oblasti výroby, přenosu, distri-

buce a užití elektrické a tepelné energie, provozní i poruchové stavy elektrizační soustavy s ohledem na zvýšené nároky na operativní řízení elektrických sítí v souvislosti s rostoucím podílem decentralizovaných zdrojů a s rostoucími požadavky na spolehlivost a kvalitu dodávek elektrické energie. Studentům se zaměřením na jadernou energetiku jsou během studia nabízeny předměty pokrývající tyto oblasti: jaderná fyzika, výpočty v reaktorové fyzice, provoz elektrických částí jaderných elektráren, jaderná bezpečnost, PSA analýzy, metrologie a měření v jaderné energetice. Součástí studia v jaderném zaměření je také nabídka praktického tréninku na školním reaktoru VR-1 ČVUT v Praze. Studenti mají možnost výběru zajímavých témat bakalářských nebo diplomových prací v oblasti jaderných technologií, případně se mohou podílet na výzkumných úkolech v rámci projektů fakulty.

Doktorské studijní programy – Katedra elektroenergetiky i Katedra elektroniky a informačních technologií nabízí zájemcům o Ph.D. studium s atraktivními tématy disertačních prací a možností spolupráce na vědeckých projektech. Předměty nabízené Ph.D. studentům fakulty jsou podobně jako u Mgr. studia zaměřeny na jadernou fyziku, pokročilé výpočty

v reaktorové fyzice, metrologii a instrumentaci jaderných elektráren nebo technologie jaderných paliv. V současné době na fakultě studuje více než deset Ph.D. studentů se zaměřením na jaderné technologie a podílejí se na vývoji měřicí instrumentace, optimalizaci skladování VJP, akumulaci tepelné energie, využití jaderné energie pro teplárenství a dalších projektech.

Na výuce se na obou uvedených fakultách rovněž podílí Fakulta aplikovaných věd. Studenti všech zmíněných fakult (Bc., Ing. i Ph.D.) se každoročně účastní letních škol na českých jaderných elektrárnách díky spolupráci s ČEZ, a. s. ZČU je součástí European Nuclear Education Network (ENEN), díky čemuž mají studenti možnost absolvování kurzů nebo stáží na univerzitách či výzkumných centrech v celé EU. Spolupráce s korejskou KNA otevřela studentům možnosti stáží na KING, která je garantována smlouvou o spolupráci. Studenti ZČU jsou pravidelnými účastníky odborných jaderných národních i mezinárodních setkání a seminářů organizovaných sdružením CENEN (Czech Nuclear Educational Network), Českou nukleární společností, francouzskou ambasádou v ČR a dalšími.

Spolupráci při vzdělávání budoucích odborníků pro JE se podařilo navázat i s ukrajinskou státní společností NAEK Energoatom, která je provozovatelem všech ukrajinských jaderných elektráren. Studenti ZČU, ale i ostatních VŠ v ČR, se od roku 2016 pravidelně účastní letních jaderných škol na některé z ukrajinských jaderných elektráren, kterou NAEK Energoatom každoročně pořádá. Účast našich studentů na Ukrajině umožňuje smlouva o spolupráci při výchově odborníků pro JE, uzavřená mezi NAEK Energoatom a ZČU.

Pod hlavičkou ZČU vzniklo strategické konsorcium Centrum pokročilých jaderných technologií (CANUT), které spojilo vysoké školy s mezi-

národně uznávanými výzkumnými institucemi a průmyslové podniky s dlouhou tradicí vývoje a výroby zařízení pro jadernou energetiku.

Na popularizaci mírového využívání jaderné energie a podpoře výuky jaderných oborů se významně podílí i akce, nazvaná Jaderné dny. Ta je pod záštitou ministra průmyslu a obchodu ČR a rektora ZČU pravidelně pořádána v kampusu ZČU s významnou podporou firmy ŠKODA JS a dalších českých i zahraničních firem a je pravidelně zahajována mezinárodní konferencí. Její součástí je soutěž student-ských prací rozdělená podle oborů studia na

Ing. Jan Zdebor, CSc.



zdebor@kke.zcu.cz

V roce 1975 ukončil studium Vysoké školy strojní a elektrotechnické v Plzni, obor Stavba jaderných zařízení. V roce 1993 získal na základě obhajoby vědeckou hodnost kandidáta technických věd na Západočeské univerzitě v Plzni. Po nástupu do koncernu ŠKODA pracoval jako konstruktér a postupně jako vedoucí Vývoje a Konstrukce, kde vedl vývoj nových generací mechanismů řídicích tyčí JR pro reaktory VVER-440 i VVER-1000 a vedl jejich zavádění na JE v ČR, SR, Maďarsku a na Ukrajině. V letech 2008 až 2012 pracoval jako technický ředitel společnosti ŠKODA JS. Po odchodu do penze, působí dosud jako technický poradce generálního ředitele ŠKODA JS. Je spoluautorem řady vynálezů a průmyslových vzorů. Publikoval desítky odborných článků na mnoha mezinárodních konferencích a v odborných časopisech. Působí také na Západočeské univerzitě, kde je členem vědecké rady Fakulty elektrotechnické a vědecké rady Technologického centra ZČU a proděkanem pro spolupráci s praxí Fakulty strojní, kde rovněž přednáší. Přednáší také na Fakultě strojní ČVUT v Praze. Je členem redakční rady časopisů All for Power a Jaderná energie. Je rovněž členem Inženýrské akademie ČR, České nukleární společnosti a spolku Jaderní veteráni.



sekcí Bc., Mgr. a Ph.D. V letošním roce se jí zúčastňují studenti technických univerzit nejen z ČR, ale i z Ukrajiny a Ruska. Pravidelnou součástí Jaderných dnů jsou rovněž odborné přednášky spojené se soutěžemi pro studenty středních škol.

Spolupráci studentům v oblasti jaderné energetiky nabízí i Centrum energetického výzkumu (VVRC), které působí na Fakultě strojní.

V průběhu akademického roku jsou pro studenty a za pomoci studentů na KKE vydávány Týdenní zprávy z jaderné energetiky, které pravidelně přinášejí informace o novinkách v jaderném oboru pro studenty i zaměstnance ZČU a jsou sdíleny mimo ZČU i na informačních portálech průmyslových partnerů.

Začátkem září letošního roku Katedra energetických strojů a zařízení na Fakultě stroj-

ní ZČU uspořádala již 20. ročník konference Energetické stroje a zařízení, která byla v letošním roce podpořena Mezinárodním vise-gráfským fondem a zúčastnili se jí tak i zástupci významných univerzit z ČR, Polska, Maďarska a Slovenska. Po konferenci proběhl workshop s cílem nalézt společná výzkumná témata v oblasti klasické a jaderné energetiky a vytvořit tak významnou vědeckou platformu v srdci Evropy.

ZČU je v současné době v procesu získání členství v Mezinárodní akademii jaderného managementu (INMA) podporované MAAE. Ta podporuje univerzity při zavádění a poskytování magisterských studijních programů zaměřených na řízení technologií v jaderném sektoru a poskytuje pokyny pro magisterské programy se specializovaným zaměřením na pokročilé aspekty řízení a vedení v jaderné technologii a strojírenství.

Jaderné zdroje energie pro vesmír

(1. díl - Radionuklidové zdroje)

RNDr. Vladimír Wagner, CSc.

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.

Začátkem tohoto roku začalo na Marsu pracovat vozidlo Perseverance, kterému dodává elektřinu i teplo radionuklidový generátor. Člověk se chystá k návratu na Měsíc i cestě na Mars. Realizace těchto plánů se neobejde bez vesmírných jaderných zdrojů energie. Je tak aktuální se podívat na současný stav a perspektivy v této oblasti.

V řadě míst naší Sluneční soustavy je potřeba získat energii bez dostupu k slunečnímu záření a možnosti využití fotovoltaických panelů. Není to jen při letu ke vzdáleným planetám, jako je Saturn, Uran a Neptun, či ještě dále ke dvojici Pluta a Charonu či dokonce k objektům Kuiperova pásu a dál na hranice Sluneční soustavy. Sluneční svit není dostupný ani během dlouhé noci na Měsíci, která trvá déle než dva týdny. Je velmi slabý i v případě marsovské zimy, či dlouhé písečné bouře na této planetě. Ve všech těchto případech se neobejdeme bez využití jaderných zdrojů. Stejně tak mohou jaderné zdroje díky své vysoké efektivitě uvolňování energie a tím i kompaktnosti přispět i ke zrychlení přepravy ve vesmírném prostoru. Zkrácení doby letu je zvláště důležité v případě výprav s lidskou posádkou. Reálně se jedná o již zmíněné radionuklidové zdroje a štěpné jaderné reaktory.

RADIONUKLIDOVÉ ZDROJE

Radionuklidové zdroje využívají energii uvolněnou při rozpadu radioaktivních jader. Ta se přemění v kinetickou energii produktů rozpadu a v konečném důsledku v teplo, které lze využít nebo přeměnit na elektrickou energii. Nejvhodnější je pro radionuklidové zdroje rozpad alfa. Ten mívá zpravidla vyšší energii rozpadu. Zároveň částice alfa velmi intenzivně ionizuje a předává energii materiálu. Rychle se tak zastaví, a i stínění tak není problém. V rozpadu beta navíc velkou část energie odnáší neutrino, které s látkou interaguje zane-



Obr. 1: Selfie fotografie vozidla Perseverance pořízená 198. martanský den (10. září 2021) na skále přezdívané „Rochette“ (Zdroj: NASA, <https://www.nasa.gov/>)

Obr. 2: 29. června 1961 vypustila Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory družici Transit IV-A. Jednalo se o navigační satelit amerického námořnictva s generátorem poháněným radioizotopem SNAP-3B, který vyráběl 2,7 wattů elektrické energie. Transit IV-A překonal rekord v trvání mise APL a připravil půdu pro průlomové mise až k hranicím Sluneční soustavy. (Zdroj: NASA/Gayle Dibiasio, <https://www.nasa.gov/>)

dbatelně. Důležitý je i poločas rozpadu, který ukazuje, za jak dlouho se rozpadne polovina radioaktivního materiálu. Musí být dostatečně dlouhý, aby zdroj zásoboval zařízení celou potřebnou dobu. Zároveň nesmí být příliš dlouhý. Pak jsou totiž aktivita radioaktivního zdroje i produkované teplo malé.

Vývoj radionuklidových zdrojů začínal v USA v padesátých letech. První byly založeny na využití polonia 210. Poločas rozpadu tohoto radionuklidu je 138 dní, což postačuje pouze ke krátkodobějším vesmírným misím. V současné době je tak dominantním radionuklidem využívaným pro tyto účely plutonium 238, jehož poločas rozpadu je 87,7 let. Zabezpečí tak i dlouhodobé mise k hranicím Sluneční soustavy či dlouhodobou práci základny na Měsíci nebo Marsu. První takový s označením SNAP 3B7 se na palubě sondy Transit 4A dostal do vesmíru v červenci 1961.

Postupně probíhal vývoj zdrojů, který si můžeme dokumentovat právě na situaci v USA. Změnil se i přístup k ekologickým rizikům při havárii. U prvních zdrojů se předpokládalo, že při havárii a návratu do zemské atmosféry shoří a plutonium se rozptýlí. U současných zdrojů je však konstrukce taková, aby bez poškození a s hermetickou schránkou pro plutonium vydržely průlet atmosférou a dopad na povrch Země. Je třeba zmínit, že kromě velkých zdrojů pro produkci elektřiny je třeba mít i malé tepelné zdroje, které se umísťují v různých místech vesmírného zařízení a zajišťují jeho tepelnou pohodu. Takové byly například i u vozítek Spirit a Opportunity, kterým elektřinu dodávaly fotovoltaické panely. Během zimy či prachové bouře se panely zaklopily a vozítko bylo uvedeno do hibernace. Malé radionuklidové zdroje tepla zajistily, aby se mrazem nezničila elektronika.

V rámci standardizace přípravy tablet z plutonia se tak dospělo ke dvěma typům zaří-



zení s plutoniovými zdroji tepla. Jedním byl radioizotopový zdroj tepla pro obecné použití GPHS (General Purpose Heat Source), určený právě i pro výrobu elektřiny. Ten byl složen ze čtyř tablet o hmotnosti 150 g. Druhým je pak menší typ zdrojů LWHRU (Light Weight Radioisotope Unit), určený jen pro produkci tepla. U něj se použila jedna tableta s hmotností 2,7 g. V obou případech je plutonium ve formě oxidu plutoničitého.

Na těchto standardech byly postaveny radionuklidové termoelektrické generátory GPHS-RTG pro neúspěšnější sondy, které putovaly do vzdálených míst Sluneční soustavy. Ty využívají 18 popsanych modulů GPHS a dohromady pak obsahují 10,9 kg plutonia 238. Celková hmotnost zdroje je 56 kg. Je dána ochrannou vrstvou z uhlíku, která dokáže absorbovat teplo při případném návratu do atmosféry a obálkou z iridia, která zajišťuje mechanickou ochranu a hermetičnost po dopadu. Dále je zde termoelektrický generátor, který transformuje teplo na elektrickou energii, a hlavně velkoplošné radiátory, které umožňují chlazení ve vakuu pomocí vyzařování tepla. Pracovní teploty jsou u horkého konce 1 000 °C a studeného pak 300 °C. Termočlánek na bázi křemíku a germania má účinnost okolo 6 %. Jeho počáteční tepelný výkon je 4 400 W_t, a elektrický pak oko-



Obr. 3: Kosmická sonda Cassini, která byla vypuštěna v roce 1997 společně s sondou Huygens Evropské vesmírné agentury (ESA), byla první kosmickou lodí, která obíhala okolo Saturnu. Sonda, jejímž úkolem bylo studium Saturnových prstenů, Titanovy atmosféry a Saturnovy magnetosféry, byla vybavena celkem třemi radioizotopovými zdroji GPHS (General Purpose Heat Source). Cassini ukončila svou misi úmyslným pádem do atmosféry Saturnu 15. září 2017. (Zdroj: NASA, <https://www.nasa.gov/>)

lo $260 W_e$. Nejvíce těchto zdrojů nesla sonda Cassini, která zkoumala Saturn. Ta je měla tři, a navíc nesla i 82 malých tepelných jednotek LVRHU. Poslední sonda s těmito zdroji, měla jen jeden, byla New Horizons. Ta po průzkumu soustavy Pluta a Charonu zkoumá i další transneptunická tělesa v Kuiper-Edgeworthovu pásu. Navštívila tak zatím nejvzdálenější přímo zkoumané těleso Arrokoth. Hledá se ještě jedno další těleso, ke kterému by se tato sonda dala nasměřovat.

V současné době je vrcholem vývoje menší standardizovaný zdroj MMRTG (Multi-Mission RTG), který obsahuje osm popsaných modulů, tedy zhruba 4,8 kg plutonia. V případě využití termočládku je pak jeho elektrický výkon něco přes $100 W_e$. U něj se v budoucnu uvažuje i o využití Stirlingova motoru, jehož účinnost přeměny tepla na energii je lepší, okolo 30 %. Nový zdroj MMRTG byl zatím využit pouze u marsovských vozidel Curiosity a Perseverance. Curiosity se na Marsu pohybuje již od srpna 2012 a za tu dobu se podařilo získat obrovské množství údajů o planetě. Perseverance přistálo na povrchu Marsu 18. února 2021 v kráteru Lake, a právě efektivní zdroj elektřiny umožňuje práci široké škály vědeckých přístrojů. V nedávné době bylo rozhodnuto, že

třetí radionuklidový zdroj MMRTG se využije pro velký dron, který bude pracovat v husté atmosféře Saturnova měsíce Titanu. Mise by měla ze Země startovat v roce 2027

PROBLÉMY S PRODUKČÍ PLUTONIA 238

Plutonium 238 se získává ozařováním neptunia 237 intenzivním tokem neutronů. Jejich zachytem vzniká neptunium 238, které se rozpadem beta s poločasem rozpadu 2,1 dne přeměňuje na plutonium 238. Velké množství neptunia 237 se nashromáždilo při výrobě plutonia 239 pro jaderné zbraně. Jeho poločas rozpadu je dva milióny let. Dlouhý poločas rozpadu má už jen neptunium 236 (150 tisíc let) a 235 (396 dní), všechny ostatní izotopy je mají nejvýše v řádu jednotek dní. Izotopy uranu 235 a 236 se však rozpadají samovolným štěpením a rozpadem alfa, které vedou na neptunium 235 a 236. Získané neptunium 237 je tak poměrně izotopicky čisté.

Problémem však je, že ozařování neptunia 237 pro získání plutonia 238 je potřeba realizovat za specifických podmínek. Musí existovat speciální odpovídající ozařovací místa a musí být možnost průběžné výměny ozařovaných materiálů. Při ozařování mohou nastat

i vícenásobné záchyty neutronů, a tedy vznikají i těžší izotopy plutonia. Aby jejich příměs nebyla moc velká, ozařovaly se terče z neptunia jen takovou dobu, aby docházelo k přeměně jen zhruba do deseti procent neptunia. Plutonium se dá chemicky oddělit od neptunia i dalších prvků. Zároveň je před chemickým zpracováním potřeba počkat řadu měsíců na pokles vysoké aktivity ozářených terčů. Nedá se také jednoduše oddělit izotop plutonia 238 od jiných izotopů téhož prvku. Izotopové složení plutonia závisí na přesném průběhu produkce, ale typické složení bylo po produkci 83,5 % plutonia 238, 14,0 % plutonia 239, 2,0 % plutonia 240, příměs plutonia 241 a 242 byla menší než procento. Kromě plutonia 241 mají všechny zmíněné těžší izotopy plutonia delší poločas rozpadu, takže se při stárnutí jejich podíl zvyšuje.

Pro produkci se tak používaly reaktory určené pro produkci zbraňového plutonia. Ty se však v devadesátých letech uzavřely. Celkově se v letech 1959 až 1988 v USA vyrobilo okolo 300 kg plutonia 238. Menší množství okolo 16 kg Američané nakoupili na začátku devadesátých let v Rusku. V současné době však má organizace NASA jen okolo 30 kg tohoto materiálu. Připomeňme, že sonda Cassini

nesla ve svých zdrojích více než těchto 30 kg. Vzhledem k tomu, že se kvalita zásob rozpadem kvůli zmíněnému zvyšování podílu těžších izotopu plutonia a hromadění produktu rozpadů degraduje, je navíc jen necelá polovina v potřebné kvalitě. Zbytek je třeba vyčistit a doplnit čerstvým plutoniem 238.

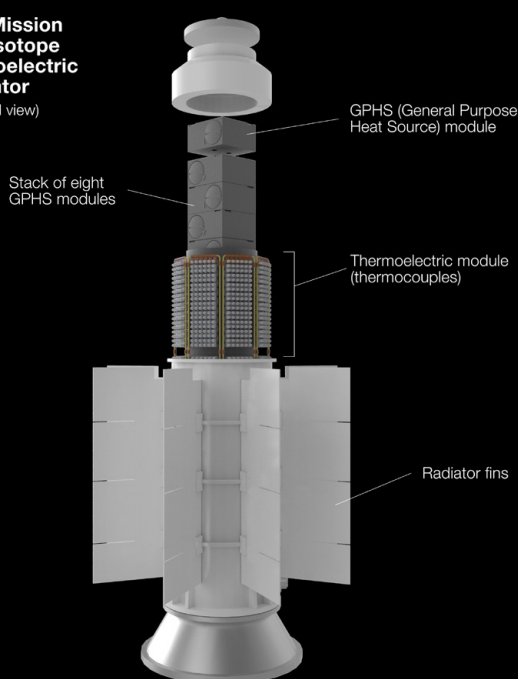
V roce 2012 začala NASA s DOE pracovat na obnovení produkce plutonia 238. Využily se k tomu dva speciální výzkumné reaktory HFIR (High Flux Isotope Reactor) v ORNL (Oak Ridge National Laboratory) v Oak Ridge a ATR (Advanced Test Reactor) v INL (Idaho National Laboratory) specializované na produkci radionuklidů. Podmínky však jsou velmi omezené. Postupně se vylepšováním technologií podařilo přejít od roční výroby desítek gramů ke stovkám gramů. Cílem je pak limitní roční produkce 1,5 kg, která se předpokládá kolem roku 2026. I pro tento účel se od dubna 2021 rekonstruuje reaktor ATR.

Výrobu plutonia 238 pro NASA připravuje i kanadská firma OPC (Ontario Power Generation), která chce využít ozařovací místa v jaderné elektrárně Darlington. Těžkovodní reaktory CANDU, které umožňují průběžnou výměnu paliva se využívají pro produkci různých radionuklidů běžně. Jde hlavně o radionuklidy pro medicínu, například kobalt 60. V plánu je dospět k roční produkci okolo 5 kg. Jestli a kdy se reálně výroba začne realizovat, je zatím otevřenou otázkou.

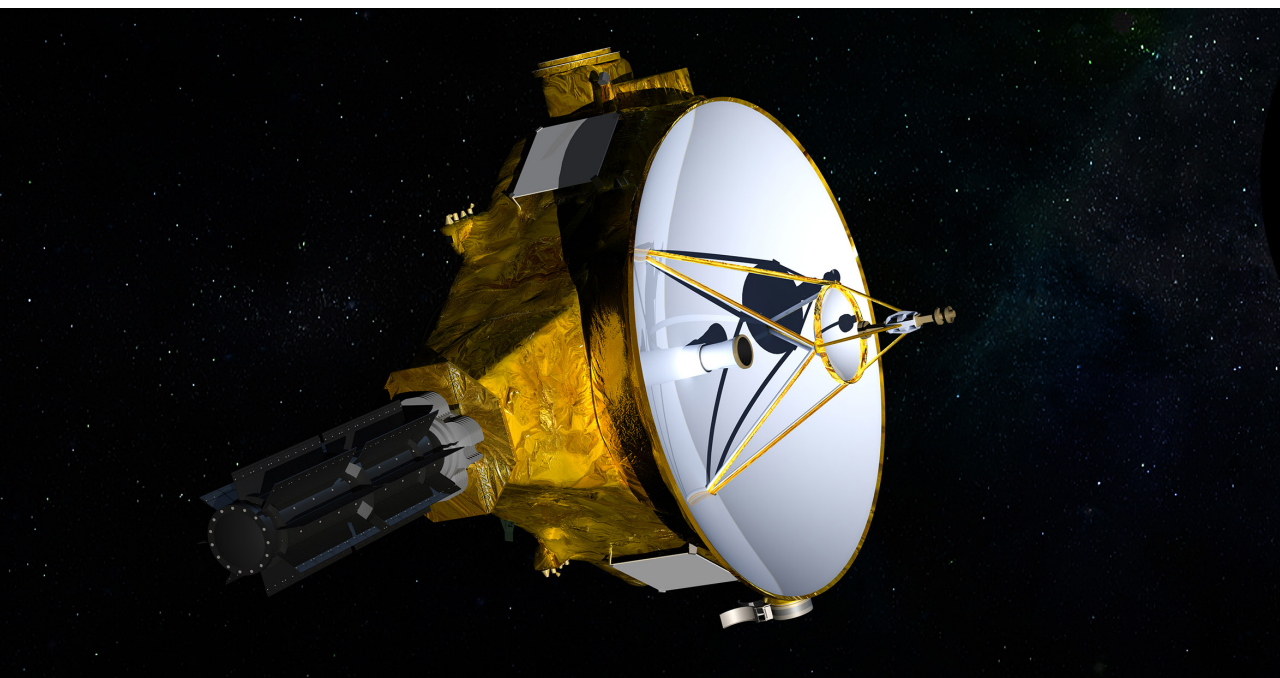
O rozjetí hromadnější produkce plutonia 238 se snaží i Rusko. Tam menší množství tohoto radionuklidu produkují závody firmy Rosatom Majak v Ozersku v Čeljabinské oblasti. Jde o obnovu produkce, která zde probíhala do roku 2009. Díky tomu tak mohlo Rusko poskytnout plutonium 238 pro malé tepelné zdroje čínským přistávacím modulům a vozítkům na Měsíci i dalším vesmírným aparátům. Uvažuje se pro takové ozařování také využití rychlých sodíkových reaktorů BN600 a BN800 v Bělojarské jaderné elektrárně.

Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator

(expanded view)



Obr. 4: Schéma nejmodernějšího termoelektrického generátoru MMRTG (Multi-Mission RTG) pro různorodé mise, který napájí nejmodernější marsovská vozítka Curiosity a Perseverance (Zdroj: NASA <https://rps.nasa.gov>)



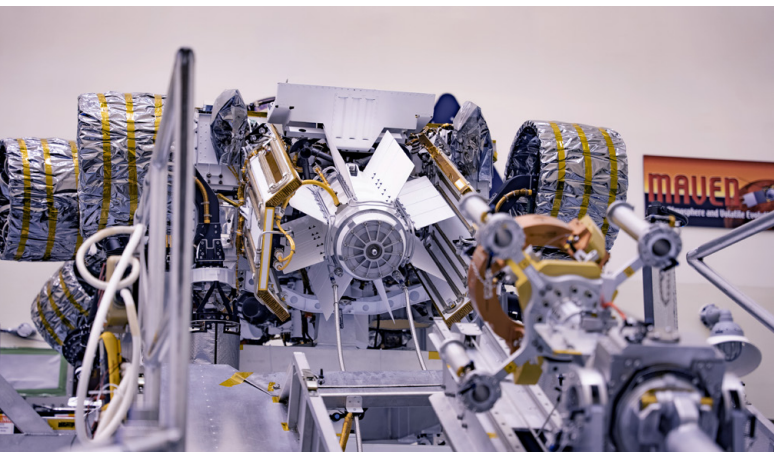
Obr. 5: Sonda New Horizons, která za 15 let své cesty kosmem už urazila 50× větší vzdálenost, než je vzdálenost Země od Slunce, je poslední sondou využívající radioizotopový zdroj GPHS (Zdroj: NASA, <https://www.nasa.gov/>)

VYUŽITÍ AMERICIA 241

Nedostatek plutonia 238 a problémy s jeho produkcí vedly ke snaze o nalezení náhrady. V tomto směru se angažuje hlavně Evropa a organizace ESA. Ta nemá plutonium 238 a chybí jí i zásoby neptunia 237. Jako alternativní vhodný materiál byl vybrán izotop americia 241, který lze získat z vyhořelého paliva z jaderných reaktorů. V tomto případě není potřeba ozařování neutronů na speciálních reaktorech. Konkrétně se využívají staré zásoby separovaného plutonia. To se sice skládá

z řady izotopů, ovšem pouze plutonium 241 se přeměňuje s poločasem 14,4 let beta rozpadem na americium. Všechny ostatní izotopy plutonia, které mají poločas rozpadu delší než rok, se realizují rozpadem alfa. V plutoniu chemicky separovaném z vyhořelého paliva se po desítkách let skladování nahromadí izotopicky čisté americium 241, které se pak dá chemicky z materiálů separovat.

Americium 241 má některé výhody a některé nevýhody. Energie rozpadu je zhruba stejná jako u plutonia 238. Poločas rozpadu je u něj 432 let. Do jisté míry to je výhoda pro velmi dlouhé lety za hranice Sluneční soustavy. Pokles aktivity i výkonu bude pomalejší. Na druhé straně tak je měrná aktivita u americia pětikrát menší než u plutonia. Na stejný výkon tak potřebujeme pětikrát větší hmotnost radionuklidu, což právě u kosmických aparátů může být problém. Nevýhodou je u radionuklidu americium 241 doprovodné zá-



Obr. 6: Radioizotopový termoelektrický generátor MMRTG pro marsovské vozidlo Perseverance (Zdroj: NASA, <https://rps.nasa.gov/>)

ření gama. To má sice, stejně jako u plutonia 238, nízkou energii okolo 50 keV, ale vzniká při rozpadu s pravděpodobností 36 %. U plutonia 238 je to pouhých 0,04 %. U americiumu 241 tak musíme zajistit stínění proti tomuto záření gama.

Univerzita v Leicesteru začala v roce 2010 vyvíjet pro organizaci ESA radionuklidový elektrický generátor s elektrickým výkonem mezi 10 až 50 W_e postavený na termoelektrickém článku. Zároveň se vyvíjí i systém konverze tepla na elektřinu postavený na Stirlingově motoru, který by poskytl elektrický výkon i 100 W_e . Připravuje se i malý tepelný zdroj s tepelným výkonem 3 W_t . Potřebné americium 241 dodává přepracovací Národní jaderný ústav v Sellafieldu. Měl by být v podobě keramického materiálu Am_2O_3 nebo oxidu američitého AmO_2 . První prototyp měl tepelný výkon 200 W_t a s využitím termočlánku umožňoval dodávku elektrického výkonu 10 W_e . Postupné dosažení vyšších výkonů je pak umožněno modulárním způsobem. Letové jednotky tepelných zdrojů i radionuklidových termoelektrických generátorů by měly být k dispozici v druhé polovině dvacátých let.

ZÁVĚR

V dubnu 2021 se sonda New Horizons dostala do vzdálenosti 50 astronomických jednotek od Slunce, je tedy od něj padesátkrát dále než Země. Signál k ní tak ze Země letí téměř sedm hodin. Jde o pátou sondu, která se po Voyageru 1 a 2 a Pioneeru 10 a 11 dostala až tak daleko. Využila této události k tomu, aby se podívala a pořídila fotografie ve směru k místu, kde by před ní měla letět právě sonda Voyager 1. Ta sice na fotce vidět není, ale snímek je velice cenným pohledem do vzdáleného vesmíru. V tak velké vzdálenosti od Slunce neruší rozptýlené světlo z naší mateřské hvězdy a je tak možné pozorovat nejméně oblohu. Takové snímky umožňují zjistit celkový počet galaxií. Ty nejvzdálenější nepozorujeme jednotlivě, ale společně vytvářejí slabý svit oblohy. V blízkosti Slunce jeho pozorování velmi ztěžuje právě rozptýlené sluneční světlo, které jej překryje. Ale v místech, kde se nyní nachází New Horizons, by měl být vidět. Fungování této sondy by nebylo možné bez radionuklidových zdro-

jů energie, stejně tak by nebyla možná práce vozidla Perseverance na Marsu. Chceme se vrátit na Měsíc a zintenzivnit činnost na Marsu i ve vzdálených oblastech Sluneční soustavy. I proto je velmi důležitá obnova produkce plutonia 238 pro radionuklidové zdroje energie a pro organizaci ESA je klíčové úspěšné dokončení vývoje radionuklidových zdrojů založených na americiumu 241. K dispozici by nové radionuklidové zdroje mohly být v druhé polovině tohoto desetiletí. Pokud potřebujeme větší výkony, radionuklidové zdroje už na ně nestačí. V takovém případě je třeba využít štěpné jaderné reaktory, na které se podíváme v příští části článku.

RNDr. Vladimír Wagner, CSc.

wagner@ujf.cas.cz



Vystudoval jadernou fyziku na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Během doktorandského studia se věnoval experimentálnímu studiu struktury deformovaných jader. Pracuje v Ústavu jaderné fyziky AVČR, v.v.i. v Řeži a učí na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze. Mezi hlavní oblasti jeho vědeckého zájmu patří studium velmi horké a husté jaderné hmoty pomocí srážek těžkých iontů. Je zapojen do výzkumu mezinárodních skupin provádějících experimenty v GSI Darmstadt (Německo) a v laboratoři CERN (Švýcarsko). Vede skupinu, která studuje možnosti transmutace jaderného odpadu pomocí urychlovačů řízených transmutorů a získává potřebná jaderná data pro pokročilé štěpné i fúzní systémy. Využívá k tomu zdroje neutronů v mateřském ústavu a v mezinárodní spolupráci urychlovač Nuklotron ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů v Dubně v Rusku. Zajímá se také o energetiku a byl členem druhé nezávislé energetické komise NEK II, která vypracovala doporučení pro aktualizaci Státní energetické koncepce České republiky, podílel se na publikaci Perspektivy české energetiky. Současnost a budoucnost (Novela bohemia 2014) a napsal knihu Fukušima I poté (Novela bohemia 2014). Zabývá se také popularizací vědy a hlavně fyziky. Pravidelně přednáší pro středoškolskou mládež a veřejnost. Píše články pro internetové i klasické časopisy, které se popularizaci vědy věnují.

Z knihy „Vznik a historie státního dozoru nad jadernou bezpečností“

8. část

Ze vzpomínek Zdeňka Kříže

Tak jak se vyvíjely od poloviny padesátých let jaderné technologie, vyvíjel se i názor na bezpečnost a zejména pravidla v tomto novém odvětví. Prvotní linie byla zaměřena především na nešíření jaderných zbraní, vznikla Mezinárodní atomová agentura (MAAE), ale začínaly se formovat i národní dozory. V Československu vznikla Československá atomová komise (ČSKAE) a skupinka jaderných inženýrů kolem Ing. Jiřího Beránka a Ing. Zdeňka Kříže začala formulovat první pravidla jaderné bezpečnosti.

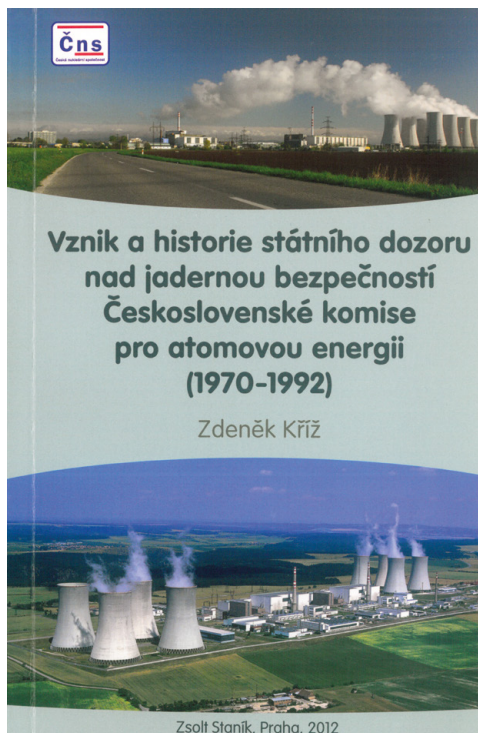
O počátcích jaderného dozoru v Československu poutavě píše Ing. Zdeněk Kříž, z jehož knihy „Vznik a historie státního dozoru nad jadernou bezpečností Československé komise pro atomovou energii (1970–1992)“ vám přinášíme některé vzpomínky na začátky tohoto mladého, ale dynamicky se rozvíjejícího odvětví.

PŘÍPRAVA A VYDÁNÍ ZÁKONA Č. 28/1984 SB. O STÁTNÍM DOZORU NAD JADERNOU BEZPEČNOSTÍ JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ (ČÁST I)

Příprava zákona o státním dozoru nad jadernou bezpečností byla uložena usnesením předsednictva vlády č. 156/1979 (bod e). Zákon byl vydán v roce 1984, což ukazuje, že jeho příprava trvala plných pět let. Bylo to způsobeno zejména tím, že řada pracovníků z resortu energetiky, ale i z jiných míst, jeho potřebu nechápala a obávala se, že jeho existence může zpomalit rozvoj jaderné energetiky u nás. Argumentem bylo, že za jadernou bezpečnost odpovídá země dodavatele a jeho organizace (hlavní projektant, generální konstruktér, vědecké vedení), a proto není třeba zákon vydávat. Jak ukázalo následující období, pravý opak byl pravdou: nastolení a kontrola plnění požadavků jaderné bezpečnosti byly nutnou podmínkou a zárukou dalšího rozvoje jaderné energetiky. Stejně tomu bylo s odpovědností za jadernou bezpečnost, kterou má jednoznačně stát, jenž se rozhodl jít cestou

jaderné energetiky, a v něm pak provozovatel jaderných elektráren a zařízení. O tom už dnes nikdo nepochybuje. Dozor nad radiační ochranou byl u nás dlouhodobě kvalitně zajišťován orgány hygienické služby v rámci republikových ministerstev zdravotnictví ČR a SR a byl tedy na republikové úrovni, zatím co ČSKAE byla na úrovni federálního orgánu. Proto spojení dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou nebylo v té době možné bez změny kompetencí národních, resp. federálních resortů. K tomu mohlo dojít a také došlo až po rozdělení federálního státu.

V České republice byla tato možnost využita velmi rychle již roce 1995, kdy dozor radiační přešel do nového SÚJB. V té době existovaly ještě další právně nepokryté oblasti mírového využívání jaderné energie, např. pojištění a náhrada škod při jaderných haváriích, role státu v oblasti radioaktivních odpadů apod., které měly charakter nejen technický ale i politický. Bylo by totiž nutné například přistoupit k Pařížské úmluvě o náhradě škod při haváriích apod. Cílem proto nebyla a ani nemohla být příprava komplexního atomového zákona, jaké



již existovaly ve většině západních zemí, ale pouze specializovaného zákona o státním dozoru nad jadernou bezpečností, který při spuštění prvních bloků VVER viditelně chyběl.

Zákon začala připravovat malá pracovní skupina za řízení vedoucího útvaru vládního zmocněnce pro výstavbu jaderných elektráren Josefa Kehera. Ještě nutno dodat, že tento útvar fungoval v období 1974–80 na ČSKAE, kde se začínal formovat dozor. Očekávalo se, že dlouhodobý předseda ČSKAE Jan Neumann bude již ve své funkci končit a J. Keher, zkušený pracovník jaderné elektrárny v Jaslovských Bohunicích a SEP, v té době náměstek ministra Federálního ministerstva paliv a energetiky (FMPE), byl jedním z možných kandidátů na toto místo. Jeho jmenování do čela pracovní skupiny ukazuje, jak velký vliv mělo FMPE v té době. Dalším členem byl A. Ševčík, velmi zkušený odborník v energetice, bývalý náměstek resortu FMPE, který však byl po roce 1969 postupně odstaven z řídicích funkcí na FMPE. A. Ševčík byl československým zástupcem v NUSS programu MAAE pro oblast provozu. Tomuto výboru TRC předsedal, což potvrzuje jeho znalosti a zkušenosti a jejich ocenění na mezinárodní úrovni. ČSKAE zastupoval Z. Kríž, který byl členem TRC pro oblast státního dozoru v NUSS programu, a ve skupině byli dva mladí právníci, J. Kynčl, který se právními otázkami jaderné bezpečnosti na ČSKAE zabýval, a P. Dvořák z FMTIR, které ČSKAE byla podřízena, a zde měl na starosti právní otázky. Může se zdát poněkud překvapující,

proč ji neřídil např. tehdejší předseda ČSKAE J. Neumann nebo ředitel odboru jaderné bezpečnosti a záruk ČSKAE J. Beránek. Složené pracovní skupiny ukazuje, že snahou bylo váhu ČSKAE při přípravě zákona oslabit. To se ale podle výsledku nepodařilo. Návrh prošel řadou náročných připomínkových kol a postupně se blížil své konečné verzi, a co bylo hlavní – držel se v zásadě doporučení MAAE pro oblast dozoru nad jadernou bezpečností, vyjádřených v NUSS programu. Zákon, který znamená skutečný průlom v naší jaderné legislativě, měl jen 22 paragrafů, a proto byl jednoduchý a velmi dobře přehledný.

Stojí za to si jeho text projít a komentovat jej, to bude obsahem další části seriálu.

Ing. Zdeněk Kríž



Ukončil s vyznamenáním v roce 1964 studium na Fakultě technické a jaderné fyziky ČVUT jako jaderný inženýr. Po ukončení studia nastoupil do Ústavu jaderného výzkumu v Řeži (ÚJV), kde pracoval jako výzkumný pracovník v úseku jaderné energetiky. V roce 1970 přešel do nově vzniklého oddělení jaderné bezpečnosti a záruk Československé komise pro atomovou energii (ČSKAE). Zde se aktivně podílel na rozvoji a prosazování státního dozoru nad jadernou bezpečností. Postupně prošel různými funkcemi až po funkci hlavního inspektora jaderné bezpečnosti (1989–1992). V roce 1993 přijal nabídku pracovat v Mezinárodní agentuře pro atomovou energii (MAAE) ve Vídni. Zde jeho hlavními úkoly bylo využívání provozních zkušeností prostřednictvím systému IRS a podpora činnosti orgánů dozoru v jaderné energetice. Podílel se na přípravě několika doporučení a účastnil se řady misí MAAE. Kromě několika výzkumných zpráv je autorem asi čtyřiceti prezentací, článků a publikací věnovaných dozorcí činnosti. Po návratu z MAAE v roce 2001 nastoupil opět do ÚJV Řež jako vedoucí vědeckého sekretariátu. V období 2001–2011 byl předsedou Poradního výboru pro jadernou bezpečnost předsedkyně SÚJB Dany Drábové a od roku 2004 externím členem Výboru pro bezpečnost jaderných zařízení ČEZ, a. s.

Aktuality

Vzdělávání a odborná podpora pro zaměstnance dotčených orgánů podílejících se na povolovacích procesech nového jaderného zdroje v lokalitě Dukovany

V rámci zefektivnění přípravy a realizace výstavby nového jaderného zdroje v lokalitě Dukovany (NJZ EDU II) a na základě doporučení Stálého výboru pro výstavbu nových jaderných zdrojů v ČR (SVVNJZ), Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) ve spolupráci s ČVUT a dalšími partnery, připravilo v červnu týdenní vzdělávací kurz pro dotčené orgány státní správy, které se podílejí na povolovacích procesech uvedeného projektu. Součástí tohoto vzdělávacího kurzu bylo také vypracování studijních materiálů, které jsou určeny pro samostudium a mohou být rovněž využity i v budoucnu pro přípravu zaměstnanců dotčených orgánů, kteří budou povolovat další nové jaderné zdroje.

Kurz byl koncipován tak, aby jako celek poskytl posluchačům základní odbornou přípravu v jaderné energetice a specifikách povolovaného projektu. Zároveň jednotlivé bloky kurzu představovaly samostatné oblasti problematiky. Prezentace jednotlivých bloků zpracovali a přednesli specialisté pro danou oblast z řad spolku Jaderní veteráni, Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT Brno, Fakulty strojní a Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni, Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB), Ministerstva pro místní rozvoj, společnosti Elektrárna Dukovany II, a. s., ČEPS, a. s. a MPO.

Prezentovanými oblastmi byly např. energetická situace v Evropě, jaderná bezpečnost a principy radiační ochrany, projekt výstavby NJZ v Dukovanech (lokalita, investorský, obchodní, dodavatelský a finanční model, smlouvy mezi státem a investorem, návrh

nízkouhlíkového zákona, notifikace veřejné podpory aj.) a schvalovací proces a legislativní rámec výstavby NJZ (hodnocení vlivu na životní prostředí, proces územního řízení, schvalovací procesy SÚJB, proces stavebního řízení, nový stavební zákon aj.).

Jedním z cílů této odborné přípravy bylo i propojení dotčených orgánů s přednášejícími a zároveň předními odborníky v dané oblasti. To má souvislost s další aktivitou iniciovanou MPO, kterou zajišťuje Technologická agentura ČR, a tou je zpracování analýzy dopadů přípravy a realizace výstavby NJZ na dotčené orgány státní správy.

Jsme si vědomi, že stavební řízení pro NJZ bude vyžadovat dostatečnou odbornost zaměstnanců dotčených orgánů ve specifické oblasti jakou jsou jaderně energetická zařízení. Technické řešení zahraničního dodavatele NJZ nebude totiž zpracováno podle české legislativy a v ČR používaných norem. Dotčené orgány pro svá rozhodování budou potřebovat mít k dispozici kvalifikovaná posouzení, jako nezbytné se jeví i zajištění koordinovaného postupu všech účastníků výstavby – státních úřadů, investora a dodavatele. Právě za tímto účelem MPO na základě doporučení SVVNJZ iniciovalo zpracování zmíněné analýzy, jejímž hlavním výstupem bude přehled procesů a nároků (rozsah, odbornost, časová náročnost, lhůty aj.) na jednotlivé dotčené orgány a popis problémů a zprostředkování zkušeností (včetně konkrétních doporučení) z povolovacích procesů nedávných projektů nových jaderných zdrojů v zemích EU. Jednotlivé dotčené orgány státní správy pak budou mít možnost

využít tyto informace, praktické zkušenosti, ale i kontakty pro přesné zadání na vypracování analytických, výpočtových a dalších prací nezbytných pro jejich rozhodování.

Povolovací procesy výstavby NJZ Dukovany II úspěšně pokračují, dne 30. srpna 2019 Ministerstvo životního prostředí v procesu EIA vydalo souhlasné stanovisko k projektu, dne 8. března 2021 Elektrárna Dukovany II, a. s. získala od SÚJB povolení k umístění, dne 27. dubna 2021 MPO udělilo státní autorizaci pro výrobu elektřiny, dne 1. června 2021 investor požádal o vydání územního rozhodnutí.

Nejvýznamnější povolení, at již pro technologii vybraného uchazeče, či povolení k výstavbě od SÚJB a stavební povolení, nás ale teprve čekají. Věříme, že stavební povolení získáme v termínu stanoveném v harmonogramu, tj. v roce 2029 také díky zvolenému přístupu vzdělávání a podpory dotčených orgánů státní správy.

František Svoboda, Tomáš Ehler

Konference HOTLAB 2021

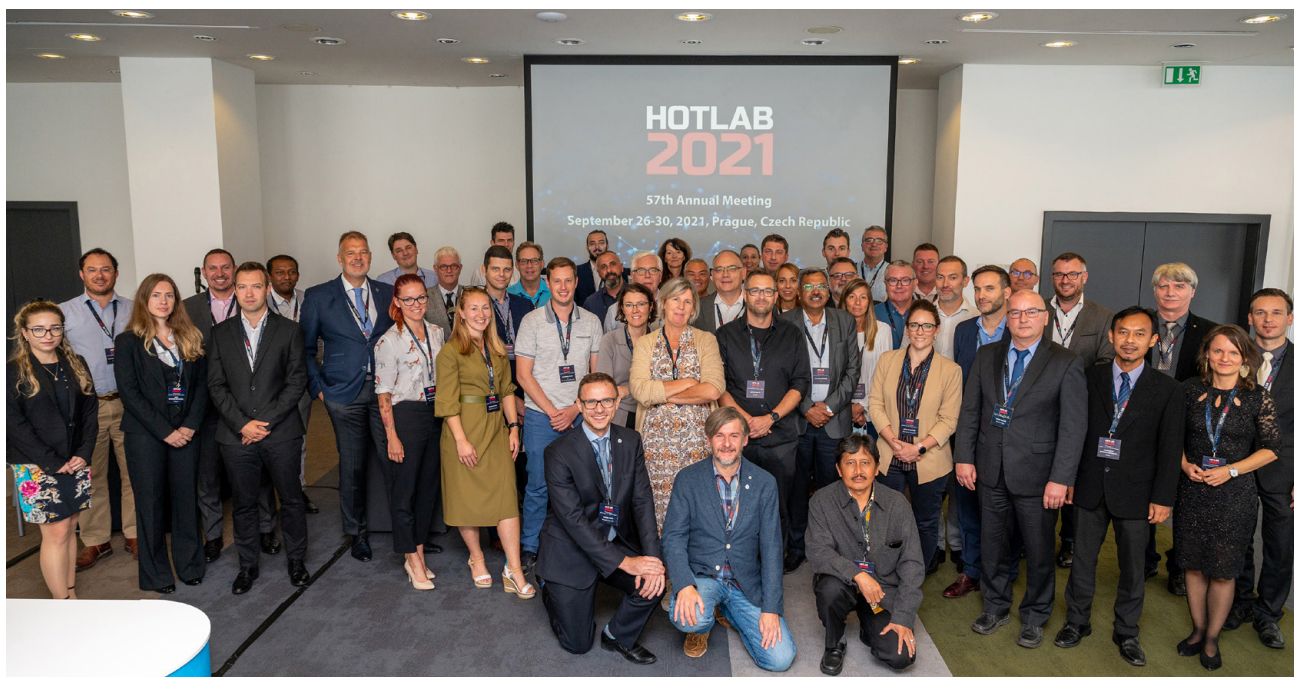
Ve dnech 26. 9. až 29. 9. 2021 se v pražském hotelu Vienna House Diplomat konala mezinárodní konference HOTLAB 2021 věnovaná horkým komorám a práci s ozářenými vzorky.

Letošní 57. ročník organizovaný Centrem výzkumu Řež byl poprvé realizován hybridní

formou a přivítal více než 120 prezenčních a online účastníků z celkem 19 zemí světa.

V příštím roce se konference HOTLAB uskuteční ve Velké Británii.

Michal Šafránek



Aktuality

Spomienka na Jozefa Valoviča

Dňa 18. 7. 2021 nás vo veku 79 rokov opustil náš priateľ, člen Slovenskej nukleárnej spoločnosti (SNUS) Ing. Jozef Valovič. Na poslednú rozlúčku na trnavskom cintoríne sa popri smútiacej rodine stretlo i viacero oblastí, v ktorých bol Jozef aktívny – skauti, hudobníci, záhradkári, maliari... no i my „jadrári“. Mal naozaj široký záber rôznych činností, prehľad i nadhľad a vedel ich tvorivo premietnuť aj do svojej práce, či pre Slovenské elektrárne alebo pre SNUS ako jej generálny sekretár (2005–2007). Na fotografii Jozefa Markuša, podpredsedu SNUS, odovzdáva svoju funkciu i pero generálneho sekretára SNUS Ing. Jurajovi Klepáčovi.

Patril ku generácií „zakladateľov jadra“ – tých, ktorí ešte stavali a spúšťali bohunickú A-1 (práve Jozef bol v čase prvej „kritikality“ na blokovej dozorni Áčka ako kontrolný fyzik). V tom čase to bola skupina mladých ľudí okolo tridsiatky, ktorí ďalej pokračovali na V-1, V-2, či prešli do Mochoviec a dnes majú okolo 80. Niektorí stále v myšlienkach touto prácou žijú. Podobne aj Jozef ešte pár dní pred svojou smrťou pracoval na elektronickej reedícii publikácie SNUS: Kto je kto v jadrovej energetike.

Silu a prínos tejto generácie si možno predstavíme, ak si uvedomíme ako sa vlastne formovala. Dostať sa na vtedajšiu Fakultu technické a jaderné fyziky (dnes Fakulta jaderná a fyzikálne inžinierská) ČVUT do Prahy sa podarilo možno jednému zo sto najlepších študentov. Pražské prostredie umocnené novou kultúrou (Semafor, Forman, Olympic...) i blížiacou sa „Pražskou jarou“ mladým Slovákom otvorilo oči i nové obzory. Kvalitná a náročná univerzita, vysoká spoločenská prestíž jadrového inžinierstva, ale i študentská komunikácia a súťaživosť posúvali týchto absolventov na najvyššiu úroveň. Po ich návrate domov (v tomto prípade do Jaslovských Bohuníc) to už boli možno jedni z tisíce a nie zo sto najlepších, ktorí mali potenciál posunúť Slovensko vpred.

Jozef Valovič bol však aj jeden z tých, ktorý tento potenciál plne využil. Spolu s ostatnými si musel poradiť okrem iného s výpočtami neutrónových tokov v reaktore, či automatizáciou ovládania zavážacieho stroja na výmenu paliva. Naučil sa šesť jazykov a získal si aj medzinárodné renomé ako námestník vrchného riaditeľa Moskovského centra WANO (World Association of Nuclear Operators).

Z práce, odvahy, nápadov i zodpovednosti tejto výnimočnej generácie my mladší dnes žijeme. Som rád, že som s Jozefom mohol pár rokov pre SNUS pracovať a niečo sa od neho naučiť.

Čeť jeho pamiatke!

Vladimír Slugeň
Predseda SNUS



Join us for the hybrid conference



October 21, 2021

**In the ÚJV Řež Conference Center
or live on the website www.susen2021.com**



The Conference SUSEN is the annual event organized by Research Centre Řež (Centrum výzkumu Řež s.r.o.). This year edition is focused on thermonuclear fusion. Conference presentations will cover several aspects of fusion research and technologies. They will give an overview of different experimental facilities for fusion research and development, selected fusion technologies, nuclear waste strategy, development of sensors for fusion devices as well as education and training activities.

PROGRAMME

- 09:00 – 09:15 Welcome
- 09:15 – 10:00 Status of the COMPASS Upgrade Tokamak Project
Radomír Pánek (IPP CAS)
- 10:00 – 10:45 The IFMIF-DONES Project: Status and Near Future
Angel Ibarra (CIEMAT)
- 10:45 – 11:00 Coffee break
- 11:00 – 11:30 Fusion Waste Strategy and Waste Transportation Considerations
James Bromley (UKAEA)
- 11:30 – 12:00 Novel Magnetic Field Sensors for ITER and Future Fusion Reactors
Ivan Ďuran (IPP CAS)
- 12:00 – 12:30 HELCZA – High Heat Flux Facility for Testing ITER In-vessel Components
Richard Jílek (CVŘ)
- 12:30 – 13:30 Lunch break
- 13:30 – 14:00 EUROfusion R&D Activities on Tritium Extraction System and Pb-16Li Technologies of DEMO Reactor
Marco Utili (ENEA)
- 14:00 – 14:30 Development of Liquid Metal Technologies for Fusion Applications
Michal Kordač (CVŘ)
- 14:30 – 15:00 R&D on Instrumentation for Flowing Lithium-Lead for DEMO and ITER Fusion Reactors
Alessandro Venturini (ENEA)
- 15:00 – 15:30 Fusion Education and Training Opportunities at Czech Technical University in Prague
Jan Mlynář (FNSPE CTU)
- 15:30 – 16:00 Perspective Dust Detritiation Techniques for DEMO Plant
Anna Černá (CVŘ)
- 16:00 – 16:20 Elemental and Isotopic Analysis of Dust Particles Created in Fusion Devices
Jan Lorinčík (CVŘ)
- 16:20 – 16:30 Conclusion and adjourn

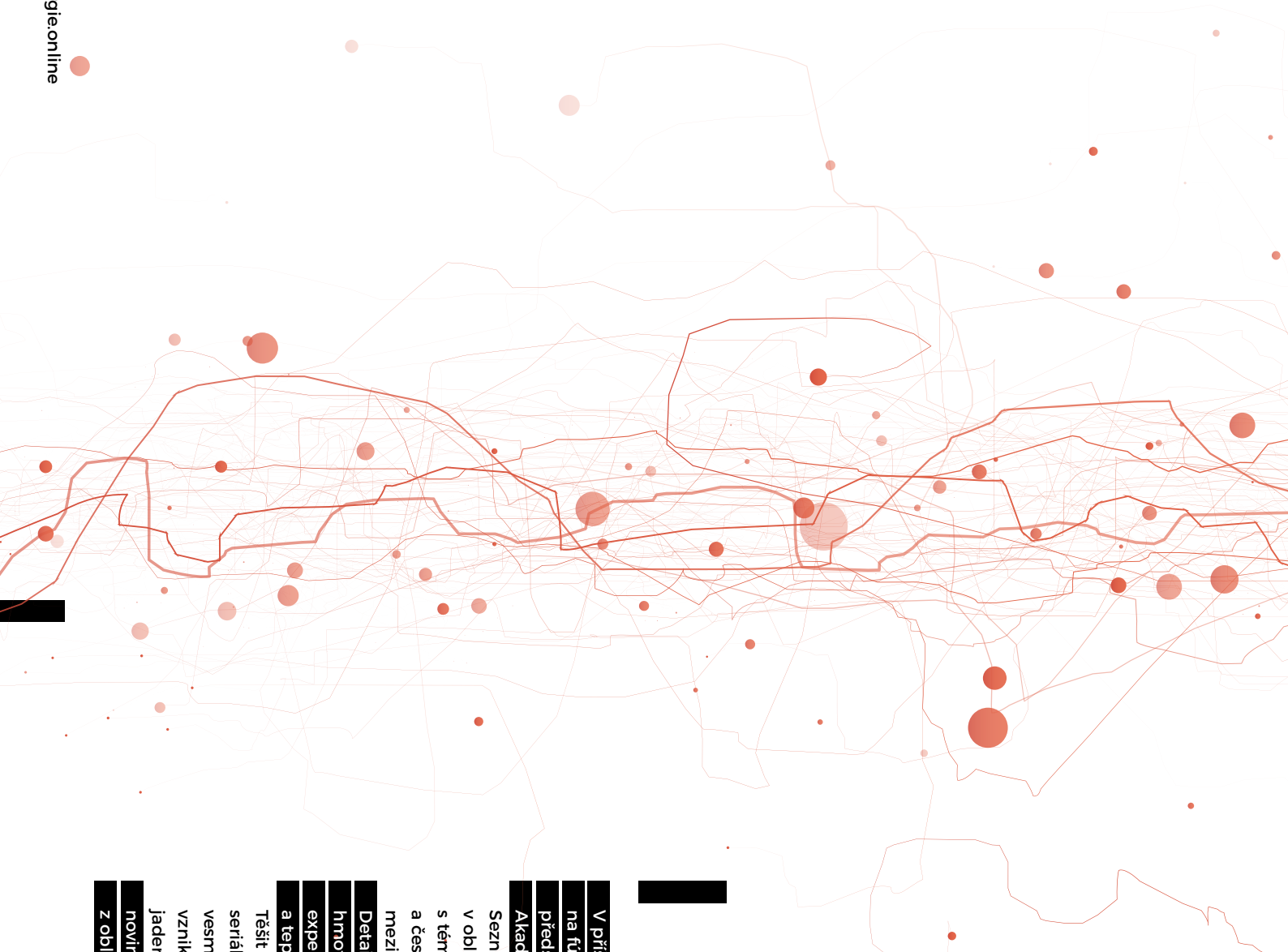


EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE



EUROPEAN UNION
European Structural and Investment Funds
Operational Programme Research,
Development and Education





V příštím čísle zaměřením
na fúzní technologie vám
představíme Ústav fyziky plazmatu
Akademie věd České republiky.

Seznámíme vás s novými trendy
v oblasti termojaderné fúze,
s tématem spektrometrie
a českou stopou v projektu
mezinárodního tokamaku ITER.

Detailně se zaměříme na urychlovač
hmotnostního spektra RAMSES,
experimentální zařízení HELCZA
a tepelný oběh fúzní elektrárny.

Tešit se můžete na druhou část
seriálu o jaderných zdrojích pro
vesmír, další díl vzpomínek na
vznik a historii státního dozoru nad
jadernou bezpečností, legislativní
novinky a samozřejmě i na aktuality
z oblasti jaderné energetiky.