

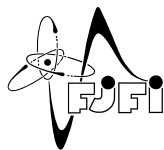


# XLI. Dny radiační ochrany

sborník abstraktů

Mikulov, Česká republika

4.-8. 11. 2019



Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze

Oddělení dozimetrie záření ÚJF AV ČR, v. v. i.

Česká společnost ochrany před zářením, z. s.

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.



## **Programový výbor:**

### **Marie Davídková**

Ludmila Auxtová  
Radoslav Böhm  
Helena Cabáneková  
Tomáš Čechák  
Tatiana Duranová  
Aleš Froňka  
Karol Holý  
Jiří Hůlka

Irena Koniarová  
Irena Malátová  
Denisa Nikodemová  
Darina Páleníková  
Karla Petrová  
Zdeněk Rozlívka  
Ivana Ženatá

## **Organizační výbor:**

### **Lenka Thinová**

Hana Bártová  
Radek Černý  
Marie Davídková  
Jan Hradecký  
Kamila Johnová  
Petra Kohoutová  
Ján Kubančák  
Dagmar Kyselová  
Anna Michaelidesová

Radim Možnar  
Kateřina Navrátilová Rovenská  
Kateřina Pachnerová Brabcová  
Radek Prokeš  
Petr Průša  
Václav Štěpán  
Tomáš Trojek  
Tomáš Urban  
Petra Vyletěllová

## **XLI. Dny radiační ochrany** **sborník abstraktů**

Editor	Václav Štěpán
Vydalo	České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze
Kontaktní adresa	Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Břehová 7, 115 19 Praha 1
Kontaktní osoba	Lenka Thinová, +420 607 729 178
Sazba	Václav Štěpán a Vít Zýka
Vydáno	Praha, listopad 2019, první vydání
Počet stran	142
ISBN	978-80-01-06650-8

Vážené kolegyně, vážení kolegové,

máte před sebou sborník abstraktů již XLI. konference Dny radiační ochrany. V letošním roce jsme se vrátili k osvědčenému programu bez paralelních sekcí. Novinkou jsou přehledové přednášky, které se nám díky ochotě našich předních odborníků podařilo začlenit do programu téměř všech odborných sekcí.

Na úterní podvečer jsme zařadili diskusní kulatý stůl na téma Etika v radiační ochraně. V pracovním životě se mnohdy setkáváme se situacemi, nad kterými se pozastavujeme a přemýšlíme, jak k nim správně přistupovat. Považujeme za užitečné takovéto případy diskutovat v širším okruhu kolegů a získat tak na věc náhled z různých úhlů pohledu. Úterní program zakončíme členskou schůzí České společnosti pro ochranu před zářením, z.s., na kterou zveme nejen členy společnosti, ale všechny účastníky konference.

Středeční program vyvrcholí společenským večerem, který začíná v 19 hodin. O úvodní slovo požádáme naše tradiční sponzory a vyhlásíme vítěze soutěže ČSOZ o nejlepší práci mladých kolegů v oboru radiační ochrany. Do soutěže bylo přihlášeno šest soutěžních prací a rozhodování hodnotící komise ve složení Helena Cabánková, Denisa Nikodémová, Irena Malátová a Tomáš Čechák nebylo nijak snadné.

Čtvrtek dopoledne jsme v programu vyčlenili na prohlídku Státního zámku Lednice a procházku v krásném zámeckém parku. Zájemci se mohou vydat i k umělé zříc-

nině Janova hradu ležící přibližně tři kilometry od zámku na březích Staré Dyje.

Čtvrteční program završíme večerním koncertem a divadelním představením. Zahrát nám přijede violoncellový soubor Solitutticelli Cello Ensemble z Brna. Poté bude následovat divadelní představení Návštěvní dny pod vedením Radima Možnara. Všichni, kdo naše studenty a kolegy již jako herce a zpěváky viděli v loňském roce Vám potvrdí, že tuto jedinečnou kulturní akci není možné promeškat.

Po skončení loňské konference se editorský tým ve složení Kateřina Pachnerová Brabcová, Marie Davídková, Kateřina Navrátilová Rovenská a Petr Průša vrhl na přípravu speciálního čísla časopisu Radiation Protection Dosimetry. Máme velkou radost, že bylo k publikaci přijato celkem 58 článků, které budou v nejbližší době otištěny ve speciálním trojčísle, věnovaném české a slovenské radiační ochraně. Chceme touto cestou poděkovat všem oponentům, kteří nám svými recenzemi pomohli vybrat a cennými radami zlepšit přijaté příspěvky.

Jménem programového a organizačního výboru Vám chceme popřát, aby se Vám i letošní Dny radiační ochrany líbily, abyste se dozvěděli novinky v oboru, potkali se se svými přáteli a kolegy a aby se všem, kteří budou přednášet o své práci poprvé, jejich příspěvek vydařil.

## Sponzoři

### Hlavní sponzoři

Canberra-Packard, s. r. o.

[www.cpce.net](http://www.cpce.net)



NUVIA a. s.

[www.nuvia.cz](http://www.nuvia.cz)



VF, a. s.

[www.vf.cz](http://www.vf.cz)



## Další sponzoři

CRYTUR, spol. s r. o.

[www.crytur.com](http://www.crytur.com)



GEORADIS s. r. o.

[www.georadis.com](http://www.georadis.com)



Ing. Petr Šimeček – RDS

[www.rdsys.cz](http://www.rdsys.cz)



ScienceTech s. r. o.

[sciencetech.cz](http://sciencetech.cz)



ÚJV Řež, a. s.

[www.ujv.cz](http://www.ujv.cz)



# Obsah

<b>Úvodní slovo</b> . . . . .	1
<b>Sponzoři</b> . . . . .	2

## Pondělí

### **Radiační ochrana v radiodiagnostice, radioterapii a nukleární medicíně – 7**

Odkud přicházíme a kam jdeme – aneb krátký průlet světem radiodiagnostiky <i>Lucie Sůkupová</i> . . . . .	19
MRDian Linac – ViewRay – Budoucnost radioterapie dostupná již nyní <i>Marek Češpivo</i> . . . . .	20
Implementace nového doporučení TRS 483 při nezávislých prověrkách SÚRO <i>Irena Koniarová, Ivana Horáková, Vladimír Dufek, Josef Novotný ml.</i> . . . . .	21
Predikce pozdní toxicity kritických orgánů po zevní radioterapii prostaty <i>Tomáš Kořánek, Irena Koniarová, Radka Lohynská, Anna Kindlová</i> . . . . .	22
New findings that will have an impact in future years on how we pursue radiation protection in medicine <i>Dušan Šalát, Kulich Miloslav, Olena Vasylyeva, Lenka Jánošíková, Andrej Klepanec, Denisa Nikodémová</i> . . . . .	23
Neurointerventionalist and patient doses in endovascular treatment of acute ischemic stroke <i>Dušan Šalát, Andrej Klepanec, Ján Haršány, Lenka Jánošíková, Viera Lehotská</i> . . . . .	24
Štúdia individuálnych a kolektívnych dávok pacientov pri vyšetreniach PET/CT v nukleárnej medicíne <i>Karol Böhm, Ivana Böhmová</i> . . . . .	25



Faktory prevodu monitorovaného $H_p(0,07)$ do miesta maximálneho ožiarenia pri manipulácií s rádiofarmakami značenými $^{18}F$ , $^{11}C$ a $^{68}Ga$ <i>Marko Fülöp, Jana Hudzietzová, Jozef Sabol, Pavol Ragan, Andrej Vondrák, Denisa Nikodemová, Lubica Foltínová</i> . . . . .	26
Výber vhodných pracovísk pre výkon mamografického skríningu v Slovenskej republike <i>Martina Horváthová, Denisa Nikodemová, Alena Kállayová</i> . . . . .	27
Robustnosť ozařovacích plánů <i>Vladimír Vondráček, Klára Badraoui-Čuprová, Matěj Navrátil, Michal Andrlík, Lubomír Zámečník, Jiří Kubeš, Jan Vilimovský, Simona Štastná</i> . . . . .	28
Aktivity skupiny WG9 EURADOS – Sekundární záření od protonového tužkového svazku ve vodním fantomu <i>Marie Davídková, Iva Ambrožová</i> . . . . .	29

**Plakátová sdělení**

Analýza radiačnej záťaže pacientov podstupujúcich neurointervencie využitím monoplane a biplane angiografického systému <i>Zuzana Bárdyová, Martina Horváthová, Denisa Nikodémová, Tibor Balázs</i> . . . . .	30
Využitie 3D tlače pre návrh antropomorfného fantómu <i>Zdenka Balogová, Lucie Sůkupová</i> . . . . .	31
Radiačná záťaž personálu pri vybraných ortopedicko-traumatologických vyšetreniach <i>Denisa Nikodemová, Lucia Andelová</i> . . . . .	32
Vliv použitého radiofarmaka na velikost korekčního faktoru <i>Jana Hudzietzová, Marko Fülöp, Jozef Sabol, Pavol Povinec, Daniel Baček, Andrej Vondrák, Lubica Foltínová</i>	33
Optimalizace použití $^{18}F$ -FDG pro detekci nádorů na preklinickém myším modelu <i>Lenka Vávrová, Adam Modrý, Pavla Francová, Mariana Veselá, Jan Pankrác, Luděk Šefc</i> . . . . .	34
Posúdenie rýchlosti evakuácie a motility žalúdka pomocou dynamickej scintigrafie <i>Darina Budošová, Martina Horváthová, Zuzana Bárdyová, Rastislav Hušťak</i> . . . . .	35
Systém hodnotenia rastových buniek mandibul v nukleárnej medicíne <i>Tatiana Pavlíková, Tereza Kráčmerová</i> . . . . .	36
Validace výpočtu dávkové distribuce na sCT obrazech generovaných z obrazů MR <i>Iva Brátová, Petr Paluska, Jakub Grepl, Petra Sýkorová, Jan Jansa, Miroslav Hodek, Igor Sirák, Milan Vošmik, Jiří Petera</i> . . . . .	37

Použití inverzní vícerozměrné kalibrace k vyhodnocení odezvy FeXo gelového dozimetru

*Václav Spěváček, Hana Bártová* . . . . . 38

## Úterý

### Radon a problematika přírodních radionuklidů – 8

Aktuální trendy a výzvy v oblasti výzkumu ozáření od radonu a jeho produktů přeměny ve vnitřním prostředí budov a na pracovištích <i>Aleš Froňka</i> . . . . .	39
Management radioaktivity v pitné vodě <i>Hana Procházková</i> . . . . .	40
Radón v termálnych vodách a termálnych kúpeľoch na Slovensku <i>Monika Müllerová, Karol Holý, Pavol Blahušiak</i> . . . . .	41
Kontinuální monitorování radonu ve vodě – analýza vlivu průtoku vody a vzduchu <i>Petra Vyletělová</i> . . . . .	42
Meranie objemovej aktivity radónu v pobytových priestoroch v Zázrivej <i>Iveta Smetanová, Andrej Mojzeš, František Marko, Kristian Csicsay</i> . . . . .	43
Rádiouhlík v pôdnom vzduchu – jeho variácie a exhalácia z pôdy <i>Karol Holý, Alexander Šivo, Monika Müllerová, Ivan Kontuľ, Marta Marta Richtáriková, Terézia Eckertová, Pavel Povinec</i> . . . . .	44
Vliv faktoru F na výpočet efektivní dávky pracovníků z inhalace produktů přeměny radonu na různých typech pracovišť <i>Eliška Fialová, Petr Otáhal, Josef Vošahlík, Ivo Burian</i> . . . . .	45
Identifikovanie oblastí so zvýšenou koncentráciou radónu v domoch pomocou preškálovaných máp radónového potenciálu – pilotná štúdia <i>Alžbeta Brisudová, Martin Bulko, Karol Holý, Monika Müllerová</i> . . . . .	46
Systém pro stanovení radonového indexu pozemku NuEM DORnIS <i>Lucie Fišerová, Tomáš Grísa, Lukáš Weiss, Jan Surý, Radek Pjatkan</i> . . . . .	47
Dávkové konverzní faktory a celoživotní riziko <i>Ladislav Tomášek, Nora Fenske, Paul Demers, Dominique Laurier</i> . . . . .	48
15 let radiouhlíkového datování v ČR <i>Ivo Světlík, Kateřina Pachnerová Brabcová</i> . . . . .	49

**Plakátová sdělení**

Rádiosenzitivita plicneho tkaniva na produkty premeny radónu  
*Radoslav Böhm, Antonín Sedlák, Karol Holý* . . . . . 50

Study of <sup>222</sup>Rn continuous monitoring time series and dose assessment in six European caves  
*Lenka Thinová, Fabrizio Ambrosino, Carlo Sabbarese, Miloš Briestenský* . . . . . 51

Stanovení aktivity přírodních radionuklidů, porovnání dovedností aktuálně používaných analytických metod  
*Alena Kelnarová, Šárka Maříková, Michal Fejgl* . . . . . 52

Měření se sondami TERA  
*Josef Voltr, Aleš Froňka, Jiří Hůlka, Karel Jílek, Lucie Vítková, Jindřich Brož, Petra Vyletělová, Eva Čermáková* . . . . . 53

Stanovenie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebnom materiáli  
*Attila Moravcsík, Mária Vojtková* . . . . . 54

Efektivní dávky na pracovištích s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření  
*Oldřich Tomášek* . . . . . 55

Komunikační strategie pro realitní trh v kontextu s radonem  
*Štěpánka Pšeničková, Marcela Berčíková, Hynek Novák, Ivana Fojtíková* . . . . . 56

Multi-kompartmentový přístup ke kvantifikaci objemové rychlosti přísunu zdrojů radon do budov s využitím měřené intenzity větrání pomocí techniky indikačních plynů  
*Michal Šesták, Karel Jílek* . . . . . 57

**Biologické účinky záření a zdravotní hlediska – 1**

Současná biologická dozimetrie: od chromosomů k vysokokapacitním metodám  
*Aleš Tichý, Gabriela Kultová, Helena Řehulková, Alena Myslivcová-Fučíková* . . . . . 58

Micro-scale and nano-scale complexity of DNA double-strand break repair foci induced by accelerated ions of similar LET  
*Martin Falk, Lucie Ježková, Michael Hausmann, Jin Ho Lee, Eva Pagáčová, Iva Falková, Olga Kopečná, Alena Bačíková, Stanislav Kozubek, Elizaveta Bobková, Evgeny Krasavin* . . . . . 59

Localization microscopy towards understanding of the impact of nano-topology of repair clusters after DNA radiation damaging  
*Michael Hausmann* . . . . . 60

Pondělí	Modelling biological effects of ionizing radiation at subcellular and cellular levels: Present status and future development of PARTRAC <i>Pavel Kundrát, Janine Becker, Markus Eidemüller, Werner Friedland</i> . . . . .	61
	Možné mechanizmy příznivého vlivu Rn koupelí <i>Antonín Sedlák</i> . . . . .	62
Úterý	Možnosti využití protonové fúzní reakce na boru v radioterapii <i>Anna Michaelidesová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Jana Klementová, Jana Vachelová, Vladimír Vondráček, Marie Davidková</i> . . . . .	63
	Reakce neurálních kmenových buněk na poškození způsobené ionizujícím zářením <i>Jana Klementová, Martina Žíková, Lukáš Cupal, Šárka Jarošová, Anna Michaelidesová, Jana Vachelová, Marie Davidková</i> . . . . .	64

**Plakátová sdělení**

Středa	Možnosti využití kvantifikace $\gamma$ H2AX/53BP1 foků jako potenciálního prediktivního markeru radiosenzitivity nádorů hlavy a krku – vyhodnocení souboru 40 pacientů <i>Olga Kopečná, Martin Falk, Iva Falková, Eva Pagáčová, Michal Masařík, Jaromír Gumulec, Zuzana Horáková, Alena Bačíková, Stanislav Kozubek</i> . . . . .	65
	Detection of chromosome translocations as an indicator of exposure ionizing radiation <i>Martina Juričková, Martina Horváthová, Zuzana Bárdyová</i> . . . . .	66
	Freezing and thawing cells to radiosensitize tumour cells <i>Iva Falková, Martin Falk, Olga Kopečná, Alena Bačíková, Eva Pagáčová, Martin Golan, Irena Kratochvílová</i> . . . . .	67
Čtvrtek	Studium oxidačního poškození DNA po ozáření pomocí voltametrie s využitím tištěných uhlíkových senzorů <i>Marcela Jeličová, Zuzana Šinkorová, Radovan Metelka</i> . . . . .	68
	Vztah mezi primární řasinkou a ionizujícím zářením u buněk plicního mezoteliomu <i>Alžběta Filipová, Marcela Jeličová, Zuzana Šinkorová</i> . . . . .	69
	Radiačne indukované poškodenie pľúc a nanočastice z kyseliny hyaluronovej <i>Anna Lierová, Jitka Kašparová, Jaroslav Pejchal, Klára Kubelková, Lucie Korecká, Zuzana Bílková, Zuzana Šinkorová</i> . . . . .	70
Pátek	Analýza cytotoxicity nanočástic <i>Eva Pagáčová, Olga Kopečná, Martin Falk, Iva Falková, Alena Bačíková</i> . . . . .	71

Indukce apoptózy v buňkách meduloblastomu při ozařování v klinických podmínkách na Leksellově gama noži Perfexion <i>Markéta Hurychová, Veronika Paštyková, Jana Vachelová, Jana Klementová, Marie Davidková, Josef Novotný, Roman Liščák</i> . . . . .	72
Transcriptome analysis of <i>Drosophila melanogaster</i> for candidate genes of ionizing radiation stress response <i>Mikhail Zarubin, Elena Kravchenko</i> . . . . .	73
Modelování časového vývoje prostorové konformace plasmidových molekul na atomární úrovni <i>Klára Stefanová, Martin Šeřfl, Václav Štěpán</i> . . . . .	74

**Středa**

**Radiační ochrana v jaderně-palivovém cyklu včetně havarijní připravenosti – 6**

Rozhodovanie v núdzových situáciách ožiarenia: úloha havarijnej pripravenosti, zvládnutie neurčitosti a spolupráca stakeholderov  
*Tatiana Ďúranová, Jiří Hůlka* . . . . . 75

Vliv měření na lokalizaci a odhad zdroje atmosférického úniku: demonstrace na případu úniku <sup>106</sup>Ru v roce 2017  
*Ondřej Tichý, Miroslav Hýža, Petr Kuča, Jan Helebrant* . . . . . 76

Volně dostupná cvičná radiační data pro mobilní a letecké skupiny  
*Jan Helebrant, Marcel Ohera* . . . . . 77

ESTE: Chemické formy jódu v úniku do atmosféry a ich vplyv na radiačné dopady  
*Ludovít Lipták, Peter Čarný, Eva Fojciková* . . . . . 78

ESTE Annual Impacts: Výpočet dávky na plod  
*Eva Fojcikova, Peter Čarný, Ludovít Lipták* . . . . . 79

Modernizácia radiačnej monitorovacej siete Slovenského hydrometeorologického ústavu  
*Terézia Melicherová* . . . . . 80

Zavedení sítě automatických monitorovacích stanic pro stanovení umělé gama aktivity v povrchových vodách na území České republiky  
*Michal Fejgl, Jan Kujan, Miroslav Hýža, Jan Surj* . . . . . 81

Využití kontaminované rostlinné biomasy v bioplynových stanicích  
*Jan Škrkal, Věra Záhorová, Jana Růžičková, Miroslav Kajan* . . . . . 82

**Plakátové sdělení**

International in-situ gamma spectrometry intercomparison exercise „Stráž 2019“  
*Irena Češpírová, Lubomír Gryc, Petr Koniar* . . . . . 83

Odhad radiačních dávek v prostorách hlavního výrobního bloku JE po havárii reaktoru  
*Tomáš Urban, Jaroslav Klusoň* . . . . . 84

Development of liquid certified reference material for nuclear decommissioning  
*Monika Mazánová* . . . . . 85

**Nakládání s radioaktivními odpady, vyřazování jaderných zařízení z provozu – 5**

Sanace ekologické zátěže na překladišti RAO

*Jakub Záruba* . . . . . 86

Zmeny v procese nakladania s RAO v SE, a. s. – procesná dokumentácia, evidencia, LaP

*Anna Tomášková, Jozef Lukačovič, Dušan Kusý, Pavel Lamprecht, Ján Bartko* . . . . . 87



## Všeobecné aspekty radiační ochrany a vzdělávání – 4

Profesionálne ožiarenie pracovníkov so zdrojmi žiarenia v Slovenskej republike v novom miléniu <i>Karol Böhm</i> . . . . .	88
Radiační riziko a jeho dopady: Důležitá role komunikace s veřejností <i>Jozef Sabol</i> . . . . .	89
Testování vybraných metod pro stanovení hodnoty podílu nefixovaného kontaminantu na vybraných površích městské infrastruktury <i>Josef Holeček, Petr Otáhal</i> . . . . .	90
Změny ve struktuře studijních oborů a programů na FJFI ČVUT v Praze <i>Tomáš Trojek, Lenka Thinová, Tomáš Vrba, Kamil Augsten, Dušan Kobylka, Jan Rataj, Miroslava Semelová</i>	91
Zkušenosti z implementace systému řízení podle požadavků atomového zákona na pracovištích III. kategorie Centra výzkumu Řež <i>Antonín Kolros, Jiří Neužil, Michal Moravec</i> . . . . .	92
<b>Plakátová sdělení</b>	
Monitorovanie radiačnej situácie v Slovenskej republike <i>Martina Dubníčková</i> . . . . .	93
Systém zdravotní péče pro ozářené při radiačních nehodách a role pracovišť nukleární medicíny v České republice <i>Tomáš Steinberger</i> . . . . .	94

## Čtvrtek

### Metrologie, měření a přístrojová technika – 3

Požadavky na odběrová zařízení vzorků výpustí z jaderně energetických zařízení: Opatření obecné povahy  
0111-OOP-C072-16

*Tomáš Soukup* . . . . . 95

Simulace mapování dávkového příkonu na povrch budovy bezpilotním systémem

*Tomáš Lázna, Petr Gábrlík, Tomáš Jílek, Luděk Žalud* . . . . . 96

Gama záření geologických objektů a jejich lokalizace radiometrickým měřením

*Ondřej Šálek* . . . . . 97

Inovativní metody detekce ultranízkých koncentrací radionuklidů k hodnocení zranitelnosti zdrojů pitné vody

*Fejgl Michal, Juranová Eva, Pařízek Ondřej, Sedlářová Barbora* . . . . . 98

Studium chemických pochodů v ozářeném polykarbonátu v kontextu možné využitelnosti pro integrující  
dozimetrii vysokých dávek

*David Zoul, Markéta Koplová, Vít Rosnecký, Martin Cabalka, Jan Kučera, Vladimír Strunga,  
Helena Štěpánková, Václav Římal, Josef Štěpánek, Marek Procházka, Mariia Zimina, Ondřej Libera* . . . . . 99

Detekce neutronů transmutačními detektory

*Ladislav Viererbl, Jan Lorinčík, Hana Assmann Vratislavská, Vít Klupák, Kristína Sihelská, Klára Řezanková* 100

Scintilační vlastnosti epitaxních filmů LuAG:Ce kodopovaných Mg, Ca a Ca+Si

*Petr Průša, Miroslav Kučera, Jiří A. Mareš, Martin Pokorný, Alena Beitlerová, Mamilla Rathaiah,  
Zuzana Lučeničová, Martin Nikl* . . . . . 101

Měření neutronových impulsů pomocí tekutých organických scintilátorů

*Jaroslav Jánský, Jiří Janda, Věra Mazánková, František Cvachovec* . . . . . 102

Laserem řízený zdroj TERESA

*David Horváth, Silvia Motta, Veronika Olšovcová, Vojtěch Stránský, Andrea Tsinganis, Roman Truneček,  
Roberto Versaci, Lorenzo Giuffrida, Daniele Margaroni* . . . . . 103

Dozimetrické vlastnosti BeO

*Zina Čemusová, Daniela Ekendahl* . . . . . 104

Neutronová odezva termoluminiscenčního albedo dozimetru

*Daniela Ekendahl, Zdeněk Vykydal, Michaela Kapuciánová* . . . . . 105

Application of track detectors in dosimetry  
*Andrei Zaitsev* . . . . . 106

**Plakátová sdělení**

Porovnávací měření přístrojů pro stanovení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu  
*Daniel Bednář, Petr Otáhal, Ivo Burian* . . . . . 107

Metody analýzy dat z letecké gama spektrometrie s využitím bezpilotních prostředků  
*Jaroslav Klusoň, Lenka Thinová* . . . . . 108

Studium využití směrové závislosti dvou-detektorového leteckého spektrometru pro identifikaci polohy zdrojů  
*Jaroslav Klusoň, Tomáš Urban, Lenka Thinová* . . . . . 109

Inovace postupů kontroly kvality odboru monitorování SÚRO  
*Michal Sloboda, Lenka Dragounová* . . . . . 110

Terénní monitor plošné kontaminace radioaktivních látek RT-58  
*Josef Vošahlík, Petr Otáhal* . . . . . 111

Porovnání kvality separace částic neutron/gama u organických scintilátorů  
*Aleš Jančář, Filip Mravec, Zdeněk Kopecký, Jiří Čulen, Zdeněk Matěj, Václav Přenosil, František Cvachovec, Michal Košťál* . . . . . 112

Sledovanie vybraných parametrov scintilačného detektora  
*Branislav Stríbrnský, Róbert Hinca* . . . . . 113

Metrologická podpora pro pokročilou radioterapii pulzními svazky s vysokou dávkou v pulzu  
*Jaroslav Šolc, Iva Ambrožová, David Chvátil, Jan Jakůbek, Silvia Motta, Cristina Oancea, Veronika Olšovcová, Jana Šmoldasová* . . . . . 114

Nová generace portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva  
*Lubomír Gryc, Anna Selivanová, Martina Vtelenská, Eva Čermáková* . . . . . 115

Nové materiály pro detektory neutronů a gama záření  
*Věra Mazánková* . . . . . 116

AGAMA – Software pro poletové vyhodnocení měření záření gama z leteckých prostředků  
*Marcel Ohera, Anna Selivanová, Lukáš Kotík, Irena Čespírová, Lubomír Gryc, Lukáš Skála, Tomáš Grísa, Petr Bohuslav, Pavel Jurza* . . . . . 117

Testování scintilačních detektorů v neutronovém poli výzkumného reaktoru LVR-15 <i>Hana Assmann Vratislavská, Michal Košťál, Zdeněk Matěj, Filip Moravec, František Chovanec, Martin Schulc, Vlastimil Juříček, Vojtěch Rypar, Jaroslav Šoltés, Evžen Losa, Ladislav Viererbl</i> . . . . .	118
Kalibrace ručních přístrojů pro měření kontaminace štítné žlázy v polních podmínkách <i>Ota Fišera, Jaroslav Kareš, Jaroslav Šolc</i> . . . . .	119
Vývoj a verifikace MC modelu ozařovací hlavice Terabalt a detektoru PhPix <i>Denis Dudáš, Ondřej Konček, Kateřina Peterková, Milan Semmler, Gordon Neue, Václav Vrba, Miroslav Havránek, Vladimír Kafka, Lukáš Tomášek</i> . . . . .	120

## Pátek

### Dozimetrie zevního a vnitřního ozáření – 2

Challenges to personal dosimetry in space

*Eric Benton* . . . . . 121

Využití detektorů Timepix pro vesmírný experiment Matroshka-III

*Marek Sommer, Iva Ambrožová, Martin Kákona, Satoshi Kodaira, Ondřej Ploc* . . . . . 122

Co to u všech hromů v těch bouřkách vlastně měříme?

*Ondřej Ploc, Iva Ambrožová, Eric Benton, Jakub Kákona, Martin Kákona, Dagmar Kyselová,  
Ronald Langer, Marek Sommer, Jakub Šlegl, Václav Štěpán* . . . . . 123

Měření odezvy pasivních detektorů na bleskový výboj v laboratorních podmínkách

*Dagmar Kyselová, Iva Ambrožová, Martin Kákona, Jan Mikeš, Marek Sommer, Václav Štěpán, Ondřej Ploc,  
Günther Reitz* . . . . . 124

Vliv aktuálních podmínek atmosféry na model ionizace kosmickým zářením

*Jakub Šlegl, Jana Minářová, Zbyněk Sokol, Ondřej Ploc* . . . . . 125

Měření Regenerova-Pfotzerova maxima pomocí balónů

*Martin Kákona, Iva Ambrožová, Eric Benton, Jakub Kákona, Dagmar Kyselová, Jakub Šlegl,  
Marek Sommer, Václav Štěpán, Pavel Kovář, Martina Lužová, Jiří Záhora, Jakub Kanděra, Lenka Thinová,  
Martin Povišer, Pavel Krist, Jiří Hovorka, Ondřej Ploc, Günther Reitz, pes Fík* . . . . . 126

Jaderné emulze a jejich srovnání s jinými stopovými detektory používanými v osobní neutronové dozimetrii

*Martina Lužová, Andrei Zaitsev, Věra Bradnová, Ondřej Ploc, Pavel Zarubin* . . . . . 127

Monitorovanie expozície očnej šošovky pracovníkov JE v poliach neutrónov a gama žiarenia

*Marko Fülöp, Boris Remenec, Jozef Frtús, Pavol Chylý, Dušan Solivajs, Pavol Ragan, Lubica Foltínová* . . . . 128

Vývoj metody in vitro skúšok s materiálmi v súvisi s profesijnou vnútornou kontamináciou vrátane materiálov z pracovísk NORM

*Ivan Hupka, Věra Bečková* . . . . . 129

### Plakátová sdělení

Instalace a výzkum vlastností skenovacího celotělového počítače v SÚRO

*Vendula Rovenská, Pavel Fojtík* . . . . . 130

Monitorovanie ekvivalentnej dávky v očnej šošovke <i>Dušan Solivajs, Andrea Simčaková</i> . . . . .	131
Dozimetrie oční čočky – půlroční praktické zkušenosti ze tří intervenčních pracovišť Fakultní nemocnice Královské Vinohrady <i>Zdeněk Zelenka, Tomáš Steinberger</i> . . . . .	132
Dozimetrie oční čočky v ČR. Srovnávací měření. <i>Jana Tamášová, Lenka Siková, Radek Černý, Tomáš Čechák, Miluše Budayová, Zdeněk Zelenka, Jiří Studený, Jiří Martinčík, Josef Novotný</i> . . . . .	133
První zkušenosti s terénním měřením během bouřek pomocí spektrometru gama RT-51B <i>Iva Ambrožová, Eric Benton, Jakub Kákona, Martin Kákona, Dagmar Kyselová, Günther Reitz, Marek Sommer, Jakub Šlegl, Václav Štěpán, Ondřej Ploc</i> . . . . .	134
<b>Rejstřík</b> . . . . .	135

# Odkud přicházíme a kam jdeme – aneb krátký průlet světem radiodiagnostiky

Lucie Súkupová

Institut klinické a experimentální medicíny, Vídeňská 1958/9, Praha 4, 140 21, ČR

[lucie.sukupova@gmail.com](mailto:lucie.sukupova@gmail.com)

Od prvního použití rtg záření pro diagnostické účely došlo k mnoha technickým pokrokům, avšak modalita s použitím rtg záření jsou pro svou rychlost stále metodou první volby u mnoha indikací. I proto je každoročně v ČR provedeno více než 15 milionů vyšetření s použitím ionizujícího záření, a toto číslo každoročně narůstá. Za léta, kdy se rtg záření používá, samozřejmě došlo ke snížení dávek na jednotlivá vyšetření, v průměru 400×, a také se postupně začíná měnit klinická praxe, např. tím, že se upouští od použití ochranného stínění gonád při skiagrafickém vyšetření pánve. S použitím modernějších technologií, ke kterým

patří využívání expozičních automatik, se naopak použití ochranného stínění v primárním rtg svazku stává kontraproduktivním. V posledních dvou desetiletích došlo k velkému rozvoji miniinvazivních metod, zejména na poli skiaskopicky vedených výkonů. V současné době je možné provést výkony, o kterých se nám dříve ani nesnilo, např. transkatetrovou výměnu aortální chlopně, díky čemuž se pacient vyhne klasické kardiochirurgické operaci a dlouhé době rekonvalescence. V neposlední řadě se do radiodiagnostiky dostává i umělá inteligence, která by měla v mnohém zjednodušit klinickou praxi.

## MRDian Linac – ViewRay – Budoucnost radioterapie dostupná již nyní

Marek Češpivo

Canberra-Packard s. r. o., ČR

[m.cespivo@cpce.net](mailto:m.cespivo@cpce.net)

V roce 2004 začala firma ViewRay s vývojem radio-terapeutického ozařovače, který by spojoval léčbu fotonovým zářením s možností on-line sledování ozařovaného objemu a okolních struktur za pomoci zobrazení magnetickou rezonancí. Již v roce 2014 byl první pacient léčen na systému se třemi kobaltovými zdroji s použitím adaptivní radioterapie. V roce 2017 ViewRay opět posunul hranice radioterapie, když představil první a jediný lineární urychlovač navigovaný magnetickou rezonancí s možností adaptivního plánování a MRI gatingem. Od této chvíle až doposud bylo na více než 27 MRIDian systémech po celém světě adaptivně léčeno více než 5 000 pacientů.

Díky unikátně řešenému MLC kolimátoru a jistotě ozařování cílového objemu, získané z on-line zobrazení magnetické rezonance, lze eskalovat dávku na frakci a tím i výrazně zkrátit celkovou dobu léčby a zároveň snížit toxicitu na okolní tkáň. Vysoký kontrast měkkých tkání, adaptivní plánování a gating pak umožňují ozařovat i lokality, které by nebylo možno léčit konvenčními lineárními urychlovači.

První výsledky klinických studií na souborech pacientů, které byly léčeny adaptivní radioterapií na MRIDian systémech, ukazují jasný přínos této metody a dávají tak šanci i pacientům, pro které dříve neexistovala možnost léčby.



## Implementace nového doporučení TRS 483 při nezávislých prověrkách SÚRO

Irena Koniarová<sup>1</sup>, Ivana Horáková<sup>1</sup>, Vladimír Dufek<sup>1</sup>, Josef Novotný ml.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Nemocnice Na Homolce, Roentgenova 2, Praha 5, 150 30, ČR

[irena.koniarova@suro.cz](mailto:irena.koniarova@suro.cz)

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., provádí nezávislé prověrky na místě v radioterapii od roku 1996. Provádí jednak nezávislé prověrky ozařovačů, jednak nezávislé prověrky procesu radioterapie (end-to-end testy). Průběžně vyvíjí metodiky provádění a rozšiřuje typy ozařovačů, na kterých se prověrky provádějí. Zajímavou změnu v dozimetrii přineslo nové doporučení vydané IAEA-AAPM TRS 483. V příspěvku budou porovnány výsledky získané při dozimetrických měření dle TRS 483 se zaměřením na unikátní přístroje (Leksellův gama nůž, TomoTherapy) s využitím plastového scintilátoru Exradin W1, který se jeví jako vhodný nástroj pro dozimetrii malých a nestandardních polí, s výsledky

získanými při nezávislých prověrkách před vydáním nového doporučení. V doporučení TRS 483 se uvažují pouze statická pole. Protože plastový scintilátor Exradin W1 není nutné korigovat na efekty spjaté s měřením v malých polích, je možné jej využít pro ověření klinických plánů spjatých s pohybem svazku (např. při rotačních technikách), ačkoliv pro dozimetrii v klinických polích (plan class specific reference field) zatím žádné mezinárodní doporučení nebylo vydáno. Všechna měření budou porovnána s měřením ionizační komorou Semiflex (PTW) a A1SL (Standard Imaging). Představen bude přístup využití 3D tisku při tvorbě vhodných insertů pro detektor.

## Predikce pozdní toxicity kritických orgánů po zevní radioterapii prostaty

Tomáš Kořínek<sup>1,2,3</sup>, Irena Koniarová<sup>1,2,3</sup>, Radka Lohynská<sup>3</sup>, Anna Kindlová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>3</sup> Onkologická klinika 2. LF UK a FN Motol, V Úvalu 84, Praha 5, 150 06, ČR

[tomas.korinek@suro.cz](mailto:tomas.korinek@suro.cz)

Pozdní účinky projevující se u pacientů v řádu let po ozařování jsou charakterizovány veličinou NTCP (pravděpodobnost komplikace zdravé tkáně). Tu lze analyticky predikovat pomocí formulí, které využívají na vstupu kromě informací z dávkově-objemových histogramů také experimentálně stanovené parametry, které se liší dle sledovaných zdravotních komplikací, tzv. endpoints.

Cílem práce bylo nalezení vstupních parametrů pro Lyman-Kutcher-Burman a Källmanův model, s jejichž pomocí by bylo možné přesně predikovat reálnou četnost pozorované komplikace u kritických orgánů (rektum, močových měchýř) u pacientů léčených ve FN Motol s karcinomem prostaty externími svazky simultánním integrovaným boostem IMRT technikou v režimu 67,5 Gy/2,5 Gy/den na prostatu a 56,7 Gy/2,1 Gy/den na semenné vajíčky.

Předzpracovaná data vyexportovaná z plánovacího systému ve FN Motol byla přepočítána pro různé kombinace parametrů s cílem odhadnout citlivost konečných veličin na variabilitě těchto vstupních parametrů na jejich konfidenč-

ních intervalech. Výsledky byly porovnány s dostupnými informacemi o pozorované toxicitě rekta a močového měchýře léčených pacientů. Pacientské informace byly získány formou plošného dotazníkového šetření čítajícího více než 500 respondentů.

Z analýzy vyplývá, že je možné najít trojice vstupních parametrů, které velmi přesně odhadují reálnou četnost pozorované komplikace, a sledovat citlivost NTCP při variování těchto parametrů. Validace setů parametrů pro klinické použití ve FN Motol nebyla možná, protože nebyla objevena závislost mezi dávkami obdrženyými pacienty a pozorovanou toxicitou kritických orgánů. Důvodem mohou být subjektivita v odpovědích respondentů, zdravotní komplikace se projevily dříve a nyní jsou léčení bez obtíží, vliv zdravotní kondice pacientů jako takové, věkem a různými follow-up mezi léčeními. Na druhou stranu nezávislost dávek na pozorovaných toxicitách potvrzuje kvalitní nastavení klinické praxe ve FN Motol.

# New findings that will have an impact in future years on how we pursue radiation protection in medicine

Dušan Šalát<sup>1</sup>, Kulich Miloslav<sup>1</sup>, Olena Vasylieva<sup>1</sup>, Lenka Jánošíková<sup>2</sup>, Andrej Klepanec<sup>2</sup>, Denisa Nikodémová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav radiačnej ochrany s. r. o., Staničná 1062/24, Trenčín, 911 05, SR

<sup>2</sup> Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, Námestie J. Herdu 577/2, Trnava, 917 01, SR

<sup>3</sup> Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

[dusansalat@me.com](mailto:dusansalat@me.com)

It is generally known that ionising radiation can trigger both deterministic and stochastic effects. Deterministic effects occur only above the threshold value of a dose. There is no threshold value for stochastic effects. The aim of radiation protection is to prevent reliably the deterministic effects of radiation and to reduce the risk of stochastic effects to a reasonably achievable level. The dose limit values are set so that deterministic effects are ruled out. In order to keep the risk of stochastic damage from ionising radiation as low as possible, three general principles have been set out in radiation protection for dealing with ionising radiation: Justification, Optimisation and Limitation. Every new application of ionising radiation must be justified in advance. The legal requirement for justification means that new activities are permitted only when they are associated with a reasonable benefit for the individual and for society. In medicine, where ionising radiation is used for diagnostic and therapeutic purposes, we speak of the justifying indication.

The concept of benefit-risk (justification) assessment has often been propagated for clinical professionals for deciding the radiological exam for the patient. The purpose of this article is to bring forth questions which have remained unanswered for several decades. These questions pertain to our inability to provide needed information to physicians for making benefit-risk assessment for deciding a frequent imaging modality like the computed tomography (CT) such as non-applicability of risk estimates to an individual patient, the concept of cumulative risk at low doses, accounting for the time gap between series of CT scans, risk variation with age, gender and disease condition. In the absence of concrete information on these, it becomes essentially benefit assessment rather than benefit-risk. The article also provides a motivation to think that there are a large number of patients getting exposed every year to radiation doses over 100 mSv of effective dose and several tens of mGy of organ doses.

# Neurointerventionalist and patient doses in endovascular treatment of acute ischemic stroke

Dušan Šalát<sup>1</sup>, Andrej Klepanec<sup>2</sup>, Ján Haršány<sup>2</sup>, Lenka Jánošíková<sup>2</sup>, Viera Lehotská<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav radiačnej ochrany s. r. o., Staničná 1062/24, Trenčín, 911 05, SR

<sup>2</sup> Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, Námestie J. Herdu 577/2, Trnava, 917 01, SR

<sup>3</sup> Onkologický ústav sv. Alžbety s. r. o., Heydukova 10, Bratislava, 812 50, SR

[dusansalat@me.com](mailto:dusansalat@me.com)

**Purpose:** The number of endovascular procedures for acute ischemic stroke has increased rapidly in recent years. Limited data are available regarding patient and neurointerventionalist radiation doses during neurointerventional stroke thrombectomies. The aim of this study was to evaluate the neurointerventionalist doses on the basis of real-time dosimetry and the patient radiation dose levels during endovascular treatment of acute ischemic stroke, and to analyse potential predictive factors affecting these doses.

**Materials and methods:** From October 2017 to January 2019, we prospectively collected radiation data from 179 endovascular thrombectomies for acute ischemic stroke with large vessel occlusion, which were performed in a comprehensive stroke centre, and then conducted retrospective analysis. The following patient radiation dose data were prospectively collected: total dose area product (DAP), cumulative air kerma (Ka, r), fluoroscopy DAP, fluoroscopy

dose, acquisition radiography DAP, acquisition radiography dose, fluoroscopy time and number of images. Data from real-time dosimetry from each endovascular thrombectomy from two neurointerventionalists per case were retrospectively analysed.

**Results:** The mean total DAP in thrombectomy procedures was  $26.46 \pm 16.93$  Gy cm<sup>2</sup> and the cumulative air kerma was  $198.99 \pm 148.06$  mGy. In real time dosimetry, the mean neurointerventionalist dose for thrombectomy procedure was  $7.69 \pm 7.38$  μSv.

**Conclusion:** Knowledge of the neurointerventionalist stroke doses during endovascular therapy for acute ischemic stroke can help in optimising staff radiation protection during mechanical thrombectomies. Baseline NIHSS, puncture to recanalisation, number of passes and fluoro time were independent factors affecting neurointerventionist doses.

# Štúdia individuálnych a kolektívnych dávok pacientov pri vyšetreniach PET/CT v nukleárnej medicíne

Karol Böhm, Ivana Böhmová

Odbor ochrany zdravia pred žiarením, Úrad verejného zdravotníctva SR, Trnavská ulica 52, P.O.BOX 45, Bratislava, 826 45, SR

[karol.bohm@uvzsr.sk](mailto:karol.bohm@uvzsr.sk)

Úrade verejného zdravotníctva Slovenskej republiky v rámci svojej odbornej činnosti sleduje a hodnotí v rámci SR veľkosť ožiarenia pacientov pri lekárskom ožiarení. Cieľom tejto štúdie bolo stanoviť počty jednotlivých druhov PET/CT vyšetrení vykonávaných v nukleárnej medicíne v SR, stanoviť priemerné aktivity a typy rádiofarmák aplikovaných pacientov pri vyšetreniach, stanoviť individuálne dávky pacientov pri jednotlivých vyšetreniach, vypočítať priemerné dávky pre rôzne PET/CT vyšetrenia v nukleárnej medicíne a určiť kolektívnu efektívnu dávku populácie v SR z PET/CT vyšetrení.

Pri stanovení individuálnych dávok pacientov sa vychádzalo z odporúčaní ICRP č. 80 a č. 106 (efektívna dávka z aplikovaných rádiofarmák) a odporúčania EU RP č. 154 (efektívna dávka z CT). V Slovenskej republike je v prevádzke 12 kliník a oddelení nukleárnej medicíny, na ktorých je v prevádzke 7 pracovísk PET. Ročne sa v SR vykoná na pracoviskách nukleárnej medicíny viac ako 42 000 vyšetrení (z toho počtu je 1 400 až 1 500 pediatrických pacientov).

Z celkového počtu vyšetrení v NM predstavujú približne ¼ PET vyšetrenia. Najviac PET/CT vyšetrení sa vykonáva pri diagnostike nádorových ochorení a pri vyšetrení mozgu (približne 10 000 ročne). Počet vykonaných PET/CT vyšetrení má v posledných rokoch stúpajúcu tendenciu a zvyšuje sa aj typ vykonávaných vyšetrení a druh používaných PET rádiofarmák.

PET/CT vyšetrenia predstavujú v rámci diagnostiky v nukleárnej medicíne skupinu vyšetrení spojených s pomerne vysokou dávkou pre vyšetřovaného pacienta. Priemerná dávka pacienta pri PET/CT vyšetrení bola 14,5 mSv. Kolektívna dávka pacientov z PET/CT vyšetrení v Slovenskej republike v posledných rokoch je vyššia ako 140 man.Sv a predstavuje viac ako 40 % z celkovej kolektívnej efektívnej dávky pacientov z vyšetrení metódami nukleárnej medicíny v SR, čo je výrazne vyššie ako v ostatných krajinách Európskej únie (priemer v Európskej únii je 8,5 %). Priemerná ročná efektívna dávka z PET/CT vyšetrení na jedného obyvateľa Slovenskej republiky je 0,028 mSv.

## Faktory prevodu monitorovaného $H_p(0,07)$ do miesta maximálneho ožiarenia pri manipulácii s rádiofarmakami značenými $^{18}\text{F}$ , $^{11}\text{C}$ a $^{68}\text{Ga}$

Marko Fülöp<sup>1</sup>, Jana Hudzietzová<sup>2</sup>, Jozef Sabol<sup>3</sup>, Pavol Ragan<sup>4</sup>, Andrej Vondrák<sup>5</sup>, Denisa Nikodemová<sup>1</sup>,  
Lubica Foltínová<sup>6</sup>

<sup>1</sup> FVZ, SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>2</sup> FBMI, ČVUT v Praze, nám. Sítná 3105, Kladno, 272 01, ČR

<sup>3</sup> PAČR v Praze, Lhotická 559/7, Praha 4 – Kamýk, 143 00, ČR

<sup>4</sup> ABRS, s. r. o., Pomlejská 106, Šamorín, 931 01, SR

<sup>5</sup> IZOTOPCENTRUM, s. r. o., Rázusova 805/24, Nitra, 949 01, SR

<sup>6</sup> EU v Bratislave, Dolnozemska cesta 1/b, Bratislava, 852 35, SR

[marko.fulop@gmail.com](mailto:marko.fulop@gmail.com)

Na pracoviskách s PET sa popri rádiofarmakoch značených  $^{18}\text{F}$  zavádzajú nové rádiofarmaká značené rádionuklidmi  $^{11}\text{C}$  a  $^{68}\text{Ga}$ . Na ich okolí je síce rovnaké gama pole o energií 511 keV, ale emitujú pozitrony s vyššou energiou. Cieľom príspevku je na vybraných úkonoch ukázať vplyv rozdielnosti energie emitovaných pozitronov na faktory prevodu monitorovaného  $H_p(0,07)$  do miesta maximálneho ožiarenia kože na rukách. Pri príprave alebo podaní rádiofarmák prebieha množstvo úkonov, ktoré rôznym dielom prispievajú do ožiarenia kože na rukách. Pri experimentálnych meraniach sa tieto príspevky integrujú a je komplikované ich dekonvolovať, aby sa zistili príspevky jednotlivých úkonov manipulácie. Z toho dôvodu bola zvolená metóda Monte Carlo výpočtov. V práci sa MC kódom MCNP simulovali voxelové fantómy rúk modelujúce tri úkony: manipulácia s vialkou naplnenou rádiofarmakom, pridržovanie infúznej trubičky naplnenej rádiofarmakom a podanie rádiofarmak netienenou injek-

ciou. Počítali sa hodnoty  $H_p(0,07)$  pre lokalitu prstového monitora umiestneného na koreňoch ukazováka, prostredníka a prstenníka a pre bruško ukazováka. Hodnota korekčného faktoru prepočtu  $H_p(0,07)_{\text{prst}}$  určeného na koreni prstu na hodnotu  $H_p(0,07)_{\text{bruško}}$  bruško v mieste bruška ukazováka sa vypočíta ako pomer  $H_p(0,07)_{\text{bruško}}/H_p(0,07)_{\text{prst}}$ . Hodnoty korekčného faktoru sa pre jednotlivé rádionuklidy a úkony odlišovali. Najväčší vplyv sa zistil pri manipuláciách s rádiofarmakom značeným  $^{68}\text{Ga}$ . Na príklade novo zavádzaných pozitronových rádiofarmák značených  $^{11}\text{C}$  a  $^{68}\text{Ga}$  pri manipuláciách s vialkou, infúznou trubičkou a injekčnou striekačkou sa preukázala potreba pre každý nový druh pozitronového rádiofarmaka a prípadne aj pre nový spôsob manipulácie s rádiofarmakom preveriť korekčné faktory buď pomocou experimentálnych meraní alebo MC simuláciami.

Tento príspevok vznikol pri čiastočnej podpore projektu SGS18/100/OHK4/1T/17.

# Výber vhodných pracovísk pre výkon mamografického skríningu v Slovenskej republike

**Martina Horváthová<sup>1,3</sup>, Denisa Nikodemová<sup>2,3</sup>, Alena Kállayová<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Katedra laboratórných vyšetrovacích metód v zdravotníctve, Fakulta zdravotníctva a sociálnej práce, Trnavská univerzita v Trnave, Univerzitné námestie 1, Trnava, 918 43, SR

<sup>2</sup> SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>3</sup> Komisia MZ SR pre zabezpečenie kvality v rádiológii, radiačnej onkológii a nukleárnej medicíne, MZ SR, SR

[martina.horvathova@truni.sk](mailto:martina.horvathova@truni.sk)

Rada EÚ odporúča členským štátom implementáciu skríningu karcinómu prsníka ako účinnú metódu cieľavedomého znižovania úmrtnosti na rakovinu prsníka vo svojom odporúčaní zo dňa 2. 12. 2003 (2003/878/EC). Mamografický skrínig bol postupne implementovaný takmer vo všetkých krajinách Európy, no napriek značnému úsiliu odborníkov, v SR neboli vytvorené podmienky pre jeho zavedenie. Krajiny ako Švédsko, Holandsko a Veľká Británia majú za sebou desaťročia skúseností so skrínigom rakoviny prsníka. Ich skúsenosti pri budovaní a prevádzke skrínigových programov s garanciou kvality boli použité v odporúčaní EÚ, ktoré boli po prvý krát vydané v roku 1991. Podrobné odporúčania pre implementáciu skrínigového mamografického programu, ktoré sú obsahom Európskych Smerníc pre zabezpečenie kvality pri mamografickom skrínigu (6. vydanie z roku 2014), boli podkladom pre vypracovanie štandard-

ného postupu MZ SR, ktorého dôležitou súčasťou je definovanie kompetencií a klinickej zodpovednosti za odôvodnenie, fyzikálno-technické prevedenie a správne klinické hodnotenie lekárskeho ožiarenia. Súčasťou Štandardného diagnostického postupu pre skrínigovú mamografiu sú Kritériá a indikátory pre výber pracovísk pre výkon mamografického skrínigu v SR, ktoré boli pripravené Komisiou MZ SR pre zabezpečenie kvality v rádiológii, radiačnej onkológii a nukleárnej medicíne.

Mamografické pracovisko, ktoré má záujem byť zaradené do skrínigového programu musí byť preverené členmi pracovnej skupiny odborníkov na základe kritérií a indikátorov uvedených v štandardných rádiologických postupoch. Príspevok pojednáva o doterajších skúsenostiach a výsledkoch pracovnej skupiny, ktoré nadväzujú na zahraničné, ale predovšetkým české úspechy skrínigovej mamografie.

## Robustnost ozařovacích plánů

**Vladimír Vondráček, Klára Badraoui-Čuprová, Matěj Navrátil, Michal Andrlík, Lubomír Zámečník, Jiří Kubeš,  
Jan Vilimovský, Simona Šťastná**

Oddělení klinické fyziky, PTC Czech, Budínova 1a, Praha 8, 180 00, ČR

[vladimir.vondracek@ptc.cz](mailto:vladimir.vondracek@ptc.cz)

Protonová radioterapie prováděná pomocí metody IMPT (Intensity Modulated Proton Therapy) a technologií PBS (Pencil Beam Scanning) umožňuje dosahovat velmi konformního ozáření cílového objemu a vynikajícího chránění kritických struktur a rovněž významného snížení integrální dávky (celkového objemu ozářené tkáně). Díky fyzikálním vlastnostem protonového svazku je možné při ozáření získat ostré dávkové gradienty. Cenou za tyto výhody je citlivost ozařování vůči jakýmkoliv změnám v geometrii pacienta oproti plánovacímu CT. Tato citlivost je většinou nazývána pojmem robustnost a většinou je zjišťována výpočtem perturbovaných plánů vůči nominálnímu ozařovacímu plánu. Simulovány jsou posuny ve všech směrech a případně i kombinace těchto posunů. Nejistota dosahu (range uncertainty) je simulována posunem kalibrační křivky CT o 3,5 % všech hodnot. Celkem tedy vznikne několik desítek ozařovacích

plánů, které je třeba posoudit a na jejich základě učinit klinické rozhodnutí, zda plán je dostatečně robustní a může být klinicky použit. Nejkonzervativnějším přístupem je tzv. Worst Case Scenario. Z množiny všech plánů se vybere ten nejméně výhodný (tedy s nejvyšší zátěží kritických orgánů) a pokud i tento plán splňuje požadavek na toleranční dávky, je plán schválen k použití. Zpravidla je takový plán ale málo radikální a nese s sebou i nejhorší pokrytí cílových objemů. Cílem této práce je tedy zavést postup, který robustnost daného plánu bude kvantifikovat z pohledu pravděpodobnosti realizace jednotlivých scénářů a umožní vybrat plán, který by byl při Worst Case Scenario přístupu zamítnut, ale poskytuje lepší pokrytí cílového objemu a zvyšuje tak (za cenu akceptovatelného rizika na kritické orgány) pravděpodobnost kontroly onemocnění.



# Aktivity skupiny WG9 EURADOS – Sekundární záření od protonového tužkového svazku ve vodním fantomu

Marie Davidková, Iva Ambrožová

Oddělení dozimetrie záření, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

davidkova@ujf.cas.cz

Ozáření zdravých tkání pacienta v důsledku rozptýleného záření během radioterapie je v poslední době intenzivně studováno v důsledku možného rizika vyvolání sekundárních rakovin. V praxi jsou nežádoucí dávky v orgánech vzdálených od cílového objemu do značné míry závislé na technice ozařování a mohou být způsobeny sekundárními neutrony a gama zářením, ale i rozptýlenými nabitými částicemi. V protonových terapeutických jednotkách s technikami dvojitého rozptylu vzniká významná neutronová složka v částech ozařovače před výstupem svazku (Bonfrate et al 2016, Phys. Med. 32:590–599, Stolarczyk et al 2011, Radiat. Measur. 46: 1944–1947). To je výrazně sníženo u techniky aktivního skenování protonovým svazkem, kde je většina sekundárního záření generována v interakcích protonů s tělem pacienta.

V rámci mezinárodního experimentu skupiny WG9 EURADOS bylo provedeno systematické 3D mapování dávek mimo cílový objem při ozařování terapeutickým aktivním skenovacím svazkem protonů ve vodním fantomu o rozměrech  $300 \times 300 \times 600 \text{ mm}^3$ . Pro měření byly použity pasivní termoluminiscenční detektory (TLD): MTS-7 ( ${}^7\text{LiF}$ : Mg, Ti), MTS-6 ( ${}^6\text{LiF}$ : Mg, Ti),

MTS-N ( ${}^{\text{nat}}\text{LiF}$ : Mg, Ti) a TLD-700 ( ${}^7\text{LiF}$ : Mg, Ti), radiofotoluminiscenční (RPL) detektory GD-352M a GD-302M, a stopové detektory v pevné fázi (polyallyldiglykol karbonát, PADC,  $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$ ). Dávky od neutronů a gama záření byly experimentálně stanoveny ve 200 vybraných místech ve fantomu spolu se spektry lineárního přenosu energie. Experimentální měření byly doplněny Monte Carlo simulacemi spekter neutronů a fotonů s využitím kódu Geant4. Pro cílový objem  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$  (rozšířený Braggův pik s modulací 100 mm) byly dávky od fotonů podél hlavní osy fantomu kolmé na primární svazek přibližně 0,5 mGy/Gy ve vzdálenosti 100 mm a 0,02 mGy/Gy ve vzdálenosti 300 mm od středu cílového objemu. Pro neutrony byly zjištěny odpovídající hodnoty dávkového ekvivalentu 0,7 respektive 0,06 mSv/Gy. Naměřené dávky od neutronů byly srovnatelné s dávkami mimo cílový objem při obdobném experimentu s 20 MV rentgenovým zářením, zatímco dávky od fotonů byly pro aktivní skenovací protonový paprsek až o tři řády nižší (Stolarczyk et al 2018, Phys. Med. Biol. 63(8): 085017).

# Analýza radiačnej záťaže pacientov podstupujúcich neurointervencie využitím monoplane a biplane angiografického systému

Zuzana Bárđyová<sup>1</sup>, Martina Horváthová<sup>1</sup>, Denisa Nikodémová<sup>2</sup>, Tibor Balázs<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trnavská univerzita v Trnave, Fakulta zdravotníctva a sociálnej práce, Univerzitné námestie 1, Trnava, 918 43, SR

<sup>2</sup> Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>3</sup> CINRE, Tematínska 5/a, Bratislava, 851 05, SR

[zuzanabardyova@gmail.com](mailto:zuzanabardyova@gmail.com)

Analýza radiačnej záťaže na oddeleniach intervenčnej rádiológie patrí medzi najaktuálnejšie trendy radiačnej ochrany. Štandardne sa v intervenčnej rádiológii využíva jednorovinový angiografický systém, tzv. monoplane. K najmodernejšiemu prístrojovému vybaveniu pracovísk intervenčnej rádiológie patrí dvojrovinový angiografický systém, tzv. biplane, ktorý predstavuje inovatívne angiografické zariadenie, slúžiace na vysoko kvalitnú a podrobnú diagnostiku. Biplane rozširuje možnosti diagnostiky a liečby vaskulárnych a neurovaskulárnych ochorení, vrátane mozgovej príhody, aneuryzmy a periférnych arteriálnych ochorení. Zatiaľ čo, monoplane, sa štandardne využíva pri uskutočňovaní angiologických výkonov (perkutánna transluminálna angioplastika; digitálna subtrakčná angiografia; renovaskulárne a viscerálne intervencie; endovaskulárna liečba akútnej, chronickej a kritickej končatinovej ischémie, ...), biplane sa vy-

užíva pri neurologických výkonoch (endovaskulárna liečba; karotický stenting; embolizácia artériovenózných malformácií; endovaskulárna liečba krvácajúcich a nekrvácajúcich mozgových aneuryzmiem, ...). Jeho hlavnou výhodou je, že poskytuje intervenčnému rádiológovi obraz v reálnom čase v dvoch vzájomne odlišných rovinách, ako napr. posteroanteriórne a laterárne projekcie, pričom sa tieto roviny môžu počas výkonu ľubovoľne meniť.

Hlavným cieľom štúdie bola analýza radiačnej záťaže pacientov podstupujúcich diagnostiku alebo terapiu extrakraniálnych a intrakraniálnych cievnych patológií (malformácie, aneuryzmy a zúženia IC tepien) využitím jednorovinového a dvojrovinového angiografického systému. Druhým cieľom bolo porovnanie výhod a nevýhod oboch systémov, vrátane množstva použitej kontrastnej látky počas intervenčného výkonu.

## Využitie 3D tlače pre návrh antropomorfného fantómu

Zdenka Balogová<sup>1</sup>, Lucie Súpová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> Institut klinické a experimentální medicíny, Vídeňská 1958/9, 140 21 Praha 4, ČR

[balogzde@fjfi.cvut.cz](mailto:balogzde@fjfi.cvut.cz)

3D tlač zaznamenáva za posledné roky veľký rozvoj a začína sa uplatňovať aj v medicíne. Táto práca sa zaoberá využitím 3D tlače v rádiodiagnostike, konkrétne návrhom antropomorfného fantómu, ktorý by slúžil na optimalizáciu zobrazovacích modalít. Cieľom práce je nájsť vhodné materiály, ktoré by simulovali vybrané orgány a tkanivá ľudského tela. Materiály sú hodnotené na základe ich schop-

nosti zoslabiť röntgenové žiarenie, teda na základe ich CT čísla. Tie, ktoré majú podobné CT číslo ako ľudské tkanivá, sú označené za tkanivovo – ekvivalentné a budú využité na tvorbu fantómu. Fantóm bude zostrojený na základe CT dát konkrétneho pacienta, preto sa práca na záver zaoberá aj metódou segmentácie.

# Radiačná záťaž personálu pri vybraných ortopedicko-traumatologických vyšetreniach

Denisa Nikodemová<sup>1</sup>, Lucia Andelová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Radiačná hygiena, SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>2</sup> Klinika úrazovej chirurgie (KÚCH), Nemocnica L. Dérera, Limbová 10, Bratislava, 830 00, SR

[denisa.nikodemova@szu.sk](mailto:denisa.nikodemova@szu.sk)

Ortopédi a traumatológovia sa v prípade akútnej traumy usilujú o zminimalizovanie invazívnosti chirurgických zákrokov k čomu využívajú výhody moderných fluoroskopických zariadení, ktoré umožňujú vykonávať procedúry s menším poškodením mäkkých tkanív a významne znížiť morbiditu pacientov.

Zdravotnícky personál je vystavený rozptýlenému žiareniu (prevažne od pacienta), ale často priamemu zväzku žiarenia na ruky, očné šošovky, štítnu žľazu a dolné končatiny.

Ako ukázal predbežný dotazníkový prieskum zdravotnícky personál traumatologických pracovísk podceňuje potenciálnu možnosť poškodenia zdravia v dôsledku ožiarenia a dodržiavanie zásad radiačnej ochrany. Nakoľko v SR existuje málo údajov o radiačnej záťaži zdravotníkov i pacientov

pri najfrekvencovanejších zákrokoch v traumatológii, rozhodli sme sa monitorovať ich veľkosť ožiarenia. V ďalšej štúdií bolo zahrnutých 16 traumatológov KÚCH, ktorí vykonávali ortopedické zákroky ( $n = 56$ ) za pomoci C-ramena. Sledovanými aspektmi u traumatológov boli ekvivalentná dávka pre štítnu žľazu, ekvivalentná dávka pre očné šošovky, používanie OOPP a pozícia počas vykonávaného zákroku. V skupine 56 pacientov boli pomocou TLD dozimetrie sledované absorbované dávky očných šošoviek a štítnej žľazy. V našej prezentácii poukážeme na radiačnú záťaž pri najfrekvencovanejších traumatologických vyšetreniach a pokus o optimalizáciu radiačnej ochrany vypracovaním zásad pre konkrétne traumatologické pracovisko v súlade s novou legislatívou RO.

## Vliv použitého radiofarmaka na velikost korekčního faktoru

Jana Hudzietzová<sup>1</sup>, Marko Fülöp<sup>2</sup>, Jozef Sabol<sup>3</sup>, Pavol Povinec<sup>4</sup>, Daniel Baček<sup>4</sup>, Andrej Vondrák<sup>5</sup>, Lubica Foltínová<sup>6</sup>

<sup>1</sup> FBMI, ČVUT v Praze, nám. Sítná 3105, Kladno, 272 01, ČR

<sup>2</sup> FVZ SZU, SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>3</sup> PAČR v Praze, Lhotická 559/7, Praha 4 – Kamýk, 143 00, ČR

<sup>4</sup> BIONT, a. s., Karloveská 2929/63, Bratislava, 842 29, SR

<sup>5</sup> IZOTOPCENTRUM, s.r.o., Rázusová 24, Nitra, 949 01, SR

<sup>6</sup> FPD EU v Bratislave, Dolnozemska cesta 1/b, Bratislava, 852 35, SR

[hudzijan@fbmi.cvut.cz](mailto:hudzijan@fbmi.cvut.cz)

V nukleární medicíně se používá celá řada radiofarmak. Při manipulaci s těmito radiofarmaky dochází k ozáření kůže ruky, které může být významné především u pozitronových radiofarmak. Především studie ukázaly, že velikost korekčního faktoru se může u jednotlivých pracovníků používající shodný radionuklid lišit. Na některých pracovištích s PET používají v poslední době kromě <sup>18</sup>F také nové radiofarmaka značená <sup>11</sup>C nebo <sup>68</sup>Ga. Cílem příspěvku je poukázat na možnost změny velikosti korekčního faktoru v případě, že je na stejném pracovišti používán kromě <sup>18</sup>F i jiný radionuklid.

Na vybraných pracovištích s PET, která používají i nová radiofarmaka značená <sup>68</sup>Ga, byly proto provedeny pilotní experimenty. U pracovníků provádějících přípravu a aplikaci radiofarmaka byly pomocí termoluminiscenčních dozimetrů stanoveny  $H_p(0,07)$  v předem definovaných místech ruky.

V příspěvku bude prezentován přehled předběžných výsledků monitorování ozáření kůže ruky pracovníků při manipulaci s novými radiofarmaky a rovněž bude poukázáno na eventuální odlišnosti ve velikosti korekčního faktoru oproti radiofarmakům značeným <sup>18</sup>F.

V případě zavedení příslušných korekčních faktorů, které by se z praktických důvodů vztahovaly na větší skupinu osob manipulujících s vybraným radiofarmakem, může být lépe odhadnuto ozáření kůže ruky a rovněž nastavena požadovaná optimalizace radiační ochrany na daném pracovišti, která by mohla vést ke snížení radiační zátěže rukou.

Tento příspěvek vznikl za částečné podpory projektu SGS18/100/OHK4/1T/17.

## Optimalizace použití $^{18}\text{F}$ -FDG pro detekci nádorů na preklinickém myším modelu

Lenka Vávrová<sup>1</sup>, Adam Modrý<sup>2</sup>, Pavla Francová<sup>2</sup>, Mariana Veselá<sup>2</sup>, Jan Pankrác<sup>2</sup>, Luděk Šefc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nemocnice Na Homolce, Roentgenova 2, Praha 5, 150 30, ČR

<sup>2</sup> Centrum pokročilého preklinického zobrazování, Salmovská 3, Praha 2, 120 00, ČR

[lenka.vavrova@homolka.cz](mailto:lenka.vavrova@homolka.cz)

Příspěvek se věnuje návrhu a optimalizaci zobrazovacího protokolu zvoleného nádoru pomocí  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT na multimodálním zobrazovacím systému PET/SPECT/CT Albira pro malé hlodavce na pracovišti Centra pokročilého preklinického zobrazování (CAPI) při 1. Lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Práce zahrnuje hlavní parametry pro stanovení délky hladovění a optimalizaci zahřívání subjektu před PET/CT zobrazením a určení vhodné délky akumulací fáze radiofarmaka. Modelu laboratorní myši kmene C57BL/6J byly inokulovány buňky nádorové linie B16-F10. Kontrast tumoru byl hodnocen pomocí parametru TBR (poměr signálu tumoru ku signálu tkáně na pozadí). Akumulace  $^{18}\text{F}$ -FDG v tkáních byla stanovena softwarovým

vyhodnocením v programu Pmod a metodou přímého měření v ionizační komoře studnové geometrie. K analýze dat byly použity statistické metody (ANCOVA, F-test významnosti regrese). Doba akumulace radiofarmaka před PET/CT zobrazováním byla stanovena na 90 min s ohledem na minimalizaci délky anestezie. Optimální doba hladovění byla stanovena na alespoň 12 h, vzhledem k provozu pracoviště navrženo 16 h. Dále byl prokázán pozitivní vliv zahřívání během akumulace na kontrast tumoru. Zjištěné poznatky byly zahrnuty do návrhu optimalizované verze zobrazovacího protokolu. Výsledný zobrazovací protokol bude sloužit jako referenční model při optimalizaci zobrazovacích protokolů PET/CT pro další zvolené nádorové linie.

## Posúdenie rýchlosti evakuácie a motility žalúdka pomocou dynamickej scintigrafie

**Darina Budošová, Martina Horváthová, Zuzana Bárđyová, Rastislav Husťak**

Trnavská univerzita v Trnave, Fakulta zdravotníctva a sociálnej práce, Univerzitné námestie 1, Trnava, 918 43, SR

[darina.budosova@gmail.com](mailto:darina.budosova@gmail.com)

Rádioizotopová scintigrafia žalúdka je neinvazívna, kvantitatívna metóda, ktorá poskytuje priame posúdenie žalúdočného vyprázdňovania za použitia tekutej alebo tuhej stravy, značenej pomocou rádiofarmaka. Scintigraficky je možné poruchu lokalizovať, ako aj kvantifikovať. Funkčné poruchy častokrát vznikajú na základe štruktúrálnej zmeny tkaniva. Preto je možné niektoré poruchy odhaliť skôr pomocou nukleárnej medicíny, ako inými diagnostickými metódami. Napriek vývoju mnohých zobrazovacích metód práve scintigrafia predstavuje zlatý štandard diagnostiky gastroparézy už niekoľko rokov. Výsledky vyšetrenia poskytnú lekárovi užitočné informácie, vďaka ktorým je možné naplánovať liečbu a zvýšiť kvalitu života pacienta.

V Slovenskej republike (SR) uskutočňuje scintigrafické vyšetrenie evakuácie žalúdka 6 pracovísk nukleárnej medicíny, avšak vyšetrenie sa realizuje len sporadicky. V roku 2018 bolo v SR zrealizovaných 41 vyšetrení. Dôsledkom

vzrastajúcej incidencie pacientov s gastroparézou je možné predpokladať, že význam scintigrafie žalúdka bude narastať, čo bude mať za následok väčší záujem o realizáciu rádioizotopovej scintigrafie evakuácie žalúdka.

Z dôvodu zvyšujúceho sa počtu realizovaných vyšetrení nukleárnej medicíny je nutné poznať efektívne dávky pacientov pri jednotlivých vyšetreniach, na základe ktorých sa stanoví kolektívna efektívna dávka populácie pochádzajúca z nukleárnej medicíny.

Predmetom štúdie bolo zhodnotiť príspevok radiačnej záťaže zo scintigrafického vyšetrenia evakuácie žalúdka v SR. Výsledky štúdie potvrdili, že pri scintigrafickom vyšetrení evakuácie žalúdka vzniká pre pacienta nízka radiačná záťaž – v rozsahu od 0,6 mSv do 4,4 mSv. Avšak, okrem poznania veľkosti radiačnej záťaže je dôležité optimalizovať a zjednotiť metodický postup vyšetrenia.

## Systém hodnotenia rastových buniek mandibul v nukleárnej medicíne

Tatiana Pavliková<sup>1</sup>, Tereza Kráčmerová<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Katedra dozimetrie a aplikácie ionizujúceho záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> Klinika nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol, V Úvalu 84, Praha 5, 150 06, ČR

<sup>3</sup> Prague Medical Care Department, U Vojenské nemocnice 1200, Praha 6, 162 00, ČR

[pavlitat@fjfi.cvut.cz](mailto:pavlitat@fjfi.cvut.cz)

Jednostranná hyperplázia kondyly, ktorej dôsledkom je deformácia tváre, je choroba, ktorá postihuje najmä deti a vedie k asymetrii mandibuly. Súčasným trendom na jej diagnostikovanie je použitie SPECT, ktorý je už postupne dopĺňovaný nízkodávkovým CT vďaka výhodám SPECT/CT. Keďže zatiaľ neexistuje žiadna jednotná metóda na vykonanie akvizície, rekonštrukcie a následného kvantifikovania kondýl, cieľom bolo pomocou fantómových meraní nájsť najlepšie výsledky.

Na meranie bol použitý Jaszczak fantóm, kde bola na základe merania RC koeficientov a tomografickej citlivosti vybraná najlepšia kombinácia akvizičných a rekonštrukčných parametrov. Najlepšia kombinácia bola následne testovaná dvoma kvantifikačnými metódami (interná kalibrácia

a externý štandard) na fantóme, ktorý simuloval kondyly v mandibule.

Ako najvhodnejšia možnosť na vyhodnotenie sa javí akvizícia s maticou  $256 \times 256$ , rotácia  $180^\circ$  na detektor, 64 projekcií na detektor, 15 sekúnd na projekciu, step and shoot mode, noncircular mode s rekonštrukciou OSEM 3D s 8 sub-setmi, 2 iteráciami, 7 mm Gaussovským filtrom s korekciou na zoslabenie pomocou CT a korekciou na rozptyl pomocou dvoch energetických okien. V tejto práci sme došli k záveru, že najvhodnejšou kvantifikačnou metódou je interná kalibrácia prístroja.

SPECT/CT sa ukazuje ako vhodná zobrazovacia modalita na diagnostikovanie jednostrannej kondylárnej hyperplázie, avšak je ešte potrebné ďalej sa zaoberať mierne zvýšenou radiačnou záťažou z CT, pretože sa jedná o chorobu detí.



## Validace výpočtu dávkové distribuce na sCT obrazech generovaných z obrazů MR

Iva Brátová<sup>1,2</sup>, Petr Paluska<sup>1</sup>, Jakub Grepl<sup>1</sup>, Petra Sýkorová<sup>1</sup>, Jan Jansa<sup>1</sup>, Miroslav Hodek<sup>1</sup>, Igor Sirák<sup>1</sup>,  
Milan Vošmik<sup>1</sup>, Jiří Petera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinika onkologie a radioterapie, Fakultní nemocnice Hradec Králové, Sokolská 581, Hradec Králové, 500 05, ČR  
<sup>2</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[bratoiva@fjfi.cvut.cz](mailto:bratoiva@fjfi.cvut.cz)

Díky lepšímu kontrastu měkkých tkání je v plánování radi-  
ační terapie často využíváno nejen CT snímků, ale i snímků  
z magnetické rezonance. Registrace obou snímků a také pře-  
sun mezi modalitami může vést k systematickým chybám,  
proto se objevila řešení v podobě tzv. MRI-only radioterapie.  
CT snímky zde nahrazují sCT (synthetic CT).

Cílem příspěvku je představit rozdíly mezi dávkovými  
distribucemi vypočtenými na CT a sCT obrazech generova-

ných ze snímků MR. Ke generaci sCT byl využit komerční  
systém MRCAT od firmy Philips. Srovnávány byly sCT a  
standardní CT plány 10 pacientů, kteří podstoupili radio-  
terapii rakoviny prostaty ve Fakultní nemocnici Hradec  
Králové. Rozdíly mezi dávkovými distribucemi byly vyjád-  
řeny v několika DVH bodech.

# Použití inverzní vícerozměrné kalibrace k vyhodnocení odezvy $\text{FeXo}$ gelového dozimetru

Václav Spěváček, Hana Bártová

Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[hana.bartova@fjfi.cvut.cz](mailto:hana.bartova@fjfi.cvut.cz)

Nejběžnějším radiochromním gelovým dozimetrem je modifikovaný Frickeho dozimetr s xylenolovou oranží v želatinové matrici ( $\text{FeXo}$ ), který je používán hlavně k určení prostorové dávkové distribuce v cílovém objemu v radioterapii ale i v jiných aplikacích. Dozimetr se vyhodnocuje spektrofotometrickým měřením optické absorbance ve viditelné oblasti spektra. Ionty  $\text{Fe}^{3+}$  vznikající působením záření reagují s xylenolovou oranží na barevný komplex s maximem absorbance u 585 nm, jehož hodnota je (do jisté míry) úměrná dávce. Příprava dozimetru je jednoduchá, levná a jednotlivé složky jsou netoxické a šetrné k životnímu prostředí, praktické použití má však několik nedostatků. Jedním z nich je nelinearita závislosti absorbance (u 585 nm, komplex

$\text{Fe}^{3+}:\text{Xo}$  1:1) na dávce záření. Do dávky cca 3 Gy a nad 12 až 15 Gy je odezva nelineární, což vede k systematickým odchylkám výsledků, zvláště v okrajových oblastech cílových objemů. Je to způsobeno částečnou tvorbou komplexů s jinou stechiometrií než má hlavní komplex ( $\text{Fe}^{3+}:\text{Xo}$  1:1). Nelinearitu odezvy jsme se pokusili potlačit tzv. inverzní vícerozměrnou kalibrací, tj. použít ke kalibraci odezvy dozimetru absorbanci místo u jedné (585 nm) u několika vlnových délek spektra. Vhodné vlnové délky byly vybírány postupnou krokovou vícenásobnou lineární regresí (tzv. genetický algoritmus) a bylo nalezeno, že použitím absorbancí u tří vlnových délek místo pouze u 585 nm lze odchylky kalibračního vztahu od linearity snížit až řádově.

# Aktuální trendy a výzvy v oblasti výzkumu ozáření od radonu a jeho produktů přeměny ve vnitřním prostředí budov a na pracovištích

Aleš Froňka

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[ales.fronka@suro.cz](mailto:ales.fronka@suro.cz)

V posledních letech se v souvislosti s novými trendy v bydlení, výstavbě nových a rekonstrukci stávajících budov objevily nové výzvy týkající se usměrňování ozáření od radonu a jeho krátkodobých produktů přeměny ve vnitřním prostředí budov, které velmi často úzce souvisí s požadavky na snižování energetické náročnosti budov. Vyváženost požadavků na nízkou energetickou náročnost budov, které zejména v případě rekonstrukcí stávajících budov často vedou k neoptimalizovanému snižování úrovně intenzity větrání, se stalo jedním z významných témat radiační ochrany nejen v České republice. Opakovaně byla při rozsáhlých měřicích kampaních a radonových diagnostikách staveb nalezena neúčinná preventivní protiradonová opatření, kde příčiny nedostatečné účinnosti byly identifikovány již ve fázi návrhu opatření, někdy i v jeho absenci, nebo při nekvalitním provedení, často nerespektujícím požadavky technických norem ČSN 730601 Ochrana staveb proti radonu z podloží a ČSN 730602 Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů. Dopady na metodické vedení v případě hodnocení ozáření ve vnitřním prostředí budov a požadavky na vývoj nové měřicí techniky a postupů, které reflektují uvedené trendy, budou podrobně představeny a

diskutovány. Část příspěvku bude věnována vybraným oblastem regulace ozáření z přírodních zdrojů na pracovištích, které se v souvislosti s implementací SMĚRNICE RADY 2013/59/EURATOM objevily i v novém atomovém právu. Zvláštní pozornost je věnována technickým možnostem zajištění účinných protiradonových opatření na pracovištích se zvýšeným ozářením z radonu a souvisejícími výzvami v oblasti konstrukce vhodných detektorů s odpovídajícími technickými parametry, které budou vyhovovat požadavkům na řízení aktivních prvků protiradonových opatření a dynamickým změnám objemové aktivity radonu na vybraných typech pracovišť. Samostatná část bude věnována výzkumu a vývoji v oblasti zpřesnění odhadu osobních dávek pracovníků, která souvisí s aplikací vhodné měřicí techniky a metodik stanovení volné a vázané frakce aktivity krátkodobých produktů přeměny radonu na pracovištích, která je z části již pokryta výzkumným projektem TITSSUJB702, Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu, řešeným Státním ústavem jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i..

# Management radioaktivity v pitné vodě

Hana Procházková

Oddělení přírodních zdrojů, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[hana.prochazkova@sujb.cz](mailto:hana.prochazkova@sujb.cz)

Světová zdravotnická organizace vydala v roce 2017 Doporučení pro kvalitu pitné vody (4. vydání) a v roce 2018 dokument Management radioaktivity v pitné vodě.

Směrnice rady 98/83/ES, o jakosti vody určené k lidské spotřebě, definuje pojem „voda určená k lidské spotřebě“; regulace právního předpisu se nevztahuje na přírodní minerální vody a léčivé vody. V příloze I, části C jsou uvedeny požadavky na indikační ukazatele z hlediska radioaktivity, a to pro tritium 100 Bq/l a pro celkovou indikační dávku 0,10 mSv/rok.

Směrnice rady 2013/51/EUROATOM, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě, definuje polknutí vody jako jednu z cest pro vniknutí radioaktivních látek do lidského těla. Směrnice rady 2013/51 uvádí, že hodnoty ukazatelů nemají být používány jako hodnoty limitní; pokud by indikační hodnota ukazatele nebyla dodržena, je nutné zvážit riziko pro lidské zdraví, v případě potřeby přijmout nápravná opatření ke zlepšení jakosti vody na úroveň, která je v souladu s požadavky a

principy radiační ochrany. Indikativní dávka je vztažena na jeden rok ingesce ze všech radionuklidů, obsažených ve vodě určené k lidské spotřebě, s výjimkou tritia, draslíku 40 a radonu. Příloha I uvádí hodnoty ukazatelů pro radon 100 Bq/l, tritium 100 Bq/l a indikativní dávku 0,10 mSv/rok. Členské státy si mohou stanovit další omezující úroveň pro radon, jejíž překročení bude považováno za nežádoucí a při hodnotách nižších než tato úroveň by měla pokračovat optimalizace ochrany, při čemž tato úroveň může být vyšší než 100 Bq/l, ale nižší než 1 000 Bq/l. Nápravné opatření je považováno za odůvodněné na základě radiologické ochrany bez dalšího zkoumání v případě, že koncentrace radonu jsou vyšší než 1 000 Bq/l. V příloze III jsou vysvětleny podrobnosti k monitorování indikativní dávky. Doporučená úroveň prověřování pro celkovou aktivitu alfa je 0,1 Bq/l a pro celkovou aktivitu beta 1,0 Bq/l. Členské státy mohou stanovit alternativní úrovně prověřování celkové aktivity alfa a celkové aktivity beta v případě, že mohou prokázat, že tyto alternativní úrovně odpovídají indikativní dávce 0,1 mSv.

# Radón v termálnych vodách a termálnych kúpeľoch na Slovensku

Monika Müllerová, Karol Holý, Pavol Blahušiak

Katedra jadrovej fyziky a biofyziky, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

[mullerova@fmph.uniba.sk](mailto:mullerova@fmph.uniba.sk)

Slovensko má dlhú tradíciu vo využívaní termálnej vody. Termálne kúpele sú vo všeobecnosti veľmi obľúbené. Objemová aktivita radónu v niektorých termálnych vodách presahuje až 1 000 Bq/l. Vplyvom používania vôd, najmä pri balneoterapeutických procesoch, dochádza k uvoľňovaniu radónu do okolitého prostredia a tým prispieva výraznou mierou k celkovej radiačnej záťaži personálu pracujúceho s termálnymi vodami. Radiačná ochrana personálu pracujúceho s geotermálnymi vodami je veľmi aktuálna. Radiačné zaťaženie pacientov a návštevníkov kúpeľov je vzhľadom na čas strávený v danom prostredí v porovnaní s pracovníkmi výrazne nižšie.

Merania objemovej aktivity radónu vo vybraných priestoroch termálnych kúpeľov sme vykonávali pomocou stopových detektorov (Raduet, Ramarn a NRPB). Detektory boli

exponované po dobu 3 mesiacov 4× do roka. Boli objavené miesta, v ktorých efektívna dávka vysoko prekračovala dávku 6 mSv/rok. Najvyššia vypočítaná efektívna dávka od inhalácie radónu dosahovala hodnotu až  $(58 \pm 5)$  mSv/rok. Ako zdroj radónu v termálnych kúpeľoch bola uvažovaná aj termálna voda a preto sa časť výskumu zaoberala zberom vzoriek vôd a určením objemovej aktivity radónu vo vodách. Analyzovali sa vzťahy medzi radónom v termálnej vode a v okolitej atmosfére bazénov a vaní. Zistila sa len slabá závislosť medzi týmito veličinami.

Podakovanie: Táto práca bola finančne podporená Medzinárodným vyšehradským fondom (projekt č. 21320324) a Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva SR a SAV (VEGA projekt č. 1/0143/14 a VEGA projekt č. 1/0213/18).

## Kontinuální monitorování radonu ve vodě – analýza vlivu průtoku vody a vzduchu

Petra Vyletělová<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[vyletelova.petra@email.cz](mailto:vyletelova.petra@email.cz)

Při kontinuálním monitorování radonu ve vodě se v terénu nejčastěji využívá extrakce rozpuštěného radonu z vody do plynu. K extrakci se využívá výměník voda-vzduch, ve kterém dochází k ustanovení rovnováhy mezi radonem v proudící vodě a v definovaném objemu vzduchu, jež v uzavřené smyčce cirkuluje skrze kontinuální monitor objemové aktivity radonu (OAR). Rychlost odezvy na skokovou změnu OAR ve vodě je ovlivněna rychlostí odezvy kontinuálního

monitoru a rychlostí ustanovení rovnováhy ve výměníku. Již dříve byly provedeny laboratorní experimenty a in-situ měření, ze kterých bylo zjištěno, že rychlost odezvy detekčního systému je ovlivněna rychlostí průtoku vody a vzduchu. Pro zjištění této závislosti bylo sestaveno speciální zařízení pro měření a nastavení přesně definovaného průtoku vody, se kterým byla provedena série experimentů.

## Meranie objemovej aktivity radónu v bytových priestoroch v Zázrivej

Iveta Smetanová<sup>1</sup>, Andrej Mojžeš<sup>2</sup>, František Marko<sup>2</sup>, Kristian Csicsay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, Bratislava, 840 05, SR

<sup>2</sup> Universita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, Bratislava, 842 15, SR

[geofivas@savba.sk](mailto:geofivas@savba.sk)

V rámci riešenia projektu „Multidisciplinárny výskum geofyzikálno-štruktúrnych parametrov a environmentálneho vplyvu zlomov Západných Karpát“ sa uskutočnilo meranie objemovej aktivity  $^{222}\text{Rn}$  v ovzduší vybraných rodinných domov, škôl, materských škôl a úradov v troch obciach ležiacich na zlomových pásmach. V obci Zázrivá (severozápadné Slovensko) sa monitoring vykonával v rodinných domoch a v materskej škole. Meranie bolo realizované integrálné, pomocou stopového detektora alfa častíc RAMARn (SÚJCHBO, ČR). Radónový monitoring prebiehal počas jedného roka, detektory boli vymieňané po trojmesačnej expozícii (marec–máj 2018, jún–august 2018, september–november 2018, december 2018–február 2019). Detektory boli umiestnené v 23 budovách, prevažne v obývaných miestnostiach na prízemí, monitorovaných bolo spolu 46 miestností. Spolu

s detektormi bol dobrovoľným účastníkom výskumu distribuovaný informačný leták o radóne a dotazník, ktorým sa zisťovali základné informácie o budove (stavebný materiál, intenzita vetrania, zateplenie, podpivničenie, tesnosť okien, rok konštrukcie a rekonštrukcie). Objemová aktivita  $^{222}\text{Rn}$  v žiadnej z budov zapojených do prieskumu neprekročila referenčnú úroveň  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Koncentrácia radónu sa v monitorovaných miestnostiach pohybovala od 35 do  $260 \text{ Bq/m}^3$  v priemere za rok, pričom vo väčšine miestností bola pozorovaná sezónna variácia objemovej aktivity radónu s maximom v jesenných a zimných mesiacoch. Výskum bol finančne podporený vedeckou grantovou agentúrou APVV MŠ SR v rámci projektu APVV-16-0146 a VEGA MŠ SR a SAV v rámci projektu 2/0083/18.

## Rádiouhlík v pôdnom vzduchu – jeho variácie a exhalácia z pôdy

Karol Holý, Alexander Šivo, Monika Müllerová, Ivan Kontuľ, Marta Marta Richtáriková, Terézia Eckertová,  
Pavel Povinec

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

[Karol.Holy@fmph.uniba.sk](mailto:Karol.Holy@fmph.uniba.sk)

Oxid uhličitý, ktorého súčasťou je aj  $^{14}\text{CO}_2$ , je produkovaný v pôde mikrobiálnym rozkladom pôdnej organickej hmoty a tiež koreňovou respiráciou. Časť oxidu uhličitého produkovaného v pôde je exhalovaná do atmosféry a ovplyvňuje, zvlášť v jej prízemnej vrstve, koncentráciu  $\text{CO}_2$  v atmosfére, ako aj  $^{14}\text{C}$  úroveň v atmosférickom  $\text{CO}_2$ . Obsah  $^{14}\text{C}$  v pôdnom  $\text{CO}_2$  môže byť odlišný od obsahu  $^{14}\text{C}$  v atmosférickom  $\text{CO}_2$ . Výsledky meraní ukazujú, že exhalácia  $^{14}\text{CO}_2$  z pôdy do atmosféry by mala byť vzatá do úvahy, ak je vyžadovaná presná analýza obsahu a zdrojov  $^{14}\text{C}$  v atmosfére. V tomto príspevku sú porovnané výsledky merania  $^{14}\text{C}$  v atmosfére Bratislavy s meraniami izotopov uhlíka v pôdnom  $\text{CO}_2$ . Sústredili sme sa na simultánne meranie  $^{222}\text{Rn}$  v pôdnom vzduchu, a  $^{14}\text{C}$  a  $^{13}\text{C}$  v pôdnom a z pôdy exhalovanom  $\text{CO}_2$ . Výsledky meraní ukázali, že  $\Delta^{14}\text{C}$  hodnoty v pôdnom a aj

v exhalovanom  $\text{CO}_2$  dosahujú maximálne hodnoty v letných mesiacoch. Avšak,  $\Delta^{14}\text{C}$  hodnoty v exhalovanom  $\text{CO}_2$  sú často nižšie ako  $\Delta^{14}\text{C}$  hodnoty v pôdnom  $\text{CO}_2$  a obe tieto hodnoty sú vyššie ako  $\Delta^{14}\text{C}$  v atmosférickom  $\text{CO}_2$ . Vysoká korelácia bola zistená medzi  $\Delta^{14}\text{C}$  exhalovaným z pôdy a pôdnym  $\Delta^{14}\text{C}$ . Podobne vysoká korelácia bola zistená medzi  $\delta^{13}\text{C}$  v exhalovanom  $\text{CO}_2$  a objemovou aktivitou  $^{222}\text{Rn}$  v pôdnom vzduchu. To naznačuje, že radón môže byť užitočným nástrojom na určovanie exhalácie izotopov uhlíka z pôdy do atmosféry.

Táto práca bola finančne podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV (VEGA projekt č. 1/0213/18) a Univerzitou Komenského (Grant Mladých č. UK/113/2019).



# Vliv faktoru F na výpočet efektivní dávky pracovníků z inhalace produktů přeměny radonu na různých typech pracovišť

Eliška Fialová, Petr Otáhal, Josef Vošahlík, Ivo Burian

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i., Kamenná 71, Milín, 262 31, ČR

[fialovaeliska@sujchbo.cz](mailto:fialovaeliska@sujchbo.cz)

V České republice je v současné době využíván pro výpočet efektivních dávek způsobených inhalací produktů přeměny radonu na pracovištích typu NORM a radonových pracovištích (pracoviště dle § 93 a § 96 Atomového zákona) jednotný faktor nerovnováhy F roven hodnotě 0,4 v případech, že je na pracovišti měřena pouze objemová aktivita radonu. V rámci řešení projektu financovaného Technologickou Agenturou ČR TITSSUJB702 (Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu) byly stanoveny hlavní expoziční cesty na vytypovaných pracovištích. Na těchto pracovištích byla mimo jiné realizována měření

objemové aktivity radonu a ekvivalentní objemové aktivity radonu, byl měřen příkon prostorového dávkového ekvivalentu a stanovena objemová aktivita směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové rozpadové řady. Měření byla provedena například v prohlídkových jeskyních, v bývalém rudném dole, v bývalém uranovém dole a na jiných typech podzemních pracovišť, ve vodárnách, či v radonových lázních. Na základě zjištěných výsledků byly porovnány efektivní dávky z inhalace produktů přeměny radonu na těchto pracovištích a možný vliv hodnoty faktoru F na výpočet osobních dávek.

# Identifikovanie oblastí so zvýšenou koncentráciou radónu v domoch pomocou preškálovaných máp radónového potenciálu – pilotná štúdia

Alžbeta Brisudová, Martin Bulko, Karol Holý, Monika Müllerová

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

[Karol.Holy@fmph.uniba.sk](mailto:Karol.Holy@fmph.uniba.sk)

Smernica Rady EÚ 2013/59/Euratom konštatuje, že je potrebné vypracovať národné akčné plány na riešenie dlhodobých rizík vyplývajúcich z ožiarenia radónom. Toto ožiarenie môže byť významné v niektorých oblastiach. Regióny, v ktorých sa očakáva zvýšená hladina objemovej aktivity radónu vo vnútorných priestoroch z prírodných dôvodov, sa nazývajú tzv. „radon prone areas“ (RPA). RPA sa dajú identifikovať buď priamo pomocou vnútorných meraní, alebo nepriamo z charakteristík hornej vrstvy pôdy (koncentrácie rádia a radónu, pórovitosť, typ pôdy, jej priepustnosť, obsah vody atď.). V tomto príspevku bude porovnaných niekoľko nepriamych prístupov na určovanie radónového potenciálu pôd na území Mochoviec na Slovensku ( $\sim 500 \text{ km}^2$ ), kde sú dôležité rádiologické charakteristiky pôd (koncentrácie  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$ ) dobre známe vďaka podrobným

meraniam v okolí jadrovej elektrárne. Hoci mapy radónového potenciálu stanovené týmito prístupmi sú vizuálne odlišné kvôli rozdielnemu vymedzeniu hraníc medzi oblasťami s nízkym, stredným a vysokým radónovým potenciálom, korelácia medzi numerickými hodnotami radónového potenciálu je vysoká. Tieto mapy radónového potenciálu sa potom po ich preškálovaní použili na identifikáciu dedín, v ktorých by sa mohli vyskytovať domy so zvýšenými koncentraciami radónu. V týchto obciach bolo následne uskutočnené meranie vnútorného radónu. Ukázalo sa, že mapy radónového potenciálu môžu byť po ich preškálovaní účinným nástrojom na vyhľadávanie oblastí so zvýšenými objemovými aktivitami radónu vo vnútorných priestoroch.

Táto práca bola finančne podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV (VEGA projekt č. 1/0213/18).

# System pro stanovení radonového indexu pozemku NuEM DORnIS

**Lucie Fišerová, Tomáš Grísa, Lukáš Weiss, Jan Surý, Radek Pjatkan**

Nuvia, a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

[lucie.fiserova@nuvia.cz](mailto:lucie.fiserova@nuvia.cz)

NuEM DORnIS je systém určený k in-situ měření a vyhodnocování Lucasových komor, k následnému zpracování dat a stanovení radonového indexu pozemku včetně generace reportu. Systém je kompatibilní s Lucasovými komorami typu LUK a s Lucasovými komorami Nuvia různých ob-

jemů. Je určen primárně ke stanovení radonového indexu pozemku, tedy k měření velkého počtu Lucasových komor v terénu. Systém je velmi jednoduchý a nevyžaduje žádné zvláštní požadavky na ovládání.

## Dávkové konverzní faktory a celoživotní riziko

Ladislav Tomášek<sup>1</sup>, Nora Fenske<sup>2</sup>, Paul Demers<sup>3</sup>, Dominique Laurier<sup>4</sup>

<sup>1</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> BFS, Neuherberg, Německo

<sup>3</sup> Cancer Care Ontario, Toronto, Kanada

<sup>4</sup> IRSN, Fontenay-aux-Roses, Francie

[ladislav.tomasek@suro.cz](mailto:ladislav.tomasek@suro.cz)

Prezentace zahrne modely relativního rizika odvozené ze tří nejpočetnějších studií horníků uranových dolů Wismut, Ontario a Česko (59 000, 28 500, 10 000), které doplňuje dřívější studie evropských horníků AlphaRisk (Německo, Česko a Francie, 50 000 horníků). Nejnovější sledování představuje 3 942, 1 246, 1 161 a 1 567 případů rakoviny plic. Obecně jsou výsledky považovány za věrohodnější, pokud jsou vztaženy k nízkým koncentracím, protože koncentrace v počátečních letech jsou zatíženy nejistotou danou malým počtem měření. Tyto odhady jsou často konzervativně nadhodnoceny. Standardní modely (BEIR VI) většinou uvažují modifikující vliv věku, doby od expozice a expozičního příkonu (WLM/rok, nebo WL). Výsledky z uvedených studií budou kromě tohoto modelu doplněny modelem B2 navrženým pro UNSCEAR, který uvažuje stejné modifikující faktory, ale v tomto modelu

nejdou horníci klasifikováni podle průměrného expozičního příkonu jako v modelu BEIR VI, nýbrž u každého horníka se sleduje kolik expozice pochází z nízkých a kolik z vysokých příkonů. Obecně platí, že většina horníků pracovala jak při vysokých, tak i při nízkých expozičních příkonech. Rozdíl mezi modelem BEIR VI a modelem B2 je v tom, že v modelu BEIR VI jsou horníci, kteří pracovali i při vyšších i při nízkých příkonech z analýzy vyloučeni. Naopak horníci v kategoriích vyšších expozičních příkonů pak zahrnují i nízké příkony. Výsledky z uvedených studií budou doplněny o výsledky z 11 studií horníků ze zprávy BEIR VI (60 600 horníků, 2 674 plicních rakovin). Odhadnuté modely rizika z těchto studií budou převedeny do odhadů celoživotního rizika a do dávkových konverzních koeficientů.

## 15 let radiouhlíkového datování v ČR

Ivo Světlík, Kateřina Pachnerová Brabcová

Oddělení dozimetrie záření, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

[brabcova@ujf.cas.cz](mailto:brabcova@ujf.cas.cz)

Princip radiouhlíkového datování spočívá ve stanovení aktivity isotopu uhlíku  $^{14}\text{C}$ , jehož obsah je ve všech živých organismech a povrchových vodách oceánů přibližně v rovnováze s atmosférickým  $^{14}\text{CO}_2$ .  $^{14}\text{C}$  vzniká skoro výhradně kosmogenní produkcí v atmosféře a původně se předpokládalo, že je v přírodě ustálena rovnováha mezi rychlostí produkce tohoto radionuklidu a jeho úbytku následkem radioaktivní přeměny. Dle původních předpokladů proto stačilo znát poločas přeměny  $^{14}\text{C}$  a spočítat, jak dlouho byl vzorek z uhlíkového koloběhu izolován, aby došlo k poklesu aktivity  $^{14}\text{C}$  na změřenou úroveň. Ve skutečnosti však atmosférická aktivita  $^{14}\text{C}$  v čase mírně kolísá, což je pro datování nezbytné kompenzovat kalibrační křivkou. Příčinou tohoto kolísání jsou změny rychlosti kosmogenní produkce  $^{14}\text{C}$  a kolísání výměny  $\text{CO}_2$  a  $^{14}\text{CO}_2$  mezi atmosférou a oceány.

Na konci 19. století začalo docházet také ke snižování aktivity atmosférického  $^{14}\text{C}$  následkem spalování fosilních paliv, která neobsahují  $^{14}\text{C}$  a uvolňovaný fosilní  $\text{CO}_2$  ředí obsah  $^{14}\text{C}$  v uhlíkové isotopické směsi. Od 40. let dvacátého století začalo naopak docházet k navyšování aktivity atmosférického  $^{14}\text{C}$  následkem testů jaderných zbraní, kdy nejvyšší

aktivita byla pozorována v roce 1963 a činila na severní polokouli přibližně dvojnásobek hodnoty dané přírodní produkcí  $^{14}\text{C}$ .

V Ústavu jaderné fyziky AV ČR v. v. i. je od roku 2004 provozována radiouhlíková datovací laboratoř CRL ve spolupráci s Archeologickým ústavem AV ČR v. v. i. V začátcích měla laboratoř pro stanovení aktivity  $^{14}\text{C}$  k dispozici pouze radiometrickou metodu založenou na syntéze benzenu s měřením  $^{14}\text{C}$  kapalinovou scintilační spektrometrií. Tato metoda je zdlouhavá a vyžaduje velké množství vzorku. Laboratoř proto od roku 2011 zaváděla postupy přípravy mikrovzorků pro měření pomocí urychlovačové hmotnostní spektrometrie (AMS). Díky tomuto postupu se značně rozšířilo portfolio datovatelných vzorků, neboť tato metoda, vyžadující pouze miligramová množství vzorku, je u běžných typů vzorků téměř neinvazivní a poskytuje výsledky s několikanásobně menšími nejistotami. Na začátek roku 2021 je plánováno zahájení provozu tuzemské AMS v našem ústavu, a to díky účasti v projektu RAMSES.

Příspěvek představí vybrané datované vzorky a demonstuje na nich použitelnost radiouhlíkového datování.

## Rádiosenzitivita pľúcneho tkaniva na produkty premeny radónu

Radoslav Böhm<sup>1</sup>, Antonín Sedlák<sup>2</sup>, Karol Holý<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, UK, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

<sup>2</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[bohm@fmph.uniba.sk](mailto:bohm@fmph.uniba.sk)

Pravdepodobnosť vzniku rakoviny pľúc indukovanej inhaláciou radónu a jeho produktov premeny v jednotlivých pľúcnych kompartmentoch závisí nielen od regionálnej dávky, ale aj od rádiosenzitivity týchto kompartmentov. Pre účely radiačnej ochrany sa ekvivalentná pľúcna dávka (reprezentujúca radiačné riziko) určuje sumovaním váhovaných dávok priedušiek, priedušničiek a alveol, ktoré sú podľa ICRP66 považované za rovnocenné. Pri inhalovaní produktov premeny radónu za bežných podmienok sú bronchiálne a bronchionálne dávky porovnateľné a zároveň niekoľkonásobne vyššie ako alveolárne (bronchiálna dávka predstavuje zhruba ~ 51 %, bronchionálna ~ 48 %, a alveolárna ~ 1 % z priemernej pľúcnej dávky). Podľa patologických nálezov ~ 95 % tumorov má svoj pôvod v horných dýchacích cestách (v bronchiálnom regióne je pravdepodobnosť výskytu tohto ochorenia ~ 70 %, v bronchionálnom ~ 25 % a v alveolárnom ~ 5 %). Tento nesúlad (medzi deponovanou energiou

a výskytom tumorov) je zrejme spôsobený rôznou rádiosenzitivitou bazálnych a sekretorických buniek, ktoré sa nachádzajú v jednotlivých generáciách pľúc s rôznym zastúpením a s rôznou objemovou distribúciou. V snahe porovnať ich rádiosenzitivitu sme využili mikrodozimetrický prístup. Pľúcnyimi modelmi sa určila koncentrácia produktov premeny zachytených v mukóznej vrstve pri inhalácií. Metódou MC sa nasimulovala ich interakcia s pľúcnyim tkanivom. Modelom hraničnej energie sa vypočítala pravdepodobnosť transformácie bazálnych a sekretorických buniek, ktorá sa váhovala ich rádiosenzitívnymi koeficientami. Porovnaním takto určenej váhovanej transformácie s pravdepodobnosťou výskytu pľúcnych tumorov sa určil pomer týchto koeficientov. Z výpočtov vyplýva, že radiačná citlivosť bazálnych buniek je niekoľkonásobne vyššia ako sekretorických a preto pri výpočte efektívnej dávky by nemali byť jednotlivé pľúcne kompartmenty považované za rovnocenné.

# Study of $^{222}\text{Rn}$ continuous monitoring time series and dose assessment in six European caves

Lenka Thinová<sup>1</sup>, Fabrizio Ambrosino<sup>2</sup>, Carlo Sabbarese<sup>2</sup>, Miloš Briestenský<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> Mathematics and Physics, University of Campania "Luigi Vanvitelli", Viale Lincoln 5, Caserta, 81100, Itálie

<sup>3</sup> Institute of Rock Structure and Mechanics, Czech Academy of Sciences, V Holesovickach 94/41, Prague, 182 09, ČR

[Lenka.thinova@fjfi.cvut.cz](mailto:Lenka.thinova@fjfi.cvut.cz)

Public open caves are especially underground critical workplaces because of elevated  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration, in the order of  $\text{kBq/m}^3$ , frequently due to the absence of ventilation systems. People working in these places and also visitors are being subjected to high exposure to the noble gas and its daughters. Thus, caves constitute a special case for radiation protection in workplaces. The sources of  $^{222}\text{Rn}$  irradiation in the underground caves are rock and clastic sediments, where the gas can seep into air, or water, and can travel along lengthy paths. The human health impact of the  $^{222}\text{Rn}$  irradiation in caves can be evaluate using annual effective dose, which taking into account the time spent in this environment. The International Commission on Radiological Protection (ICRP, Publication 137, 2017) provides a commonly used methodology to calculate the effective dose ( $\text{mSv/y}$ ) from radon and its progeny in underground caves.

It is obtained by multiplying radon activity concentration ( $\text{Bq/m}^3$ ), time of human exposition ( $\text{h/y}$ ) and dose coefficient ( $6.7 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq h m}^{-3}$ ). The aim of the present contribution is focused on assessing the doses from  $^{222}\text{Rn}$  monitoring data in seven European caves (located in Italy, Slovakia, Czech Republic and Slovenia), and also studying the influence of some monitored environmental factors. The  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration values show large diurnal and seasonal variations. Temperature is the main driving force of these variations. Consequently, also the dose values are very variable, but the average values for each monitored cave are high and not less than a few tens of  $\text{mSv/y}$  if workers with a residence time of 2000  $\text{h/y}$  (corresponding to 8 daily working hours) are considered. Detailed analyses of the results will be shown for each cave.

# Stanovení aktivity přírodních radionuklidů, porovnání dovedností aktuálně používaných analytických metod

Alena Kelnarová, Šárka Maříková, Michal Fejgl

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[alena.kelnarova@suro.cz](mailto:alena.kelnarova@suro.cz)

Laboratoř radiochemie v SÚRO Praha se věnuje stanovení izotopů uranu, thoria a radia ve vzorcích životního prostředí a také vzorkům z pracovišť s možností zvýšeného ozáření z přírodních zdrojů (NORM) a odpadů z nich. Byly vypracovány metodiky pro stanovení jednotlivých izotopů i pro sekvenční stanovení, použitelné pro monitorování radiační situace v ČR a pracovišť NORM i pro sledování vnitřní kontaminace osob. Metodiky vycházejí z publikací IAEA i z vlastních zkušeností a možností laboratoře. Pro stanovení izotopů  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  a  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$  a  $^{228}\text{Th}$  se

využívá spektrometrie alfa, pro stanovení  $^{226}\text{Ra}$  emanometrie a  $^{228}\text{Ra}$  spektrometrie gama po chemické separaci. Pro účinnost separace jsou využívány monitory výtěžku  $^{232}\text{U}$ ,  $^{229}\text{Th}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ . Správnost postupů je pravidelně ověřována účastí v mezilaboratorních porovnáních. V práci jsou uvedeny používané postupy stanovení uvedených přírodních radionuklidů a výsledky mezilaboratorních porovnání za posledních 5 let.

Financováno z institucionální podpory MV-32469-1/OBVV-2019.



## Měření se sondami TERA

**Josef Voltr, Aleš Froňka, Jiří Hůlka, Karel Jílek, Lucie Vítková, Jindřich Brož, Petra Vyletělová, Eva Čermáková**

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[josef.voltr@suro.cz](mailto:josef.voltr@suro.cz)

Tesla, a. s., ve spolupráci se SÚRO, v. v. i., vyvinula, vyrábí a dále zdokonaluje systém sond TERA pro měření a případnou regulaci objemové aktivity radonu. Sondy využívají osvědčeného principu elektrickým polem podpořené depozice p.p. Rn na povrchu detekčního prvku s následným měřením energetického spektra emitovaných alfa částic. I když je tato metoda dlouho používána, stále budí některé

otazníky kolem fyzikálních procesů ovlivňujících citlivost a přesnost určení OAR a stabilitu výsledků. V rámci dalšího zdokonalování a vývoje sond jsou prováděna různá měření, například rychlosti odezvy, překrývání signálů  $^{214}\text{Po}$  a  $^{218}\text{Po}$ , vlivu koncentrace aerosolových částic atd. Modernizace sond je finančně podpořena MPO v rámci programu TRIO projektem FV30112 „Nová generace sond pro měření radonu“.

## Stanovenie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebnom materiáli

**Attila Moravcsík, Mária Vojtková**

Úrad verejného zdravotníctva SR, Trnavská ulica 52, P.O.BOX 45, Bratislava, 826 45, SR

[attila.moravcsik@uvzsr.sk](mailto:attila.moravcsik@uvzsr.sk)

Radiačná ochrana v Slovenskej republike je upravená v zákone č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov a jeho vykonávacích predpisoch. Zákon č. 87/2018 Z. z. nadobudol účinnosť dňa 1.4.2018 spolu s jeho vykonávacími predpismi. Cieľom zákona je zosúladiť právných predpisov Slovenskej republiky so štandardami v Európskom regióne v oblasti radiačnej ochrany.

Zákon č. 87/2018 Z. z. upravuje činnosti už zavedené v praxi a zároveň ustanovuje nové povinnosti pri výkone štátnej správy v oblasti radiačnej ochrany a ustanovuje podmienky na poskytovanie služby dôležitej z hľadiska ra-

diačnej ochrany na stanovenie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebnom materiáli na hodnotenie ožiarenia osôb a na ochranu pred ožiareníím prírodným zdrojom žiarenia v stavbe a ďalšie.

V § 138 zákona č. 87/2018 Z. z. s. ustanovené povinnosti pre výrobcu alebo dovozcu stavebného materiálu.

Vo vyhláške MZ SR č. 98/2018 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o obmedzovaní ožiarenia pracovníkov a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia sú uvedené podrobnosti a kritériá na stanovenie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebnom materiáli.

## Efektivní dávky na pracovištích s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření

Oldřich Tomášek

SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[oldrich.tomasek@sujb.cz](mailto:oldrich.tomasek@sujb.cz)

Poster je zaměřen na problematiku ozáření pracovníků v podzemí při činnosti prováděné hornickým způsobem (ČPHZ) a na dodržování § 93 a § 94 zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona (AZ). Na příkladu firmy GEMEC a. s. je prezentována povinnost organizace postupovat v souladu s § 88 vyhlášky č. 422/2016 Sb. Společnost obnovovala a sanovala podzemní prostory za účelem zpřístupnění těchto prostor pro montánní turistiku. V průběhu kalendářního roku na objednávku zajišťovala obnovu bývalé průzkumné

štoly na uran v Dolní Moravě (DM), Dolu Hraničná v Petrovicích u Skorošic (DH), kde se do roku 1968 dobývala železná ruda a Štoly Sv. Antonína Paduánského v Horním Městě (HM), kde se do roku 1972 těžil galenit, sfalerit a stříbro.

V posteru budou uvedeny způsoby monitorování pracovního prostředí a stanovení osobních dávek v letech 2016–2018.

## Komunikační strategie pro realitní trh v kontextu s radonem

Štěpánka Pšeničková<sup>1</sup>, Marcela Berčíková<sup>1</sup>, Hynek Novák<sup>1</sup>, Ivana Fojtíková<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oddělení radonového programu, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

<sup>2</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[stepanka.psenickova@sujb.cz](mailto:stepanka.psenickova@sujb.cz)

V uplynulých letech se stále častěji objevují soudní spory týkající se prodeje a koupě objektů s vyšším obsahem radonu. Spory probíhají na základě podaných žalob ze strany kupujících, kteří se domáhají snížení kupní ceny nebo odstoupení od smlouvy. Hlavním argumentem žalob je kupujícími uváděná skrytá vada – zvýšená hodnota objemové aktivity radonu (dále jen „OAR“), případně dávkového příkonu záření gama, o čemž nebyli kupující informováni.

Jak vyplývá z rozsudků, které měl Státní úřad pro jadernou bezpečnost k dispozici, soudy vyhověly žalobcům a vydaly rozsudky, ve kterých uznaly oprávněnost podaných žalob a označily přítomnost radonu, případně dávkového příkonu záření gama v domech za skrytou vadu, a to na základě měření a posudků soudního znalce.

Vzhledem k těmto informacím byla připravena komunikační strategie pro realitní trh, kterou ve svém posteru představím. Jedná se o systém jednotlivých kroků, které

budeme v čase vyhodnocovat a komunikační strategii přizpůsobovat odezvě na zvolené metody strategie:

- vybrali jsme nejnavštěvovanější webovou stránku [www.sreality.cz](http://www.sreality.cz), na kterou vyvěsíme banner s proklikem, jenž bude informovat o radonu jako o skryté vadě
- vysíláme webinář s možností online otázek, video je následně uloženo na YouTube.

Naším cílem je co nejlépe vysvětlit problematiku týkající se pojmu „skrytá vada“ v kontextu s radonem a předejít tak dalším soudním sporům.

Pouze kupující se správnými informacemi se může rozhodnout, zda hodnoty radonu naměřené v zájmové nemovitosti, při zvážení rizika pro zdraví vyplývajícího z dlouhodobého ozáření z radonu, jsou přijatelné pro něj a jeho rodinu.

# Multi-kompartmentový přístup ke kvantifikaci objemové rychlosti přísunu zdrojů radon do budov s využitím měření intenzity větrání pomocí techniky indikačních plynů

Michal Šesták<sup>1</sup>, Karel Jílek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[sestamil@fjfi.cvut.cz](mailto:sestamil@fjfi.cvut.cz)

Cílem této práce bylo odvození výpočetního modelu sloužícího k lokalizování a kvantifikování zdrojů radonu v budovách. Zkoumanou budovu nejprve rozdělíme na kompartmenty (většinou podle podlaží) a poté provedeme měření objemových aktivit radonu v kompartmentech simultánně s měřením ventilace budovy. Měřením ventilace budovy se myslí určení průtoků vzduchu mezi jednotlivými kompartmenty (v jednotkách  $\text{m}^3/\text{hod}$ ) a výměny vzduchu budovy za pomoci techniky indikačních plynů. Z naměřených veličin lze

pomocí výpočetního modelu určit objemové přísuny zdrojů radonu do kompartmentů. Model byl ověřen na naměřených datech a dále byla provedena tři měření s definovanými přísuny radonu k vyzkoušení a ověření celého procesu určování přísunů zdrojů radonu.

V příspěvku bude nejprve krátce uvedena metoda indikačních plynů, poté bude představen výpočetní model a nakonec budou prezentovány výsledky z měření.

## Současná biologická dozimetrie: od chromosomů k vysokokapacitním metodám

Aleš Tichý<sup>1</sup>, Gabriela Kultová<sup>1</sup>, Helena Řehulková<sup>1,2</sup>, Alena Myslivcová-Fučíková<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, ČR

<sup>2</sup> Katedra biologie, Přírodovědecká Fakulta, Univerzita Hradec Králové, ČR

[ales.tichy@unob.cz](mailto:ales.tichy@unob.cz)

V případě radiální nehody, teroristického útoku, válečného konfliktu či pouhého podezření na ozáření osob je nezbytnou součástí následných opatření efektivní diagnostika umožňující co nejpřesnější třídění ozářených pomocí biologické dozimetrie.

Zlatým standardem v biodozimetrii jsou cytogenetické metody, které jsou ovšem relativně pracné a náročné na čas

a erudici personálu. Cílem přednášky je přiblížit moderní citlivé a vysokokapacitní metody, které by mohli zlepšit kategorizaci ozářených pacientů. V závěru se pak budeme věnovat identifikaci nových biomarkerů ozáření pomocí proteomické analýzy na modelu celotělově ozářených pacientů.

# Micro-scale and nano-scale complexity of DNA double-strand break repair foci induced by accelerated ions of similar LET

Martin Falk<sup>1</sup>, Lucie Ježková<sup>2</sup>, Michael Hausmann<sup>3</sup>, Jin Ho Lee<sup>3</sup>, Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Iva Falková<sup>1</sup>, Olga Kopečná<sup>1</sup>, Alena Bačíková<sup>1</sup>, Stanislav Kozubek<sup>1</sup>, Elizaveta Bobková<sup>3</sup>, Evgeny Krasavin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Czech Academy of Sciences, Institute of Biophysics, Brno, ČR

<sup>2</sup> Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna, Russia

<sup>3</sup> University of Heidelberg, Kirchhoff-Institute for Physics, Heidelberg, Germany

[falk@ibp.cz](mailto:falk@ibp.cz)

Background: Biological effects of high-LET radiation have received increasing attention, particularly in the context of more powerful radiotherapy and space exploration. The characteristics of DNA damage and repair upon exposure to different particles remain unexplored.

Aims and Methods: High-resolution confocal microscopy and Single-Molecule Localization Microscopy (SMLM) were used to examine  $\gamma$ H2AX and 53BP1 foci at the microscale and nanoscale, focusing on the complexity, spatiotemporal behavior, and repair kinetics of DSBs generated by boron and neon ions accelerated at similar LET values ( $\sim 135$  keV/ $\mu$ m) and low energies (8 and 47 MeV/n, respectively). The cells were irradiated using a sharp-angle geometry and were spatially (3D) fixed to maximize the analysis resolution.

Results: Both high-LET radiation types generated highly complex  $\gamma$ H2AX/53BP1 focus clusters and slower elimination than  $\gamma$ -rays. Surprisingly, neon ions produced even

more complex  $\gamma$ H2AX/53BP1 focus clusters than boron ions, consistent with DSB repair kinetics. Our calculations suggest that the complexity of DSB damage increases with the particle track core diameter. In addition, the recruitment of 53BP1 into  $\gamma$ H2AX depended on the cell type, which again correlated with the speed of foci formation and relaxation at nanoscale.

Conclusions: Different particles with similar LET and energy may generate different types of DNA damage, which should be considered in future research. Our findings also indicate that repair cluster formation as determined by SMLM and the relaxation is cell type dependent and may be functionally explained and correlated to cell specific radio-sensitivity.

Supported by projects: AZV 16-29835A, DAAD-CAS Mobility Grant to M.F. and M.H., GACR 19-09212S, Projects of the Czech Plenipotentiary and the 3+3 Project.

# Localization microscopy towards understanding of the impact of nano-topology of repair clusters after DNA radiation damaging

Michael Hausmann

University of Heidelberg, Kirchhoff-Institute for Physics, Im Neuenheimer Feld 227, Heidelberg, 69120, Germany

[hausmann@kip.uni-heidelberg.de](mailto:hausmann@kip.uni-heidelberg.de)

**Aims:** Investigations of chromatin repair processes after cell exposure to ionizing radiation have revealed the importance of 3D-chromatin and repair foci architecture for DNA repair. In order to better understand how nano-topologies are correlated to repair process decision and outcome, investigations were performed by fluorescence super-resolution light microscopy.

**Methods:** Localization microscopy is based on the concept of using fluorescent labels that can be switched between two different spectral states (e.g. off/on) to achieve temporal isolation and spatial separation of molecular signals leading to structural parameters. Molecular labelling with specific antibodies against  $\gamma$ H2AX, MRE11, 53BP1, RAD51, pATM and heterochromatin (H3K9me3) in combination with specific uniquely binding oligonucleotides for ALU sequences was applied. Mathematical procedures based on Ripley's point-to-point distance distributions and topology analysis of persistence homologies, were used for data evaluation and parameter extraction.

**Results:** Molecular (re-)arrangements were investigated after radiation exposure (photons,  $\alpha$ -particles, N-ions) and

during repair. These experiments included quantitative studies of conformational changes of heterochromatin, repair foci formation, and recruitment of repair proteins under different radiation conditions. After specific antibody labelling against heterochromatin or oligo-nucleotide nano-probing against ALU-repeats, network-like chromatin structures were detected and characteristic (re-)arrangements were elucidated. The data indicate radiation and repair process-dependent re-organisation of chromatin. The recruitment of repair proteins and foci formation at DNA damage sites revealed characteristic  $\gamma$ H2AX clusters embedding repair proteins. The sub-organisation was quantified and correlated to different repair pathways. Topological similarities of  $\gamma$ H2AX clusters indicated a non-random, dose-independent organization of DNA damage sites.

**Conclusion:** The investigations demonstrate the potential of localization microscopy for understanding of spatial organisation of chromatin and its potential mechanisms based on (re-) arrangements after radiation exposure and during repair processes.



# Modelling biological effects of ionizing radiation at subcellular and cellular levels: Present status and future development of PARTRAC

Pavel Kunderát<sup>1,2</sup>, Janine Becker<sup>1</sup>, Markus Eidemüller<sup>1</sup>, Werner Friedland<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz Zentrum München, Germany

<sup>2</sup> ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

[kunderat@ujf.cas.cz](mailto:kunderat@ujf.cas.cz)

The PARTRAC suite of codes enables mechanistic, ‘ab initio’ modelling of radiation effects on subcellular and cellular scales. Established cross-section databases are used to simulate the stochastic character of individual energy deposition events and the resulting tracks of photons, electrons, protons and light ions, at energies relevant for natural exposures as well as in medical and technical applications. The formation of reactive species, their diffusion and mutual reactions are modelled. Induction of damage to cellular DNA is simulated, taking into account both direct energy deposits and attacks of reactive species. Multi-scale models of DNA and chromatin structures are implemented, including its double-helical structure, wrapping around histones,

and formation of chromatin fibers, loops, domains, and chromosome territories within the nucleus. In the next module, DNA damage response through non-homologous end-joining of DNA double-strand breaks is followed, explicitly considering both temporal and spatial aspects by modelling enzymatic processing and mobility of DNA termini. Correct rejoining, misrejoining and the formation of chromosome aberrations are simulated.

In this contribution, the current status and future developments of the code and the implemented models will be presented. In particular, efforts to link PARTRAC with macroscopic transport code GEANT4 and to extend PARTRAC to the endpoint of cell killing will be discussed.

## Možné mechanismy příznivého vlivu Rn koupelí

**Antonín Sedlák**

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[antonin.sedlak@suro.cz](mailto:antonin.sedlak@suro.cz)

Biologický účinek ionizujícího záření je právem vždy považován za účinek škodlivý. Týká se to i případů ozařování velmi malými dávkami. Nicméně je známou skutečností, že nepatrné dávky záření mohou indukovat i pozitivní efekty. Tato tzv. hormeze se nejčastěji vykládá tak, že nepatrné množství škodlivé látky vyvolává pohotovou reakci – povzbudivý účinek. Takto lze asi souhrnně interpretovat i léčivé působení radonových koupelí. Předmětem tohoto příspěvku je pokus hledat podrobnější příčiny terapeutického efektu těchto koupelí na základě vlastností buněk krvetvorby. Největší překážkou je zde fakt, že celková dávka absorbovaná

v kůži během léčení je typicky jen několik desítek  $\mu\text{Gy}$ . Tak malé dávky až na několik výjimek nevyvolávají žádný účinek. Z těchto výjimek zde nejspíše přichází v úvahu tzv. bystander efekt, při kterém se efekt šíří do dalších buněk prostřednictvím jejich vzájemné komunikace. K ní dochází přímo mezi kanálky v membráně či pomocí reaktivních radikálů nebo přes medium pomocí cytokinů. Změnou rovnováhy mezi cytokiny produkoványi buňkami krvetvorby může pak dojít k potlačení pro-zánětlivých cytokinů a tím i k útlumu bolesti.

## Možnosti využití protonové fúzní reakce na boru v radioterapii

Anna Michaelidesová<sup>1</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Jana Klementová<sup>1,2</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>,  
Vladimír Vondráček<sup>3</sup>, Marie Davidková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Ústav molekulární genetiky AV ČR, Vídeňská 1083, Praha 4, 142 20, ČR

<sup>3</sup> Proton Therapy Center Czech, s.r.o., Budínova 2437/1a, Praha 8, 180 00, ČR

davidkova@ujf.cas.cz

Protonová radioterapie se po celém světě stále více používá k léčbě nádorových onemocnění, zejména nádorů v těsném sousedství vysoce citlivých orgánů. Protonová borová fúzní terapie (PBFT) je slibným experimentálním rozšířením protonové radioterapie. Princip PBFT, který byl teoreticky popsán před několika lety (Yoon, D-K et al., Applied Physics Letters 105, 223507, 2014), spočívá ve zvýšení účinnosti terapie pomocí nízkoenergetických částic alfa generovaných reakcí s izotopem boru  $^{11}\text{B}$  (výskyt v přírodní směsi izotopů boru 80 %):  $p + ^{11}\text{B} \rightarrow ^{12}\text{C}^* \rightarrow \alpha + ^8\text{Be} \rightarrow 3\alpha + 8.68 \text{ MeV}$

Tato reakce je známá od počátku třicátých let 20. století kdy se stala zajímavým kandidátem pro výrobu fúzní energie. Princip PBFT je analogický dlouhodobě zkoumané borové neutronové záchytové terapii (BNCT), při které méně hojný izotop boru  $^{10}\text{B}$  (výskyt 20 %) absorbuje tepelné neutrony produkující nízko-energetickou částici alfa a iont  $^7\text{Li}$ .

První experimentální důkaz účinnosti PBFT byl publikován pro buněčnou nádorovou linii prostaty DU145 a borocaptát sodný (BSH,  $\text{Na}_2\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$ ) v koncentraci 40 a 80 ppm  $^{11}\text{B}$  ozářenou 62 MeV protony (Cirrone, GAP et al., Sci Rep 8, 1141, 2018). Dávkový modifikační faktor (DMF), poměr dávek záření ve vzorcích s a bez borové sloučeniny způsobující stejný účinek, dosahoval hodnot až 1,75. Naše experimenty týkající se přežití astrocytomu glioblastomu (U87 MG) a lidských buněk rakoviny prostaty (DU145) ozářené v Braggově píku 200 MeV monoenergetického protonového svazku potvrdily zvýšení DMF až na 1,4 pro koncentraci BSH odpovídající 40 ppm  $^{11}\text{B}$ . Protože Monte Carlo simulace předpovídají pouze zanedbatelný nárůst deponované energie (Mazzone, A, et al. arXiv:1802.09482, 2018; Vermunt, T, Master thesis, Delft University of Technology, 2019), zůstává mechanismus zesíleného účinku PBFT prozatím neznámý.

## Reakce neurálních kmenových buněk na poškození způsobené ionizujícím zářením

Jana Klementová<sup>1,2</sup>, Martina Zíková<sup>2</sup>, Lukáš Cupal<sup>1</sup>, Šárka Jarošová<sup>2</sup>, Anna Michaelidesová<sup>1</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>, Marie Davidková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Oddělení buněčné diferenciaci ÚMG AV ČR, Vídeňská 1083, Praha 4, 142 20, ČR

[davidkova@ujf.cas.cz](mailto:davidkova@ujf.cas.cz)

Radioterapie hraje v současné době významnou roli při léčbě mozkových nádorů. Tato léčba ale není bez vedlejších účinků. Navzdory tomu, že poškození zdravé nenádorové tkáně mozku zářením je komplexní, tak se všeobecně předpokládá, že klíčové je především poškození neurálních kmenových buněk. V postnatálním mozku savců se neurální kmenové buňky vyskytují především ve dvou specifických oblastech a podílí se na procesech učení a paměti, dále je známá také jejich role při reparaci poškození.

Citlivost neurálních kmenových buněk byla do současnosti již několikrát studována především s využitím in vivo experimentů na hlodavcích. U takto získaných výsledků je ale těžké odlišit vliv poškození okolní tkáně mozku od samotné reakce neurálních kmenových buněk na poškození

DNA způsobené ionizujícím zářením. V naší studii jsme se proto zaměřili na reakci neurálních kmenových buněk izolovaných z ventrikulárně-subventrikulární zóny mozku myši na ionizující záření in vitro. Po ozáření jsme u buněk detekovali poškození DNA a zvýšenou expresi p53 responsivních genů. Dále jsme ale také zjistili, že většina buněk reaguje na ionizující záření zástavou proliferace a spontánní diferenciací. Na základě těchto našich výsledků, ale i na základě jiných již dříve publikovaných studií, je možné se domnívat, že indukce diferenciaci u neurálních kmenových buněk představuje důležitý regulační mechanismus, který brání další proliferaci poškozených a tudíž do budoucna potenciálně nebezpečných buněk v mozku dospělého jedince.

## Možnosti využití kvantifikace $\gamma$ H2AX/53BP1 foků jako potenciálního prediktivního markeru radiosenzitivity nádorů hlavy a krku – vyhodnocení souboru 40 pacientů

Olga Kopečná<sup>1</sup>, Martin Falk<sup>1</sup>, Iva Falková<sup>1</sup>, Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Michal Masařík<sup>2</sup>, Jaromír Gumulec<sup>2</sup>, Zuzana Horáková<sup>3</sup>, Alena Bačíková<sup>1</sup>, Stanislav Kozubek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Biofyzikální ústav, Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno, ČR

<sup>2</sup> Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, Brno, ČR

<sup>3</sup> Fakultní nemocnice u sv. Anny, Brno, ČR

[kopecna@ibp.cz](mailto:kopecna@ibp.cz)

Rakovina hlavy a krku (HNSCC) patří v celosvětovém měřítku mezi 7 nejčastějších zhoubných nádorů s nepříliš dobrou prognózou. U mužů ze zemí Evropské unie se jedná dokonce o čtvrté nejčastější nádory. Základní léčebnou metodou je chirurgie, která pacienty často znetvoří. Neinvazivní léčba chemo/radioterapií je však úspěšná pouze u 60 % pacientů. Následný záchranný chirurgický zákrok je spojen s poměrně vysokou morbiditou, a proto je prvotní volba správné terapie zásadní. Bohužel dosud nebyly nalezeny spolehlivé prediktivní markery radiosenzitivity HNSCC nádorů, které by tuto volbu lékařům usnadnily.

V rámci našeho projektu zaměřeného na studium molekulární odpovědi a radiosenzitivity jednotlivých nádorů hlavy a krku jsme provedli analýzu indukce a reparace dvouřetězcových zlomů DNA (DSB) po působení ionizujícího záření (<sup>60</sup>Co, 2 Gy) pomocí kvantifikace  $\gamma$ H2AX/53BP1 foků za použití imunofluorescenční konfokální mikroskopie. Touto

metodou jsme vyšetřili a srovnali 48 různých buněčných kultur nádorových buněk i buněk přilehlé nenádorové tkáně 22 pacientů a dalších 18 vzorků nádorových kultur 18 pacientů s HNSCC. Zaměřili jsme se na stanovení genomové nestability před ozářením, počátečního poškození DNA DSB (30 min PI) a počtu perzistentních  $\gamma$ H2AX/53BP1 foků (8 h, 24 h PI). Zároveň jsme u všech buněčných kultur sledovali buněčnou viabilitu pomocí čtyř různých metod (Cell Counter – barvení Trypanovou modří; flow cytometrie – kit Annexin V/7-AAD, kit Cell count and viability; klonogenní analýza). Takto získaná data z HNSCC vzorků pacientů jsme srovnali s daty získanými pomocí stejných metod z linie normálních kožních fibroblastů a ze 2 modelových HNSCC linií – radiorezistentní linie Detroit 562 a radiosenzitivní linie FaDu.

Podpora projektu: GAČR GA16-12454S a AZV 16-29835A.

# Detection of chromosome translocations as an indicator of exposure ionizing radiation

**Martina Juričková, Martina Horváthová, Zuzana Bárđyová**

Trnavská univerzita v Trnave, FZaSP, LVMvZ, Univerzitné námestie 1, Trnava, 918 43, SR

[juricekova.m@gmail.com](mailto:juricekova.m@gmail.com)

Worldwide we notice a significant increase in the number of nuclear medicine examinations and the introduction of new ones imaging technologies. There is almost a double population radiation dose from medical sources. This is just one of many reasons to better know and evaluate the risk of stochastic development effects of radiation using analysis of mutation processes using available cytogenetic methods. Chromosome translocations are considered to be the gold standard for assessing ionizing radiation exposure. Because translocations are inherently more stable through cell division than dicentrics, translocations have

become the aberration of choice for evaluating many types of exposure. Fluorescence in situ hybridization with whole chromosome painting probes (FISH-WCP) has been shown to be a rapid method of detecting chromosomal rearrangements, and appears to be especially useful for analysis of induced translocations. Correct estimation of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes irradiated patients or health care workers are directly dependent on the absorbed dose of radiation and can serve as a biological indicator of human body damage by ionizing radiation, which is our priority in radiation protection.

## Freezing and thawing cells to radiosensitize tumour cells

Iva Falková<sup>1</sup>, Martin Falk<sup>1</sup>, Olga Kopečná<sup>1</sup>, Alena Bačíková<sup>1</sup>, Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Martin Golan<sup>2</sup>, Irena Kratochvílová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Czech Academy of Sciences, Institute of Biophysics, Brno, ČR

<sup>2</sup> Czech Academy of Sciences, Institute of Physics, Prague, ČR

[ivafalk@seznam.cz](mailto:ivafalk@seznam.cz)

In this work, we shed new light on the highly debated issue of chromatin fragmentation in cryopreserved cells. We describe replicating cell-specific DNA damage and higher-order chromatin alterations after freezing and thawing. We identified DNA structural changes associated with the freeze-thaw process and correlated them with the viability of frozen and thawed cells. And simultaneously evaluated DNA defects and the higher-order chromatin structure of frozen and thawed cells with and without cryoprotectant treatment. We found that in replicating (S phase) cells, DNA was preferentially damaged by replication fork collapse, potentially leading to DNA double strand breaks (DSBs), which rep-

resent an important source of both genome instability and defects in epigenome maintenance.

This induction of DNA defects by the freeze-thaw process was not prevented by any cryoprotectant studied. Both in replicating and non-replicating cells, freezing and thawing altered the chromatin structure in a cryoprotectant-dependent manner.

Freezing and thawing effects are tested to radio-sensitize the tumour cells.

Supported by: the Ministry of Health of CR (16-29835A), Projects of the Czech Plenipotentiary and the 3+3 Project.

# Studium oxidačního poškození DNA po ozáření pomocí voltametrie s využitím tištěných uhlíkových senzorů

Marcela Jeličová<sup>1</sup>, Zuzana Šinkorová<sup>1</sup>, Radovan Metelka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita Obrany, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 02, ČR

<sup>2</sup> Katedra analytické chemie, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Studentská 573, Pardubice, 532 10, ČR

[marcela.jelicova@unob.cz](mailto:marcela.jelicova@unob.cz)

Voltametrie je dnes široce užívaný přístup detekce biologických molekul v různých oblastech výzkumu. Tato skutečnost nabízí možnost použití pro detekci produktů oxidačního stresu DNA způsobené účinkem ionizujícího záření. Proto bylo hlavním cílem optimalizovat voltametrii pro spolehlivou detekci hladiny 8-hydroxyguaninu po ozáření. Hladina tohoto stabilního a specifického indikátoru poškození nukleových kyselin může být stanovena v DNA izolované z lymfocytů periferní krve, plazmy nebo moči ozářených jedinců. Ke studiu elektrochemického chování 8-hydroxyguaninu (8-OHG) na tištěných uhlíkových elektrodách chemicky modifikovaných vícečetnými uhlíkovými nanotrubicemi byla použita Diferenční pulzní (DPV) a Square wave voltametrie (SWV). V rámci experimentů byly stanoveny optimalizační a validační parametry (LOD, přesnost, přesnost, intra- a

inter-day analýza). Navíc byla vyzorována závislost pH na oxidačním signálu 8-OH-Gua a také byla testována stabilita vzorku 8-OH-Gua ve fosfátovém pufru při různých laboratorních podmínkách. Elektroda vykazovala účinnou katalytickou odpověď s dobrou reprodukovatelností a stabilitou. K detekci 8-hydroxyguaninu ve vzorcích DNA z telecího brzlíku ozářeného zdrojem ionizujícího záření <sup>60</sup>Co v dávkovém rozmezí 0–50 Gy bylo využito dvou přístupů DPV a SWV za účelem porovnání a nalezení přístupu s co nejvyšší citlivostí detekce. Metoda voltametrického stanovení poškození DNA by mohla sloužit k rychlé retrospektivní kvantifikaci absorbované dávky v případě náhodného vystavení ionizujícímu záření a hraje důležitou roli v biologické dozimetrii.



# Vztah mezi primární řasinkou a ionizujícím zářením u buněk plicního mezoteliomu

Alžběta Filipová, Marcela Jeličová, Zuzana Šinkorová

Katedra Radiobiologie, Fakulta Vojenského Zdravotnictví v Hradci Králové, Univerzita Obrany v Brně, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

[alzbeta.filipova@unob.cz](mailto:alzbeta.filipova@unob.cz)

Pleurální mezoteliom je agresivní maligní onemocnění, které se vyvíjí z metastatických buněk plicní tkáně. Tento typ nádoru je znám svou špatnou prognózou, krátkým přežitím pacientů, radiorezistencí a odolností vůči chemoterapii. Ionizující záření svojí povahou ovlivňuje různé buněčné úrovně. Mimo již známé efekty na úrovni DNA a další molekulární mechanismy ovlivňuje cytoskeletální stabilitu buňky, a tím také její morfologické struktury. Primární řasinka, solitární, sensorická organela vyskytující se na téměř každé buňce v lidském těle, obvykle slouží jako mechanický smyslový nástroj při interakci s buněčným mikroprostředím. Primární řasinku a její morfologické změny jako např. počet, délka, ale také změny na molekulární úrovni, můžeme považovat za jednoho z kandidátů majících prediktivní hodnotu ve vztahu k různým formám poškození buněk.

Cílem naší studie je prozkoumat význam primární řasinky a její změny v nádorových buňkách mezoteliomu po ozáření a chemické deciliaci.

Buněčná linie MSTO-211H byla ozářena dávkou 5 Gy nebo ovlivněna chloral hydrátem s cílem dosažení deciliace

po dobu 48 hodin. Životaschopnost buněk byla stanovena pomocí testu WST-1. Imunofluorescence byla použita pro hodnocení přítomnosti primární řasinky v ovlivněných buňkách. Chemická deciliace chloral hydrátem způsobila snížení počtu buněk s primární řasinkou (3 %) ve srovnání s neovlivněnou kontrolou (7,3 %). Ionizující záření zvýšilo frekvenci primární řasinky o 8 % oproti neozářené kontrole (7,3 %), ale nebylo pozorováno žádné významné prodloužení její délky. Při ozáření MSTO-211H a ovlivnění chloral hydrátem došlo ke zkrácení primární řasinky a bylo detekováno pouze 4,6 % buněk s primární řasinkou. Proliferace poklesla o 28 % po ozáření dávkou 5 Gy ve srovnání s neozářenou kontrolou. Chloral hydrát nezpůsobil změny v proliferaci buněk. Ozáření MSTO-211H dávkou 5 Gy a ovlivnění chloral hydrátem způsobilo enormní zvýšení proliferace o 23 % oproti pouze ozářeným buňkám (72,4 %). Tato data podporují teorii, že MSTO-211H s krátkou nebo chybějící primární řasinkou jsou odolnější vůči ionizujícímu záření.

## Radiačne indukované poškodenie pľúc a nanočastice z kyseliny hyaluronovej

**Anna Lierová<sup>1,5</sup>, Jitka Kašparová<sup>2</sup>, Jaroslav Pejchal<sup>3</sup>, Klára Kubelková<sup>4</sup>, Lucie Korecká<sup>2</sup>, Zuzana Bílková<sup>2</sup>, Zuzana Šinkorová<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Trebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

<sup>2</sup> Katedra biologických a biochemických věd, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Studentská 573, Pardubice, 532 10, ČR

<sup>3</sup> Katedra toxikologie a vojenské farmacie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Trebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

<sup>4</sup> Katedra molekulární patologie a biologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Trebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

<sup>5</sup> Katedra klinických oborů, Fakulta zdravotnických studií, Univerzita Pardubice, Průmyslová 395, Pardubice, 530 03, ČR

[anna.lierova@unob.cz](mailto:anna.lierova@unob.cz)

Kyselina hyaluronová (HA) získala v posledných rokoch veľkú pozornosť ako vhodný materiál na syntézu nanočastíc. Nanočastice z HA si zachovávajú biologické vlastnosti pôvodného reťazca, ktorý je biokompatibilný, biologicky odbúrateľný a neimunogénny. Avšak zmenšením na nanoškálu sa zvyšuje ich schopnosť prestupu cez biologické bariéry a biologický polčas v tkanivách. Taktiež je HA významný regulátor extracelulárneho prostredia, ktorý sa aktívne zapája do obnovy tkaniva po poškodení. Na základe uvedených vlastností, sme sa rozhodli testovať nanočastice z kyseliny hyaluronovej (HA-NPs) a sledovať ich vplyv na zmeny vyvolané pôsobením ionizujúceho žiarenia.

Cieľom tejto štúdie bolo zistiť, či HA-NPs aplikované do myšieho kmeňa C57Bl/6J môžu ovplyvniť priebeh akútneho alebo chronických účinkov žiarenia na pľúcne tkanivo.

Nanočastice boli podávané intratracheálnou instiláciou 30 minút pred ožiarením. Následne bol myšiu model vystavený ožiareniu hrudníku dávkou 17 Gy. Zmeny po ožiarení boli sledované v krvi a pľúcnom tkanive v troch časových intervaloch, korešpondujúcimi s nástupom radiačnej pneumonitídy, prechodnej fázy a radiačnej fibrózy.

Výsledky práce jednoznačne naznačujú, že HA-NPs v našom experimentálnom modeli prispievajú k zmierneniu prejavov radiačnej fibrózy v pľúcach. Bol zaznamenaný výrazný rozdiel v molekulárnej a bunkovej odpovedi organizmu počas prechodne a fibrotickej fázy. Taktiež v poslednom časovom intervale nedochádzalo k zhoršeniu vzdušnosti pľúcneho tkaniva u skupiny s aplikovanými nanočasticami. Aplikáciou HA-NPs je možné modulovať vývoj radiačne indukovaných zmien v pľúc.

## Analýza cytotoxicity nanočástic

Eva Pagáčová, Olga Kopečná, Martin Falk, Iva Falková, Alena Bačíková

Radiologie a buněčné biologie, Biofyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i., Královopolská 135, Brno, 612 00, ČR

[pagacova@ibp.cz](mailto:pagacova@ibp.cz)

Nanočástice představují novú možnost v oblasti rádioterapie, ktorá je jedným z prístupov uplatňovaných pri liečbe nádorových ochorení. Účinnosť rádioterapie sa výrazne odlišuje medzi jednotlivými druhmi malignít a jej významnou nevýhodou je, že ionizujúce žiarenie preniká rovnakou mierou do nádorových a zdravých buniek. Potenciálnym prístupom k rádioterapii za využitia nanočástic je práve modifikácia senzitivity tumoru (zvýšenie rádiosenzitivity) alebo normálneho tkaniva (zníženie rádiosenzitivity) k ožarovaniu.

Nanočástice využívané v rádioterapii sa vyznačujú tým, že obsahujú vo svojej štruktúre atómy kovov s vysokým protónovým číslom. Rádiosenzitivizácia buniek nastáva v dôsledku prítomnosti atómov kovov, ktoré majú tendenciu absorbovať väčšie množstvo fotónov.

Mechanizmus, ktorý zabezpečuje prenikanie nanočástic do bunky je spojený vo väčšine prípadov s endocytózou a jej efektívnosť je výrazne ovplyvnená najmä ich veľkosťou. Významnou a preskúmanou oblasťou je toxicita nanočástic,

ktorá je podmienená ich tvarom, veľkosťou alebo prítomnosťou ligandov (funkčných skupín) na povrchu nanočástic. Bolo dokázané, že určité druhy nanočástic sa prejavujú in vitro ako netoxické, ale in vivo mali toxické účinky. V súlade s uvedenými zistením je nutné podrobne vyhodnotiť vplyv prítomnosti nanočástic na bunkové systémy. Ako modelové in vitro systémy boli skúmané uvedené bunkové línie: nádorová bunková línia: Skbr3 (breast cancer cell line) a línia ľudských fibroblastov: HGF (human gingival fibroblasts).

Cieľom práce bolo vyhodnotiť cytotoxicitu skúmaných nanočástic pomocou MTT testu (kolorimetrický test hodnotiaci metabolickú aktivitu buniek) a následne sledovanie bunkovej proliferácie pomocou systému iCelligence (neinvazívne monitorovanie životaschopnosti kultivovaných buniek pomocou elektrickej impedancie). Analýza získaných výsledkov poskytne základnú charakteristiku nanočástic a umožní pokračovať v podrobnejšom skúmaní mechanizmu pôsobenia nanočástic v bunke.

# Indukce apoptózy v buňkách meduloblastomu při ozařování v klinických podmínkách na Leksellově gama noži Perfexion

Markéta Hurychová<sup>1,2,3</sup>, Veronika Paštyková<sup>4</sup>, Jana Vachelová<sup>3</sup>, Jana Klementová<sup>3,5</sup>, Marie Davidková<sup>3</sup>, Josef Novotný<sup>2</sup>, Roman Liščák<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> Nemocnice Na Homolce, Roentgenova 2, Praha 5, 150 30, ČR

<sup>3</sup> ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>4</sup> Nemocnice na Bulovce, Budínova 2, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>5</sup> Ústav molekulární genetiky AV ČR, Vídeňská 1083, Praha 4, 142 20, ČR

[hurychova@ujf.cas.cz](mailto:hurychova@ujf.cas.cz)

V klinické radiochirurgii je jedním z používaných přístrojů Leksellův gama nůž. Tento ozařovač obsahuje 192 zdrojů <sup>60</sup>Co, kterými lze najednou ozařovat cílový objem. Pro plánování ozařování je v současné době používáno více izocenter a průměrný dávkový příkon v různých částech cílového objemu může být velmi rozdílný. Experimentální studie je zaměřena na určení vlivu dávkového příkonu gama záření na nádorovou buněčnou linii meduloblastomu DAOY. Buněčná linie byla kultivována v adherentních podmínkách, kde jsou buňky přisedlé na dně lahvičky, a suspenzních podmínkách, ve kterých se buňky pohybují volně v médiu. Obě zmíněné možnosti kultivace buněk DAOY byly shledány relevantními a vykazovaly podobně dobré přežití buněk. Buňky DAOY byly ozařeny na Leksellově gama noži Perfexion ve fantomu hlavy s rámem simulující stereotaktický rám a nebo na kobaltovém ozařovači ve vodním fantomu různými dávkovými příkony v rozpětí 0,341 Gy/min až

3,029 Gy/min. Obdržené dávky se pohybovaly v rozpětí 0–10 Gy. V ozařených vzorcích bylo stanoveno klonogenní přežití a podíl apoptotických buněk v populaci ve vybraných časech po ozaření, konkrétně 24, 48 a 72 h. Byla provedena analýza výsledků všech experimentů zahrnující klonogenní test a test apoptózy. Statistické zpracování výsledků prokázalo, že s rostoucí absorbovanou dávkou stoupá i množství buněk podléhajících apoptóze. Obdobně teorii odpovídá i závěr pro statisticky zpracované křivky přežití buněk po ozaření, kde byla potvrzena klesající tendence se zvětšující se obdrženou dávkou. Tyto závěry jsou ve shodě s teoretickým předpokladem. Vliv dávkového příkonu se nepodařilo prokázat, neboť křivky přežití stanovené při opakovaných experimentech jsou v rozporu s očekávanou závislostí. Možných důvodů pro tyto výsledky je několik, a tak je potřeba získané výsledky ověřit.

# Transcriptome analysis of *Drosophila melanogaster* for candidate genes of ionizing radiation stress response

Mikhail Zarubin, Elena Kravchenko

Molecular genetics group of the Dzhelapov Laboratory of Nuclear Problems, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

[mzarubin@jinr.ru](mailto:mzarubin@jinr.ru)

Gene expression profile changes underlie the organism's reaction to ionizing radiation and represents general and specific stress response genes. Transcriptome analysis is an effective new method that may contribute to revealing mechanisms of adaptation to adverse conditions. Nowadays one of the most appropriate organisms for such studies is *Drosophila melanogaster*, because its physiology are suitable for validation of wide range of hypothesis, allowing to determine pathways and molecular mechanisms caused by various types of stress factors.

In recent work we performed irradiation of *Drosophila melanogaster* standard strain y1w1 males and females separately by gamma rays  $^{60}\text{Co}$  source at the dose 628 Gy for determining candidate stress response genes through comparative analysis. Expression profiles of *Drosophila*'s irradiated and normal strains were obtained by microarray

Affymetrix systems and data analysis with genes hierarchical clustering were performed in TAC 4.02.

It's known that up- and down-regulation of metabolic pathways based on changes in genes expression can be considered as general stress response mechanism, that can be estimated by pair analysis of transcript abundance in values of fold change. Transcriptome analysis demonstrated the set of 334 (52 up- and 282 down-regulated) genes with significant fold change ( $\text{FC} > 5$ ,  $P < 0,01$ ) after irradiation in case of female lines and the set of 159 (92 up- and 67 down-regulated) genes for males. Genes with known functions were grouped in several categories: stress response, energy and metal metabolism, immune response. Quite possible that several alleles of these genes may be important for radioresistance/ radiosensitivity and can contribute in investigation homologous genes in human and other species.

# Modelování časového vývoje prostorové konformace plasmidových molekul na atomární úrovni

Klára Stefanová<sup>1,2</sup>, Martin Šeřl<sup>1</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddělení dozimetrie záření, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[stefakla@fjfi.cvut.cz](mailto:stefakla@fjfi.cvut.cz)

Plasmidové molekuly jsou smyčky či lineární segmenty nechromozomální DNA, které se přirozeně nacházejí v cytoplasmě některých bakterií, hub a kvasinek. V radiobiologii se využívají jako biologické terče při studiu počátečních fází účinků ionizujícího záření. Naše práce se zabývá možnostmi modelování struktury a měnící se prostorové konformace plasmidu. Tento vývoj lze nejpřesněji popsat pomocí metod molekulární dynamiky. Častěji se však při modelování využívají rychlejší zjednodušené modely molekuly jako je například worm-like chain model.

Cílem naší práce je vytvoření řetězu softwarových nástrojů pro modelování vývoje prostorové konformace plasmidu na atomární úrovni. Při vygenerování prostorové konformace plasmidu byl použit kód z Huang J., et al. (PNAS

2001. 98, 968-973), který časový vývoj prostorové konformace modeluje pomocí worm-like chain modelu. Vzniklá hrubá struktura byla zjemněna pomocí algoritmu, který vychází z popisu zjemňovacího procesu uvedeného v Kümmelerle, E. A. a Pomplun E. (Eur Biophys J. 2005. 34: 13–18). Sada skriptů realizující tento algoritmus umožňuje přejít od hrubé struktury worm-like chain modelu plasmidu k jeho atomární struktuře. Výstupem zjemňujícího procesu je PDB soubor, který obsahuje polohy jednotlivých atomů dané prostorové konformace plasmidu.

Výstupem naší práce je repozitář obsahující zjemňovací skripty v jazyce Matlab spolu s knihovnamí PDB souborů s časovým vývojem prostorových konformací tří plasmidů popsaných na atomární úrovni.

# Rozhodovanie v núdzových situáciách ožiarenia: úloha havarijnej pripravenosti, zvládnutie neurčitosti a spolupráca stakeholderov

Tatiana Ďúranová<sup>1</sup>, Jiří Hůlka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> VUJE, a. s., Okružná 5, Trnava, 918 64, SR

<sup>2</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[tatiana.duranova@vuje.sk](mailto:tatiana.duranova@vuje.sk)

Úvodná prezentácia sekcie venovanej otázkam radiačnej ochrany v jadrovo-palivovom cykle a havarijnej pripravenosti sumarizuje úlohy havarijnej pripravenosti v zmysle odozvy na núdzovú situáciu ožiarenia, radiačnej ochrany obyvateľov v núdzovej situácii a existujúcej situácii ožiarenia uplatnením súboru ochranných opatrení a zabezpečením stratégie riadenia.

Prezentácia poskytuje prehľad oblastí riešenia, cieľov a čiastkových výsledkov medzinárodných projektov zameraných na radiačnú ochranu a havarijnú pripravenosť v rámci programu HORIZON 2020 ako hlavného nástroja Európskej komisie na podporu výskumu, vývoja a inovácií na roky 2014 až 2020. Kľúčovým projektom v tejto oblasti je projekt CONCERT „European Joint Programme for the integration

of Radiation Protection Research“, v rámci ktorého sú venované hĺbkovému riešeniu ucelené výskumné projekty. Podrobnejšie sa prezentácia zaoberá dvomi projektmi: CONFIDENCE „Coping with uncertainties for improved modelling and decision making in nuclear emergencies“ a ENGAGE „Enhancing stakeholder participation in the governance of radiological risks for improved radiation protection and informed decision making“.

Na príklade aktívneho zapojenia sa širokého spektra stakeholderov v Slovenskej a Českej republike sú ilustrované výsledky výskumu jednotlivých pracovných úloh medzinárodných a národných projektov (CONFIDENCE, ENGAGE, RAMESIS), metodiky práce a reálne výsledky a odporúčania.

# Vliv měření na lokalizaci a odhad zdroje atmosférického úniku: demonstrace na případu úniku $^{106}\text{Ru}$ v roce 2017

Ondřej Tichý, Miroslav Hýža, Petr Kuča, Jan Helebrant

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[petr.kuca@suro.cz](mailto:petr.kuca@suro.cz)

Lokalizace a odhad časového průběhu úniku, tzv. zdrojového členu, při atmosférickém úniku patří ke klíčovým úlohám v rámci atmosférického monitorování. Typicky je úloha formalizována jako optimalizační problém, kde minimalizujeme odchylku měření od teoretického výsledku atmosférického transportního modelování a hledaného zdrojového členu. V případě neznámé lokace lze tuto úlohu řešit opakovaně na diskretizační mřížce dané domény. V této úloze hraje roli mnoho faktorů a jejich neurčitosti: neurčitost měření, neurčitost atmosférického transportního modelu i neurči-

tost daná užitou optimalizační metodou. V příspěvku se zabýváme vlivem časového rozlišení měření na výsledné odhady s demonstrací na případu detekce  $^{106}\text{Ru}$  v ovzduší v České republice na přelomu září/říjen 2017. Pro porovnání použijeme data o koncentraci  $^{106}\text{Ru}$  v ovzduší s lepším časovým rozlišením, získaná v r. 2017 v České republice pomocí vysokoobjemového odběrového zařízení aerosolů a polovodičové (HPGe) spektrometrie. Pro atmosférické modelování využijeme atmosférický transportní model HYSPLIT s meteorologickou reanalýzou GFS s rozlišením 0,5 stupně.



## Volně dostupná cvičná radiační data pro mobilní a letecké skupiny

Jan Helebrant<sup>1</sup>, Marcel Ohera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Odbor havarijní připravenosti, oddělení SVZ a analytické expertní skupiny, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Odbor havarijní připravenosti, oddělení mobilní skupiny, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[jan.helebrant@suro.cz](mailto:jan.helebrant@suro.cz)

Príspevek se zabývá volně dostupnými cvičnými daty v různých formátech použitelných pro potřeby cvičení v oblasti zpracování a vyhodnocení dat, testování a vývoj softwarových nástrojů.

Aktuálně jsou dostupná data z několika fiktivních pozemních měření ve formátu přístroje MobDose, a několika leteckých gamaspektrometrických měření ve formátu systému IRIS používaného leteckými skupinami SÚRO a AČR.

Do budoucna je v plánu rozšíření datasetů o další formáty s ohledem na možnosti mezinárodní spolupráce.

Existující cvičné datasety odpovídají reálným radiačním datům na úrovni variací přírodního pozadí, nicméně nástroje, postupy a zkušenosti získané při vytváření uvedených datasetů lze využít i k přípravě dalších datasetů na bázi havarijních dat získaných např. z modelů šíření typu JRODOS.

# ESTE: Chemické formy jódu v úniku do atmosféry a ich vplyv na radiačné dopady

Ludovít Lipták, Peter Čarný, Eva Fojčíková

ABmerit s. r. o., Hornopotočná 1, Trnava, 917 01, SR

[liptak@abmerit.sk](mailto:liptak@abmerit.sk)

Príspevok sa zaoberá rozborom zdrojových členov (únikov do atmosféry okolia) pri ťažkých haváriách jadrových elektrární z hľadiska chemickej formy jódu v úniku (aerosolová, plynná a organická forma jódu). Je prezentovaná stručná analýza zdrojových členov podľa databázy projektu FAST-NET (H2020). Sú uvedené faktory a javy, na ktoré má chemická forma jódu podstatný vplyv (účinnosť filtrov ventilačného systému pri úniku do okolia, suchý a mokrý

spad na terén pri výpočte disperzie v atmosfére, inhalácia pri výpočte ožiarenia obyvateľstva). Sú prezentované a diskutované príklady (ESTE) radiačných dopadov havarijných únikov do atmosféry z hľadiska rôznej chemickej formy jódu v úniku, v rôznych vzdialenostiach od miesta úniku, pre rôzne meteorologické situácie (depozit na teréne, objemová aktivita v prízemnej vrstve atmosféry, ekvivalentná dávka na štítnu žľazu pre rôzne vekové kategórie).

## ESTE Annual Impacts: Výpočet dávky na plod

Eva Fojcikova, Peter Čarný, Ľudovít Lipták

ABmerit, s. r. o., Hornopotocna 1, Trnava, 917 01, SR

[fojcikova@abmerit.sk](mailto:fojcikova@abmerit.sk)

Príspevok popisuje modelový prístup programu ESTE Annual Impacts k výpočtu dávky na plod v dôsledku prevádzkových výpustí do atmosféry a hydrosféry z jadrových zariadení. Na príklade konkrétnych výpustí za rok 2018 sú analyzované dopady na plod v okolí JE Bohunice. Model predpokladá, že matka dlhodobo (celé tehotenstvo, od počatia plodu) žije v danom mieste v 100 km okolí miesta výpuste. Plod v tele matky je vystavený dlhodobému vplyvu výpustí. Tehotná žena (matka) má vlastnosti dospeljej reprezentatívnej osoby. Plod je ožarovaný v dôsledku inhalácie vzduchu matkou, v dôsledku ingescie potravín matkou, v dôsledku externého ožiarovania z mraku a z depozitu na teréne. Postup výpočtu dávky na plod je stanovený na základe postupov dokumentu ICRP 88. Vo vypočítanej dávke na

plod je započítaná dávka na embryo a plod v tele matky a 70-ročný úväzok novorodenca spôsobený nuklidmi, ktoré si „priniesol na svet“ vo svojom tele pri narodení. Pri výpočte ožiarovania reprezentatívnej osoby je plod uvažovaný ako nová (ďalšia) veková kategória. To znamená, že v niektorej situácii sa môže stať, že plod bude najviac ožiaranou skupinou obyvateľstva, t.j. že plod bude reprezentatívnou osobou. Program ESTE Annual Impacts na hodnotenie dopadu výpustí používa JE Bohunice V-2, JAVYS a. s., SÚJB na hodnotenie dopadu výpustí z JE Dukovany a Temelín, JE Bushehr na hodnotenie dopadu výpustí z JE Bushehr. Okrem toho sa ESTE AI používa na analýzy a štúdie EIA pre nové jadrové zdroje (napr. analýzy EIA pre NJZ v lokalite Dukovany, Bohunice).

# Modernizácia radiačnej monitorovacej siete Slovenského hydrometeorologického ústavu

Terézia Melicherová

odbor Meteorologické siete, Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, Bratislava, 833 15, SR

[terezia.melicherova@shmu.sk](mailto:terezia.melicherova@shmu.sk)

Monitorovanie rádioaktivity má v Slovenskom hydrometeorologickom ústave (SHMÚ) dlhoročnú tradíciu. Výrazné zvýšenie úrovne umelej rádioaktivity v ovzduší ako následok nadzemných jadrových skúšok si vyžiadalo potrebu neustáleho monitorovania. V roku 1962 bolo zriadené v Hydrometeorologickom ústave oddelenie rádioaktivity ovzdušia, ktoré sa v priebehu rokov 1962 až 1991 zaoberalo sledovaním celkovej beta rádioaktivity atmosférickej depozície a aerosólov na vybraných meteorologických staniách. Skúsenosti z monitorovania ukázali, že rádioaktivitu atmosféry treba sledovať kontinuálne a mať v reálnom čase k dispozícii informácie o jej úrovni. V SHMÚ tomu začal slúžiť monitorovací systém založený na detektoroch gama žiarenia v ovzduší, ktoré boli na začiatku 90. rokov 20. storočia rozmiestnené v meteorologických záhradkách SHMÚ.

V súčasnosti je radiačná monitorovacia sieť SHMÚ súčasťou Radiačnej monitorovacej siete Slovenskej republiky a ako jej pohotovostná zložka zabezpečuje kontinuálny mo-

onitoring kontaminácie prízemnej vrstvy atmosféry formou siete včasného varovania.

V posledných rokoch prešla sieť meteorologických monitorovacích staníc rozsiahlou obnovou. V roku 2017 sa začalo s modernizáciou celej radiačnej monitorovacej siete SHMÚ. Postupne bolo zakúpených 30 ks detektorov (5 ks RPSG-05, Microstep-MIS, 5 ks Eco-Gamma CanberraPackard, 20 ks HSM012, NUVIA) a boli inštalované do prostredia meteorologických staníc. Vyspelé telekomunikačné techniky zabezpečujú prenos 1-minútových dát do centra v reálnom čase a následný zápis do radiačnej databázy. Ide o nový zberný informačný systém dodaný spoločnosťou NUVIA.

Systém je v testovacej prevádzke. Nastavujú sa jeho funkcionality podľa požiadaviek vyplývajúcich z domácej aj európskej legislatívy. Po skončení testovacej prevádzky predpokladáme, že sa stane stabilnou zložkou radiačnej monitorovacej siete Slovenska a bude poskytovať spoľahlivé dáta domácim aj zahraničným partnerom.

# Zavedení sítě automatických monitorovacích stanic pro stanovení umělé gama aktivity v povrchových vodách na území České republiky

Michal Fejgl<sup>1</sup>, Jan Kujan<sup>1</sup>, Miroslav Hýža<sup>1</sup>, Jan Surý<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Odbor monitorování, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Odbor radiometrických systémů, Nuvia, a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

[michal.fejgl@suro.cz](mailto:michal.fejgl@suro.cz)

V letech 2017 až 2019 byla ve spolupráci Státního ústavu radiační ochrany a Nuvia a. s. vyvinuta stanice určená ke kontinuálnímu monitorování gama aktivity v povrchových vodách. Monitorovací stanice je autonomní a automatická, její energetická spotřeba je pokryta solární a větrnou energií, kontinuální stahování dat je řešeno modulárně mobilním nebo satelitním datovým přenosem. Vlastní detekce gama aktivity je prováděna ponornou sondou složenou z NaI(Tl) detektoru o rozměrech 3 × 3 palce, fotonásobiče a z multikanálového analyzátoru zapouzdřených do plastového obalu.

Proměňování vody je prováděno kontinuálně ve 4π geometrii, časový režim měření je dán délkou integračního času. Prvotní testy detekčních dovedností přístroje prokázaly, že monitorovací stanice je schopna při použití desetiminutového integračního času splnit legislativní požadavky na meze

detekce pro <sup>137</sup>Cs v povrchových vodách v rámci havarijního monitorování. Během léta 2019 byly vyrobeny první tři monitorovací stanice, po jejich instalaci na řeku Vltava v Kořensku a v Praze a Jihlava v Ivančicích byla vytvořena prvotní forma sítě pro monitorování gama aktivity v povrchových vodách České republiky.

V příspěvku budou prezentovány dovednosti vyvinuté monitorovací stanice a její potenciál pro systém připravenosti k odezvě na radiační mimořádnou událost v České republice.

Projekt je řešen ve spolupráci Státního ústavu radiační ochrany a společnosti Nuvia a. s. a je podpořen programem bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky VI20172020083.

## Využití kontaminované rostlinné biomasy v bioplynových stanicích

Jan Škrkal<sup>1</sup>, Věra Záhorová<sup>1</sup>, Jana Růžičková<sup>1</sup>, Miroslav Kajan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Enki, o.p.s., Dukelská 145, Třeboň, 379 01, ČR

[jan.skrkal@suro.cz](mailto:jan.skrkal@suro.cz)

Kontaminovaná vegetace, pocházející ze závažné radiační havárie, nevhodná pro konzumaci a krmení hospodářských zvířat, může být využita v bioplynové stanici (BPS). Během anaerobní fermentace rostlinné biomasy v BPS dochází k rozkladu rostlinné hmoty a produkci metanu, ten je dále využíván k výrobě elektrické energie a tepla. V současnosti pracuje na území ČR 574 bioplynových stanic schopných zpracovat rostlinnou biomasu, které disponují silážními žlaby s velkou dočasnou skladovací kapacitou.

Tato prezentace se zabývá výsledky výzkumu zaměřeného na možnost využití BPS při nakládání s biomasou kontaminovanou cesiem. Jsou popsány laboratorní experimenty

s modelovou BPS. V jejich rámci byla připravena kukuřičná a travní siláž kontaminovaná radionuklidem <sup>134</sup>Cs a provedeno několik vsádkových pokusů s modelovým fermentorem. Bylo vyhodnoceno rozložení <sup>134</sup>Cs v jednotlivých vstupních a výstupních složkách fermentačního procesu a bilance.

Kromě laboratorních experimentů, byly dlouhodobě odebrány vzorky z komerční jihočeské BPS. Ve vstupních (siláž kukuřičná, travní, GPS a pšenice) a výstupních (bioplyn, digestát) surovinách byl stanovován obsah radionuklidů <sup>137</sup>Cs a <sup>40</sup>K a vypočtena bilance. Výsledky těchto měření jsou součástí prezentace.

## International in-situ gamma spectrometry intercomparison exercise „Stráž 2019“

Irena Češířová, Lubomír Gryc, Petr Koniar

Odb.havarijní připravenosti, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[irena.cespirova@suro.cz](mailto:irena.cespirova@suro.cz)

Poster shrnuje výsledky mezinárodního cvičení International in-situ gamma spectrometry intercomparison exercise „Stráž 2019“, které proběhlo ve dnech 17.–20. 6. 2019 ve Stráži pod Ralskem v České republice. Cvičení se zúčastnilo osm mobilních skupin ze čtyř zemí – Německa, Rakouska, Slovinska a České republiky.

Měření probíhala ve třech lokalitách – břehy řeky Ploučnice a bývalá odkaliště, na kalibračních deskách v závodu Diamo, státní podnik a na simulátoru MONTE v Praze na experimentálním školním reaktoru FJFI ČVUT. Lokality byly vybrány z důvodu zvýšeného obsahu radio-

nuklidů uranové řady v důsledku těžby a zpracování uranové rudy.

Úkolem bylo měření dávkových příkonů (mapování), spektrometrická měření in situ ve vyznačených bodech a na kalibračních plochách odhadnout hmotnostní aktivitu kalibračních desek. Na experimentálním školním reaktoru malého výkonu VR-1 bylo možné vyzkoušet si odezvy detekčních systémů mobilních skupin v poli reálného štěpného spektra radionuklidů.

Poster byl vypracován na základě Institucionální podpory Ministerstva vnitra ČR.

# Odhad radiačních dávek v prostorách hlavního výrobního bloku JE po havárii reaktoru

Tomáš Urban, Jaroslav Klusoň

KDAIZ, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[tomas.urban@fjfi.cvut.cz](mailto:tomas.urban@fjfi.cvut.cz)

Pro odhad dávkového příkonu ve vybraných lokalitách hlavního výrobního bloku (HVB) JE s reaktorem typu VVER-1000 byl zvolen modelovací přístup metodou Monte Carlo. V kódu SCALE (sekvence MAVRIC, Monte Carlo kód Monaco) byla popsána jak geometrie hlavního výrobního bloku, tak i model fixního zdrojového členu pro vybrané scénáře těžké havárie jaderného reaktoru. Model zdrojového členu je založený na předpokladu homogenní distribuce radionuklidů v jednotlivých kompartmentech HVB. Spek-

trum energetické emise zdrojového členu bylo vypočteno na základě poměrného zastoupení jednotlivých radionuklidů ve směsi a výtěžků fotonů produkovaných během jejich radioaktivní přeměny. V popsané simulační geometrii HVB a definici zdrojového členu byly odhadnuty příkony prostorového dávkového ekvivalentu ve vybraných místech HVB (např. bloková dozorna, záložní dozorna, vstupní brána). Výsledky byly vyhodnoceny z hlediska možnosti nasazení zasahujícího personálu v těchto oblastech.



# Development of liquid certified reference material for nuclear decommissioning

**Monika Mazánová**

Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

[mmazanova@cmi.cz](mailto:mmazanova@cmi.cz)

A Certified Reference Material (CRM) is defined in ISO Guide 30 as a RM characterised by a metrological valid procedure for one or more specified properties (in this case content of selected radionuclides) accompanied by a certificate that provides the value of a specified property, its associated uncertainty and statement of metrological traceability. A CRM is a particular form of measurement standard. When consumers purchase a standard product they need to know it is accurate. The function of CRM is to confirm the user's measurement results. This is why there is increasing demand on traceable certified reference materials. CRMs are standards used to check the quality and metrological traceability of products, to validate analytical measurement methods, or for the calibration of instruments. In connection with the INSIDER project, two relevant ref-

erence materials have been chosen to be developed. For this purpose liquid material characterised for radionuclide content with accuracy better than 10 % at the 95 % confidence level and based on liquid effluent tank waste from JRC Ispra has been produced by CMI. The certification of reference materials was governed by the relevant ISO documents (ISO Guide 30: 2015: Selected terms and definitions; ISO Guide 31: 2015: Contents of certificates and labels and accompanying documentation; ISO Guide 33: 2015: Good practice in using reference materials; ISO Guide 34: 2009: General requirements for the competence of reference materials producers and ISO Guide 35: 2017: Guidance for characterization and assessment of homogeneity and stability).

## Sanace ekologické zátěže na překladišti RAO

Jakub Záruba

Měření a laboratoře, Centrum výzkumu Řež, s. r. o., Hlavní 130, Husinec, Řež, 250 68, ČR

[jakub.zaruba@ujv.cz](mailto:jakub.zaruba@ujv.cz)

Ústav jaderného výzkumu Řež a. s. (dále ÚJV) založený v roce 1955 je vedoucí výzkumná organizace v jaderné oblasti v ČR. Zajišťuje výzkumnou, vývojovou činnost a nakládání s radioaktivními odpady (RAO). V důsledku výzkumných a vývojových prací, provozu experimentálních i produkčních zařízení a laboratoří, jejich postupného vyřazování z provozu vzniklo v ÚJV značné množství RAO – radioaktivně kontaminovaných materiálů a technologií. Všechny tyto zátěže je nutné odborně zpracovat ať už dekontaminací, nebo fixací radioaktivního materiálu a jeho uskladnění dle platné vyhlášky. Za tímto účelem je nutné používat unikátní metody a technologie.

Tato prezentace se bude věnovat sanaci objektu 211/6 – Překladiště RAO, která probíhala mezi lety 2004 a 2011 až 2018.

Tento objekt sestává z osmi boxů ve dvou řadách. Každý box je postaven o půdorysu 4 × 8 m s hloubkou 4 m částečně pod úroveň terénu. V těchto boxech bylo skladováno při-

bližně 600 m<sup>3</sup> primárně kovového odpadu. Pro účel sanace byla nad boxy vystavěna montovaná hala s portálovým jeřábem. Ta sloužila nejen pro účely samotné sanace, ale také zajišťovala ochranu před únikem kontaminace během vyjímání a manipulace s RAO.

RAO uložené v těchto boxech bylo kontaminováno převážně radionuklidy <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co a <sup>90</sup>Sr.

Ale některé předměty obsahovaly i kontaminaci <sup>239/240/238</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, <sup>235/238</sup>U, <sup>59/63</sup>Ni a dalších.

I vzhledem k těmto nálezům byla po celou dobu sanace věnována velká pozornost radiační bezpečnosti a průběžné charakterizaci RAO. Pro potřebu charakterizace bylo užito gama spektrometrické měření přímo v areálu ÚJV, dále pak segmentový gama scanner a systém radiografie. V jednom případě bylo nutné užít gama kamery vypůjčené od externí firmy.

Poslední část prezentace představí proces dekontaminace boxů, plány jejich rekonstrukce a nového využití.

# Zmeny v procese nakladania s RAO v SE, a. s. – procesná dokumentácia, evidencia, LaP

**Anna Tomášková<sup>1</sup>, Jozef Lukačovič<sup>1</sup>, Dušan Kusý<sup>2</sup>, Pavel Lamprecht<sup>3</sup>, Ján Bartko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> SE, a. s., Mlynské nivy 47, Bratislava, 821 09, SR

<sup>2</sup> SE a. s., AE Bohunice, o. z., Jaslovské Bohunice, 919 31, SR

<sup>3</sup> SE a. s., AE Mochovce, o. z., Mochovce, 935 39, SR

[anna.tomaskova@seas.sk](mailto:anna.tomaskova@seas.sk)

Základné požiadavky na systém nakladania s RAO vyplývajú zo zákona č. 541/2004 Z.z. v znení neskorších predpisov a nadväzujúcich vyhlášok ÚJD SR. Všetky činnosti pri nakladaní s RAO musia smerovať k ich bezpečnému uloženiu, množstvo a aktivita vytvorených odpadov sa musí počas prevádzky aj vyradovania jadrového zariadenia udržiavať na najnižšej rozumne dosiahnuteľnej úrovni (ALARA). Deklarované princípy a záväzné postupy sú schopní dodržiavať len zamestnanci, ktorí sú s nimi oboznámení, chápu ich a dokážu ich aplikovať v praxi. Preto je dôležité, aby tieto pravidlá boli zamestnancom prístupné v jednoduchej dostupnej forme a boli aktuálne.

Proces nakladania s rádioaktívnymi odpadmi, podobne ako všetky procesy v JE, je popísaný v procesnej dokumentácii, s ktorou sú preukázateľne oboznámení všetci zainteresovaní zamestnanci. Na základe podnetov zo strany útvarov kvality, záverov PSR aj interného auditu bola v roku 2018 prepracovaná a aktualizovaná celá dokumentácia pre

nakladanie s RAO v SE, a. s. Zároveň boli zapracované zmeny vyplývajúce z novej legislatívy v radiačnej ochrane. Následne bola prepracovaná pracovná dokumentácia pre útvary zodpovedné za nakladanie s RAO na závodoch.

Všetky RAO vzniknuté v JE je nutné podrobne evidovať a charakterizovať. Pre evidenciu bol v minulosti vytvorený program RAO\_DB, ktorý sa z rôznych dôvodov na lokalitách využíval v obmedzenom rozsahu. Spoluprácou zainteresovaných útvarov sa pripravil upgrade tohto programu. Užívatelia majú v súčasnosti k dispozícii program RAO\_DB, ktorý umožňuje jednotnú evidenciu kvapalných a pevných odpadov a podrobný manuál.

Z legislatívy vyplýva pre JE povinnosť vypracovať Limity a podmienky pre nakladanie s RAO. V roku 2018 boli ÚJD SR predložené a schválené prvé Limity a Zdôvodnenie pre MO34. Plnenie požiadaviek legislatívy pokračuje prípravou týchto dokumentov pre EMO1,2 a EBO.

# Profesionálne ožiarenie pracovníkov so zdrojmi žiarenia v Slovenskej republike v novom miléniu

Karol Böhm

Odbor ochrany zdravia pred žiarením, Úrad verejného zdravotníctva SR, Trnavská ulica 52, P.O.BOX 45, Bratislava, 826 45, SR

[karol.bohm@uvzsr.sk](mailto:karol.bohm@uvzsr.sk)

V roku 2001 vznikol na Úrade verejného zdravotníctva Slovenskej republiky Centrálny register dávok pracovníkov so zdrojmi ionizujúceho žiarenia, ktorý zabezpečuje spracovanie údajov o osobných dávkach monitorovaných pracovníkov a hodnotí veľkosť profesionálneho ožiarenia pracovníkov v SR vo všetkých oblastiach využívajúce zdroje ionizujúceho žiarenia, vrátane dávok pracovníkov z ožiarenia pri radiačných nehodách a haváriách.

Pracovníci so zdrojmi ionizujúceho žiarenia sú rozdelení do 7 základných profesijných skupín podľa druhu vykonávanej činnosti podľa odporúčaní EK a UNSCEAR. Celkový počet monitorovaných pracovníkov v rokoch 2001 až 2018 bol v rozpätí 12 250 až 15 640 pracovníkov, pričom najväčší počet monitorovaných pracovníkov so zdrojmi žiarenia (vrátane externých pracovníkov) v rokoch 2001–2018 pracoval v jadrových zariadeniach (42–45 % celkového počtu pracovníkov) a v zdravotníctve (36–40 %). V oblasti priemyslu bol počet monitorovaných pracovníkov výrazne nižší. Priemerné ročné efektívne dávky pracovníkov v tomto období boli 0,29–0,56 mSv v jadrových zariadeniach, 0,77–1,96 v zdravotníctve, 0,93–1,73 v priemysle, 0,55–1,48 v školstve,

vede a výskume a 1,33–3,20 mSv na pracoviskách s prírodnými zdrojmi žiarenia. Kolektívna dávka zdravotníckych pracovníkov v rokoch 2001–2018 tvorila 60,2–68,9 % z celkovej kolektívnej efektívnej dávky všetkých monitorovaných pracovníkov, kolektívna dávka pracovníkov v jadrových zariadeniach predstavovala 16,8–22,1 % a na priemyselných pracoviskách 6,8–9,2 % z celkovej kolektívnej dávky.

Dlhodobé sledovanie a hodnotenie osobných dávok pracovníkov so zdrojmi žiarenia ukazuje, že vo všetkých oblastiach využívajúce zdroje ionizujúceho žiarenia dochádza k postupnému znižovaniu kolektívnych dávok pracovníkov, pričom počet monitorovaných pracovníkov sa výraznejšie nemení. Celková kolektívna dávka pracovníkov so zdrojmi žiarenia v priebehu rokov 2001–2018 poklesla o 52 %. Kolektívna efektívna dávka pracovníkov v jadrových zariadeniach sa znížila o 56 %, v zdravotníctve o 52 %, v priemysle o 54 %, v školstve, vede a vo výskume až o 73 %. Jediná oblasť, kde došlo k zvýšeniu kolektívnej efektívnej dávky pracovníkov boli podzemné pracoviská s prírodnými zdrojmi žiarenia (sprievodcovia v turisticky prístupných jaskyniach).

# Radiační riziko a jeho dopady: Důležitá role komunikace s veřejností

Jozef Sabol

Katedra krizového řízení, Fakulta bezpečnostního management, PAČR v Praze, Lhotecká 559/7, Praha, 143 01, ČR

[sabol@polac.cz](mailto:sabol@polac.cz)

Využívání radiačních a jaderných technologií v průmyslu, medicíně a v celé řadě dalších oblastí může za určitých okolností vést k nadměrnému ozáření osob, jakož i ke zvýšené radioaktivní kontaminaci okolního životního prostředí. K takovým situacím dochází v případech nedodržování příslušných pracovních postupů, které musí být v souladu s platnými předpisy a požadavky dozorného orgánu, a také při radiačních či jaderných nehodách nebo haváriích. Takové situace mohou vyvolat ozáření nad rámec závazných dávkových limitů nebo stanovených referenčních úrovní. To se vztahuje jak na samotné pracovníky se zářením a pacienty podrobující se radiodiagnostickým vyšetřením nebo radioterapeutickým zákrokům, tak i na obyvatelstvo. Zatímco pracovníci manipulující s radioaktivními látkami nebo obsluhujícími radiačními generátory či jaderné rektory jsou dostatečně obeznámeny s radiačním rizikem, jakož i ochranou před zářením, naprosto jiná je situace, pokud jde o ostatní osoby. Tato skupina nemá obvykle dostatečné informace o tom, jaké nepříznivé zdravotní účinky jsou spojeny s různým stupněm ozáření a jak se chránit před ozářením. Tuto ochranu musí za normální i mimořádné situace zajistit na

odpovídající úrovni kvalifikovaní radiační a další patřičně vyškolený personál. Tito pracovníci by měli být schopni podat ostatním osobám srozumitelným způsobem příslušné základní informace o možném či potenciálním nebezpečí, které souvisí s aplikacemi radiačních a jaderných technologií. Jedná se zde nejenom o pacienty, kteří před podepsáním informovaného souhlasu musí obdržet vysvětlení o velikosti a vlivu ozáření spojeného s určitým konkrétním vyšetřením nebo léčebným postupem, ale i o veřejnost, která by měla být dostatečně informována o dopadech případné radiační mimořádné události, ke které může potenciálně dojít v okolí jejich bydliště. K tomu je nezbytně nutné, aby informace byla podána co nejsrozumitelnější formou včetně kvantifikace ozáření s ohledem na rozsah vyvolání zdravotních účinků v podobě stochastických a deterministických účinků. Takový přístup musí zahrnovat i objasnění přírodního radiačního pozadí a jeho srovnání s očekávaným ozářením v lékařských aplikacích a rovněž tak s možným ozářením v případě radiačních a jaderných mimořádných situacích, které vyžadují specifická opatření na zmírnění jejich dopadů.

# Testování vybraných metod pro stanovení hodnoty podílu nefixovaného kontaminantu na vybraných površích městské infrastruktury

Josef Holeček, Petr Otáhal

Laboratoř dozimetrie a monitorování radioaktivity, Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i.,  
Kamenná 71, Milín, 262 31, ČR

[holecek@sujchbo.cz](mailto:holecek@sujchbo.cz)

V rámci řešení výzkumného úkolu „Moderní metody detekce a identifikace nebezpečných CBRN látek a materiálů, metody jejich dekontaminace a snížení nebezpečnosti, moderní prostředky ochrany osob, byl hledán optimální způsob zjištění podílu nefixovaného podílu kontaminantu na povrchu po vzniku mimořádné radiální události. Pro stanovení hodnoty tohoto podílu bylo použito dvou rozdílných metod. První metodou byla metoda otěru povrchu pomocí buničitého či gázového tamponu. Současně s tím byl sledován vliv použitého detergentního činidla na kvalitu stěru. Jako detergentního činidla bylo použito 10% vodného roztoku RDS 2000, 3% vodného roztoku činidla ODS-5 a denaturovaného lihu. Druhou metodou bylo sejmutí nečistot z kontaminovaného povrchu pomocí lepicí pásky. K sejmutí nečistot z povrchu bylo zkoušeno papírové lepicí pásky,

izolepy, textilní lepicí pásky a náplastí. Obou metod bylo použito ke stanovení hodnoty podílu nefixovaného kontaminantu na povrchu kontaminovaného <sup>140</sup>La. Vybranými prvky městské infrastruktury, které byly kontaminovány, byly dlažební kostka, zámková dlažba, dlaždice, plastový okenní parapet a sklo. Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že metoda otěru povrchu je vhodnější ke stanovení hodnoty podílu nefixované aktivity na povrchu nežli metoda snímání nefixovaného kontaminantu lepicí vrstvou. Z výsledků vyplývá, že hodnota podílu nefixovaného kontaminantu na skle či parapetu přesáhla 80 % nanesené hodnoty. U členitějších a drsnějších povrchů, kterými jsou povrchy dlažební kostky či zámkové dlažby, byla zjištěna hodnota podílu nefixovaného kontaminantu nepřesahující 30 % hodnoty nanesené aktivity.

## Změny ve struktuře studijních oborů a programů na FJFI ČVUT v Praze

Tomáš Trojek, Lenka Thinová, Tomáš Vrba, Kamil Augsten, Dušan Kobylka, Jan Rataj, Miroslava Semelová

ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[tomas.trojek@fjfi.cvut.cz](mailto:tomas.trojek@fjfi.cvut.cz)

Na většině českých vysokých škol probíhá v současnosti transformace dosud existujících studijních oborů do podoby nových studijních programů. Příčinou je především zákon č. 137/2016 Sb., kterým se mění zákon č. 111/1998 Sb., tzv. zákon o vysokých školách. Praktickým důsledkem změn v zákoně o vysokých školách je postupné ukončení výuky studentů v původních akreditovaných studijních oborech, do kterých už zřejmě nebude možné přijímat nové studenty, a nutnost akreditace nových studijních programů. Přestože stávající studenti bakalářských a magisterských jaderných oborů na FJFI mají ještě dostatek času na jejich úspěšné

absolvování (do roku 2024), absolventi bakalářských oborů se již budou muset zapisovat do nových studijních programů navazujícího magisterského studia. Kromě značné administrativní náročnosti a jisté míry nejistoty nabízí akreditace nových studijních programů možnost provést zásadnější změny ve výuce, které by měly reflektovat aktuální požadavky na absolventy a přilákat větší počty uchazečů o studium jaderných směrů. Tento příspěvek popisuje aktuální stav přípravy nových studijních programů zajišťovaných na FJFI katedrou dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, katedrou jaderných reaktorů a katedrou jaderné chemie.

# Zkušenosti z implementace systému řízení podle požadavků atomového zákona na pracovištích III. kategorie Centra výzkumu Řež

Antonín Kolros, Jiří Neužil, Michal Moravec

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

[antonin.kolros@cvrez.cz](mailto:antonin.kolros@cvrez.cz)

Jsou prezentovány zkušenosti získané při implementaci systému řízení (SŘ) podle požadavků zákona č. 263/2016 Sb. atomového zákona (AtZ) na pracovištích III. kategorie infrastruktury SUSEN, Centra výzkumu Řež s. r. o. (CVŘ), kdy při provádění nebo zajišťování činností v rámci expozičních situací na těchto pracovištích musely být naplněny i požadavky vyhlášky č. 408/2016 Sb. o požadavcích na systém řízení. CVŘ je výzkumná organizace zaměřená na výzkum, vývoj a inovaci technologií pro energetiku, zejména jadernou, která v současné době provozuje dvanáct pracovišť II., III. a IV. kategorie, kde se vykonávají radiační činnosti. Tato pracoviště jsou z hlediska radiační ochrany (RO) rozčleněny do tří samostatných infrastruktur: SUSEN, reaktory a PFW Plzeň. CVŘ nemá zaveden jeden univerzální SŘ podle požadavků AtZ pro všechny dotčené pracoviště či činnosti, nicméně pro čtyři pracoviště III. kat. infrastruktury SUSEN je zaveden společný SŘ podle požadavků AtZ. Tento SŘ je nezávislý k Integrovanému systému řízení (ISŘ), který je ve společnosti CVŘ zaveden pro systém managementu podle norem ISO 9001, ISO 14001 a ISO 45001. Pokud je možno, tak SŘ zavedený podle požadavků AtZ využívá mechanismy

a postupy řízení zavedené ISŘ zejména z hlediska systému managementu kvality podle ISO 9001. V rámci pracovišť SŘ infrastruktury SUSEN byl řešen i vztah k dalším SŘ zavedeným v CVŘ podle požadavků § 29 AtZ, např. SŘ pracoviště IV. kat. reaktoru LVR-15 nebo SŘ reaktoru LR-0, SŘ pro přepravu radioaktivní látky, SŘ pro návrh nebo výrobu vybraného zařízení nebo provádění jeho změny atd. Byla snaha i o konzistentnost SŘ s požadavky na zajištění RO na pracovištích II. kat. infrastruktury SUSEN, které jsou dány vyhláškou č. 422/2016 Sb. o RO a zabezpečení radionuklidového zdroje. V rámci SŘ pracovišť III. kategorie infrastruktury SUSEN byla definována organizační struktura RO CVŘ, která zohledňuje, že pracoviště jsou společně provozována různými oddělení, resp. sekcemi CVŘ. Na základě poznatků z dosavadní praxe byly v SŘ podrobně dodefinovány vzájemné vztahy, odpovědnosti, práva a povinnosti všech pracovníků při zajišťování RO a uplatňování kultury bezpečnosti v RO. Byl kladen důraz na popis způsobu komunikace, vytvoření souhrnného přehledu záznamů vedených v oblasti RO podle požadavků AtZ a prováděcích vyhlášek, atd.



# Monitorovanie radiačnej situácie v Slovenskej republike

**Martina Dubníčková**

Úrad verejného zdravotníctva SR, Trnavská ulica 52, P.O.BOX 45, Bratislava, 826 45, SR

[martina.dubnickova@uvzs.sk](mailto:martina.dubnickova@uvzs.sk)

Na zabezpečenie ochrany obyvateľov v prípade radiačného ohrozenia je potrebné poznať aktuálnu úroveň rádioaktivity v zložkách životného prostredia, ktorý sa získava monitorovaním, zaznamenávaním a vyhodnotením dávkovej záťaže obyvateľov, na základe ktorých sa navrhujú opatrenia na ochranu zdravia obyvateľov.

Na získanie informácií je potrebné meranie určených veličín vo vybraných zložkách životného prostredia v systéme monitorovacích miest podľa časového harmonogramu, hodnotenie ožiarenia obyvateľstva a príspevku k ožiareniu obyvateľstva v normálnej situácii ožiarenia alebo núdzovej situácii ožiarenia.

Priority monitorovania na zistenie migrácie rádionuklidov v zložkách životného prostredia a potravinového reťazca sú monitorované položky, merané veličiny a rozsah ich monitorovania sa prispôbuje aktuálnej situácii, charakteru radiačného ohrozenia, úrovni a druhu rádioaktívnej kontaminácie,

aktuálnym meteorologickým podmienkam, charakteru a rozmerom zasiahnutého územia, dostupným prostriedkom a časovému obmedzeniu alebo iným okolnostiam.

Radiačná monitorovacia sieť v Slovenskej republike je zriadená v súlade s § 6 ods. 2 písm. b) zákona č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len „zákon č. 87/2018 Z. z.“). Radiačnú monitorovaciu sieť vytvára Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky a príslušné regionálne úrady v spoluprácu s ústrednými orgánmi štátnej správy. V § 153 a 154 zákona č. 87/2018 Z. z. sú ustanovené požiadavky na činnosť radiačnej monitorovacej siete a ústredia radiačnej monitorovacej siete v Slovenskej republike. Podrobnosti na vykonávanie činnosti zložiek radiačnej monitorovacej siete sú uvedené vo vyhláške MZ SR č. 96/2018 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o činnosti radiačnej monitorovacej siete.

# System zdravotní péče pro ozáření při radiačních nehodách a role pracovišť nukleární medicíny v České republice

Tomáš Steinberger

Centrum radiační ochrany, Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Šrobárova 1150/50, Praha 10, 100 34, ČR

[cro@fnkv.cz](mailto:cro@fnkv.cz)

**Cíl:** Na pěti pracovištích v celé České republice byla zřízena základě věstníku MZ ČR roč. 2013 č. 5 Střediska specializované zdravotní péče pro ozáření při radiačních nehodách (dále jen SSZP). Cílem práce je zhodnotit aktuální požadavky státních orgánů a stav připravenosti jednotlivých pracovišť na plnění uložených úkolů.

**Metody:** Přestože je daná záležitost z r. 2013, intenzivněji se začala celorepublikově řešit až v roce 2018, v době, kdy Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) vyzval jednotlivá SSZP, aby si zažádaly o povolení k činnosti dle nového atomového zákona. Vzhledem k charakteru činností hrají v tomto procesu klíčovou roli dohlížející osoby a radiační pracovníci pracovišť nukleární medicíny. SSZP se totiž zřizují na běžných pracovištích bez specializace, vybavení a praktických zkušeností se zdroji ionizujícího záření. Vzhledem k obecné specifikaci požadavků na poskytovanou péči,

nejasném způsobu rozvoje a podpory SSZP ze strany MZ, jsme ve fázi, kdy ani jedna zúčastněná strana (MZ, SÚJB, SSZP...) nemá ujasněné pozice a požadavky. Situace se tedy bude ještě vyvíjet, přesto je potřeba SSZP připravit k aktivaci.

**Výsledky:** Výstupem práce bude soubor aktuálních požadavků a přehled stavu přípravy SSZP. Dále budou určeny klíčové aspekty v přípravném procesu a v možnostech splnění zadaného úkolu pro vybrané SSZP.

**Závěr:** Ve FNKV byla stanovena jako SSZP Klinika popáleninové medicíny s úkolem poskytnout zdravotnickou péči pro určený počet ozářených či radionuklidy kontaminovaných pacientů. Vzhledem ke komplexnosti léčby těchto pacientů, zejména u polytraumatizovaných případů, je ovšem nutná spolupráce odborných pracovišť skrze celé zdravotnické zařízení.

# Požadavky na odběrová zařízení vzorků výpustí z jaderně energetických zařízení: Opatření obecné povahy 0111-OOP-C072-16

Tomáš Soukup

Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

[tsoukup@cmi.cz](mailto:tsoukup@cmi.cz)

Vyvěšením na úřední desce ÚNMZ dne: 21. 11. 2018 se stalo platným Opatření obecné povahy 0111-OOP-C072-16, kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla, včetně metod zkoušení pro ověřování stanovených měřidel: „Měřidla používaná pro kontrolu limitů aktivity a objemové aktivity výpustí z jaderných zařízení, ze zařízení pro těžbu nebo úpravu radioaktivních surovin, zpracování nebo aplikaci radioaktivních materiálů a z úpraven radioaktivních odpadů a pro stanovení radiační zátěže okolí v důsledku výpustí“ – moduly pro diskontinuální měření aktivity nebo objemové aktivity vzorkováním, vyžadující specifické zkušební postupy.

Od tohoto okamžiku jsou definovány požadavky na tato zařízení („vzorkovače“), lze provádět jejich zkoušky a rozhodovat o jejich použitelnosti jako částí stanovených měřidel podle zákona o metrologii č. 505/1990 Sb.

Předpis je velmi obecný, popisuje vlastnosti zařízení pro odběr vzorků kapalných, pevných (aerosoly – prach) i plyn-

ných (plynné uhlovodíky). Základní parametry byly převzaty z technických norem, stanovující požadavky na měřidla aerosolů nebo jódu, vypouštěných z jaderně energetických zařízení. Speciálně jde o požadavky normy IEC 60761-1 na vzduchový okruh, případně normy IEC 861 s požadavky na měření kapalných výpustí, a další, které obsahují požadavky na části měřicích systémů. Hlavní důraz je kladen na proporcionalitu odběru, což je vlastnost v jiných předpisech nesledovaná. Důsledky a souvislosti nového opatření pro legální metrologii stejně jako komentář k předepsaným zkouškám bude tématem této prezentace.

Při přípravě tohoto předpisu byli konzultováni i domácí výrobci příslušných zařízení, takže požadavky jsou realistické a odrážejí i pokrok současných technologií.

Předpis je přístupný na stránkách ČMI na adrese: [https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/Uredni\\_deska/OOP/OOP\\_72\\_Odborova\\_zarizeni\\_vypusti\\_z\\_JE\\_zarizeni.pdf](https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/Uredni_deska/OOP/OOP_72_Odborova_zarizeni_vypusti_z_JE_zarizeni.pdf).

# Simulace mapování dávkového příkonu na povrch budovy bezpilotním systémem

Tomáš Lázna, Petr Gábrlík, Tomáš Jílek, Luděk Žalud

Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 123, Brno, 612 00, ČR

[tomas.lazna@ceitec.vutbr.cz](mailto:tomas.lazna@ceitec.vutbr.cz)

Příspěvek se zaměřuje na mapování intenzity ionizujícího záření na povrch budovy s využitím bezpilotního leteckého systému (UAS). Rozšiřuje tak schopnosti průzkumného Autonomně teleprezenčního robotického systému (ATEROS), který je vyvíjen na naší univerzitě. Mapa může posloužit při zabezpečení budov, kde se pracuje či pracovalo se zdroji IZ (např. zpracování paliva, uskladnění jaderného materiálu), z hlediska radiační ochrany. Znalost povrchové mapy nabízí příslušným autoritám informaci o intenzitě záření v okolí budovy a rovněž síle a distribuci zářičů nacházejících se uvnitř. Použití UAS pro tuto aplikaci je výhodné z několika důvodů jako jsou nízké náklady a možnost se více přiblížit k povrchům. Navíc pomocí něj lze snadno získat 3D model zkoumané budovy, například s využitím letecké fotogrammetrie.

Za účelem vývoje algoritmů pro zpracování měřených dat jsme vytvořili model reálné budovy v kampusu naší univerzity, který charakterizuje její vnitřní strukturu a materiálové složení. Následně jsme vytvořili scénář zahrnující několik zdrojů IZ uvnitř budovy a letovou trajektorii v jejím

okolí; prostřednictvím simulace jsme poté odhadli hodnoty dávkového příkonu v rovnoměrně rozložených bodech podél této trasy. Jako rámec pro výpočet radiační mapy povrchu posloužil změřený fotogrammetrický model vnějšího pláště budovy ve formě mračna bodů. Navrhnutí a porovnání jsme dvě metody pro přepočítání leteckých dat (nezáleží na tom, zda byla získána měřením nebo simulací) na plášť. Komplexnější přístup využívá odhad parametrů zářičů pro kompenzaci některých vlivů a dosahuje tak vyšší přesnosti ve srovnání s vypočítanou referenční mapou. Výsledné mapy zřetelně demonstrují vliv stavebních materiálů a struktury budovy na distribuci intenzity IZ v jejím okolí.

Předchozí výsledky věnující se robotickému měření IZ předložené naším týmem zahrnovaly sběr a zpracování dat v rovině, tato práce je inovativní přidáním třetího rozměru. Cílem bylo udělat algoritmy plně automatické, bez nutnosti asistence člověka, což se podařilo splnit. V budoucnu se plánujeme zaměřit na složitější scénáře a navržené metody chceme ověřit experimentálně.

# Gama záření geologických objektů a jejich lokalizace radiometrickým měřením

Ondřej Šálek

PřF UK, ČR

[ondrej.salek@natur.cuni.cz](mailto:ondrej.salek@natur.cuni.cz)

Príspevek se zabývá polem gama záření lokálních anomálií koncentrace uranu a možnostmi jejich lokalizace terénním radiometrickým měřením. Pole gama záření pro různé parametry anomálií koncentrace uranu a různou metodiku radiometrického průzkumu bylo studováno pomocí modelových výpočtů. Ověření správnosti modelových výpočtů pole gama záření bylo provedeno porovnáním pozemních a mini-leteckých experimentálních dat a vypočtených hodnot na třech reálných anomáliích koncentrace uranu. Vypočtené hodnoty pole gama záření uspokojivě souhlasí s experimentálními daty. Možnosti lokalizace radioaktivních anomálií byly zkoumány pro pozemní kruhové objekty s průměrem v rozmezí 2 m až 60 m a s různou koncentrací uranu v rozmezí 10 ppm eU až 2000 ppm eU. Výška detekce gama záření byla uvažována v mezích 0 m až 80 m nad zemí.

Uvažována byla různá citlivost detektoru a různá doba měření na jednom bodě od 1 s do 360 s. Výsledky ukázaly, že obecně s rostoucí výškou detekce horizontální vzdálenost detekovatelnosti anomálního objektu nejdříve roste, v určité výšce dosáhne maxima a s pokračujícím nárůstem výšky vzdálenost detekovatelnosti objektu opět klesá. Výsledky práce ukazují, že pro lokalizaci anomálních objektů je pozemní měření výhodné provádět s detektorem v co nejvyšší možné výšce nad zemí (kolem 2 m). Mini-letecké měření lze provozovat ve výškách letu od několika metrů až do několika desítek metrů. Optimální výška detekce, pro níž je vzdálenost detekovatelnosti anomálního objektu největší, je uvedena v závislosti na parametrech anomálního zdroje a metodice průzkumu.

# Inovativní metody detekce ultranízkých koncentrací radionuklidů k hodnocení zranitelnosti zdrojů pitné vody

Fejgl Michal<sup>1</sup>, Juranová Eva<sup>2</sup>, Pařízek Ondřej<sup>1</sup>, Sedlářová Barbora<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Radiochemie, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, Podbabská 2582/30, Praha 6-Dejvice, 160 00, ČR

[michal.fejgl@suro.cz](mailto:michal.fejgl@suro.cz)

Cílem tohoto příspěvku je prezentovat výzkumný projekt týkající se vývoje mimořádně citlivých metod ke stanovení aktivity  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^3\text{H}$  ve vzorcích vod a jejich použití ke stanovení zranitelnosti podzemních zdrojů pitných vod na území České republiky.

V České republice je většina spotřeby pitné vody pokryta z povrchových zdrojů, v případě havárie jaderné havárie jsou tyto zdroje bezprostředně ohroženy radioaktivní kontaminací. V takovém případě by byly použity náhradní, a to především podzemní zdroje pitné vody. V České republice je stanoveno 152 hydrogeologických rajónů, u většiny z nich však není známa doba, po kterou by byly v případě jaderné havárie ochráněny před proniknutím kontaminace z povrchu. Díky testům jaderných zbraní v padesátých a šedesátých letech dvacátého století a díky Černobylské havárii byla srážková voda bezděčně radionuklidově označována, časový

průběh aktivit nejzásadnějších radionuklidových kontaminantů je dobře znám.

Přístup k podzemní nízkopozadové laboratoři a dostupnost moderních detekčních metod na bázi pixelových detektorů umožňuje vyvinout ultrasenzitivní metody ke stanovení aktivity  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ . V kombinaci se State of the Art metodou ke stanovení aktivity tritia (elektrolytické nabohacení  $^3\text{H}$  předřazené před s nízkopozadovým LSC) a pomocí analýzy dalších údajů o přírodním prostředí (například transportní charakteristiky půdy, hydraulické parametry hornin) bude možné stanovit skutečnou zranitelnost jednotlivých útvarů podzemní vody radioaktivní kontaminací.

Projekt je řešen ve spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM a Státního ústavu radiační ochrany a je podpořen programem bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky VI20192022142.

# Studium chemických pochodů v ozářeném polykarbonátu v kontextu možné využitelnosti pro integrující dozimetrii vysokých dávek

David Zoul<sup>1</sup>, Markéta Koplová<sup>1</sup>, Vít Rosnecký<sup>1</sup>, Martin Cabalka<sup>2</sup>, Jan Kučera<sup>3</sup>, Vladimír Strunga<sup>3</sup>, Helena Štěpánková<sup>4</sup>, Václav Římal<sup>4</sup>, Josef Štěpánek<sup>5</sup>, Marek Procházka<sup>5</sup>, Mariia Zimina<sup>1</sup>, Ondřej Libera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Materiálové a mechanické vlastnosti, Centrum výzkumu Řež, s. r. o., Hlavní 130, Husinec, Řež, 250 68, ČR

<sup>2</sup> Radiační chemie a kvalifikace na prostředí, ÚJV Řež, a. s., Husinec-Řež č. 130, Řež, 250 68, ČR

<sup>3</sup> Oddělení jaderné spektroskopie, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>4</sup> Katedra fyziky nízkých teplot, Matematicko-fyzikální Fakulta Univerzity Karlovy, V Holešovičkách 2, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>5</sup> Oddělení fyziky biomolekul, Matematicko-fyzikální Fakulta Univerzity Karlovy, Ke Karlovu 5, Praha 2, 121 16, ČR

david.zoul@cvrez.cz

Pro dozimetrii vysokých dávek neutronové a gama radiace je změna optické denzity snadno a levně měřitelným parametrem a to dokonce i v terénu, využitím ručního přenosného denzitometru. V této oblasti je proto použití pevnolátkových organických radiochromních dozimetrů mnohem jednodušší, než použití alaninových či gelových dozimetrů, jež vyžadují pro své vyhodnocení velmi časově i finančně náročné laboratorní metody (elektronovou paramagnetickou rezonanci, resp. nukleární magnetickou rezonanci).

Naším cílem je výzkum možností nahrazení výše uvedených nákladných metod vyhodnocení, zhruba o dva řády levnější optickou denzitometrií, která poskytne potřebné výsledky v řádu desítek sekund, buď prostřednictvím stolního skeneru, nebo dokonce přenosného ručního denzitometru.

Práce je zaměřena na výzkum možností využití polykarbonátu jako opakovaně použitelného integrujícího dozimetru fungujícího na bázi radiochromického (kolorizačního) jevu. Detekční interval metody pro záření gama leží v rozmezí 1–200 kGy s přesností 3%. V principu je možno stanovovat dávky od 0,1 kGy, do 300 kGy, kde je však nutno počítat s nejistotami v řádu až několika desítek procent.

Pozornost je věnována rovněž časovému průběhu samovolné regenerace ozářených vzorků (fading) z důvodu možnosti odečtu dávky po delší době (dny až týdny) od ozáření. Dále pak možnosti umělého urychlení regenerace ozářených dozimetrů (annealing) z důvodu jejich opakovatelné použitelnosti (podobně, jako je tomu např. u TLD či OSL), která by metodu ještě více zlevnila.

## Detekce neutronů transmutačními detektory

Ladislav Viererbl, Jan Lorinčík, Hana Assmann Vratislavská, Vít Klupák, Kristína Sihelská, Klára Řezanková

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

[ladislav.viererbl@cvrez.cz](mailto:ladislav.viererbl@cvrez.cz)

Metoda měření fluence neutronů transmutačními detektory (TMD) je založena na skutečnosti, že během ozařování prvkově čistých materiálů v neutronovém poli vznikají transmutací nuklidy, které před ozářením v tomto materiálu nebyly. Detektory, které většinou obsahují jeden nebo dva prvky a mají požadovanou čistotu, se ozáří v proměřovaném poli neutronů. Analytickými metodami se pak změří koncentrace nuklidů vzniklých transmutací v detektoru během a krátce po ozáření a z těchto koncentrací se stanoví fluence neutronů.

Metoda TMD je analogická často používané metodě neutronových aktivačních detektorů (NAD) s tím rozdílem, že ke stanovení fluence neutronů se nevyužívá aktivita radioaktivních nuklidů měřená radiometrickými metodami, ale koncentrace stabilních (nebo „téměř“ stabilních) nuklidů vzniklých při ozařování, která je měřena analytickými metodami, například hmotnostním spektrometrem. Výhodou oproti metodě NAD je, že výsledek nezávisí na historii oza-

řování, detektory uchovávají informaci o naměřené fluenci prakticky neomezeně dlouho a mají obvykle i po ozáření zanedbatelnou indukovanou aktivitu. Nevýhodou jsou větší minimální měřitelné fluence a náročnější vyhodnocení detektorů. Při adjustaci neutronového spektra lze obě metody kombinovat.

Na výzkumném reaktoru LVR-15 v Řeži bylo provedeno několik ozařovacích experimentů s různými typy TMD. Ozařovány byly kovové fólie Be, Al, a Au a krystaly Si, Ge a CaF<sub>2</sub>. Například použití fólie Be jako TMD je založeno na jaderné reakci  ${}^9\text{Be}(n,\alpha){}^6\text{Li}$ , jedná se o reakci s rychlými neutrony s energetickým prahem zhruba 1 MeV a po ozáření se tedy měří atomová koncentrace  ${}^6\text{Li}$  v matici  ${}^9\text{Be}$ . K měření koncentrací nuklidů vzniklých transmutací byl použit hmotnostní spektrometr sekundárních iontů (SIMS). V příspěvku jsou prezentovány hodnoty příslušných koncentrací, jsou porovnány s výsledky současně použitých NAD a s teoretickými výpočty.



## Scintilační vlastnosti epitaxních filmů LuAG:Ce kodopovaných Mg, Ca a Ca+Si

Petr Průša<sup>1,2</sup>, Miroslav Kučera<sup>3</sup>, Jiří A. Mareš<sup>2</sup>, Martin Pokorný<sup>2</sup>, Alena Beitlerová<sup>2</sup>, Mamilla Rathaiah<sup>3</sup>,  
Zuzana Lučeničová<sup>3</sup>, Martin Nikl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> Oddělení optických materiálů, Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, Cukrovarnická 10, Praha, 162 00, ČR

<sup>3</sup> Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Ke Karlovu 2, Praha, 121 16, ČR

[petr.prusa@fjfi.cvut.cz](mailto:petr.prusa@fjfi.cvut.cz)

Scintilátory na bázi  $\text{Ce}^{3+}$ -dotovaných granátů mají mnohé vynikající vlastnosti, zejména nehygroskopičnost, mechanickou a chemickou odolnost. V aplikacích, v nichž se používají polovodičové fotodetektory, se výhodně uplatní delší vlnová délka scintilačních fotonů, v maximum přesahující 500 nm. Scintilátor LuAG:Ce ( $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ ) vykazuje v této skupině nejvyšší detekční účinnost. Jeho scintilační vlastnosti, jmenovitě světelný výtěžek a kinetika scintilační odezvy, však v rámci skupiny patří k horším. Světelný výtěžek činí asi 20 000 fotonů/MeV s časovou konstantou 1  $\mu\text{s}$ . Ve scintilační odezvě se objevují, až dominují, pomalé komponenty s neexponenciálním dosvitem. I po 10  $\mu\text{s}$  je emitováno nezanedbatelné množství fotonů. Příčinou zhoršení obou diskutovaných vlastností jsou, mimo jiné, elektronové pasti přítomné vlivem defektů. V monokrystalických materiálech se jedná především o tzv. antisite defekty  $\text{Lu}_{\text{Al}}$  ( $\text{Lu}^{3+}$  na místě  $\text{Al}^{3+}$  iontu).

Negativní vliv pastí na odezvu scintilátoru lze redukovat, např. tzv. „defect engineering“. Jednou jeho konkrétní

realizací je přidání nízkých koncentrací iontů  $\text{Mg}^{2+}$  nebo  $\text{Ca}^{2+}$ . V důsledku přítomnosti  $\text{Mg}^{2+}$  se část luminiscenčních center  $\text{Ce}^{3+}$  přemění na centra  $\text{Ce}^{4+}$  vykazující odlišný scintilační mechanismus. V případě  $\text{Ce}^{3+}$  se jedná o sekvenční: záchyt díry  $\rightarrow$  excitace záchytem elektronu  $\rightarrow$  emise. V případě  $\text{Ce}^{4+}$ : excitace záchytem elektronu  $\rightarrow$  emise  $\rightarrow$  záchyt díry. Během „čekání“  $\text{Ce}^{3+}$  na zachycení díry, je řada elektronů zachycena v pastech, což působí ztráty energie a zpomalení scintilačního procesu.  $\text{Ce}^{4+}$  je připraven k zachycení elektronu neustále. Optimalizace koncentrace kodopantů zlepšuje scintilační vlastnosti, viz prezentované epitaxní filmy. Naopak ionty  $\text{Si}^{4+}$  opět mění  $\text{Ce}^{4+}$  na  $\text{Ce}^{3+}$ , žel za cenu odstranění původních přínosů a výskytu dalších záporných vlastností.

Podpořeno MŠMT ČR – projekt Centrum pokročilých aplikovaných přírodních věd CZ.02.1.01/0.0/0.0/16-019/0000778.

# Měření neutronových impulsů pomocí tekutých organických scintilátorů

Jaroslav Jánský<sup>1</sup>, Jiří Janda<sup>2</sup>, Věra Mazánková<sup>1</sup>, František Cvachovec<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulta vojenských technologií, Univerzita Obrany v Brně, Kounicova 65, Brno, 662 10, ČR

<sup>2</sup> Ústav OPZHN, Univerzita Obrany v Brně, Víta Nejedlého, Vyškov, 682 01, ČR

[jaroslav.jansky@unob.cz](mailto:jaroslav.jansky@unob.cz)

Tekuté organické scintilátory jsou nyní důležité pro měření ionizujícího záření, jak v přírodních vědách, tak i v průmyslu. Námi studované neutronové záření je prakticky vždy doprovázeno fotonovým zářením gama. Oddělit příspěvky obou složek tohoto směšného pole není úplně jednoduché. Studujeme kapalné scintilátory různých složení, převážně různé koncentrace luminoforů. V předloženém příspěvku

jsou prezentovány nové scintilátory, které umí detekovat a oddělit neutronové záření od gama záření a jsou porovnány s krystalickým scintilátorem Stilben. Kvantitativní vyhodnocení je provedeno pomocí funkce Factor of Merit a podle dvou námi vyvinutých funkcí. Výsledky jsou konzistentní pro všechny metody.

## Laserem řízený zdroj TERESA

David Horváth<sup>1</sup>, Silvia Motta<sup>1,2</sup>, Veronika Olšovcová<sup>1</sup>, Vojtěch Stránský<sup>1</sup>, Andrea Tsinganis<sup>1</sup>, Roman Truneček<sup>1</sup>, Roberto Versaci<sup>1</sup>, Lorenzo Giuffrida<sup>1</sup>, Daniele Margarone<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ELI Beamlines, Fyzikální ústav AV ČR, Za Radnicí 835, Dolní Břežany, 252 41, ČR

<sup>2</sup> Politecnico Milano, Department of Energy, Via Lambruschini 4, Miláno, 20156, Itálie

[olsovcova@fzu.cz](mailto:olsovcova@fzu.cz)

V mezinárodním výzkumném centru ELI Beamlines v Dolních Břežanech budou využívány vysokoenergetické lasery mimo jiné ke generování protonových a elektronových svazků. První testy byly úspěšně realizovány na experimentální stanici TERESA. Tato stanice využívá laser L3-HAPLS, který je uvnitř vakuové komory fokusován na pevnolátkový nebo plynný terč. Při interakci laseru s terčem dochází k ionizacím a následnému urychlení protonů nebo elektronů. Cílem experimentu TERESA je optimalizace terčových stanic a diagnostických systémů svazků.

Očekávané radiační pole bylo charakterizováno pomocí Monte Carlo kódu FLUKA. Vzhledem k výsledkům výpočtů

pro elektronové svazky byla experimentální stanice vybavena betonovou stínící zdí, při jejímž návrhu byla zohledněna i mechanická stabilita stínění a minimalizace rozměrů s ohledem na design experimentu.

Testy generování protonových svazků byly využity pro testování odezvy radiačních detektorů na doprovodné pulzní fotonové záření. Byly využity pasivní detektory typu OSL, scintilační detektor RT-30 a HPGe.

Příspěvek představí experimentální zařízení TERESA a výsledky měření doprovodného fotonového záření.

## Dozimetrické vlastnosti BeO

Zina Čemusová, Daniela Ekendahl

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[zina.cemusova@suro.cz](mailto:zina.cemusova@suro.cz)

Jedním z luminiscenčních materiálů pro integrální dozimetrii je beryllium oxid (BeO). Jeho výhodou ve srovnání s ostatními materiály používanými pro stanovení osobních dávek je nízké efektivní protonové číslo ( $Z_{\text{eff}} = 7,1$ ) blízké efektivnímu protonovému číslu lidské tkáně. Pro měření absorbované dávky lze využít metody termoluminiscence (TL) i opticky stimulované luminiscence (OSL). Dozimetrické vlastnosti materiálu BeO ve formě peletky (Thermalox 995, Materion Corporation) byly sledovány s využitím obou těchto metod v naší laboratoři.

Peletky vykazovaly individuálně poměrně dobrou reprodukovatelnost při opakovaném měření ( $< 5\%$ ), ale horší homogenitu odezvy v rámci souboru různých peletek ( $< 24\%$ ). OSL metoda je citlivější než TL metoda. Konkrétní naměřené hodnoty minimální detekovatelné dávky jsou  $10 \mu\text{Gy}$  pro OSL a  $19 \mu\text{Gy}$  pro TL metodu. Detektory vykazovaly lineární průběh odezvy v závislosti na dávce v rozpětí od desetin do stovek mGy. Byl také studován fading, tj. úbytek odezvy s rostoucím časem od ozáření. Odezva kolísala

zejména v prvním měsíci od ozáření, poté došlo ke stabilizaci a při měření s půlročním odstupem nebyl sledován žádný fading ve srovnání s odezvou měřenou bezprostředně po ozáření. Pro účely měření energetické a směrové závislosti byly peletky vloženy do komerčně dostupných pouzder (Mirion Technologies) osazených vhodnými filtry pro stanovení veličiny  $H_p(10)$ . Takto vytvořené dozimetry byly ozářeny za použití různých externích zdrojů X a gama. Zatímco energetická závislost byla vyhodnocena za pomoci TL i OSL metody měření, směrová závislost byla sledována pouze pomocí OSL měření. Při použití TL metody se odezva pohybovala v rozmezí  $-10\%$  až  $+13\%$  vzhledem k odezvě na  $^{137}\text{Cs}$ . U OSL byla odezva nižší až o  $47\%$  vůči odezvě na  $^{137}\text{Cs}$ . OSL signál byl prakticky nezávislý na úhlu dopadu záření v rozsahu  $\pm 90^\circ$ .

Pomocí provedených testů bylo prokázáno, že BeO dozimetry mohou svými vlastnostmi konkurovat jiným standardně používaným materiálům.

## Neutronová odezva termoluminiscenčního albedo dozimetru

Daniela Ekendahl<sup>1</sup>, Zdeněk Vykydal<sup>2</sup>, Michaela Kapuciánová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

[daniela.ekendahl@suro.cz](mailto:daniela.ekendahl@suro.cz)

Pro osobní dozimetrii pracovníků Státního ústavu radiační ochrany (SÚRO) je používán komplexní osobní termoluminiscenční dozimetr. Dozimetr je tvořen kartou se čtyřmi detektory materiálu LiF:Mg,Cu,P (ve formě TLD-700H a TLD-600H) a kazetou osazenou různými filtry. Zatímco materiál TLD-700H lze považovat za necitlivý na neutrony, materiál TLD-600H umožňuje dozimetrii neutronů na základě jaderné reakce  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ . Odezva dozimetru na neutrony je silně závislá na energii neutronů a zdaleka neodpovídá energetické závislosti veličiny  $H_p(10)$ . Stanovení neutronové osobní dávky je možné pouze za předpokladu, že je k dispozici specifická kalibrace pro dané podmínky ozáření. K dozimetru byl experimentálně vytvořen základní soubor kalibračních dat pro neutronové metrologické zdroje, které jsou k dispozici v ČR i v zahraničí. Reálná spektra neutronů v prostředí v různých situacích se však mohou značně lišit od spekter metrologických zdrojů.

Protože někteří pracovníci SÚRO mohou potencionálně pracovat v různých směsných polích záření gama a neutronů, věnovali jsme pozornost možnosti stanovení neutronové dávky v případě, že pro spektrum neutronů není k dispozici specifická kalibrace. Zkoumali jsme možnost výpočtu neutronových kalibračních dat pro nereferenční spektra neutronů. S využitím dat publikace TRS 403 (IAEA) byla odvozena fluenční odezva dozimetru v závislosti na energii neutronů. Pro vybraná reálná spektra neutronů, která byla následně experimentálně realizována v laboratoři, byly vypočteny specifické kalibrace. Vypočtená a experimentálně získaná kalibrační data byla porovnána. Relativní vzájemné rozdíly nepřesáhly 15 %. Použitá metoda umožní vyhodnotit neutronové dávky pracovníků, kteří byli ozáření různými reálnými spektry neutronů za předpokladu, že tato neutronová spektra jsou dostatečně známa.

## Application of track detectors in dosimetry

Andrei Zaitsev

Laboratory of High Energy Physics, Joint Institute for Nuclear research, Joliot-Curie, 6, Dubna, 141980, Russia

[zaicev@lhe.jinr.ru](mailto:zaicev@lhe.jinr.ru)

Application of the nuclear track emulsion technique (NTE) in radioactivity and nuclear fission studies is discussed. Developed half a century ago it remains a universal and cost-efficient detector. With an unsurpassed spatial resolution of about 0.5  $\mu\text{m}$  this technique provides observations from fission fragment up to relativistic particles tracks. NTE deserves further applications in fundamental and applied researches at modern accelerators and reactors as well as with radioactivity sources including natural ones. The application of NTE is grounded in experiments where tracks of nuclear particles cannot be reconstructed using electronic detectors.

Recently, it was suggested to soak NTE layers with water solution of chemical compound  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  enriched by natural uranium. Preliminary results of spontaneous  $\alpha$ -particle emission and ternary fission of  $^{235}\text{U}$  produced by thermal neutrons are discussed. To control the concentration of the uranium solution, the X-ray fluorescence (XRF) analysis of the initial and final solution was used. The distribution of  $\alpha$ -particle tracks in the volume of NTE is shown. The predominance of  $\alpha$ -particle tracks in the upper layer (15  $\mu\text{m}$ ) may indicate a strong chemical bond with the gelatin (protein) of the NTE layer. The results obtained can form the basis of studies of radioactive contamination in areas of uranium ore mining or in environment as well.

# Porovnávací měření přístrojů pro stanovení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu

Daniel Bednář<sup>1,2</sup>, Petr Otáhal<sup>1</sup>, Ivo Burian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Odbor jaderné ochrany, Státní ústav jaderné chemické a biologické ochrany, Kamenná 71, Milín, 262 31, ČR

<sup>2</sup> Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, Brno, 602 00, ČR

[bednar@sujchbo.cz](mailto:bednar@sujchbo.cz)

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) vydal doporučení k měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi. Součástí tohoto měření je i měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu – PPDE. Pro majitele přístrojů měřících veličiny PPDE ale neexistuje žádná povinnost daný přístroj pravidelně ověřovat, podobně jako je tomu u přístrojů pro měření OAR.

Z tohoto důvodu byl Státní ústav jaderné chemické a biologické ochrany (SÚJCHBO) pověřen vytvořením postupu pro porovnávání přístrojů pro měření PPDE. SÚJCHBO v rámci svého metrologického střediska již provádí ověřování přístrojů stanovujících OAR, ať už v půdním vzduchu či ve stavbách. Nově jsou zákazníci, kteří měří OAR ve stavbách vyzýváni, aby si k ověření s sebou vzali i přístroj pro měření PPDE (nebo dávkového příkonu), který je podroben porovnávacímu měření.

Porovnávací měření přístrojů probíhá ve speciální testovací místnosti, ve které se v jednom rohu nachází 3 panely

(1 na podlaze a 2 na stěně) z domu typu start, vyznačující se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů. K panelům je připojena lavice opatřená měřidlem. V protilehlém rohu místnosti se nachází olověná kobka, simulující co možná nejnižší hodnoty PPDE. Hodnoty PPDE na lavici i v kobce byly několikrát přesně změřeny (na lavici po 10 cm) gama-spektrometrem GT-40, který je referenčním měřidlem pro porovnávací měření a je pravidelně ověřován na ČMI.

Zákazník porovnávacího měření má možnost porovnat svůj měřicí přístroj s naším ověřeným přístrojem GT-40 ve 3 měřících bodech – olověná kobka a 2 body předem vybrané na měřicí lavici tak, aby byl rozdíl hodnot PPDE mezi body minimálně 1 řád.

Do září 2019 bylo otestováno přes 40 různých přístrojů. Nejčastějšími přístroji byly PM1203M, SOEKS-01M a RP 114, ale našli se i účastníci s dražšími přístroji, například gama-spektrometr GR 135 nebo RT-30. Výsledky z porovnávacích měření si můžete prohlédnout v posteru. Porovnávací měření je podporováno z Radonového programu ČR.

# Metody analýzy dat z letecké gama spektrometrie s využitím bezpilotních prostředků

Jaroslav Klusoň, Lenka Thinová

Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[kluson@fjfi.cvut.cz](mailto:kluson@fjfi.cvut.cz)

Dekonvoluční technika umožňuje na základě analýzy dat ze scintilační spektrometrie gama stanovit dozimetrické charakteristiky fotonových polí (typicky energetickou distribuci příkonu kermy ve vzduchu) ev. koncentrace radionuklidů vytvářejících (v definovaném geometrickém uspořádání) měřená fotonová pole. Na rozdíl od pozemní spektrometrie, kdy lze volbou objemu detektoru a vhodnou dobou měření zajistit dostatečnou statistiku měřených spekter, resp. letecké spektrometrie s využitím pilotovaných prostředků, kdy lze přijatelnou statistiku zajistit velkoobjemovými detektory (typicky NaI(Tl) o objemu 16 dm<sup>3</sup>), jsou na zpracování spekter z monitorování/mapování pomocí UAV (dronů) kladené specifické požadavky s ohledem na jejich velmi špatnou

statistiku. Ta je dána jednak relativně malými rozměry detektorů, limitovanými nosností UAV, jednak požadavky na krátkou dobu nabírání jednoho spektra (tj. dobu 1 skenu, typicky 1 s), která je určující z hlediska prostorového rozlišení výsledků mapování.

Příspěvek diskutuje použitou dekonvoluční techniku, možnosti a limity jejího využití na analýzu spekter s velmi špatnou statistikou, charakteristických pro monitorování a mapování s využitím UAV, a možnosti zlepšení stability a chyby výsledků analýzy takových spekter.

Tato práce byla podpořena prostředky MŠMT ČR v rámci projektu Centrum pokročilých aplikovaných přírodních věd CZ.02.1.01/0.0/0.0/16-019/0000778.



# Studium využití směrové závislosti dvou-detektorového leteckého spektrometru pro identifikaci polohy zdrojů

Jaroslav Klusoň, Tomáš Urban, Lenka Thinová

Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[kluson@fjfi.cvut.cz](mailto:kluson@fjfi.cvut.cz)

Letecký spektrometr osazený dvěma detektory bude vykazovat (v závislosti na použitých detektorech, jejich geometrickém uspořádání a dalších případných stínících elementech) směrovou závislost mezi odezvami jednotlivých detektorů. Studie se zabývala ověřením, do jaké míry je možno tuto závislost využít pro identifikaci polohy zdrojů, tj. směru jejich umístění vzhledem k orientaci detekčního systému spektrometru, resp. jak směrovou závislost detekčního systému modifikovat/optimalizovat a jakou metodikou analyzovat měřená data s ohledem na rozlišení/citlivost stanovení polohy zdrojů. Cílem studie bylo ověřit možnosti, resp. navrhnout metodiku využití malého leteckého spektrometru instalovaného na UAV pro účely vyhledávání izolovaných zdrojů.

Studie vychází z modelových výpočtů odezev jednotlivých detektorů spektrometru osazeného dvěma detektory  $2'' \times 2''$  NaI(Tl) na letových liniích při průletu v okolí bodového zářiče v různých polohách vzhledem k letové dráze UAV se zavěšeným spektrometrem. V příspěvku jsou prezentovány výsledky těchto modelových výpočtů, odhady citlivosti uvažovaného systému z hlediska aktivity, energie, vzdálenosti a polohy zdroje a diskutovány možnosti optimalizace spektrometrického systému a metodiky zpracování a interpretace měřených dat.

Tato práce byla podpořena prostředky MŠMT ČR v rámci projektu Centrum pokročilých aplikovaných přírodních věd CZ.02.1.01/0.0/0.0/16-019/0000778.

# Inovace postupů kontroly kvality odboru monitorování SÚRO

Michal Sloboda, Lenka Dragounová

Spektrometrie, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[lenka.dragounova@suro.cz](mailto:lenka.dragounova@suro.cz)

Jedním z kroků, které vedou k vylepšení postupů při kontrole kvality, může být automatizace. Nahrazení ručního zápisu dat automatickým převodem vede nejen k úspoře času, ale dojde tím i ke snížení chybovosti způsobené ručním zápisem dat. Inovace postupů na odboru monitorování SÚRO se skládá ze dvou hlavních částí: rozšíření a automatické vytváření regulačních diagramů v laboratorním systému a automatického přenosu informací o vzorku do laboratorního systému.

Regulační diagramy jsou jedním z nejdůležitějších statistických nástrojů pro sledování změn v průběhu času. Zavedení automatického vyhodnocování spekter a následný automatický převod dat do laboratorního systému umožnil značnou úsporu času a odboural chybovost při zadávání dat. Došlo také k rozšíření sledovaných parametrů zaznamenávaných do regulačních diagramů a v současné době se kromě

dlouhodobého sledování úrovně pozadí a kontroly celého zkušební postupu sledují také energetická kalibrace a FWHM vybraných píků.

V roce 2017 odbor monitorování vyvinul ve spolupráci s firmou Cross Zlín a. s. a GISIT s. r. o. aplikaci pro mobilní telefony pro značení vzorků pomocí QR-kódů při odběrech v terénu a následné načítání informací z QR-kódů a jejich převod do laboratorního systému. Hlavním cílem systému je zajištění jednoznačného značení vzorků při odběru a bezchybného přenosu informací do laboratorního systému. Tento systém se skládá z mobilního telefonu s volně šiřitelnou aplikací, tiskárny štítků a čtečky QR-kódů.

Práce byla vykonána za podpory projektu BV MV – Inovace havarijní připravenosti pro zajištění havarijní odezvy v časně a střední fázi radiační havárie jaderných zařízení, identifikační kód VH20172020006.

## Terénní monitor plošné kontaminace radioaktivních látek RT-58

Josef Vošahlík, Petr Otáhal

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i., Kamenná 71, Milín, 262 31, ČR

[vosahlik@sujchbo.cz](mailto:vosahlik@sujchbo.cz)

V rámci projektu MV ČR byl ve spolupráci s firmou Georadis, s. r. o., Brno upraven terénní monitor RT-58, který je určen pro monitorování kontaminace venkovních prostor. Monitor poskytuje v reálném čase informaci o dávkovém příkonu, eventuálně o směru ke zdroji záření a o zastoupení radionuklidů. Zařízení kombinuje několik typů detektorů ionizujícího záření, pět gama detektorů a jednu GM trubici pro gama a beta záření s otevíratelnou clonkou, která chrání trubici mimo měření a zároveň umožní stanovení poměru beta gama. Displej umožňuje tři způsoby vizualizace měřených hodnot. Zobrazování hodnot „dávkového příkonu

záření“ pro jednotlivé detektory, zobrazování energetických spekter pro jednotlivé detektory a zobrazování naměřených hodnot v mapovém podkladu. Kombinovaný detekční systém je umístěn na podvozku, který umožňuje manipulaci s monitorem pouze jednou osobou.

Poster byl vypracován na základě výsledků řešení projektu MV ČR č. VH20182021036 „Moderní metody detekce a identifikace nebezpečných CBRN látek a materiálů, metody snížení jejich nebezpečnosti a dekontaminace; moderní prostředky ochrany osob“.

## Porovnání kvality separace částic neutron/gama u organických scintilátorů

Aleš Jančář<sup>1</sup>, Filip Mravec<sup>1</sup>, Zdeněk Kopecký<sup>1</sup>, Jiří Čulen<sup>1</sup>, Zdeněk Matěj<sup>2</sup>, Václav Přenosil<sup>2</sup>, František Cvachovec<sup>3</sup>, Michal Košťál<sup>4</sup>

<sup>1</sup> VF, a. s., Svitavská 588, Černá Hora, 679 21, ČR

<sup>2</sup> Fakulta Informatiky MU Brno, Botanická 68a, Brno, 602 00, ČR

<sup>3</sup> Univerzita obrany v Brně, Kounicova 65, Brno, 662 10, ČR

<sup>4</sup> Centrum výzkumu Řež, s. r. o., Hlavní 130, Husinec, Řež, 250 68, ČR

[ales.jancar@vfnuclear.com](mailto:ales.jancar@vfnuclear.com)

V našem příspěvku se zabýváme porovnáním několika organických scintilačních materiálů se zaměřením na jejich kvalitu rozlišení částic neutron/gama. Materiály uvažované v tomto příspěvku jsou stilben, NE-213, EJ-299-33A, P-Terfenyl a Aqualight Hidex. Měření s těmito materiály bylo provedeno v kolimovaném svazku kanálu reaktoru LVR-15 (ÚJV Řež). Svazek je na výstupu moderovaný 1 m křemíku.

Měření bylo provedeno za použití digitálního dvouparametrického spektrometrického systému NGA-01. Pro lepší rozlišení je výstupní signál fotonásobiče zesílen a rozdělen do dvou větví s různým zesílením. Oba signály jsou digitalizovány pomocí 12 bitového A/D převodníku se vzorkovací frekvencí 500 MS/s. Sloučení obou odvětví, jejich filtrování a zpracování se provádí online pomocí programovatelného

hradlového pole FPGA. Pro lepší linearitu měření byl pro fotonásobič použit aktivní dělič napětí.

Zařízení NGA-01 bylo ověřeno v mnoha předchozích experimentech a jeho výsledky byly porovnány s výpočty a publikovány. Energie detekovaných částic byla vypočtena podle amplitudy a integrálu celého pulsu. Pro diskriminaci tvaru impulzů z detektoru byla použita metoda porovnání náboje. Rozlišovací energetické píky v reaktorovém spektru LVR-15 moderovaném křemíkem nám pomáhají lépe srovnávat spektra získaná z různých scintilačních materiálů. Dobrá shoda v tomto srovnání nám říká, že takový materiál lze použít pro spektrometrické účely. Porovnání výsledků těchto scintilačních materiálů poskytuje návod pro výběr vhodného scintilátoru v závislosti na požadované kvalitě separace.

# Sledovanie vybraných parametrov scintilačného detektora

**Branislav Stríbrnský, Róbert Hinca**

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, ÚJFI, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

[branislav.stibrnsky@stuba.sk](mailto:branislav.stibrnsky@stuba.sk)

Mnohé jadrové bloky vo svete sa v súčasnosti vyradujú a mnohé sa blížia ku koncu svojej predpokladanej prevádzky. Problematika vyradovania jadrových elektrární je preto v posledných rokoch veľmi aktuálna. Počas procesu vyradovania, ako pri každej ľudskej činnosti, vzniká veľké množstvo odpadov. Hoci väčšina z týchto odpadov nie je rádioaktívna, nezanedbateľnú časť týchto odpadov je nutné premerať a určiť, či sa jedná o rádioaktívne odpady (RAO), alebo či ich je možné uvoľniť do životného prostredia.

Z pohľadu merania odpadov rozdeľujeme meracie systémy na meracie systémy pre kontrolu akceptačných kritérií pre úložisko a na meracie systémy pre uvoľňovanie materiálov do životného prostredia. Meracie systémy pre uvoľňovanie musia spĺňať niekoľko, do istej miery protichodných, požiadaviek. Jednou zo základných požiadaviek je vysoká a stála účinnosť detekčného systému. Tá závisí od typu a para-

metrov použitých detektorov, geometrie merania, použitej elektroniky atď. Meranie nízkych aktivít si vyžaduje dosahovať nízku hodnotu minimálnej detekovateľnej aktivity (MDA). Zníženie MDA sa dá dosiahnuť zvýšením účinnosti meracieho systému, potlačeným pozadia alebo predĺžením času merania. Na druhej strane, významným parametrom pri meraní aktivity, obzvlášť pri meraní veľkých objemov v procese vyradovania, je priepustnosť meracieho systému.

Mnohé meracie systémy využívané pri uvoľňovaní materiálov využívajú scintilačné detektory. V meracích systémoch sú často využívané anorganické scintilátory (NaI, LaBr), ale aj plastové organické scintilačné detektory. V našej práci sme sa venovali sledovaniu vybraných parametrov scintilačných detektorov v kontexte možnosti ich využitia pri navrhovaní nových meradiel a meracích systémov pre uvoľňovanie materiálov do životného prostredia.

# Metrologická podpora pro pokročilou radioterapii pulzními svazky s vysokou dávkou v pulzu

Jaroslav Šolc<sup>1</sup>, Iva Ambrožová<sup>2</sup>, David Chvátíl<sup>4</sup>, Jan Jakůbek<sup>3</sup>, Silvia Motta<sup>5,6</sup>, Cristina Oancea<sup>3</sup>,  
Veronika Olšovcová<sup>5</sup>, Jana Šmoldasová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

<sup>2</sup> Oddělení dozimetrie záření, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>3</sup> ADVACAM s. r. o., U Pergamenky 1145/12, Praha, 170 00, ČR

<sup>4</sup> Oddělení urychlovačů, ÚJF AV ČR, v. v. i., Řež 130, Řež, 250 68, ČR

<sup>5</sup> ELI Beamlines, FÚ AV ČR, v. v. i., Za Radnicí 835, Dolní Břežany, 252 41, ČR

<sup>6</sup> Politecnico di Milano, Via Lambruschini 4, Milano, 20156, Itálie

[jsolc@cmi.cz](mailto:jsolc@cmi.cz)

Nedávno publikované studie z oblasti radioterapie prokázaly, že aplikace velmi vysokých terapeutických dávek ve velmi krátkých intervalech (milisekundy a méně) snižuje riziko poškození zdravé tkáně, zatímco efektivita radiačního poškození nádoru je zachována. Využití tohoto „FLASH efektu“ v radioterapii umožní nová generace urychlovačů (upravené konvenční elektronové urychlovače, nové laserové urychlovače), které budou schopny generovat pulzní svazky částic s velmi vysokými dávkami v pulzu (UHD svazky). Pulzní charakter ozařování a vysoké dávkové příkony však vyžadují vytvoření nových metod pro dozimetrii a obecně metrologii jak primárního záření, tak i sekundárního záření mimo pulzní svazek, aby bylo možné tuto pokročilou radioterapeutickou techniku převést do klinické praxe.

Vytvoření metrologických prostředků potřebných k zajištění metrologické návaznosti při měření absorbovaných

dávek UHD svazků si klade za cíl nový evropský výzkumný projekt „Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high pulse dose rates“ (UHD Pulse), který trvá od 1. 9. 2019 do 31. 8. 2022. Projektu se účastní národní metrologické instituty Německa, Velké Británie, Švýcarska, Polska a České republiky (ČR) za podpory předních evropských výzkumných institucí zabývajících se danou problematikou. Do projektu jsou zapojeny také instituce z ČR, jmenovitě Ústav jaderné fyziky Akademie věd (AV) s pracovní náplní zaměřenou na využití svazků Mikrotoronu MT25, výzkumné centrum ELI Beamlines Fyzikálního ústavu AV s úkoly zaměřenými na využití pulzních svazků generovaných laserem a firma ADVACAM s. r. o. mající za cíl vývoj pixelového detektoru pro dozimetrii pulzních polí. Bližší popis projektu bude uveden v příspěvku.

## Nová generace portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatelstva

Lubomír Gryc, Anna Selivanová, Martina Vtelenská, Eva Čermáková

SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[lubomir.gryc@suro.cz](mailto:lubomir.gryc@suro.cz)

Detektory s plastovými krystaly mají po řadu let významné využití jako radiační monitorovací portály. Pro kontrolu vozidel se využívají především stacionární velkoplošné detektory s délkou a šířkou řádově až 100 centimetrů a tloušťkou jednotek centimetrů, pro další aplikace (skenování osob při průchodu na hromadné akce, pojízdné skeny vozidel) lze využít detektorů menších rozměrů. Plastové detektory menších rozměrů našly též uplatnění v radiačním monitorování pomocí leteckých prostředků, ať již u bezpilotních prostředků UAV nebo při leteckém monitorování z vrtulníku. Přestože plastové detektory vykazují špatné spektrometrické vlastnosti při detekci záření gama a nepoužívají se tak přímo k identifikaci nuklidů, jsou ale velmi vhodné jako signální detektory. Vzhledem k jejich nízké ceně, možnosti

výroby v různých velikostech a jednoduchosti obsluhy, mohou být tyto detektory velmi užitečné při monitorování velkého množství osob např. pro monitorování procházejících osob na letišti apod. Výhodou, vzhledem k jejich ceně, by byla možná i jejich rychlá výměna v případě kontaminace na rozdíl od drahých monitorovacích systémů se scintilačními nebo i polovodičovými detektory. V příspěvku jsou uvedeny některé vyvinuté detektory s různými rozměry a jejich systémy pro monitorování osob.

Poster je vypracován na základě projektu Ministerstva vnitra ČR s názvem: „Nová generace portálových monitorů pro zajištění bezpečnosti obyvatel (PoMoZ)“, ID: VH20172020015.

# Nové materiály pro detektory neutronů a gama záření

Věra Mazánková

Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Kounicova 65, Brno, 662 10, ČR

[vera.mazankova@unob.cz](mailto:vera.mazankova@unob.cz)

Detekce neutronů je zpravidla prováděna pomocí jejich reakce s jiným prvkem ve scintilátoru, který se v detektoru nachází. Zásadní význam pro detekci neutronů mají organické scintilátory v kapalně či krystalické fázi nebo jako plastové scintilátory. Výhodou organických scintilátorů je závislost amplitudy scintilací na energii dopadajících neutronů a tudíž ji lze využít pro spektrometrii neutronů. Dále je výhodou možnost rozlišení neutronových a fotonových signálů, čímž lze vyhodnotit příspěvek neutronů a fotonů ve směsném poli. Kombinace primárních a sekundárních složek kapalných scintilátorů jsou navrženy s cílem zajištění rovnoměrného fotonového výtěžku pro následné měření v oblasti celého energetického spektra neutronů. Polymerací lze z ka-

palných scintilátorů vyrobit plastové. Plastové scintilátory jsou vhodné k rozsáhlému využití v řadě aplikací vzhledem k jejich fyzikální formě. Polymerace je však radikálovou reakcí a může při ní docházet k interakcím primárních radikálů vznikajících z nahodilých nečistot, případně iniciátorů na bázi azosloučenin a peroxidických iniciátorů se scintilačními přísadami, což může snižovat fotonový výtěžek. Na druhé straně lze u plastových detektorů předpokládat snížení citlivosti ke gama záření při zachování citlivosti k neutronům. V předkládaném příspěvku jsou prezentovány nové kapalně scintilátory, které umí detekovat a oddělit neutronové záření od gama záření.



# AGAMA – Software pro poletové vyhodnocení měření záření gama z leteckých prostředků

Marcel Ohera<sup>1</sup>, Anna Selivanová<sup>1</sup>, Lukáš Kotík<sup>1</sup>, Irena Češpírová<sup>1</sup>, Lubomír Gryc<sup>1</sup>, Lukáš Skála<sup>2</sup>, Tomáš Grísa<sup>2</sup>, Petr Bohuslav<sup>2</sup>, Pavel Jurza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Nuvia, a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

<sup>3</sup> Spectronica, Austrálie

[marcel.ohera@suro.cz](mailto:marcel.ohera@suro.cz)

Letecká měření radiace, resp. stanovení dávkových příkonů ve vzduchu v 1 m nad povrchem země a kontaminace zemského povrchu, mají svou významnou roli při monitorování radiačních havárií jaderně energetických zařízení. V současné době pro měření na malých plochách, tzv. „hot spots“, popř. lokálních měření radiace, kdy by mohlo dojít k vysokým expozicím u pracovníků provádějících měření v terénu, se s výhodou používají bezpilotní letecké prostředky. Za tímto účelem byl vyvinutý program AGAMA pro poletové vyhodnocení dat z leteckých prostředků (off-line). Nově vytvořený program lze s výhodou použít pro vyhodnocení dat z leteckých gamaspektrometrů a detektorů na bezpilotních prostředcích, která jsou uložena v souborech v binárním formátu PEI, formátu ERS 2.0 a ASCII. Podle potřeb uživatele bude v budoucnu možné rozšířit i pro další formáty, doplňovat a rozšiřovat pro další velikosti scintilačních a plastových detektorů. Výstupy v základní verzi, opět ve formátech PEI, formátu ERS 2.0 a ASCII, jsou lokální dávkové příkony ve vzduchu v místě detektoru, dávkové příkony ve

vzduchu přepočtené na výšku 1 m nad zemí. Pro výpočet dávkových příkonů se používá rozsah celého spektra záření gama, obvykle do 3 MeV, pro vyhodnocení hmotnostních aktivit přírodních nuklidů a plošné aktivity <sup>137</sup>Cs se využívá rozšířená metoda oken. Pro výpočet hmotnostních aktivit přírodních nuklidů a plošných aktivit <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>131</sup>I a <sup>103</sup>Ru se používá metoda nejmenších čtverců (LSQ) s využitím matic odezev stanovených metodou Monte Carlo. K dispozici je i varianta pouze nezáporných hodnot metody nejmenších čtverců (NN-LSQ). Dle požadavku lze rozšířit o další nuklidy. Program umožňuje přípravu letových projektů a zobrazení vyhodnocených dat přímo v georeferencované mapě (např. open street map), nezanedbatelnou výhodou programu je i výstup do informačního systému MonRaS provozovaný SÚJB.

Poster byl vypracován na základě projektu Ministerstva vnitra ČR „Strategie řízení nápravy území po radiační havárii“, ID: VH20172020015.

## Testování scintilačních detektorů v neutronovém poli výzkumného reaktoru LVR-15

Hana Assmann Vratislavská<sup>1</sup>, Michal Košťál<sup>1</sup>, Zdeněk Matěj<sup>2</sup>, Filip Moravec<sup>2</sup>, František Chovanec<sup>3</sup>, Martin Schulc<sup>1</sup>, Vlastimil Juříček<sup>1</sup>, Vojtěch Rypar<sup>1</sup>, Jaroslav Šoltés<sup>1</sup>, Evžen Losa<sup>1</sup>, Ladislav Viererbl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centrum výzkumu Řež, s. r. o., Hlavní 130, Husinec, Řež, 250 68, ČR

<sup>2</sup> Masarykova univerzita, Botanická 15, Brno, 612 00, ČR

<sup>3</sup> Univerzita obrany, Kounicova 65, Brno, 612 00, ČR

[hana.vratislavska@cvrez.cz](mailto:hana.vratislavska@cvrez.cz)

Detekce neutronů je důležitá nejen v mnoha odvětvích základního i aplikovaného výzkumu, ale i např. v průmyslu nebo v bezpečnostním sektoru. Rozšiřující se využití neutronů je doprovázeno zvyšujícími se nároky na jejich detekci, mimo jiné i na hledání nového materiálu s možností separace neutronového a gama záření a rovněž uspokojivým rozlišením.

Neutronové spektrum standardů ( $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) je hladké a vhodné pro testování rozlišení příspěvku od gama záření a neutronů, ale nemohou odhalit možné problémy při dekonvoluci, zejména pak problémy v energetickém rozlišení.

Jeden z horizontálních kanálů výzkumného reaktoru LVR-15 v Centru výzkumu v Řeži nabízí nové neutronové pole, které je filtrováno křemíkovým blokem o tloušťce 1 m. V důsledku účinného průřezu křemíku se ve filtrovaném spektru vyskytují dobře rozlišitelné píky. Neutronový svazek byl dále korigován Li, Cd, Bi a Pb filtrem. V tomto uspořádání byly testovány různé scintilační materiály, jak kapalný (HIDEX Aqualight), tak i plastický (EJ299-33A). Výsledky byly porovnány s referenčním organickým scintilátorem (Stilbenem).

# Kalibrace ručních přístrojů pro měření kontaminace štítné žlázy v polních podmínkách

Ota Fišera<sup>1</sup>, Jaroslav Kareš<sup>1</sup>, Jaroslav Šolc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Skupina speciální dozimetrie, Vojenský výzkumný ústav, s. p., Veslařská 230, Brno, 637 00, ČR

<sup>2</sup> Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

[fishera@vvubrno.cz](mailto:fishera@vvubrno.cz)

Cílem práce bylo provést kalibraci ručních přenosných přístrojů FLIR Identifier 2 se scintilačním detektorem NaI(Tl) a Ortec Micro-Detective-HX s polovodičovým detektorem HPGe. Ke kalibraci byl použit tuhý, vodě ekvivalentní, antropomorfní fantom krku a torsa trupu s radionuklidovým zdrojem <sup>131</sup>I. Pevný zdroj ve formě silikonové pryskyřice byl umístěn uvnitř fantomu a odpovídal pozici, velikostí a tvarem štítné žlázy. Objem zdroje byl 8,5 ml a aktivita 176,2 kBq v době měření. Pro zajištění konstantní geometrie během měření byl pro Micro-Detective-HX vyroben nástavec mezi krk a detektor přístroje, který zajišťoval měřiči

vzdálenost 5 cm od povrchu fantomu. S přístrojem Identifier 2 bylo měřeno v těsné blízkosti krku. Na výslednou citlivost měření má vliv jak velikost detektoru, tak i jejich účinnost a měřicí geometrie. Ze získaných dat bude vypracována metodika měření kontaminace štítné žlázy v podmínkách polní laboratoře, kde bude nutné mít na zřeteli omezené možnosti umístění a polohování jak měřené osoby, tak i detekčních přístrojů. Naměřené detekční účinnosti byly porovnány s výsledky Monte Carlo simulací pomocí výpočetního kódu MCNP, ve kterém byl v geometrii použité při měření modelován fantom se štítnou žlázou.

## Vývoj a verifikace MC modelu ozařovací hlavice Terabalt a detektoru PhPix

Denis Dudáš<sup>1,2</sup>, Ondřej Konček<sup>1</sup>, Kateřina Peterková<sup>1</sup>, Milan Semmler<sup>1</sup>, Gordon Neue<sup>2</sup>, Václav Vrba<sup>2</sup>,  
Miroslav Havránek<sup>2</sup>, Vladimír Kafka<sup>2</sup>, Lukáš Tomášek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UJP PRAHA a. s., ČR

<sup>2</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[dudas@ujp.cz](mailto:dudas@ujp.cz)

Detektor PhPix je hybridní pixelový detektor, jehož vývoj probíhá od roku 2012. Jeho hlavní využití se předpokládá v oblasti zobrazovacích systémů a QA ozařovačů v radioterapii. Svým specifickým konceptem nabízí řadu výhod. Vysokou radiační odolnost, malý detekční objem a v porovnání s dnes dostupným dozimetrickým vybavením v radioterapii nižší cenu a vyšší rychlost vyčítání. Momentálně probíhá příprava na výrobu velkoplošného detektoru, založeného na bázi PhPixu. Je vyvíjen návrh technického konceptu s ohledem na rozlišení, účinnost detekce, atd. Z tohoto důvodu je

nezbytné mít k dispozici ověřený MC model, který umožní simulovat potřebné aspekty průběžných návrhů. Vzhledem k tomu, že systém bude v první fázi testován ve svazcích Co-60, bylo v této práci přistoupeno k vytvoření a verifikaci modelu ozařovací hlavice TERABALT, kterou firma UJP PRAHA a. s. sama vyrábí. V návaznosti na to byl definován model detektoru PhPix a jeho správnost byla verifikována srovnáním výsledků simulace vybraných dozimetrických parametrů s reálným měřením.

## Challenges to personal dosimetry in space

Eric Benton<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Radiation Dosimetry, Nuclear Physics Institute of the CAS, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Dept. of Physics, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA

[eric.benton@okstate.edu](mailto:eric.benton@okstate.edu)

The accurate measurement of space crew radiation exposure during space flight is one of the greatest challenges in personal radiation dosimetry. These challenges arise from the highly complex nature of the radiation field encountered in space: a mixed field consisting of charged particles from electrons and protons through Fe nuclei at energies ranging from tens of MeV/nucleon to in excess of 1 GeV/nucleon. Additional complications arise from the secondary particles,

especially neutrons, produced when the primary radiation undergoes nuclear interactions with the mass of the spacecraft and its contents, including the astronaut's body. In this presentation, I will describe the challenges of personal dosimetry during spaceflight and review a number of approaches to space dosimetry, with particular emphasis on the fact that no single type of detector is able to adequately measure all relevant energetic particles at relevant energies.

## Využití detektorů Timepix pro vesmírný experiment Matroshka-III

Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>2</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Satoshi Kodaira<sup>3</sup>, Ondřej Ploc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>3</sup> National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Anagawa, Inage-ku, Chiba, 263-8555, Japonsko

[sommer@ujf.cas.cz](mailto:sommer@ujf.cas.cz)

Ionizující záření je jedním z limitujících faktorů pro dlouhodobé vesmírné mise. Záření ve vesmíru má jiné složení a vyšší energie než záření, s nímž se lidé setkávají na zemi. Experiment Matroshka-III, který bude probíhat na Mezinárodní kosmické stanici (MKS), má za úkol přispět k vyhodnocení radiačních rizik spojených s dlouhodobým ozářením lidí ve vesmíru.

Matroshka-III experiment se zaměřuje na studium radiačních dávek a jejich distribuci v lidském těle. K tomu používá antropomorfní fantom a několik typů detektorů ionizujícího záření, které jsou rozmístěny v různých částech fantomu, a i mimo něj. Měření proběhnou v několika modulech MKS a v různých radiačních polích (galaktické kosmické záření, solární energetické částice – pokud dojde k jejich uvolnění

během mise, Van Allenovy radiační pásy). Jedním z hlavních cílů experimentu Matroshka-III je stanovit vztah mezi dávkami na kůži a orgánových dávek. Interakce ionizujícího záření s lidským tělem mění vlastnosti záření a tím se mění i jeho škodlivost pro lidskou tkáň. Tato kvalitativní změna bude kvantifikována pomocí dvou pixelových křemíkových detektorů Timepix. Jeden z nich bude na povrchu fantomu a druhý uvnitř fantomu.

Prezentace se bude zabývat aplikací detektorů Timepix pro stanovení dozimetrických veličin ve směsných radiačních polích ve vesmíru a řešením souvisejících problémů. Hlavní část prezentace bude věnována saturačním efektům jednotlivých pixelů a pokročilé kalibraci detektorů Timepix v oblasti saturace.

## Co to u všech hromů v těch bouřkách vlastně měříme?

Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Eric Benton<sup>1</sup>, Jakub Kákona<sup>2</sup>, Martin Kákona<sup>1,3</sup>, Dagmar Kyselová<sup>1,3</sup>,  
Ronald Langer<sup>1</sup>, Marek Sommer<sup>1,3</sup>, Jakub Šlegl<sup>1,3</sup>, Václav Štěpán<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Oddělení dozimetrie záření, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, ČR

<sup>3</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[ploc@ujf.cas.cz](mailto:ploc@ujf.cas.cz)

Jedná se o radiační jevy spojené s bouřkovou činností. Bouřkový mrak tím, že se v něm kumulují oblasti s kladným a jinde záporným nábojem, totiž funguje jako obrovský elektrostatický generátor a největší přírodní urychlovač na Zemi, a tak přirozeně produkuje také ionizující záření. Jako první byl v devadesátých letech popsán jev nazvaný Terrestrial Gamma-Ray Flashes (TGF) trvající dobu kratší než 1 ms, dosahujících energií desítek MeV a doprovázející některé blesky. Dalším souvisejícím jevem jsou Terrestrial Neutron Flashes (TNF) vznikající ve fotonuclear reakcích TGF na jádrech atomů ve vzduchu. Další jevy – Thunderstorm Ground Enhancement (TGE) a Gamma-Ray Glows (GRG) jsou delšího trvání a spouští je laviny relativistických únikových elektronů (RREA).

A proč to měříme? Protože se jedná o relativně nový obor atmosférické fyziky vysokých energií a mnoho otázek spojených s těmito jevy zůstává nezodpovězených, jako třeba spojitost TGF, TGE, GRG a RREA, a jaké mohou být dávky záření od těchto jevů. Zároveň mechanismy elektrifi-

kace a vybíjení bouřkových oblaků, procesy iniciace a šíření blesku zatím nemají obecně přijatá vysvětlení.

A jak to měříme? Naše přístroje jsou umístěné nebo se je chystáme umístit na družicích ve vesmíru, balónech letících do stratosféry, v letových výškách civilních letadel, na bezpilotních letadlech ve výškách do několika kilometrů, až po trvalá kontinuální měření na vysokohorských observatořích či pozemní měření v terénu na výjezdech k bouřkám auty. Přístroje jsou také testované v laboratorních podmínkách na urychlovačích nabitých částic a vysokoproudých a vysokonapěťových generátorech. Pro uskutečnění těchto náročných měření bylo většinou nezbytné nejprve rozšířit infrastrukturu nákupem i vlastním vývojem potřebného vybavení.

V příspěvku představíme studované bouřkové jevy, cíle, infrastrukturu, dílčí výsledky získané např. během terénních měření a chystané kroky projektu CRREAT, který se v těchto dnech přehoupl do druhé poloviny své financované fáze.

## Měření odezvy pasivních detektorů na bleskový výboj v laboratorních podmínkách

Dagmar Kyselová<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Jan Mikeš<sup>3</sup>, Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Günther Reitz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>3</sup> Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, Jugoslávských partyzánů 1580/3, Praha 6, 160 00, ČR

[dagmar.kyselova@odz.ujf.cas.cz](mailto:dagmar.kyselova@odz.ujf.cas.cz)

Rutinní dozimetrie posádek letadel se provádí pomocí speciálních výpočetních programů, od roční hodnoty efektivní dávky E 1 mSv. Existují však krátkodobé vysokoenergetické atmosférické jevy jako Terrestrial Gamma-Ray Flashes (TGFs) a Terrestrial Neutron flashes (TNFs) vznikající v silném elektrickém bouřkovém poli. Tyto jevy mohou jednorázově přispět k efektivní dávce posádek letadel až 100 mSv. Výpočetní programy je ale nezohledňují. Dlouhodobým cílem naší práce je stanovení metody pro odhad ozáření posádek letadel způsobený těmito vysokoenergetickými atmosférickými jevy. Prvním krokem je výběr detektorů vhodných pro dlouhodobé umístění na paluby letadel. Simulace bleskového výboje v umělých podmínkách tomuto výběru může pomoci. Jde o méně časově a finančně nároč-

nou metodu než měření na palubách letadel. K prvnímu testování na vysokonapětových a vysokoproudých generátorech byly vybrány pasivní detektory, aby bylo zabráněno elektromagnetickému rušení od pole generátoru. Konkrétně byly zvoleny termoluminiscenční detektory MTS-6 a MTS-7 pro detekci fotonové a neutronové složky. Pomocí vysokoproudého a vysokonapětových generátorů byly provedeny dva typy experimentů – dlouhodobé s dobou měření kolem 3 měsíců a krátkodobé vždy pro 50 elektrických výbojů s konstantními parametry generátoru. Dlouhodobé měření na obou typech generátorů ukázalo navýšení vzniku fotonové složky (oproti pozadí) a přítomnost tepelných neutronů. Zvolený počet výbojů v krátkodobých měřeních nevedl ke statisticky významnému navýšení odezvy.



## Vliv aktuálních podmínek atmosféry na model ionizace kosmickým zářením

Jakub Šlegl<sup>1,2</sup>, Jana Minářová<sup>3</sup>, Zbyněk Sokol<sup>3</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ODZ, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>3</sup> ÚFA AV ČR, Boční II 1401, Praha 4, 141 00, ČR

[slegl@ujf.cas.cz](mailto:slegl@ujf.cas.cz)

Simulace modelu elektrifikace oblaku (CEM-COSMO) ukázaly závislost výsledné nábojové struktury na vertikálním profilu ionizace atmosféry kosmickým zářením (G funkce). Do dnešní doby byly při výpočtech G funkce používány pouze podmínky hezkého počasí (fair weather) v modelu CRAC:CRII (Cosmic Ray Atmospheric Cascade: Cosmic

Ray Induced Ionization) s parametry standardní atmosféry. Dále proto studujeme, jak aktuální atmosférické podmínky (například elektrické pole a podíl vody v oblaku) ovlivňují G funkci. K tomu používáme vertikální profily atmosféry vypočtené numerickým modelem předpovědi počasí COSMO. Analýza byla provedena pomocí Monte Carlo výpočtů.

## Měření Regenerova-Pfotzerova maxima pomocí balónů

Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Eric Benton<sup>1,3</sup>, Jakub Kákona<sup>4</sup>, Dagmar Kyselová<sup>1,2</sup>, Jakub Šlegl<sup>1,2</sup>,  
Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Pavel Kovář<sup>4</sup>, Martina Lužová<sup>1,2</sup>, Jiří Záhora<sup>4</sup>, Jakub Kanděra<sup>4</sup>,  
Lenka Thinová<sup>2</sup>, Martin Povišer<sup>5</sup>, Pavel Krist<sup>2</sup>, Jiří Hovorka<sup>6</sup>, Ondřej Ploc<sup>2</sup>, Günther Reitz<sup>2</sup>, pes Fík<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ODZ, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>3</sup> Department of Physics, Oklahoma State University, Spojené státy americké

<sup>4</sup> FEL, České vysoké učení technické, ČR

<sup>5</sup> MFF, UK, ČR

<sup>6</sup> ZŠ Žamberk, ČR

[martin.kakona@odz.ujf.cas.cz](mailto:martin.kakona@odz.ujf.cas.cz)

Ve třicátých letech dvacátého století předpověděl E. Regener na základě měření existenci maxima ionizace vyvolané sekundárním kosmickým zářením v atmosféře. Přesněji atmosférické výšky, ve které je maximum koncentrace nabitých částic. Později společně se svým studentem Pfozterem toto maximum i změřili. Regenerovo-Pfozterovo maximum je tedy jednou ze základních veličin, která je měřitelná a měly

by jí předpovídat numerické modely interakce ionizujícího záření s atmosférou. Měření této veličiny bylo v minulosti mnohokrát opakováno pomocí balónů a raket. V příspěvku se pokusíme porovnat nedávná měření a naše vlastní měření pomocí několika meteorologických sondážních balónů a letu balónu s nulovým tlakem, kterého jsme se mohli zúčastnit v rámci projektu HEMERA.

# Jaderné emulze a jejich srovnání s jinými stopovými detektory používanými v osobní neutronové dozimetrii

Martina Lužová<sup>1,2,3</sup>, Andrei Zaitsev<sup>2</sup>, Věra Bradnová<sup>2</sup>, Ondřej Ploc<sup>1,3</sup>, Pavel Zarubin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oddělení dozimetrie záření, ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie St 6, Dubna, 141980, Russia

<sup>3</sup> Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[martina.luzova@odz.ujf.cas.cz](mailto:martina.luzova@odz.ujf.cas.cz)

V neutronové dozimetrii byly jaderné emulze běžně používánou metodou měření osobních dávkových ekvivalentů. Tato metoda byla postupně nahrazena jinými systémy a to především kvůli složitému, zdlouhavému a subjektivnímu vyhodnocování emulzí pod mikroskopem. V dnešní době lze manuální vyhodnocování zautomatizovat pomocí počítačového zpracování obrazu a posunout tak tuto metodu

na úroveň jiných metod pro osobní neutronovou dozimetrii, jako jsou třeba FNTD, či detektory založené na CR-39. Přednosti i nevýhody jaderných emulzí oproti jiným metodám budou diskutovány v konferenčním příspěvku společně s návrhem konkrétní metodiky měření dávky od neutronů různých energií s pomocí jaderných emulzí.

# Monitorovanie expozície očnej šošovky pracovníkov JE v poliach neutrónov a gama žiarenia

Marko Fülöp<sup>1</sup>, Boris Remenec<sup>2</sup>, Jozef Frtús<sup>3</sup>, Pavol Chylý<sup>3</sup>, Dušan Solivajs<sup>4</sup>, Pavol Ragan<sup>5</sup>, Lubica Foltínová<sup>6</sup>

<sup>1</sup> FVZ, SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>2</sup> SE a. s., AE Bohunice, o. z., Jaslovské Bohunice, 919 31, SR

<sup>3</sup> SE a. s., AE Mochovce, o. z., Mochovce, 935 39, SR

<sup>4</sup> Slovenská legálna metrológia, Geologická 1, Bratislava, 821 06, SR

<sup>5</sup> ABRS, s. r. o., Pomlejská 106, Šamorín, 931 01, SR

<sup>6</sup> EUBA, Dolnozemska 1/b, Bratislava, 852 35, SR

[marko.fulop@gmail.com](mailto:marko.fulop@gmail.com)

V JE sú priestory, v ktorých sa pracuje v poliach neutrónov a gama žiarenia. Medzná dávka ožiarenia očnej šošovky je znížená na hodnotu ekvivalentnej dávky  $20 \text{ mSv r}^{-1}$  a vyžaduje sa ju monitorovať nepriamo meraním  $H_p(10)$  na hrudi do hodnoty  $15 \text{ mSv r}^{-1}$  a potom priamo monitorovať vo veličine  $H_p(3)$  pri očiach. Cieľom je vykonanie meraní a výpočtov, ktoré povedú k plneniu novej legislatívnej požiadavke o zabezpečení monitorovania expozície očnej šošovky pracovníkov JE.

V jadrových elektrárnach EBO a EMO sú priestory s radiačnými poľami neutrónov a gama žiarenia v ktorých je potrebné vykonávať rutinné práce. Bežne sa vyskytuje situácia, kedy meradlá dávkového ekvivalentu vykazujú rozdielne hodnoty. Zosúladenie údajov monitorov nameraných v konkrétnom mieste radiačného poľa sa dosahuje určením korekčných faktorov pre jednotlivé meradlá. Monitorovaní pracovníci sa na palubách HCČ alebo na sále reaktora neustále pohybujú, preto je potrebné zvoliť monitor so smerovou

nezávislosťou v širokom rozsahu uhlov. V piatich lokalitách na palubách HCČ a na hale reaktora sa pomocou moderačného spektrometra vykonali merania spektier energií neutrónov, ktoré boli v niektorých prípadoch podporené aj Monte Carlo (MC) simuláciami. Na palubách HCČ aj na sále reaktora s kontajnerom palivových článkov C30 sa zistili podobné spektrá energií neutrónov. V miestach merania spektier energií neutrónov a gama žiarenia sa vykonali aj merania priestorových a osobných dávkových ekvivalentov. Urobili sa MC simulácie monitora ožiarenia očnej šošovky v  $H_p(3)$ , ktorý sa aj experimentálne overil.

Experimentálne a teoretickými výpočtami sa určili korekčné faktory pre jednotlivé monitory priestorových a osobných dávkových ekvivalentov neutrónov a gama žiarenia používaných v JE EBO a JE EMO. Preverili sa meradlá osobných dávkových ekvivalentov na nepriame a priame monitorovanie ožiarenia očných šošoviek neutrónmi a gama žiarením.

# Vývoj metody in vitro skúšok s materiálmi v súvisie s profesijnou vnútornou kontamináciou vrátane materiálov z pracovísk NORM

Ivan Hupka, Věra Bečková

Radiochemie, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[ivan.hupka@suro.cz](mailto:ivan.hupka@suro.cz)

Základným motívom tejto štúdie je určenie rozpustnosti a distribúcie častíc, ktoré tvoria trosky alebo popolček obsahujúce NORM materiály, v in vitro pľúcnych roztokoch. Princípom týchto experimentov bola simulácia postupu častíc v spodných dýchacích cestách pracovníkov na miestach so zvýšenou možnosťou ožiarenia v dôsledku vdychovania prachových častíc a aerosólu, ako napr. v uhoľných elektrárnach. Rozpustnosť, transport a veľkosť inhalovaných častíc obsahujúcich deponované rádionuklidy sú zásadné parametre pre stanovenie profesijnej vnútornej kontaminácie. Skutočný prestup (resp. clearance) z pľúc do obehového systému je komplexný proces, ktorý závisí na chemických a fyzikálnych aspektoch spojených s kinetikou rozpustnosti v pľúcach. V rámci realizácie samotného výskumu boli použité vzorky trosiek z elektrární na fosílné palivá v Českej republike, ktoré boli preosiate tak, aby veľkosť častíc bola

menšia než 40  $\mu\text{m}$ . Vzorky vložené do sendvičového filtra boli ponorené do in vitro pľúcneho roztoku (Gamble). V samotných výluhoch bola po určitej dobe líhovania stanovená koncentrácia rádionuklidov (menovite  $^{238}\text{U}$  a  $^{234}\text{U}$ ). Koncentrácia ďalších, vo vzorke pôvodne prítomných nuklidov, ako  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$  a  $^{226}\text{Ra}$ , bola vo výluhoch pod limitom detekcie. Pre stanovené rádionuklidy bola vytvorená časová závislosť retencie v pľúcnom roztoku a jednotlivé body boli preložené triexponenciálnou krivkou. Z výsledných koeficientov boli vypočítané frakcie prislúchajúce konštantám rozpustnosti a na základe týchto parametrov bol nuklidom adsorbovaným na časticciach priradený absorpčný typ M (podľa ICRP Supporting guidance 3). V súčasnosti prebiehajú merania s elektrárenskými popolčkami o veľkosti častíc menej než 25  $\mu\text{m}$  v inkubátore s integrovanou trepačkou pri teplote 37.0 °C.

# Instalace a výzkum vlastností skenovacího celotělového počítače v SÚRO

**Vendula Rovenská, Pavel Fojtík**

Vnitřní kontaminace, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[vendula.rovenska@suro.cz](mailto:vendula.rovenska@suro.cz)

V určitých případech vnitřní kontaminace osob, zejména u akutních příjmů radionuklidů, je vhodné lokalizovat rozložení kontaminantu v těle měřené osoby, a tím zpřesnit stanovení retence a následně i dávek z vnitřního ozáření. Pomocí skenovací techniky lze zjistit distribuci radionuklidu v těle měřené osoby a usoudit na použití dalších měřicích technik. K tomuto účelu byl v laboratoři celotělového počítače SÚRO, v. v. i. Praha ve stínící komoře instalován celotělový skenovací počítač. Sestava je tvořena HPGe detektorem o relativní účinnosti 17 %, skenovacím lůžkem a spektrometrickou trasou. Tato práce je zaměřena na výzkum vlastností tohoto skeneru ve vztahu k rozložení radionuklidu

v těle měřené osoby a nalezení optimálních měřicích metod. Rozsah skeneru je 192 cm, skenovací intervaly byly zvoleny po 15 cm v rozsahu 180–0 cm a mezní poloha za hlavou měřené osoby v poloze –12 cm. Detektor se pohybuje ve výšce 28 cm nad skenovacím lůžkem. Ke kalibraci skeneru byly použity fyzikální fantomy BOMAB a UPh-02T (tzv. IGOR) s homogenní distribucí radionuklidu, a dále fantom UPh-02T s bodovým zdrojem nebo zdroji o objemu 1 L pro simulaci kontaminace plic a s fantomem štítné žlázy. Zařízení je určeno pro monitorování speciálních případů vnitřní kontaminace osob. Skenovací počítač doplňuje portfolio celotělových počítačů SÚRO Praha v. v. i.

## Monitorovanie ekvivalentnej dávky v očnej šošovke

Dušan Solivajs, Andrea Simčaková

Pracovisko osobnej dozimetrie, Slovenská legálna metrológia, n.o., Hviezdoslavova 31, Banská Bystrica, 974 01, SR

[solivajs@slm.sk](mailto:solivajs@slm.sk)

Škodlivé účinky ionizujúceho žiarenia (ďalej IŽ) sú známe už od roku 1897, kedy Antoine Henri Becquerel objavil rádioaktivitu. Procesy pôsobenia IŽ na organizmus dodnes nie sú úplne známe. IŽ môže vyvolať tkanivové reakcie na koži ako napríklad začervenanie, chronický zápal kože či tvorbu abscesov, taktiež môže IŽ spôsobiť nádorové ochorenia rôznych orgánov, leukémiu alebo spôsobiť genetické následky u potomkov. Očná šošovka má vlastný bunkový substrát, ale nemá priamu výživu čo spôsobuje, že prejavy ožiarenia sú oneskorené. Vplyv ožiarenia sa môže prejavovať aj po niekoľkých mesiacoch či rokoch. Najčastejším ochorením očí vznikajúcim vplyvom IŽ je katarakta teda zakalenie šošovky. So zvyšujúcou dávkou IŽ sa zvyšuje zakalenie šošovky a po uplynutí latentnej doby sa prejaví vznikom katarakty. Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu (ICRP) na základe zvýšeného výskytu katarakty

u ľudí dlhodobo pracujúcich s IŽ odporučila znížiť ročný limit pre ekvivalentnú dávku v očnej šošovke zo 150 mSv na 20 mSv. Na základe tohto odporúčania prijala Rada EÚ smernicu 2013/59/EURATOM, ktorou sa stanovujú základné bezpečnostné normy ochrany pred nebezpečenstvami vznikajúcimi v dôsledku ionizujúceho žiarenia. Uvedená smernica bola transponovaná do zákona č. 87/2018 o radiačnej ochrane. Vyhláška č. 99/2018 o zabezpečení radiačnej ochrany uvádza, že pri ekvivalentnej dávke väčšej ako 15 mSv za rok je nevyhnutné zabezpečiť monitorovanie ekvivalentnej dávky v očnej šošovke prostredníctvom osobitného dozimetra umiestneného v blízkosti očí. V tejto prezentácii sa venujeme výberu vhodných dozimetrov, metodologickej nadväznosti, stanoveniu neistôt merania a prvým výsledkom používania dozimetrov na meranie dávky v očnej šošovke.

# Dozimetrie oční čočky – půlroční praktické zkušenosti ze tří intervenčních pracovišť Fakultní nemocnice Královské Vinohrady

Zdeněk Zelenka<sup>1</sup>, Tomáš Steinberger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NUVIA Dosimetry, s. r. o., Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Šrobárova 1150/50, Praha 10, 100 34, ČR

[zdenek.zelenka@nuvia.cz](mailto:zdenek.zelenka@nuvia.cz)

Nový atomový zákon a jeho prováděcí předpisy stanovují nový limit pro osobní ekvivalentní dávku v oční čočce. Příspěvek shrnuje poznatky poskytovatele služby osobní dozimetrie z vyhodnocování osobního dávkového ekvivalentu  $H_p(3)$  z malého filmového dozimetru pro dozimetrii oční čočky, které byly získány ve spolupráci s Fakultní nemocnicí Královské Vinohrady Praha v průběhu 6 měsíců na třech vybraných pracovištích: intervenční angiologie a arytmolo-

gie III. Interní–kardiologické kliniky a pracoviště angiografie Radiodiagnostické kliniky. Hodnoty osobního dávkového ekvivalentu  $H_p(3)$  jsou porovnány s hodnotami efektivní dávky E stanovené z celotělového filmového dozimetru. Výsledky ukazují, že ve většině případů je poměr  $H_p(3)/E$  větší než 1, v některých případech větší než 3. Tyto výsledky potvrzují potřebu zajištění monitorování osobní ekvivalentní dávky v oční čočce zvláštním dozimetrem pro oční čočku.



## Dozimetrie oční čočky v ČR. Srovnávací měření.

Jana Tamášová<sup>5</sup>, Lenka Siková<sup>5</sup>, Radek Černý<sup>1</sup>, Tomáš Čechák<sup>1</sup>, Miluše Budayová<sup>2</sup>, Zdeněk Zelenka<sup>3</sup>, Jiří Studený<sup>4</sup>,  
Jiří Martinčík<sup>1</sup>, Josef Novotný<sup>5</sup>

<sup>1</sup> KDAIZ, ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>2</sup> SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

<sup>3</sup> Nuvia Dosimetry, Nuvia, a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

<sup>4</sup> VF, a. s., Svitavská 588, Černá Hora, 679 21, ČR

<sup>5</sup> Nemocnice Na Homolce, Roentgenova 2, Praha 5, 150 30, ČR

[Tomas.Cechak@fjfi.cvut.cz](mailto:Tomas.Cechak@fjfi.cvut.cz)

V rámci každoročního testování osobních dozimetrů organizovaného SÚJB pokračovalo testování osobních a očních dozimetrů. Byly testovány osobní OSL dozimetry z VF Černá Hora a oční dozimetry. Měření očních dozimetrů se zúčastnilo pracoviště Nuvia Dosimetry (filmové dozimetry) a VF a. s. Černá Hora (dva typy TLD dozimetrů). Ozáření testovaných dozimetrů bylo provedeno na pracovišti

ČMI. Ověřování očních dozimetrů proběhlo v Nemocnici na Homolce. Oční dozimetry byly ozařovány na fantomu a pro použité geometrie byl zpracován model metodou Monte Carlo, který byl použit k výpočtům obdržených dávek. V referátu je uveden popis provedených experimentů a výsledky srovnávacích výpočtů.

## První zkušenosti s terénním měřením během bouřek pomocí spektrometru gama RT-51B

Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Eric Benton<sup>1</sup>, Jakub Kákona<sup>2</sup>, Martin Kákona<sup>1,3</sup>, Dagmar Kyselová<sup>1,3</sup>, Günther Reitz<sup>1</sup>, Marek Sommer<sup>1,3</sup>, Jakub Šlegl<sup>1,3</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ÚJF AV ČR, Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>2</sup> Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, ČR

<sup>3</sup> ČVUT FJFI, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[ambrozova@ujf.cas.cz](mailto:ambrozova@ujf.cas.cz)

Silná elektrická pole v bouřkách mohou urychlit elektrony na relativistické energie, což je zdrojem vysokoenergetického elektromagnetického záření. V důsledku toho může během bouřkové aktivity dojít ke krátkodobému zvýšení radiace na zemském povrchu, tzv. Thunderstorm Ground Enhancement (TGE). V posledních letech bylo provedeno několik experimentů, kdy bylo TGE pozorováno. Nicméně detaily týkající se vzniku a charakteru ionizujícího záření iniciovaného v bouřkách nejsou stále plně objasněny. Měření procesů spojených s bouřkovými elektrickými výboji

a zejména ionizujícího záření vznikajícího v bouřkách je jedním z cílů projektu CRREAT. Pro zvýšení pravděpodobnosti měření přímo v bouřce nebo alespoň co nejbližší bylo realizováno několik terénních výjezdů v automobilech vybavených přístroji pro měření kromě ionizujícího záření také teploty, rychlosti větru, tlaku, srážek, vlhkosti, času blesku, doby trvání a polohy blesku, světelných křivek a síly elektrického pole. V příspěvku budou prezentovány první zkušenosti a výsledky se spektrometrem gama RT-51B s BGO krystalem při terénních měřeních během bouřek.

## Rejstřík

Ambrosino Fabrizio, 51  
Ambrožová Iva, 29, 114, 122–124, 126, 134  
Andelová Lucia, 32  
Andrlík Michal, 28  
Assmann Vratislavská Hana, 100, 118  
Augsten Kamil, 91  
  
Baček Daniel, 33  
Bačíková Alena, 59, 65, 67, 71  
Badraoui-Čuprová Klára, 28  
Balázs Tibor, 30  
Balogová Zdenka, 31  
Barbora Sedlářová, 98  
Bárdyová Zuzana, 30, 35, 66  
Bartko Ján, 87  
Bártová Hana, 38  
Becker Janine, 61  
Bečková Věra, 129  
Bednář Daniel, 107  
Beitlerová Alena, 101  
Benton Eric, 121, 123, 126, 134  
Berčíková Marcela, 56  
Bílková Zuzana, 70  
Blahušiak Pavol, 41  
Bobková Elizaveta, 59  
Böhm Karol, 25, 88  
Böhm Radoslav, 50  
Böhmová Ivana, 25  
Bohuslav Petr, 117

Bradnová Věra, 127  
Brátová Iva, 37  
Briestenský Miloš, 51  
Brisudová Alžbeta, 46  
Brož Jindřich, 53  
Budayová Miluše, 133  
Budošová Darina, 35  
Bulko Martin, 46  
Burian Ivo, 45, 107  
  
Cabalka Martin, 99  
Csicsay Kristian, 43  
Cupal Lukáš, 64  
Cvachovec František, 102, 112  
  
Čarný Peter, 78, 79  
Čechák Tomáš, 133  
Čemusová Zina, 104  
Čermáková Eva, 53, 115  
Černý Radek, 133  
Češpírová Irena, 83, 117  
Češpivo Marek, 20  
Čulen Jiří, 112  
  
Davidková Marie, 29, 63, 64, 72  
Demers Paul, 48  
Dragounová Lenka, 110  
Dubníčková Martina, 93  
Dudáš Denis, 120

Dufek Vladimír, 21

Ďúranová Tatiana, 75

Eckertová Terézia, 44

Eidemüller Markus, 61

Ekendahl Daniela, 104, 105

Eva Juranová, 98

Falk Martin, 59, 65, 67, 71

Falková Iva, 59, 65, 67, 71

Fejgl Michal, 52, 81

Fenske Nora, 48

Fialová Eliška, 45

Fík pes, 126

Filipová Alžběta, 69

Fišera Ota, 119

Fišerová Lucie, 47

Fojcikova Eva, 79

Fojčíková Eva, 78

Fojtík Pavel, 130

Fojtíková Ivana, 56

Foltínová Lubica, 26, 33, 128

Francová Pavla, 34

Friedland Werner, 61

Froňka Aleš, 39, 53

Frtús Jozef, 128

Fülöp Marko, 26, 33, 128

Gábrlík Petr, 96

Giuffrida Lorenzo, 103

Golan Martin, 67

Grepl Jakub, 37

Grísa Tomáš, 47, 117

Gryc Lubomír, 83, 115, 117

Gumulec Jaromír, 65

Haršány Ján, 24

Hausmann Michael, 59, 60

Havránek Miroslav, 120

Helebrant Jan, 76, 77

Hinca Róbert, 113

Hodek Miroslav, 37

Holeček Josef, 90

Holý Karol, 41, 44, 46, 50

Horáková Ivana, 21

Horáková Zuzana, 65

Horváth David, 103

Horváthová Martina, 27, 30, 35, 66

Hovorka Jiří, 126

Hudzietzová Jana, 26, 33

Hůlka Jiří, 53, 75

Hupka Ivan, 129

Hurychová Markéta, 72

Hustak Rastislav, 35

Hýža Miroslav, 76, 81

Chovanec František, 118

Chvátil David, 114

Chylý Pavol, 128

Jakůbek Jan, 114

Jančář Aleš, 112

Janda Jiří, 102

- Jánošíková Lenka, 23, 24  
Jansa Jan, 37  
Jánský Jaroslav, 102  
Jarošová Šárka, 64  
Jeličová Marcela, 68, 69  
Ježková Lucie, 59  
Jílek Karel, 53, 57  
Jílek Tomáš, 96  
Juričeková Martina, 66  
Jurza Pavel, 117  
Juříček Vlastimil, 118
- Kafka Vladimír, 120  
Kajan Miroslav, 82  
Kákona Jakub, 123, 126, 134  
Kákona Martin, 122–124, 126, 134  
Kállayová Alena, 27  
Kanděra Jakub, 126  
Kapuciánová Michaela, 105  
Kareš Jaroslav, 119  
Kašparová Jitka, 70  
Kelnarová Alena, 52  
Kindlová Anna, 22  
Klementová Jana, 63, 64, 72  
Klepanec Andrej, 23, 24  
Klupák Vít, 100  
Klusoň Jaroslav, 84, 108, 109  
Kobylka Dušan, 91  
Kodaira Satoshi, 122  
Kolros Antonín, 92  
Konček Ondřej, 120  
Koniar Petr, 83  
Koniarová Irena, 21, 22  
Kontuř Ivan, 44  
Kopecký Zdeněk, 112  
Kopečná Olga, 59, 65, 67, 71  
Koplová Markéta, 99  
Korecká Lucie, 70  
Kořínek Tomáš, 22  
Košťál Michal, 112, 118  
Kotík Lukáš, 117  
Kovář Pavel, 126  
Kozubek Stanislav, 59, 65  
Kračmerová Tereza, 36  
Krasavin Evgeny, 59  
Kratochvílová Irena, 67  
Kravchenko Elena, 73  
Krist Pavel, 126  
Kubelková Klára, 70  
Kubeš Jiří, 28  
Kuča Petr, 76  
Kučera Jan, 99  
Kučera Miroslav, 101  
Kujan Jan, 81  
Kultová Gabriela, 58  
Kundrát Pavel, 61  
Kusý Dušan, 87  
Kyselová Dagmar, 123, 124, 126, 134
- Lamprecht Pavel, 87  
Langer Ronald, 123  
Laurier Dominique, 48  
Lázna Tomáš, 96  
Lee Jin Ho, 59

- Lehotská Viera, 24  
Libera Ondřej, 99  
Lierová Anna, 70  
Lipták Ludovít, 78, 79  
Liščák Roman, 72  
Lohynská Radka, 22  
Lorinčík Jan, 100  
Losa Evžen, 118  
Lučeničová Zuzana, 101  
Lukačovič Jozef, 87  
Lužová Martina, 126, 127
- Mareš Jiří A., 101  
Margarone Daniele, 103  
Marko František, 43  
Marta Richtáriková Marta, 44  
Martinčík Jiří, 133  
Maříková Šárka, 52  
Masařík Michal, 65  
Matěj Zdeněk, 112, 118  
Mazánková Věra, 102, 116  
Mazánová Monika, 85  
Melicherová Terézia, 80  
Metelka Radovan, 68  
Michaelidesová Anna, 63, 64  
Michal Fejgl, 98  
Mikeš Jan, 124  
Miloslav Kulich, 23  
Minářová Jana, 125  
Modrý Adam, 34  
Mojzeš Andrej, 43  
Moravcsík Attila, 54
- Moravec Filip, 118  
Moravec Michal, 92  
Motta Silvia, 103, 114  
Mravec Filip, 112  
Müllerová Monika, 41  
Müllerová Monika, 46  
Myslivcová-Fučíková Alena, 58  
Müllerová Monika, 44
- Navrátil Matěj, 28  
Neue Gordon, 120  
Neužil Jiří, 92  
Nikl Martin, 101  
Nikodemová Denisa, 26, 27, 32  
Nikodémová Denisa, 23, 30  
Novák Hynek, 56  
Novotný Josef, 72, 133  
Novotný ml. Josef, 21
- Oancea Cristina, 114  
Ohera Marcel, 77, 117  
Olšovcová Veronika, 103, 114  
Ondřej Pařízek, 98  
Otáhal Petr, 45, 90, 107, 111
- Pagáčová Eva, 59, 65, 67, 71  
Pachnerová Brabcová Kateřina, 49, 63  
Paluska Petr, 37  
Pankrác Jan, 34  
Paštyková Veronika, 72  
Pavliková Tatiana, 36  
Pejchal Jaroslav, 70

Petera Jiří, 37  
Peterková Kateřina, 120  
Pjatkan Radek, 47  
Ploc Ondřej, 122–127, 134  
Pokorný Martin, 101  
Povinec Pavel, 44  
Povinec Pavol, 33  
Povišer Martin, 126  
Procházka Marek, 99  
Procházková Hana, 40  
Průša Petr, 101  
Přenosil Václav, 112  
Pšeničková Štěpánka, 56

Ragan Pavol, 26, 128  
Rataj Jan, 91  
Rathaiiah Mamilla, 101  
Reitz Günther, 124, 126, 134  
Remenec Boris, 128  
Rosnecký Vít, 99  
Rovenská Vendula, 130  
Růžičková Jana, 82  
Rypar Vojtěch, 118

Řehulková Helena, 58  
Řezanková Klára, 100  
Římal Václav, 99

Sabbarese Carlo, 51  
Sabol Jozef, 26, 33, 89  
Sedlák Antonín, 50, 62  
Selivanová Anna, 115, 117

Semelová Miroslava, 91  
Semmler Milan, 120  
Schulc Martin, 118  
Sihelská Kristína, 100  
Siková Lenka, 133  
Simčaková Andrea, 131  
Sirák Igor, 37  
Skála Lukáš, 117  
Sloboda Michal, 110  
Smetanová Iveta, 43  
Sokol Zbyněk, 125  
Solivajs Dušan, 128, 131  
Sommer Marek, 122–124, 126, 134  
Soukup Tomáš, 95  
Spěváček Václav, 38  
Stefanová Klára, 74  
Steinberger Tomáš, 94, 132  
Stránský Vojtěch, 103  
Strábrnský Branislav, 113  
Strunga Vladimír, 99  
Studený Jiří, 133  
Súkupová Lucie, 19, 31  
Šurý Jan, 47, 81  
Světlík Ivo, 49  
Sýkorová Petra, 37

Šalát Dušan, 23, 24  
Šálek Ondřej, 97  
Šefc Luděk, 34  
Šefl Martin, 74  
Šesták Michal, 57  
Šinkorová Zuzana, 68–70

- Šivo Alexander, 44  
Škrkal Jan, 82  
Šlegl Jakub, 123, 125, 126, 134  
Šmoldasová Jana, 114  
Šolc Jaroslav, 114, 119  
Šoltés Jaroslav, 118  
Štastná Simona, 28  
Štěpán Václav, 74, 123, 124, 126, 134  
Štěpánek Josef, 99  
Štěpánková Helena, 99
- Tamášová Jana, 133  
Thinová Lenka, 51, 91, 108, 109, 126  
Tichý Aleš, 58  
Tichý Ondřej, 76  
Tomášek Ladislav, 48  
Tomášek Lukáš, 120  
Tomášek Oldřich, 55  
Tomášková Anna, 87  
Trojek Tomáš, 91  
Truneček Roman, 103  
Tsinganis Andrea, 103
- Urban Tomáš, 84, 109
- Vachelová Jana, 63, 64, 72  
Vasylieva Olena, 23  
Vávrová Lenka, 34  
Versaci Roberto, 103  
Veselá Mariana, 34
- Viererbl Ladislav, 100, 118  
Vilimovský Jan, 28  
Vítková Lucie, 53  
Vojtková Mária, 54  
Voltr Josef, 53  
Vondráček Vladimír, 28, 63  
Vondrák Andrej, 26, 33  
Vošahlík Josef, 45, 111  
Vošmik Milan, 37  
Vrba Tomáš, 91  
Vrba Václav, 120  
Vtelenská Martina, 115  
Vykydal Zdeněk, 105  
Vyletělová Petra, 42, 53
- Weiss Lukáš, 47
- Záhora Jiří, 126  
Záhorová Věra, 82  
Zaitsev Andrei, 106, 127  
Zámečník Lubomír, 28  
Záruba Jakub, 86  
Zarubin Mikhail, 73  
Zarubin Pavel, 127  
Zelenka Zdeněk, 132, 133  
Zíková Martina, 64  
Zimina Mariia, 99  
Zoul David, 99
- Žalud Luděk, 96