

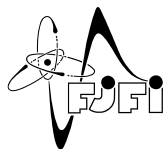


# XL. Dny radiační ochrany

sborník abstraktů

Mikulov, Česká republika

5.–9. 11. 2018



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**

Ludmila Auxtová  
Hana Bártová  
Radek Černý  
Marie Davídková  
Petra Dostálová  
Magdalena Hlaváčová  
Jan Hradecký  
Kamila Johnová  
Petra Kohoutová  
Tereza Kráčmerová  
Ján Kubančák

Anna Michaelidesová  
Radim Možnar  
Kateřina Navrátilová Rovenská  
Kateřina Pachnerová Brabcová  
Jitka Pavlovičová  
Dagmar Peksová  
Radek Prokeš  
Petr Průša  
Václav Štěpán  
Tomáš Urban  
Petra Vyletěllová

## **XL. Dny radiční 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 2018
Počet stran	197
DOI	<a href="https://doi.org/10.14311/DRO.2018.XL">https://doi.org/10.14311/DRO.2018.XL</a>
ISBN	978-80-01-06504-4

Vážené kolegyně, vážení kolegové,

otevíváte sborník abstraktů konference, která letos slaví čtyřicáté výročí. První konference s tematikou radiační ochrany se jmenovala Radiohygienické dny a konala se koncem roku 1968 ve Zvíkovském Podhradí. Lehce si spočítáte, že se naše konference s přestávkami konají již celých 50 let! První konferenci v roce 1968 organizoval tehdejší Výzkumný ústav hygieny záření pod vedením prof. MUDr. Vladislava Klenera, CSc. Jsme potěšeni, že prof. Klener se zúčastní i letošní konference spolu s RNDr. Josefem Thomasem, CSc., prof. Ing. Tomášem Čechákem, CSc., a dalšími kolegy, kteří pamatují řadu předchozích konferencí a jsou pro nás neocenitelnou studnicí informací o historii radiační ochrany u nás i v zahraničí. Programová náplň konference se během půl století příliš nezměnila. Stále se na ní potkávají kolegové z různých oblastí radiační ochrany a jsou zde prezentovány aktuální novinky ve výzkumu, vývoji, vzdělání a v legislativě a jsme tomu moc rádi.

Organizační výbor letošní konference připravil pro účastníky řadu doprovodných akcí, které připomenou historii konference Dny radiační ochrany a celé radiační ochrany v Československu i později v České a Slovenské republice a pobyt v Mikulově Vám, doufáme, příjemní.

V letošním roce se sešlo rekordních více než 160 příspěvků, rozdělili jsme proto úterní a středeční program do paralelních sekcí. Ačkoliv tím ztratíme možnost udržet si celkový přehled o dění v radiační ochraně, rozdělili jsme sekce tak, aby se blízká témata nepřekrývala a stále zůstala možnost odnést si z odborného programu konference co nejvíce infor-

mací. Pro paralelní sekce jsme vybrali nádherné prostory v Sala Terrena.

V úterý odpoledne jsme do programu v hlavním sále zařadili diskuzi na velmi aktuální téma, týkající se stávajícího systému radiační ochrany, která bude uvedena přednáškou paní náměstkyně SÚJB Karly Petrové. Všichni účastníci konference jsou srdečně zváni. Po této části programu a malém občerstvení si můžete zavzpomínat a popovídat s našimi pamětníky. Úterní program zakončíme členskou schůzí České společnosti pro ochranu před zářením, z.s., na kterou zveme nejen členy společnosti, ale i všechny účastníky konference.

Středeční program bude zakončen společenským večerem, který začíná v 19 hodin. O úvodní slovo požádáme naše tradiční sponzory a vyhlásíme vítěze soutěže ČSOZ o nejlepší práci v oboru radiační ochrany. Pozvali jsme také autorku nového loga konference a zástupce denního stacionáře v Mikulově BILICULUM, kterému předáme sponzorský dar.

Čtvrtek jsme v programu vyčlenili na prohlídku jeskyně Na Turoldu a procházku přes CHKO Pálava do Archeoparku v Pavlově, kde nás čeká zajímavý výklad. Alternativně je možné využít objednaného autobusu. Čtvrteční program završíme navečer překvapením v několika sálech Zámku, které nejsou běžnou součástí prohlídek. Nenechte si ujít zábavu připravenou našimi studenty a výstavu nejen historických měřidel, jejíž část můžete také zhlédnout denně v přednáškovém sále. Za ni děkujeme nadaci Železná opona, zejména panu Ing. Václavu Vítovci MBA.

Čtyřicáté narozeniny v životě člověka často vedou k myšlence zastavit se v každodenním shonu a bilancovat uplynulé období. Přemýšlet, jak jsme ta léta prožili, co jsme se naučili, co jsme dokázali a co zatím ne, jak dál. . . I my jsme se rozhodli pro takové zastavení v historii naší radiační ochrany a nabízíme možnost publikovat Vámi dosažené výsledky v časopise Radiation Protection Dosimetry, který je nám odborně nejbližší. Celé číslo bude věnováno radiační ochraně v České a Slovenské republice. Těšíme se na Vaše

příspěvky a věříme, že na speciální číslo časopisu, které vyjde v polovině příštího roku, budeme pyšní.

Na závěr bychom vám chtěly jménem svým i jménem programového a organizačního výboru popřát, aby se vám letošní Dny radiační ochrany líbily, abyste se dověděli zajímavosti z historie DRO i poslední novinky v oboru a aby se všem, kteří budou přednášet kolegům o své práci poprvé, jejich příspěvek vydařil.

Marie Davídková, Lenka Thinová

Vážení přátelé,

prožíváme rok velkých osmičkových výročí. Je hodné pozoru, že i naše padesátileté výročí se řadí do tohoto rámce pozoruhodných událostí. Před padesáti lety na podzim roku 1968 jsem měl tu čest zahajovat první Dny radiační ochrany, tehdy Radiohygienické dny ve Zvíkovském Podhradí. Rok založení našich oborových konferencí byl přitom vázán na politické a společenské události tohoto osudového roku vyvolané ruskou okupací naší země, což možná není obecně známo. Pro tehdejší okruh pracovníků v ochraně před zářením byla klíčovou událostí emigrace našeho tehdejšího šéfa doc. MUDr. Jana Müllera. Z jeho iniciativy, vyjádřené ještě před jeho odchodem, jsem převzal jako prozatímní ředitel vedení tehdejšího Výzkumného ústavu hygieny záření, který byl rezortním zařízením Ministerstva zdravotnictví.

Na to navazovalo i působení v našem odborné vědecké společnosti začleněné do rámce Lékařské společnosti J.E Purkyně. Naše dceřiná společnost se jmenovala Společnost nukleární medicíny a zahrnovala ve třech svých sekcích odborníky radiobiologie, klinické nukleární medicíny a radiační hygieny. Bylo jakousi atypii, že zatímco první dvě

z citovaných sekcí měly své výroční konference, u nás tomu tak nebylo. Doc. Müller nebyl těmto iniciativám nakloněn. Osobně se neúčastnil v roce 1965 ani zakládajícího kongresu IRPA v Římě a vyslal mne tam jako reprezentanta naší odborné společnosti, takže i náš stát byl zastoupen mezi zakládajícími členy IRPA.

V tísnivé atmosféře podzimu 1968 cítila naše aktivní skupina v radiační ochraně potřebu překonat všeobecnou politickou společenskou apatii, a to bylo významným podnětem k tomu, abychom zvedli hlavu a ukázali naopak živější odbornou aktivitu. Tím jsme vyřešili i výše zmíněný handicap vyčítaný nám podprahově dříve radiobiology a klinickými pracovníky, že podceňujeme význam konferencí odborné společnosti.

Když jsem na podzim v roce 1968 zahajoval první Radiohygienické dny, vyjádřil jsem přání, abychom se dokázali rychle vymanit z tehdy vládnoucí atmosféry. Průběh konference byl úspěšný a dnešní naše padesátileté jubileum ukazuje, že to byl úspěšný start k řetězu dalších odborných setkání.

Prof. MUDr. Vladislav Klener, CSc.

## 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)



Tesla, a. s.

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



ÚJV Řež, a. s.

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



# Obsah

<b>Úvodní slovo</b> . . . . .	1
<b>Proslov prof. MUDr. Vladislava Klenera, CSc.</b> . . . . .	3
<b>Sponzoři</b> . . . . .	4

# Pondělí

## Dozimetrie zevního a vnitřního ozáření – 2

Calibration challenges of PIN diode silicon detector for mixed radiation fields <i>Martin Kákona, Dagmar Peksová, Iva Ambrožová, Pavel Krist, Václav Štěpán, Jakub Kákona, Martina Lužová, Marek Sommer, Jakub Šlegl, Mikhail A. Mikhailov, Günther Reitz, Ondřej Ploc</i> . . . . .	23
Commissioning of the Plasma X-ray Source at ELI Beamlines <i>Vojtěch Stránský, Roman Truneček, Leonel Morejon, Veronika Olšovcová, Roberto Versaci</i> . . . . .	24
Časový průběh retence <sup>137</sup> Cs u obyvatel České republiky <i>Irena Malátová, Pavel Fojtík</i> . . . . .	25
Neutron dose assessment using samples of human blood and hair <i>Daniela Ekendahl, Pavel Žlebčík, Ondřej Huml, Věra Bečková, Ivan Hupka, Helena Malá</i> . . . . .	26
Dlouhodobé monitorování kosmického záření v nadmořských výškách dopravních letadel aneb Letem světem s Liulinem <i>Dagmar Peksová, Martin Kákona, Jan Kubančák, Karel Kudela, Václav Štěpán, Ondřej Ploc</i> . . . . .	27
Počítačové simulace odezvy polovodičové diody ve smíšeném radiačním poli na palubě letadla <i>Marek Sommer, Eric Benton, Ondřej Ploc</i> . . . . .	28

Pondělí	Historický přehled efektivních dávek posádek letadel společnosti registrovaných v České a Slovenské republice <i>Jan Kubančák, Ondřej Ploc, Dagmar Peksová, Ivan Kovář, Marie Davidková</i> . . . . .	29
Úterý A	Porovnání plastových detektorů stop, jaderných emulzí a detektoru Timepix ve svazcích těžkých iontů <i>Iva Ambrožová, Marek Sommer, Martina Lužová, Carlos Granja, Andrei Aleksandrovich Zaitsev, Věra Bradnová, Pavel Igorevich Zarubin, Satoshi Kodaira, Ondřej Ploc</i> . . . . .	30
Úterý B	Radiační efekty během bouřek zaznamenaných sítí MonRaS <i>Jakub Šlegl, Iva Ambrožová, Dušan Balara, Ivana Kolmašová, Petr Kuča, Jana Minářová, Ondřej Santolík, Zbyněk Sokol, Ondřej Ploc</i> . . . . .	31
Úterý B	Retrospective dose reconstruction with mobile phones and chip cards <i>Daniela Ekendahl, Zina Čemusová, Libor Judas</i> . . . . .	32
Úterý B	Studium molekulárních mechanismů radiochromického jevu v polykarbonátu <i>Markéta Koplová, David Zoul, Vít Rosnecký, Helena Štěpánková, Václav Římal, Josef Štěpánek</i> . . . . .	33
Úterý B	Úhlová závislost detektorů stop používaných na ISS <i>Iva Ambrožová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Vyacheslav A. Shurshakov, Raisa V. Toloček, Satoshi Kodaira</i> . . . . .	34
Středa A	Posúdenie potreby zavedenia osobnej dozimetrie ožiarenia očnej šošovky pracovníkov v priestoroch HCČ JE <i>Marko Fülöp, Pavol Ragan, Dušan Solivajs, Boris Remenec, Josef Frtús, Denisa Nikodémová, Lubica Foltínová</i> . . . . .	35
Středa B	<b>Plakátová sdělení</b> CR10 – the public database of cosmic radiation measurements at aviation altitudes of about 10 km <i>Martin Kákona, Dagmar Peksová, Iva Ambrožová, Jan Kubančák, Václav Štěpán, Ronald Langer, Karel Kudela, Ondřej Ploc</i> . . . . .	36
Středa B	Verifikační měření radiační zátěže posádek letadel <i>Ondřej Ploc, Dagmar Peksová, Iva Ambrožová, Martin Kákona, Jan Kubančák, Martina Lužová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Lucie Vítková, Václav Štěpán</i> . . . . .	37
Pátek	Dozimetrie oční čočky v ČR – použití v klinické praxi <i>Tomáš Čechák, Miluše Budayová, Zdeněk Zelenka, Jiří Studený, Josef Novotný, Radek Černý</i> . . . . .	38
Pátek	Druhé zkušenosti s druhým dozimetrem <i>Milan Buňata, Zdeněk Zelenka</i> . . . . .	39

Jaderné emulze a detekce rychlých i tepelných neutronů

*Martina Lužová, Andrei Aleksandrovich Zaitsev, Ondřej Ploc, Věra Bradnová, Iva Ambrožová,  
Martin Kákona, Václav Štěpán, Roman Dvořák, Michal Košťál, Antonín Kolros, Marie Davídková,  
Pavel Igorevich Zarubin* . . . . .

40

Monte Carlo simulace spekter brzdného záření <sup>90</sup>Sr pro stanovení účinnosti celotělového měření s využitím voxelových fantomů ICRP-M a ICRP-F

*Karin Fantínová, Pavel Fojtík* . . . . .

41

# Úterý

A

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

Simulace možného výskytu horkých míst při únicích radioaktivity při neobvyklých povětrnostních epizodách <i>Petr Pecha, Ondřej Tichý</i> . . . . .	42
ESTE – Systém na podporu rozhodovania krízového štábu <i>Eva Fojcíková, Eudovít Lipták, Monika Krpelanová, Miroslav Chylý, Peter Čarný</i> . . . . .	43
ESTE Annual Impacts – Systém na hodnotenie vplyvu prevádzkových výpustí na obyvateľstvo a životné prostredie <i>Eudovít Lipták, Eva Fojcíková, Monika Krpelanová, Miroslav Chylý, Peter Čarný</i> . . . . .	44
Ozáření obsluhy bioplynových stanic při práci s kontaminovanou biomasou <i>Jan Škrkal, Radim Možnar, Miroslav Kajan, Karin Fantínová</i> . . . . .	45
Zajištění radiační ochrany v Centru výzkumu Řež <i>Antonín Kolros, Jiří Neužil</i> . . . . .	46
Porovnání výsledků kapacitních cvičení laboratoří vybavených spektrometrií gama začleněných v RMS <i>Michal Sloboda, Helena Malá, Petr Rulík, Vendula Rovenská</i> . . . . .	47
Radiation monitoring system using unmanned aerial vehicles <i>Jakub Luley, Štefan Čerba, Branislav Vrban, Filip Osuský, Juraj Dudáš</i> . . . . .	48
Schopnosti Skupiny monitorování a leteckého průzkumu Armády České republiky <i>Jiří Komárek, Kateřina Valterová, Petr Kolník, Josef Koudelka</i> . . . . .	49
Mezinárodní cvičení leteckých skupin havarijního radiačního monitorování ARM17 ve Švýcarsku v červnu 2017 <i>Marcel Ohera, Lubomír Gryc, Irena Češpírová, Aleš Froňka, Jan Helebrant, Jiří Komárek, Kateřina Valterová</i> . . . . .	50
<b>Plakátová sdělení</b>	
Optimalizace parametrů neutronového svazku na pracovišti neutronové radiografie výzkumného reaktoru LVR-15 <i>Hana Assmann Vratislavská, Jaroslav Šoltés, Ladislav Viererbl</i> . . . . .	51
Adaptace programového vybavení pro hodnocení radiologických důsledků mimořádných úniků radionuklidů ze skladů vyhořelého jaderného paliva <i>Petr Pecha, Emilie Pechová</i> . . . . .	52
Experimentální ověření aktivit vzorků ozářených v reaktoru s výsledky stanovenými pomocí MCNP <i>Pavel Žlebčík, Ondřej Huml, Daniela Ekendahl</i> . . . . .	53

Koncentrační postupy ke stanovení aktivity ruthenia z atmosférického spadu <i>Zuzana Davídková, Miroslav Hýža, Michal Fejgl</i> . . . . .	54
Simulace odezvy detektoru na bázi LaBr <sub>3</sub> (Ce) při radionuklidové kontaminaci atmosféry po havárii jaderné elektrárny <i>Petr Vágner, Tomáš Urban</i> . . . . .	55
Simulace dávek od mraku kontaminované vzdušiny z havarijního úniku při těžké havárii JE <i>Jaroslav Klusoň, Tomáš Urban</i> . . . . .	56
Systémy střední úrovně pro jaderné elektrárny <i>Petr Okruhlica, Břetislav Mach, Jaroslav Klusoň, Tomáš Urban, Jakub Dvořák</i> . . . . .	57
Systémy proměření vzácných plynů za havarijních stavů jaderných elektráren <i>Petr Okruhlica, Břetislav Mach, Jiří Příhoda, Jiří Smola, Jakub Dvořák</i> . . . . .	58
Detektor vzácných plynů vysokého rozsahu v paroplynné směsi o vysokém tlaku – Monte Carlo simulace <i>Tomáš Urban, Jaroslav Klusoň, Jakub Dvořák, Petr Okruhlica</i> . . . . .	59

#### **Všeobecné aspekty radiační ochrany a vzdělávání – 4**

Důsledky zveřejnění zkreslených zpráv a záměrných dezinformací v mediálním prostoru na postoje populace – případová studie <i>Ivana Fojtíková, Michal Jankovec</i> . . . . .	60
Občanské radiační monitorovací sítě v ČR – nástroj ke vzdělávání a zvyšování motivace občanů k sebeochraně <i>Ivana Fojtíková, Irena Češpírová, Petr Kuča, Jan Helebrant, Barbora Marešová, Petra Kadlec Linhartová</i> . . . . .	61
Podpora občanských měření radiace v České Republice – projekt RAMESIS <i>Petr Kuča, Jan Helebrant</i> . . . . .	62
Present status of radiation protection at ELI Beamlines <i>Veronika Olšovcová, Sabrina Bechet, David Horváth, Nikhil Shetty, Vojtěch Stránský, Roman Truneček, Roberto Versaci</i> . . . . .	63
Řešení problémů při implementaci požadavků radiační ochrany v praxi <i>Josef Sabol</i> . . . . .	64
Interpretace rizik v oblastech nízkých dávek: lékařské ozáření vs. fukušimská pohavarijní situace <i>Eva Zemanová</i> . . . . .	65
Jadrovochemický priemysel na Slovensku <i>Olga Holá</i> . . . . .	66

Slovenské predpisy radiačnej ochrany po transpozícii smernice 2013/59/EURATOM z pohľadu užívateľa <i>Pavol Ragan</i> . . . . .	67
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

**Plakátová sdělení**

Nový studijní program Decommissioning <i>Lenka Thinová, Dušan Kobylka, Kateřina Čubová</i> . . . . .	68
Výsledky radiačního průzkumu v zařízeních určených pro sběr a zpracování kovového odpadu <i>Jan Ryba</i> . . . . .	69
Princip limitování expozic ionizujícímu záření v historických souvislostech <i>Radek Černý, Lenka Thinová, Tomáš Čechák, Aleš Froňka</i> . . . . .	70
Diskusia k využitiu efektívnej dávky pri hodnotení rizika z lekárskeho ožiarení <i>Denisa Nikodémová, Dušan Šalát, Martina Horváthová</i> . . . . .	71

Pondělí

Úterý A

Úterý B

Středa A

Středa B

Pátek

## Úterý

B

### Radon a problematika přírodních radionuklidů – 8

Renovácia obštrukčného faktora fajčiarov, ktorí prestali fajčiť <i>Radoslav Böhm, Antonín Sedlák, Karol Holý</i> . . . . .	72
Different approaches to the understanding of indoor radon reference level <i>Jiří Hůlka, Ladislav Tomášek</i> . . . . .	73
Radonový program ČR – koniec jedné etapy a Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu <i>Marcela Berčíková, Jaroslav Slovák, Hynek Novák</i> . . . . .	74
Meranie objemovej aktivity radónu v budovách ležiacich na predpokladaných zlomových pásmach <i>Iveta Smetanová, Andrej Mojzeš, František Marko, Kamil Fekete, Kristián Csicsay, Andrea Mosná, Ivan Zvara</i> . . . . .	75
Variabilita objemovej aktivity radónu vo vybraných materských školách na Slovensku <i>Monika Müllerová, Karol Holý, Iveta Smetanová, Patrícia Kureková</i> . . . . .	76
Kontinuální monitorování radonu ve vodě – přehled metod a výsledky měření in-situ <i>Petra Vyletěllová, Aleš Froňka</i> . . . . .	77
Objemová aktivita radónu vo vodách prameňov vybraných lokalít západného Slovenska <i>Terézia Eckertová, Monika Müllerová, Karol Holý</i> . . . . .	78
Měření nízkých aktivit objemové aktivity radonu ve vzduchu v rozsahu 0,1–10 Bq/m <sup>3</sup> v SÚRO, v. v. i. <i>Karel Jílek, Ondřej Písarčík</i> . . . . .	79

### Plakátová sdělení

Historie radiační ochrany v uranovém hornictví v ČR (ČSSR) <i>Zdeněk Gregor, Martin Čermák, Jana Mrázková, Rostislav Dudáš, Lenka Thínová</i> . . . . .	80
Měření objemové aktivity radonu sondami TERA <i>Ladislav Dušek, Zdeněk Dutka, Aleš Froňka, Jiří Hůlka, Karel Jílek, Martin Šimandl, Václav Řeřicha, Josef Voltr, Petra Vyletěllová</i> . . . . .	81
Štúdium správania sa <sup>222</sup> Rn a jeho produktov premeny vo vonkajšej atmosfére <i>Karol Holý, Markus Helej, Monika Müllerová, Martin Bulko, Radoslav Böhm</i> . . . . .	82
Vývoj a testovanie zariadenia pre kontinuálne monitorovanie objemovej aktivity radónu vo vodách <i>Terézia Eckertová, Karol Holý, Monika Müllerová</i> . . . . .	83



Pondělí	Testovací zařízení pro nízké hodnoty objemové aktivity radonu <i>Josef Vošahlík, Petr Otáhal, Eliška Fialová, Ivo Burian</i> . . . . .	84
Úterý A	Studie obsahu Po-210 v moči lidí žijících v objektech s vysokými koncentracemi radonu <i>Petra Valdezová, Zuzana Davidková</i> . . . . .	85
Úterý B	Využití folie KODAK LR 115 k současnému stanovení hodnoty ekvivalentní objemové aktivity radonu a ekvivalentní objemové aktivity thoronu <i>Josef Holeček, Petr Otáhal</i> . . . . .	86
Úterý B	Hybridní metody analýzy aplikované na rotaci Země a časové řady koncentrací radonu pro detekci anomálií, způsobených seismickými jevy <i>Fabrizio Ambrosino, Lenka Thinová, Miloš Briestenský</i> . . . . .	87
Úterý B	Kontaminace sedimentů Orlovské/Rychvaldské stružky radionuklidy <i>Lucie Vítková, Petr Jelínek, Lenka Thinová</i> . . . . .	88
Úterý B	Preparace mikrovzorků kolagenu, dřeva a uhlíku s využitím ABA automatu pro radiouhlíkové datování metodou AMS <i>Pavel Šímek, Natálie Megisová</i> . . . . .	89
Středa A	Přístrojové vybavení pro stanovení distribuce uranu a dalších prvků ve vzorcích metodou rentgenové fluorescenční analýzy <i>Tomáš Trojek, Radek Prokeš, Petr Mikysek</i> . . . . .	90
Středa B	Tvorba map PPDE příbramských uranových hald a okolí <i>Daniel Bednář, Miroslav Jurda, Ladislav Němeček, Petr Otáhal</i> . . . . .	91
Středa B	Údržba kotlů spalujících uhlí s tepelným výkonem nad 5 MW – nový typ pracoviště NORM – pilotní studie <i>Kateřina Navrátilová Rovenská, Aleš Froňka, Jan Hradecký, Petra Vyletěllová, Petr Rulík, Petra Valdezová</i> . . . . .	92
Středa B	Verifikácia stanovenia hmotnostnej aktivity uhlíka C-14 v tuhých maticiacich <i>Dušan Galanda, Jana Slimáková, Adriana Lacenová</i> . . . . .	93
	<b>Nakládání s radioaktivními odpady, vyřazování jaderných zařízení – 5</b>	
Pátek	Sanácia kontaminovaných vôd pomocou bioremediácie mikroriasami <i>Chlorella vulgaris</i> a <i>Scenedesmus obliquus</i> <i>Domínika Tatarová, Dušan Galanda, Jozef Kuruc</i> . . . . .	94
Pátek	Depth of contamination of Cs-137 in concrete structures <i>Martin Listjak, Jakub Dolniak, Dušan Ondriš, Vladimír Nečas</i> . . . . .	95

Pondělí	Stanovenie profilu aktivity Cs-137 vo vzorkách betónových jadier <i>Jakub Dolniak, Martin Lištjak, Alojz Slaninka, Vladimír Nečas</i> . . . . .	96
Úterý A	Metodika uvoľňovacieho monitorovania veľkorozmerných kovových komponentov z vyradovania JE A1 <i>Alojz Slaninka, Martin Lištjak, Štefan Ševečka</i> . . . . .	97
	Pretavovanie kontaminovaných kovových materiálov a uvoľňovania ingotov do ŽP <i>Andrej Slimák, Alojz Slaninka, Martin Lištjak</i> . . . . .	98
	Monitory rádioaktívnych odpadov <i>Renáta Tóthová, Miloš Ursíny</i> . . . . .	99
Úterý B	Výpočty dávkových polí pri viacvrstvových tieneniach metódami point-kernel a Monte Carlo a ich overenie experimentálnym meraním <i>Dávid Bednár, Martin Lištjak, Andrej Slimák, Vladimír Nečas</i> . . . . .	100
	<b>Plakátová sdělení</b>	
	Štúdium vplyvu pH a doby kontaktu na adsorpciu <sup>99m</sup> Tc, <sup>85</sup> Sr a <sup>60</sup> Co z vodných roztokov na neaktivovaný a aktivovaný uhlík <i>Andrea Hamárová, Olga Roskopfová</i> . . . . .	101
Středa A	Zhodnotenie vplyvu neistôt v rámci modelu referenčnej biosféry na dlhodobú bezpečnosť hlbinného úložiska <i>Dorota Flamíková, Dana Barátová, Vladimír Nečas</i> . . . . .	102
	Vplyv veľkosti defektu v plášti úložného kontajnera pre vyhorené jadrové palivo na únik rádionuklidov z hlbinného úložiska <i>Branislav Stríbrnský, Vladimír Nečas</i> . . . . .	103
Středa B	Stanovenie a separácia <sup>79</sup> Se v rádioaktívnych odpadoch <i>Bianka Horváthová, Silvia Dulanská, Lubomír Mátel, Boris Remenec</i> . . . . .	104
Pátek	Dozimetrická a spektrometrická charakterizace neznámého obsahu kontejnerů <i>Petra Krejčová, David Zoul, Petr Švrčula</i> . . . . .	105

**Středa**

**A**

**Metrologie, měření a přístrojová technika – 3**

Stanovení objemové aktivity Ra-226 ve vodě z dlouhodobého pohledu legální metrologie <i>Tomáš Soukup</i> . . . . .	106
Revízia primárneho etalónu kermu vo vzduchu s implementáciou ICRU Report 90 <i>Norman Durný</i> . . . . .	107
3D gama tomografie radioaktivních metalurgických a geologických vzorků <i>David Zoul, Pavel Zháňal, Milan Zuna, Ladislav Viererbl, Antonín Kolros</i> . . . . .	108
Využití alfa/beta diskriminačního obvodu k detekci tepelných neutronů <i>Jiří Janda, Lucie Fišerová</i> . . . . .	109
Rekonštrukcia národného etalónu neutrónov NE 016/98 <i>Pavol Blahušiak</i> . . . . .	110
Detekce okamžitého záření gama v okolí výzkumného reaktoru LVR-15 <i>Ladislav Viererbl, Vít Klupák, Antonín Kolros, Hana Assmann Bratislavská, Zdena Lahodová</i> . . . . .	111
Katalog rentgenových spekter měřených polovodičovým CdTe detektorem <i>Dana Kurková, Libor Judas</i> . . . . .	112
Online monitor kontaminace vody NuEM DWMS <i>Lukáš Skála, Tomáš Grísa, Lucie Fišerová</i> . . . . .	113
Primárna etalonáž aktivity rádionuklidov systémom TDCRG v podmienkach Slovenského metrologického ústavu <i>Matej Krivošík, Tomasz Ziemek, Ryszard Broda, Jarmila Ometáková, Andrej Javorník</i> . . . . .	114
Autonomní multirobotický systém pro lokalizaci zdrojů ionizujícího záření <i>Petr Gábrlík, Tomáš Lázna, Petr Sládek, Luděk Žalud</i> . . . . .	115
Lokalizace zdrojů ionizujícího záření pomocí autonomního robotického systému <i>Tomáš Lázna, Luděk Žalud, Jaroslav Kareš, Ota Fišera, Michal Tomek, Pavel Čuda</i> . . . . .	116
Výběr vhodného odběrového nástroje pro vzorkování kontaminovaných zemin <i>Michal Setnička, René Marek, Tomáš Kroupa, Alena Čtvrtečková</i> . . . . .	117
Referenční plocha pro in-situ gama-spektrometrii <i>Tomáš Kroupa, René Marek, Michal Setnička, Alena Čtvrtečková</i> . . . . .	118

Pondělí

Úterý A

Úterý B

Středa A

Středa B

Pátek

## Plakátová sdělení

Vývoj sekundárního etalónu $^{222}\text{Rn}$ vo vzduchu – predbežné výsledky <i>Matej Krivošík, Pavol Blahušíak, Jarmila Ometáková, Andrej Javorník, Michaela Zálešáková</i> . . . . .	119
Autorizované metrologické stredisko SÚJCHBO, v. v. i. <i>Eliška Fialová, Josef Vošahlík, Ivo Burian, Petr Otáhal</i> . . . . .	120
Ověření MCNP modelu manganové lázně pro kalibraci radionuklidových zdrojů neutronů <i>Jan Rataj, Tomáš Bílý, Ondřej Novák</i> . . . . .	121
Stanovení spektrální fluence neutronů ze zdroje typu Pu-Be <i>Zdeněk Vykydal, Jan Rusňák</i> . . . . .	122
Projekt „Metrologie pro mobilní detekci ionizujícího záření po jaderném nebo radiologickém incidentu“ <i>Petr Kovář, Jan Rusňák, Jiří Šuráň</i> . . . . .	123
Porovnání statistických metod pro separaci neutron/gama <i>Aleš Jančář, Zdeněk Kopecký, Zdeněk Matěj, Filip Mravec, Václav Přenosil, Jiří Čulen, Ondřej Herman</i> . . . . .	124
Vývoj procedury kvantitativního vyhodnocení dat z konfokální mikro-XRF analýzy <i>Radek Prokeš, Tomáš Trojek</i> . . . . .	125
Srovnání metod pro analýzu nelinearity neutronových detekčních systémů na reaktoru VR-1 <i>Tomáš Bílý, Linda Keltnerová</i> . . . . .	126
Porovnání materiálů pro vyplnění volného prostoru ve stávajících stíněních gama spektrometrických tras <i>Lenka Dragounová, Karín Fantínová</i> . . . . .	127
Vliv radonového pozadí na detekční limity při automatickém monitorování obsahu radionuklidů v ovzduší <i>Miroslav Hýža, Petr Rulík, Vojtěch Bednář, Jan Surj</i> . . . . .	128
Optimalizace gama spektrometrické analýzy vzhledem k detekčním limitům <i>Barbora Vendlová</i> . . . . .	129
Priemyselné rádionuklidové indikačné metódy a ich využitie na Slovensku <i>Robert Hinca, Vladimír Slugeň</i> . . . . .	130
Spektrometrický portálový monitor osôb na báze plastických scintilátorov <i>Štefan Krnáč, Pavol Ragan, Peter Šuták</i> . . . . .	131
Tuhý, vodě ekvivalentní fantom krku pro využití v nukleární medicíně <i>Ludmila Štemberková, Tomáš Vrba, Jaroslav Šolc</i> . . . . .	132
Miónová zložka prírodného pozadia ako zdroj pre miónovú rádiografiu? <i>Pavol Ragan</i> . . . . .	133

Využití dekonvoluční techniky pro analýzu gama spektrometrických dat z monitorování terénu pomocí bezpilotních prostředků <i>Jaroslav Klusoň, Lenka Thinová, Tomáš Svoboda, Tomáš Brunclík</i> . . . . .	134
Cs-137 Measurements Using Extended Windows Method <i>Marcel Ohera, Irena Češpírová, Lubomír Gryc, Anna Selivanová, Lukáš Kotík, Martina Vtelenská</i> . . . . .	135
Současné metody korekcí na samoabsorpci a pravé koincidence v laboratorní gama spektrometrii <i>Radim Možnar, Kamila Johnová</i> . . . . .	136

**Středa**

**B**

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

Ionizující záření jako faktor změn cytoskeletu buněk maligního mezoteliomu – Primární řasinka  
*Alžběta Filipová, Marcela Jeličová, Zuzana Šinkorová* . . . . . 137

Porovnání radiační citlivosti tukových kmenových buněk a buněk karcinomu prsu  
*Anna Michaelidesová, Jana Vachelová, Jana Konířová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Lukáš Cupal, Marie Davídková* . . . . . 138

Vliv ionizujícího záření na neurální kmenové buňky  
*Jana Konířová, Lukáš Cupal, Martina Zíková, Anna Michaelidesová, Jana Vachelová, Marie Davídková* . . . 139

Poškození a mechanismus reparace DNA u buněčných kultur karcinomů hlavy a krku po experimentálním ozáření  
*Zuzana Horáková, Martin Falk, Iva Falková, Michal Masařík, Olga Kopečná, Alena Bačíková, Stanislav Kozubek, Hana Binková, Jaroslav Gumulec, Martina Raudenska, Hana Polanská, Rom Kostrica* . . 140

Růst a přežití buněčné linie DAOY v adherentních a suspenzních podmínkách po ozáření na Leksellově gama noži  
 Perfexion  
*Veronika Paštyková, Jana Vachelová, Markéta Hurychová, Marie Davídková, Miroslav David, Josef Novotný Jr.* . . . . . 141

Úloha ortovanadanu sodného v buněčné smrti  
*Zuzana Šinkorová, Alžběta Filipová, Aleš Tichý, Lenka Andrejsová* . . . . . 142

Lineární přenos energie pro onkogenní účinky radonu a produktů jeho přeměny  
*Antonín Sedlák* . . . . . 143

Riziko leukémie a bazaliomů u horníků uranových dolů  
*Ladislav Tomášek* . . . . . 144

Risk evaluation in the low-dose range for radiation-exposed children, based on DNA damage  
*Lenka Jánošíková, Martina Juričková, Martina Horváthová, Denisa Nikodémová, Andrej Klepanec, Dušan Šalát* . . . . . 145

Poškození plasmidové DNA zářením s nízkým lineárním přenosem energie  
*Kateřina Pachnerová Brabcová, Zacharenia Nikitaki, Maria Souli, Zuzana Jamborová, Anna Michaelidesová, Michaela Foster, Monika Puchalska, Patricia Pospisil, Lembit Sihver, Marie Davídková* . . . . . 146

Simulace radiačního poškození plasmidové DNA: závislost na délce a prostorové konformaci  
*Martin Šeřfl, Klára Stefanová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Václav Štěpán, Sherlock Holmes* . . . . . 147

Pondělí

Úterý A

Úterý B

Středa A

Středa B

Pátek

Biophysical simulation tool PARTRAC: Modelling proton beams at therapy-relevant energies <i>Werner Friedland, Pavel Kundrát, Janine Becker, Markus Eidemüller</i> . . . . .	148
Štúdium latentnej fázy radiačnej pneumonitídy: Kedy je ten správny čas? <i>Anna Lierová, Marcela Jeličová, Lenka Andrejsová, Jaroslav Pejchal, Zuzana Šinkorová</i> . . . . .	149
Experimentální zvířecí model prasete domácího <i>Lenka Andrejsová, Alžběta Filipová, Markéta Němcová, Zuzana Šinkorová</i> . . . . .	150

### Plakátová sdělení

Hodnocení radiační zátěže pomocí mikrojaderného testu in vivo experimentálního modelu selat <i>Marcela Jeličová, Anna Lierová, Zuzana Šinkorová</i> . . . . .	151
Ochrana buněk před ionizujícím zářením pomocí vychytávačů hydroxylových radikálů <i>Lukáš Ondrák, Jana Vachelová, Marie Davidková, Barbora Neužilová, Viliam Múčka</i> . . . . .	152
Změny specifické interakce proteinu p53 s DNA po ozáření <i>Marek Sommer, Václav Štěpán, Marie Davidková</i> . . . . .	153
Vlastnosti neurálních kmenových buněk a metody pro analýzu jejich odezvy na ionizující záření in vitro <i>Jana Konířová, Lukáš Cupal, Martina Zíková, Anna Michaelidesová, Jana Vachelová, Marie Davidková</i> . . . . .	154
Využití detekce $\gamma$ H2AX/53BP1 foků jako potenciálního prediktivního markeru radiosenzitivity nádorů hlavy a krku <i>Olga Kopečná, Martin Falk, Michal Masařík, Zuzana Horáková, Iva Falková, Eva Pagáčová, Alena Bačíková, Daniel Depeš, Jaromír Gumulec, Stanislav Kozubek</i> . . . . .	155
Vliv dávkového příkonu Leksellova gama nože na indukci apoptózy v buněčné linii DAOY v suspenzním médiu <i>Markéta Hurychová, Veronika Paštyková, Jana Vachelová, Marie Davidková, Miroslav David, Josef Novotný</i> . . . . .	156
Rádiosenzitivita nádorových buniek a nanočastice <i>Eva Pagáčová, Falk Martin, Lenka Štěfančíková, Daniel Depeš, Iva Falková, Sandrine Lacombe</i> . . . . .	157
Porovnání radiační citlivosti různých buněčných linií <i>Jana Vachelová, Anna Michaelidesová, Marie Davidková</i> . . . . .	158
Single-molecule localization microscopy as a promising tool for $\gamma$ H2AX/53BP1 foci exploration <i>Alena Bačíková, Daniel Depeš, Jin-Ho Lee, Elizaveta Bobkova, Lucie Ježková, Iva Falková, Felix Bestvater, Eva Pagáčová, Olga Kopečná, Mariia Zadnepriantc, Elena Kulikova, Elena Smirnova, Tatiana Bulanova, Alla Boreyko, Evgeny Krasavin, Michael Hausmann, Martin Falk</i> . . . . .	159
Poškození tří různých plasmidových DNA svazky těžkých iontů <i>Zuzana Jamborová, Anna Michaelidesová, Kateřina Pachnerová Brabcová</i> . . . . .	160

Atomární modely různých konformací plasmidové DNA pro Monte Carlo simulace <i>Klára Stefanová, Martin Šefl, Václav Štěpán</i> . . . . .	161
Optimalizace použití <sup>18</sup> F-FDG pro detekci nádorů na preklinickém myším modelu <i>Lenka Vávrová, Pavla Francová, Adam Modrý, Mariana Veselá, Jan Pankrác, Luděk Šefc</i> . . . . .	162
Rozšíření modelů biologického terče v kódu RADAMOL o nukleosomu <i>Václav Štěpán, Martin Šefl, Kateřina Pachnerová Brabcová</i> . . . . .	163
Ethanol jako modifikátor radiační citlivosti živých buněk vůči UV záření <i>Barbora Neužilová, Viliam Múčka, Lukáš Ondrák</i> . . . . .	164
Mechanisms and challenges for understanding radiation induced changes in chromatin nanoarchitecture <i>Jin-Ho Lee, Elizaveta Bobkova, Theresa Gier, Martin Gote, Franz Schmidt-Kaler, Emily Brieger, Emanuel Maus, Matthias Krufczik, Robert Chojowski, Friederike Korn, Marion Eryilmaz, Emma Wagner, Andreas Hofmann, Dieter W. Heermann, Felix Bestvater, Sarah Schumann, Harry Scherthan, Iva Falková, Martin Falk, Michael Hausmann, Lars G. Hildenbrand</i> . . . . .	165

Pondělí

Úterý A

Úterý B

Středa A

Středa B

Pátek



## Pátek

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

Využití plastového scintilátoru Exradin W1 pro dozimetrii v radioterapii <i>Irena Koniarová, Ondřej Konček</i> . . . . .	166
Hybridní pixelový detektor PHpix – využití v klinické praxi <i>Denis Dudáš, Milan Semmler, Kateřina Peterková, Ondřej Konček, Petr Galus</i> . . . . .	167
Porovnání různých metod stanovení dávkových distribucí v radioterapii pomocí gafchromických filmů EBT3 <i>Vladimír Dufek</i> . . . . .	168
Pseudo-3D verifikace IMRT pomocí filmu <i>Tereza Hanušová, Ivana Horáková, Irena Koniarová</i> . . . . .	169
Daň za přesnost – zobrazovací technika v radioterapii a její nedostatky <i>Vladimír Rak</i> . . . . .	170
Dobrý ozařovací plán? <i>Matěj Navrátil, Vladimír Vondráček</i> . . . . .	171
Akční týden HERCA – zdůvodnění lékařského ozáření <i>Petr Papírník, Jitka Nožičková</i> . . . . .	172
The role of automatic dose data collection in prepared mammography screening in Slovakia <i>Dušan Šalát, Denisa Nikodemová, Anna Šalátová</i> . . . . .	173
Personalized estimates of long-term health risks following breast-cancer radiotherapy: Selecting most informative anatomic features <i>Pavel Kundrát, Cristoforo Simonetto, Markus Eidemüller</i> . . . . .	174
Radionuklidová terapie a požadavky nového atomového zákona <i>Jitka Nožičková, Veronika Štědrová</i> . . . . .	175
Secondary neutrons in radiotherapy <i>Vladimír Vondráček, Miloslav Králík, Zdeněk Vykydal</i> . . . . .	176
On-line dozimetria na pracoviskách intervenčnej rádiológie <i>Dušan Šalát, Andrej Klepanec, Denisa Nikodemova</i> . . . . .	177

**Plakátová sdělení**

RapidArc technika při plánování radioterapie  
*Barbora Dršková, Tereza Hanušová* . . . . . 178

Odezva radiochromních gelových dozimetrů pro vyšší dávkové příkony  
*Václav Spěváček, Denis Dudáš, Hana Bártoová* . . . . . 179

Results of national study of radiation exposure from radiotherapy of heel spurs  
*Vladimír Dufek, Lukáš Kotík, Helena Žáčková, Ivana Horáková* . . . . . 180

Korespondenční TLD audit pro 3D konformní radioterapii v ČR  
*Michaela Kapuciánová, Daniela Ekendahl* . . . . . 181

Studie dávek ze skiagrafičkých, skiaskopických a CT vyšetření dětských pacientů  
*Kateřina Chytrá, Leoš Novák, Pavel Rejtar, Martin Homola, Kateřina Daníčková* . . . . . 182

Optimalizace radiační zátěže radiačních pracovníků při CT intervenčních výkonech  
*Stanislav Kaczor, Kamila Kulhová, Martin Pytloun, Zuzana Mikulcová* . . . . . 183

Vybrané případy nejčastějších příčin nestandardních pracovních úkonů během manipulace s radiofarmaky  
*Jana Hudzietzová, Marko Fülöp, Josef Sabol, Pavol Ragan, Daniel Baček, Otakar Kraft, Andrea Raganová* . . 184

Posouzení shody dvou měření při dozimetrii v radioterapii s využitím nejistot  
*Irena Koniarová, Lukáš Kotík* . . . . . 185

Možnosti redukovania radiačnej záťaže a zdravotnej ujmy zdravotníckych pracovníkov pri intervenčnej rádiológii  
*Zuzana Bárdyová, Martina Horváthová, Denisa Nikodemová, Tibor Balázs, Ivan Vulev, Robert Borka* . . . . . 186

Vliv výběru tabulek účinných průřezů a modelů jaderných interakcí v kódu MCNP6.2 na výpočty relevantní pro protonovou terapii  
*Jaroslav Šolc, Ludmila Štemberková, Jana Šmoldasová* . . . . . 187

Aplikácia požiadaviek novej legislatívy pri návrhu rádioterapeutického pracoviska s lineárnym urýchlovačom  
*Pavol Ragan* . . . . . 188

Diskusia k využitiu efektívnej dávky pri hodnotení rizika z lekárskeých ožiarení  
*Denisa Nikodemová, Dušan Šalát, Martina Horváthová* . . . . . 189

ČSFM – Benefit pro radiologické fyziky  
*Petra Dostálová, Dana Prchalová, Lenka Petýrková Janečková* . . . . . 190

**Rejstřík** . . . . . 191

Pondělí

Úterý A

Úterý B

Středa A

Středa B

Pátek

## Calibration challenges of PIN diode silicon detector for mixed radiation fields

Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Dagmar Peksová<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Pavel Krist<sup>1</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Jakub Kákona<sup>3</sup>, Martina Lužová<sup>1,2</sup>, Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Jakub Šlegl<sup>1,2</sup>, Mikhail A. Mikhailov<sup>4</sup>, Günther Reitz<sup>1</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> FEL ČVUT, Technická 2, Praha 6, 166 27, ČR

<sup>4</sup> Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Tzarigradsko chaussee, Blvd., 72, Sofia, Bulharsko

[martin.kakona@odz.ujf.cas.cz](mailto:martin.kakona@odz.ujf.cas.cz)

The key factor influencing acquisition of reliable dosimetric values using silicon dosimeters in mixed radiation fields is the accuracy of the energy calibration. Selected calibration methods will be discussed with two instruments developed at NPI for measurement in mixed radiation field on board aircraft – CANDY and AIRDOS.

The CANDY detector houses a silicon PIN diode as a radiation detector, a transimpedance amplifier and a pulse shaper as main components. The device is connected to a digital oscilloscope and data acquisition is done by tailor made scripts running on a PC. This device is suitable for an experimental work and investigation of properties of the PIN diode as a detector.

The AIRDOS is an open source dosimeter for measurement in low intensity mixed ionising radiation fields. In its aircraft version, it houses a silicon PIN diode as a radiation detector, an electronics for conversion of the signal to the pulse-height spectra, a GPS module, a data logger,

a memory card and batteries for one-month operation. It is a portable device for a routine measurement on board aircraft.

Both designs are built on an Open Hardware modular platform MLAB, the firmware is written in an Open Software platform Processing and data processing is written in Python. Full documentation is freely available.

The AIRDOS dosimeter provides an energy deposit distribution in detector (pulse-height spectra). Opposite of this the CANDY detector provides records about all ionisation events (each pulse is recorded including its shape).

We will discuss challenges in detectors calibration – namely spatial distribution of ionising radiation around sensor, boundary effects, pulse-height energy approximation error, bias voltage dependency and particle type dependency. Finally, alternative calibration options and results of comparative measurements in real mixed radiation fields will be presented.

## Commissioning of the Plasma X-ray Source at ELI Beamlines

**Vojtěch Stránský, Roman Truneček, Leonel Morejon, Veronika Olšovcová, Roberto Versaci**

ELI Beamlines, Fyzikální ústav AV ČR, Za Radnicí 835, Dolní Břežany, 252 41, ČR

[vojtech.stransky@eli-beams.eu](mailto:vojtech.stransky@eli-beams.eu)

The research centre ELI-Beamlines in Dolní Břežany will exploit high power lasers, i.a. for generation of ultrashort X-ray pulses. The commissioning of the first experimental station producing these X-rays, Plasma X-ray Source (PXS), is ongoing.

The PXS station can be driven by a 10 mJ or 100 mJ laser source. The laser beam, focused on a liquid metal target, accelerates electrons, which consecutively produce characteristic and bremsstrahlung radiation. The generated

X-ray pulses ( $10^{-13}$  s pulse length, repetition rate of 1 kHz) allow research of biology processes.

The generated radiation fields were studied using the Monte Carlo code FLUKA. Based on the simulated dose rate maps, suitable local shielding was designed and manufactured. The commissioning of the PXS station provides the first opportunity to compare theoretical expectations with the measured values. Measurements were done using optical stimulated luminescence with BeO chips and standard personal films.

## Časový průběh retence $^{137}\text{Cs}$ u obyvatel České republiky

Irena Malátová, Pavel Fojtík

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

[pavel.fojtik@suro.cz](mailto:pavel.fojtik@suro.cz)

Časový průběh retence  $^{137}\text{Cs}$  v lidském těle u české populace tvoří nejdelší časovou řadu u jednotlivé entity životního prostředí v zemi. Od černobylské havárie v r. 1986 byla systematicky sledována skupina 30 osob na celotělovém počítači SÚRO Praha s polovodičovým HPGe detektorem, zpočátku jednou měsíčně, později po roce. Toto sledování bylo od r. 1987 rozšířeno o stanovení depa  $^{137}\text{Cs}$  v těle prostřednictvím stanovení  $^{137}\text{Cs}$  vyloučeného za 24 hodin močí, každoročně bylo takto sledováno 100 dobrovolníků z celého území ČR; v některých letech byl počet dobrovolníků sběru moči až 400. Časový průběh retence byl proložen dvěma exponenciálami, přitom v období od r. 1986 do r. 1990 je efektivní poločas 1,3 roku, období od r. 1990 do r. 2017 je 15 let. Efektivní poločas zahrnuje jak fyzikální poločas přeměny, tak poločas environmentální, který vyjadřuje mizení  $^{137}\text{Cs}$  z ekosystému (vymývání z půdy, zahloubení do hlubších vrstev půdy atd.). Časová řada retence byla doplněna

o časovou řadu retence  $^{137}\text{Cs}$  od r. 1965 do r. 1985, která však nebyla zjištěna cíleným průzkumem, ale byla získána jako vedlejší produkt celotělového měření pracovníků se zářením; pracovníci, u nichž byla možná profesionální kontaminace  $^{137}\text{Cs}$ , byli vyřazeni. V práci jsou prezentovány i výsledky sledování skupiny osob se speciálními stravovacími návyky; jde o skupinu pracující v lese (lesníci, myslivci), kteří požívají ve větší míře zvěřinu, zejména maso divokých prasat, i větší množství hub. Systematicky je sledována od r. 1999 skupina 12 až 19 osob z Jeseníků, z let 1995 až 1997 existuje několik měření ze Šumavy. Spolehlivější jsou v tomto případě celotělová měření, retence vypočtené z měření moči mohou být významně nadhodnocené, protože obvykle nejde o příjem chronický. Velmi zhruba lze odhadnout, že obsah  $^{137}\text{Cs}$  v těle této speciální skupiny je více než o 2 řády vyšší než u obecné populace.

## Neutron dose assessment using samples of human blood and hair

Daniela Ekendahl<sup>1</sup>, Pavel Žlebčík<sup>1</sup>, Ondřej Huml<sup>2</sup>, Věra Bečková<sup>1</sup>, Ivan Hupka<sup>1</sup>, Helena Malá<sup>1</sup>

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

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

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

The unique feature of nuclear accidents with neutron exposure is the induced radioactivity in body tissues. For dosimetry purposes, the most important stable isotopes occurring in human body, which can be activated by neutrons, are  $^{23}\text{Na}$  and  $^{32}\text{S}$ . The respective activation reactions of  $^{23}\text{Na}$  and  $^{32}\text{S}$  are:  $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$  and  $^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$ . While sodium is distributed almost uniformly throughout the body, sulfur occurs in hair. Whole body neutron doses can be identified by determining the amount of  $^{24}\text{Na}$  in blood. Neutron dose to localized parts of the body can be estimated by

determining the  $^{32}\text{P}$  activity. In order to verify the practical feasibility of this dosimetry technique in conditions of our laboratory, samples of human blood and hair were irradiated in a vertical channel of a training reactor VR-1.  $^{24}\text{Na}$  activity was measured by gamma-ray spectrometry.  $^{32}\text{P}$  activity in hair was measured by means of a proportional counter. Based on neutron spectrum calculation, relationships between the neutron dose and induced activity were derived for both the types of samples.

# Dlouhodobé monitorování kosmického záření v nadmořských výškách dopravních letadel aneb Letem světem s Liulinem

Dagmar Peksová<sup>1,2</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Jan Kubančák<sup>1</sup>, Karel Kudela<sup>1,3</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Ústav experimentálnej fyziky SAV, Watsonova 47, Košice, 040 01, SR

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

Intenzita, složení a energie kosmického záření v atmosféře závisí na nadmořské výšce, geomagnetické poloze a sluneční aktivitě. V letových hladinách dopravních letadel (8–12 km) se hodnota příkonu dávkového ekvivalentu  $H$  pohybuje v rozmezí 4–10  $\mu\text{Sv/h}$ . Z tohoto důvodu je paluba letadel při výšce letu nad 8 km zařazena mezi pracoviště se zvýšeným přírodním ozářením.

K rutinní dozimetrii posádek letadel se používají speciální výpočetní programy. Jejich verifikace se pak realizuje na základě kalibračních a dlouhodobých měření na palubách letadel. Již od roku 2001 je dlouhodobě umístěn na palubě letadla letecké společnosti ČSA polovodičový detektor Liulin. Od té doby bylo zrealizováno více než 40 dlouhodobých měření, pokrývajících jedenáctiletý sluneční cyklus.

V datech z dlouhodobého monitorování byla vybrána podmnožina s malým rozsahem hodnot nadmořské výšky a geomagnetické polohy, pro kterou byla stanovena hodnota

příkonu prostorového dávkového ekvivalentu  $H^*(10)$ . Získaná časová závislost příkonu  $H^*(10)$  byla porovnána s hodnotami příkonu efektivní dávky  $E$  a  $H^*(10)$  určených pomocí výpočetních programů CARI a EPCARD.Net. Výstupní veličiny CARI-6 jsou stanoveny na základě tkáňových váhových faktorů podle doporučení ICRP 60 a u výpočetních programů CARI-7 a EPCARD.Net 5.4.3 již podle aktuálního doporučení ICRP 103. Určená závislost příkonu  $H^*(10)$  na čase a tedy i sluneční aktivitě byla také porovnána s hodnotami heliocentrického potenciálu zohledňujícího vliv sluneční aktivity na radiační zátěž posádek letadel ve výpočetním programu CARI.

Vzájemné porovnání naměřených a vypočtených hodnot slouží kromě verifikace výpočetních programů též k detekci anomálií, které mohou být důsledkem fluktuace sluneční aktivity (Ground Level Enhancement, Forbushovská deprese) nebo jiných jevů.

# Počítačové simulace odezvy polovodičové diody ve směsném radiačním poli na palubě letadla

Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Eric Benton<sup>3</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Oklahoma State University, USA

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

Aktivní detektory s polovodičovými diodami jsou dnes běžně používány pro měření ve směsných radiačních polích. Pro stanovení dozimetrických veličin ovšem nejsou příliš vhodné kvůli tomu, že polovodičové materiály nejsou svým složením blízké živé tkáni. Proto se používá konverzních koeficientů pro převod dozimetrických veličin mezi různými materiály, např. konverzní koeficient lineárního přenosu energie. Z rešerše literatury vyplývá, že různí autoři používají různé konverzní koeficienty lineárního přenosu energie, které se od sebe velice liší. A naopak mnohdy používají stejné hodnoty tohoto koeficientu pro různá směsná pole.

Cílem této práce je vypočítat konverzní funkci mezi lineárním přenosem energie v polovodičovém materiálu (křemík, kadmium tellurid) a ve vodě ve směsném poli v letových hladinách. To by mělo pomoci zpřesnit měření dozimetrických

veličin na palubách letadel. Rozhodli jsme se pro tento účel použít Monte Carlo software MCNP6.

Pro výpočet spekter primárního kosmického záření byl použit software PARMA, pomocí kterého jsme získali fluenci 34 typů ionizujícího záření v závislosti na čase a zeměpisné poloze, a to včetně úhlového a energetického rozdělení. Samotné MCNP6 simulace probíhaly s 8 typy primárních částic (neutrony, fotony, protony, alfa částice, kladné miony, záporné miony, elektrony a pozitrony), které mají největší příspěvky k efektivní dávce posádek letadel.

Výsledky těchto simulací mimo jiné ukazují i vztahy mezi deponovanou energií a lineárním přenosem energie, spektra lineárního přenosu energie a příspěvky jednotlivých typů částic o různých energiích k absorbované dávce v polovodičovém materiálu.



# Historický přehled efektivních dávek posádek letadel společnosti registrovaných v České a Slovenské republice

Jan Kubančák<sup>1</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Dagmar Peksová<sup>1,2</sup>, Ivan Kovář<sup>1</sup>, Marie Davídková<sup>1</sup>

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

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

[jan@kubancak.net](mailto:jan@kubancak.net)

Členovia posádek dopravných proudových letadel patria k skupine najexponovanejších radiačných pracovníkov s ročnými efektívnymi dávkami na úrovni 2–4 mSv. S podobnými strednými hodnotami efektívnych dávk sa stretávame u pracovníkov v priemysle či rádioterapii.

Oddelenie dozimetrie žiarenia ÚJF AV ČR sa profesnému ožiareniu leteckého personálu venuje už viac ako 20 rokov.

V České republice realizujeme službu osobnej dozimetrie posádek letadel od už roku 1998, na Slovensku od roku 2011. Túto skúsenosť chceme preto využiť k tomu, aby sme Vám odprezentovali krátky aktualizovaný historický přehled tejto zaujímavéj problematiky.

# Porovnání plastových detektorů stop, jaderných emulzí a detektoru Timepix ve svazcích těžkých iontů

Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Martina Lužová<sup>1,2</sup>, Carlos Granja<sup>1</sup>, Andrei Aleksandrovich Zaitsev<sup>3</sup>,  
Věra Bradnová<sup>3</sup>, Pavel Igorevich Zarubin<sup>3</sup>, Satoshi Kodaira<sup>4</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Spojený ústav jaderných výzkumů, Dubna, Rusko

<sup>4</sup> National Institute of Radiological Sciences/QST, Chiba, Japonsko

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

Při experimentu na zařízení HIMAC v Japonsku byly ve svazcích těžkých iontů porovnány tři různé detektory stop: plastové detektory stop, jaderné emulze a Timepix.

Všechny tři typy detektorů byly umístěny ve svazku urychlených iontů současně a těsně za sebou. Lze tedy porovnávat stopy stejných konkrétních částic na všech detektorech. Byly použity svazky železa o energii 500 MeV/n, neonu o energii 400 MeV/n a kyslíku o energii 400 MeV/n. Pro každý svazek byla použita dvě různá natočení detektorů – detekční plochou kolmo na svazek (0°) a šikmo pod úhlem 30°.

Plastové detektory stop i jaderné emulze patří mezi pasivní detektory stop, zatímco u detektoru Timepix můžeme určit přesný čas průletu částice. Pro experiment byly použity plastové detektory stop typu Harzlas TD-1, dvouvrstvé jaderné emulze typu BR-2 vyrobené společností Slavich v Rusku a detektor Timepix typu Medipix 2.

Jako neúčinnější, co se týče počtu detekovaných stop, se pro pulzní svazky těžkých iontů jeví plastové detektory

stop, které byly brány jako referenční detektor. Vůči nim měly jaderné emulze účinnost detekce kolem 90 % a Timepix od 35 % (pro Fe) do 72 % (pro Ne). Porovnány byly také souřadnice jednotlivých stop v různých detektorech. Průměr stopy je nejmenší u jaderných emulzí (do 7  $\mu\text{m}$ ), s určením polohy těžiště stopy do 0,5  $\mu\text{m}$ . U plastových detektorů je velikost stopy 26  $\mu\text{m}$  (Fe), 15  $\mu\text{m}$  (Ne) a 14  $\mu\text{m}$  (O) a těžiště stopy lze určit s přesností jednotek  $\mu\text{m}$ . Velikost stop u detektoru Timepix je řádově ve stovkách  $\mu\text{m}$  a polohu těžiště pro dané nastavení lze určit s přesností desítek  $\mu\text{m}$ . Určení odhadu lineárního přenosu energie (LET) částic je možné u detektoru Timepix a plastových detektorů stop, přičemž plastové detektory jsou pro vyšší LET (ionty železa s LET = 198 keV/ $\mu\text{m}$ ) přesnější (odchylka do 7 %), než detektor Timepix v použitém nastavení (odchylka více než 55 %).

Každý z posuzovaných detektorů má své výhody a vhodné aplikace, které budou v příspěvku podrobně diskutovány.

## Radiační efekty během bouřek zaznamenaných sítí MonRaS

Jakub Šlegl<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Dušan Balara<sup>3</sup>, Ivana Kolmašová<sup>4,5</sup>, Petr Kuča<sup>6</sup>, Jana Minářová<sup>4</sup>, Ondřej Santolík<sup>4,5</sup>, Zbyněk Sokol<sup>4</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> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>3</sup> Balarad, s. r. o., Orgovánová 6, Prešov, 080 01, SR

<sup>4</sup> ÚFA AV ČR, Boční II 1401, Praha 4, 141 31, ČR

<sup>5</sup> MFF UK, Ke Karlovu 3, Praha 2, 121 16, ČR

<sup>6</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

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

Bouřkové oblaky jako přírodní zdroje silných elektrických polí ovlivňují toky nabitých částic ve svém okolí. Nedávná pozorování ukazují zvýšenou odezvu detektorů ionizujícího záření pod bouřkovým oblakem. Směsná pole ionizujícího záření z radonu, ostatních přírodních radionuklidů a kosmického záření jsou ovlivněna i rentgenovým a gama zářením provázejícím bleskové výboje. Na zemi navíc dochází při dešti k zvýšení ozáření dceřinými produkty radonu, které ulpívají na vzdušném aerosolu, a jsou tak deštěm vymývány z atmosféry. Sít včasného zjištění jako součást Radiační

monitorovací sítě na území ČR je provozována Státním úřadem pro jadernou bezpečnost s cílem signalizace a zaregistrování významných odchylek příkonu fotonového dávkového ekvivalentu. 69 stanic s Geiger-Müllerovými detektory je rozmístěno po celé ČR. V příspěvku bude prezentována kvantifikace odezvy sítě na základě intenzity srážek a reakce na blízké blesky a produkty jejich vysokoenergetické radiace. Blesky byly detekovány sítěmi Blitzortung, Siemens a World Wide Lightning Location Network. Pro vyhodnocení byly vybrány tři bouřkové události z letní poloviny roku 2016.

## Retrospective dose reconstruction with mobile phones and chip cards

**Daniela Ekendahl, Zina Čemusová, Libor Judas**

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

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

Mobile phones and common chip cards are very widespread items that almost everyone owns. They contain some radiation sensitive materials that can be used for dosimetry based on stimulated luminescence. In mobile phones, resistors with alumina substrate can be found. Alumina provides a well measurable luminescence signal. In addition, some mobile phones have displays of lime-aluminosilicate glass, which also can be used for dosimetry. For chip cards the radiation sensitive component is the epoxy encapsulant with silica that protects the chip and wiring. We investigated and compared reproducibility, dose response, and fading of lumi-

nescence signal for the particular materials. Subsequently, we performed an experiment of a dose reconstruction using mobile phones and chip cards that were fixed to a phantom and irradiated by a  $^{137}\text{Cs}$  radiation source in our laboratory. The doses obtained were compared with reference values. The materials investigated can be used for dosimetry in cases of serious radiation accidents or malevolent acts with radioactive materials, when it is extremely important to identify as quickly as possible individuals who received high radiation doses.

## Studium molekulárních mechanismů radiochromického jevu v polykarbonátu

**Markéta Koplová<sup>1</sup>, David Zoul<sup>1</sup>, Vít Rosnecký<sup>1</sup>, Helena Štěpánková<sup>2</sup>, Václav Římal<sup>2</sup>, Josef Štěpánek<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> Katedra fyziky nízkých teplot, MFF, Univerzita Karlova, V Holešovičkách 747/2, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>3</sup> Fyzikální ústav UK, Oddělení fyziky biomolekul, MFF, Univerzita Karlova, Ke Karlovu 2026/5, Praha 2, 121 16, ČR

[marketa.koplova@cvrez.cz](mailto:marketa.koplova@cvrez.cz)

Cílem naší práce je využití polykarbonátu pro integrující dozimetrii vysokých dávek ionizujícího záření jako podstatně levnější alternativy k dnes již běžně používané alaninové dozimetrii. Zaměřili jsme se na molekulární mechanismy fyzikálně chemických pochodů způsobujících barevné změny,

na zmapování procesů, jimiž dochází s postupem času k opětovné regeneraci optických vlastností polymeru a na změny optické denzity polymeru po ozáření. K uvedeným analýzám byly použity metody absorpční optické spektroskopie, NMR spektroskopie a Ramanova spektroskopie.

## Úhlová závislost detektorů stop používaných na ISS

Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Vyacheslav A. Shurshakov<sup>2</sup>, Raisa V. Toloček<sup>2</sup>, Satoshi Kodaira<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Rusko

<sup>3</sup> National Institute of Radiological Sciences (NIRS) / QST, Japonsko

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

Detektory stop v pevné fázi (DSPF) se společně s termoluminiscenčními detektory (TLD) používají mimo jiné i k měření úrovně ozáření na Mezinárodní kosmické stanici (International Space Station, ISS). TLD slouží k měření absorbované dávky především od záření s nižším lineárním přenosem energie (LET), zatímco DSPF je možné použít jako spektrometry ke stanovení částic s LET větším než asi 10 keV/ $\mu\text{m}$ . LET se odvozuje z kalibrační křivky z tzv. poměru leptacích rychlostí  $V$ , který se počítá z velikosti jednotlivých registrovaných stop. Pokud však částice dopadá na detektor pod úhlem větším než je tzv. kritický úhel (uvažováno od kolmice k povrchu detektoru), částice není detekována. Hodnotu kritického úhlu pro částice s daným LET lze teoreticky vypočítat; u některých materiálů detektorů však bylo pozorováno, že i když částice dopadá na detektor pod úhlem menším než kritickým, není registro-

vána nebo dochází ke snížení citlivosti detekce. Hodnota tohoto úhlu závisí na typu a energii částice, na materiálu detektoru, leptacích a vyhodnocovacích podmínkách a je nutné ji pro každý DSPF materiál stanovit experimentálně. Za tímto účelem byly DSPF, materiál Harzlas TD-1, ozářeny na urychlovači HIMAC ve svazcích několika těžkých iontů (Ne 400 MeV/u, Si 490 MeV/u, Fe 500 MeV/u) pod různými úhly od 0 do 90 stupňů. Po ozáření byly detektory leptány v 5 M NaOH při teplotě 70 °C a vyhodnoceny pomocí mikroskopu HSP-1000 a softwaru HspFit. Z parametrů každé registrované stopy pak byla vypočtena hodnota leptacího poměru  $V$  a úhel dopadu částice. Ten byl porovnán se skutečnou hodnotou úhlu, pod kterým byl detektor ozářen. Na základě získaných výsledků pak byla provedena korekce spekter LET naměřených na ISS.

# Posúdenie potreby zavedenia osobnej dozimetrie ožiarenia očnej šošovky pracovníkov v priestoroch HCČ JE

Marko Fülöp<sup>1</sup>, Pavol Ragan<sup>1</sup>, Dušan Solivajs<sup>2</sup>, Boris Remenec<sup>3</sup>, Josef Frtús<sup>4</sup>, Denisa Nikodémová<sup>1</sup>, Ľubica Foltínová<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava, SR

<sup>2</sup> Slovenská legálna metrologia, Bratislava, SR

<sup>3</sup> SE a. s., AE Bohunice, o. z., Jaslovské Bohunice, 919 31, SR

<sup>4</sup> SE a. s., AE Mochovce, o. z., Mochovce, 935 39, SR

<sup>5</sup> FPM EUBA v Bratislave, Bratislava, SR

[marko.fulop@szu.sk](mailto:marko.fulop@szu.sk)

V SR sa podľa zákona č. 87/2018 Z. z. ustanovuje zníženie limitu ekvivalentnej dávky ožiarenia očnej šošovky na 20 mSv ročne a ak táto ekvivalentná dávka môže presiahnuť 15 mSv za rok, je potrebné robiť monitorovanie  $H_P(3)$  v blízkosti očí.

Cieľom predloženej štúdie je posúdenie potreby zavedenia osobnej dozimetrie ožiarenia očnej šošovky pracovníkov na palube HCČ JE EBO, kde sa pracuje aj počas prevádzky jadrového reaktora. Použila sa metóda MC výpočtov a fantómových meraní simulujúcich reálnu situáciu ožiarenia.

Pre hodnotenie ožiarenia očnej šošovky pracovníkov gama žiarením a neutrónmi sa navrhli tri systémy monitorovania  $H_P(3)$  pomocou albedo dozimetrom na laboratórnych okuliarech. Systém S1 pozostával z jedného detektora nad

koreňom nosa, systém S2 mal detektory nad obočím každého oka a u systému S3 boli detektory pritlačené po bokoch hlavy k lícnym kostiam pri kútikoch očí. Vlastnosti monitorov S1, S2 a S3 na hybridnom voxelovom a na vodnom valcovom fantóme hlavy sa počítali MC kódom MCNPX. Experimenty boli urobené pomocou vodného valcového fantómu hlavy a polyetylénového MIRD trupu. Korekcie odpovedí systémov S1, S2 a S3 na tvar spektier energií neutrónov na palube HCČ sa určili Bonnerovým spektrometrom. Predbežné výsledky meraní poukazujú, že aj počas prevádzky jadrových reaktorov je možné upraviť režim práce na palube HCČ tak, aby sa v očnej šošovke pracovníkov nedosiahla ročná hodnota 15 mSv ekvivalentnej dávky.

# CR10 – the public database of cosmic radiation measurements at aviation altitudes of about 10 km

Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Dagmar Peksová<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Jan Kubančák<sup>1</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Ronald Langer<sup>3</sup>, Karel Kudela<sup>3</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Ústav experimentálnej fyziky, Watsonova 47, Košice, 040 01, Slovenská Republika

[martin.kakona@odz.ujf.cas.cz](mailto:martin.kakona@odz.ujf.cas.cz)

In 2011, Ploc made available results from long-term measurements using Liulin silicon diode dosimeters onboard commercial aircraft. The database covered 3 699 flights, spanning eleven years of measurements and wide geographical area. Radiation field onboard aircraft not only depends on time but also on location and altitude. Therefore the trends in the data are not easy to compare to those from stationary detectors on the ground nor other detectors onboard other aircraft.

This poster presents new work done in the frame of this long-term commitment. The dataset has been extended by four years, 2013–2016 and the methodology and tools were developed to normalise the data with respect to latitude

and altitude and thus enable visual comparison with other radiation detectors on the ground and in space.

This capability is demonstrated using data from neutron monitor at Lomnický štít in Slovakia. Instead of merely providing raw data, two software solutions are delivered along with them. First is a web-based user interface for visualising and downloading arbitrary time window of interest from the database. The second is a set of interactive Python notebooks. Those implement the calibration, normalisation and visualisation methods used in the web interface – so the outputs can be tailored to user needs. The software and data are provided under GNU/CC licenses, respectively.



## Verifikační měření radiační zátěže posádek letadel

Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Dagmar Peksová<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Jan Kubančák<sup>1</sup>, Martina Lužová<sup>1,2</sup>,  
Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Lucie Vítková<sup>2</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> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Posádky letadel jsou v letových výškách vystaveny zvýšené úrovni radiace v důsledku letu nad vrstvou podstatné části atmosféry, která poskytuje přirozenou ochranu před kosmickým zářením. Jejich radiační zátěž se dnes ve většině evropských a dalších zemí stanovuje pomocí výpočetních programů, které na základě experimentálně stanovených energetických spekter částic galaktického kosmického záření mimo zemskou atmosféru, simulace jejich průchodu atmosférou, průběžně aktualizované databáze sluneční aktivity a uživatelem zadaných letových parametrů (nadmořská výška, zeměpisná poloha a datum letu) dokáží určit příkony dozimetrických veličin (efektivní dávku  $E$  a prostorový dávkový ekvivalent  $H^*(10)$ ) pro libovolné místo v atmosféře do určité nadmořské výšky (většinou 20 km n. m.).

V České republice je schválena metoda stanovení ročních efektivních dávek pomocí programu CARI-7 a zjednodušeného výškového profilu letu pro daný typ letadla. V letech 2014–2015 proběhla série dozimetrických měření na několika běžných linkách Českých aerolinií a. s. Jejich cílem bylo verifikovat metodu osobní dozimetrie posádek letadel. V letových výškách dopravních letadel je směsné pole záření tvořené mnoha typy částic s širokým rozsahem energií. K měření bylo proto použito několik dozimetrů: tkáni-ekvivalentní proporcionální počítač Hawk, bublinové detektory, polovodičový spektrometr deponovaných energií Liulin, Timepix, a neutronový detektor LB 123N.

V příspěvku budou prezentovány výsledky měření  $H^*(10)$  uvedenými dozimetry a verifikace výpočtu efektivních dávek pro uvedené lety metodou statistického testování hypotéz.

## Dozimetrie oční čočky v ČR – použití v klinické praxi

Tomáš Čechák<sup>1</sup>, Miluše Budayová<sup>2</sup>, Zdeněk Zelenka<sup>3</sup>, Jiří Studený<sup>4</sup>, Josef Novotný<sup>5</sup>, Radek Černý<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

<sup>3</sup> NUVIA Dosimetry s. r. o., Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, 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)

SÚJB každoročně pořádá testování a porovnání služeb osobní dozimetrie v oblasti legální dozimetrie v ČR. Srovnávací měření pod záštitou SÚJB organizuje a vyhodnocuje KDAIZ. V loňském a letošním roce bylo srovnávací měření zaměřeno na dozimetrii oční čočky. Srovnávacích měření se zúčastnilo pracoviště Nuvia Dosimetry (filmové dozimetrie) a VF a. s. Černá Hora (dva typy OSL dozimetřů). Ozáření

testovaných dozimetřů bylo provedeno na pracovišti ČMI OI. Ověřování očních dozimetřů v klinické praxi proběhlo v Nemocnici na Homolce. Vybraní lékaři používali různé typy očních dozimetřů a standartní osobní dozimetrie. V referátu je uveden popis provedených experimentů a výsledky srovnávacích měření.

## Druhé zkušenosti s druhým dozimetrem

Milan Buňata, Zdeněk Zelenka

NUVIA Dosimetry s. r. o., Na Truhlářce 39/64, Praha 8, 180 00, ČR

[milan.bunata@nuvia.cz](mailto:milan.bunata@nuvia.cz)

Nový atomový zákon a jeho prováděcí předpisy stanovují nově povinnost monitorovat vybrané radiační pracovníky, kteří pracují s ochrannou zástěrou, druhým osobním dozimetrem, umístěným pod touto zástěrou. Cílem tohoto měření je zpřesnit zeslabovací účinnok zástěry a korigovat reálně obdrženu dávku pracovníka.

Příspěvek shrnuje poznatky poskytovatele služby osobní dozimetrie získané během pilotního provozu u vybraných držitelů povolení. Zároveň porovnává hodnoty dávek vypočítané podle empirického modelu, který byl používán před zavedením druhého dozimetru, s hodnotami získanými pomocí monitorování pod ochrannou zástěrou a zhodnocuje význam zavedení monitorování druhým dozimetrem.

## Jaderné emulze a detekce rychlých i tepelných neutronů

Martina Lužová<sup>1,2</sup>, Andrei Aleksandrovich Zaitsev<sup>3</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Věra Bradnová<sup>3</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>,  
Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Roman Dvořák<sup>4</sup>, Michal Košťál<sup>5</sup>, Antonín Kolros<sup>5</sup>, Marie Davidková<sup>1</sup>,  
Pavel Igorevich Zarubin<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Spojený ústav jaderných výzkumů, Dubna, Rusko

<sup>4</sup> ČVUT FEL, Technická 2, Praha 6, 166 27, ČR

<sup>5</sup> Centrum výzkumu Řež, s. r. o., Hlavní 130, Husinec, Řež, 250 68, ČR

luzova@ujf.cas.cz

Jaderné emulze umožňují sledovat stopy nabitých částic ionizujícího záření s dosud nepřekonanou přesností ( $0,5 \mu\text{m}$ ). Na Oddělení dozimetrie záření ÚJF AV ČR se ve spolupráci se Spojeným ústavem jaderných výzkumů v Dubně (Rusko) snažíme o obnovení této 80 let staré metody a její modernizaci. Jedním z otevřených témat výzkumu prováděného s jadernými emulzemi je detekce neutronů.

Podobně jako u mnohých jiných neutronových detektorů i v jaderných emulzích sledujeme nabitě částice vznikající interakcí neutronů s určitými atomy. V případě tepelných neutronů jsou to atomy  $^{10}\text{B}$ , u kterých se uplatňuje reakce  $^{10}\text{B}(\text{n}_{\text{th}}, \alpha)^7\text{Li}$ . V emulzi pak můžeme pozorovat dvě protilehlé stopy náležející  $^7\text{Li}$  a  $\alpha$ -částici. Tyto fragmenty z rozpadu bóru mají stejnou energii a jejich stopy jsou natolik charakteristické, že jejich rozpoznání považujeme za spolehlivé. Na základě počtu protilehlých stop  $^7\text{Li}$  a  $\alpha$  lze tedy zjistit množství interagujících tepelných neutronů a

známe-li účinný průřez pro reakci  $^{10}\text{B}(\text{n}_{\text{th}}, \alpha)^7\text{Li}$  a množství atomů  $^{10}\text{B}$  v emulzi, můžeme určit i celkové množství tepelných neutronů, kterým byla emulze před svým vyvoláním vystavena.

Rychlé neutrony mohou interagovat s atomy vodíku, kterých je v želatinou tvořené emulzi velké množství. V jaderné emulzi pak vidíme dlouhou stopu odpovídající neutronem vyzařenému rychlému protonu. Dokážeme-li spočítat množství těchto stop v určitém objemu emulze, odhadnout množství vodíku v emulzi a známe-li účinný průřez reakce rychlého neutronu s vodíkem, lze odhadnout celkový počet rychlých neutronů prošlých emulzí.

Předvedeny budou výsledky provedených experimentů, problémy dané metody a možná řešení těchto problémů. Prostor bude věnován také automatické detekci stop pomocí počítačového zpracování obrazu. Použití počítačového zpracování obrazu podhaluje další potenciál jaderných emulzí.

# Monte Carlo simulace spekter brzdného záření $^{90}\text{Sr}$ pro stanovení účinnosti celotělového měření s využitím voxelových fantomů ICRP-M a ICRP-F

Karin Fantínová, Pavel Fojtík

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

[karin.fantinova@suro.cz](mailto:karin.fantinova@suro.cz)

Práce je zaměřena na stanovení detekčních účinností pro měření čistého zářiče beta  $^{90}\text{Sr}$  v lidském těle prostřednictvím produkovaného brzdného záření pomocí celotělového počítače SÚRO.

Monte Carlo simulace spekter brzdného záření byly provedeny s využitím referenčních voxelových fantomů lidského těla ICRP-M (referenční muž) a ICRP-F (referenční žena).

Bylo uvažováno několik scénářů distribuce  $^{90}\text{Sr}$  v těle, a to případ bezprostředně po vnitřní kontaminaci, kdy je  $^{90}\text{Sr}$  přítomno pouze v měkkých tkáních a v krvi, dále několik případů, kdy  $^{90}\text{Sr}$  přechází postupně do kostní tkáně a případ, kdy je  $^{90}\text{Sr}$  pouze v kostní tkáni.

Kostní tkáň je cílovým místem depozice stroncia v lidském těle. Přibližně do 3 dnů po jednorázovém příjmu přechází převážná část systemického  $^{90}\text{Sr}$  do kostní tkáně. Přibližně v období do 1 roku po jednorázovém příjmu je více než ~90 %  $^{90}\text{Sr}$  deponováno v kostní tkáni a v časovém rozmezí do 3 let po jednorázovém příjmu je v kostní tkáni deponováno asi ~98 % celkového obsahu  $^{90}\text{Sr}$  v těle.

Detekční účinnosti brzdného záření získané pro jednotlivé scénáře pomocí Monte Carlo simulací pro fantomy ICRP-M a ICRP-F jsou porovnány s výsledky získanými v rámci předchozí práce pro geometrický fantom UPh-02T (tzv. IGOR).

# Simulace možného výskytu horkých míst při únicích radioaktivity při neobvyklých povětrnostních epizodách

Petr Pecha, Ondřej Tichý

Adaptivní systémy, Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i., Pod vodárenskou věží 4, Praha 8, 182 00, ČR

[pecha@utia.cas.cz](mailto:pecha@utia.cas.cz)

Navazujeme na analýzu „nejhorších případů“ (worst-case analysis) úniků radioaktivity do životního prostředí, kdy méně probádanou oblastí se ukázaly úniky škodlivin při nízkých rychlostech větru až bezvětří (calmy). Ukazuje se, že pravděpodobnost výskytu takových epizod kolísá podle lokality a v celoevropském měřítku se udává v rozmezí 7 až 15 %. Lze očekávat výrazné kolísání i mezi výskytem u lokalit vytypovanými v ČR jako potenciální hlubinná úložiště vyhořelého jaderného paliva. V příspěvku vyšetřujeme scénář, kdy radioaktivita v první fázi uniká až několik hodin do nehybné masy vzduchu nad místem úniku. Disperse škodlivin se děje jen na základě molekulární difúze popsané poloempirickými vztahy a usazování aktivity na zem je důsledkem gravitačního usazování nebo vymývání radioaktivních aerosolů z nehybného mraku případnými atmosférickými srážkami. Kontinuální únik a současně i jeho časová dynamika jsou aproximovány sekvencí diskřet-

ních 3-D Gaussovských obláčků (puffů) s různým „stářím“, přičemž při postupném stárnutí stacionárních obláčků se berou v úvahu jak vlivy molekulární difúze na rostoucí disperzi obláčků tak ochuzování původní síly zdroje uniklé aktivity v důsledku radioaktivního rozpadu, suchého vypařování a vymývání případnými srážkami. Dále scénář pokračuje po několika hodinách nástupem konvektivního proudění, kdy nehybná oblast s relativně vysokou kumulovanou radioaktivitou je rozfoukávána větrem. 3-D obláčky expandují relativně k jejich středu, ochuzení se však určuje absolutně od okamžiku jejich zrození. V simulačním běhu zavedeme spekulativní předpoklad, že ve 3. hodině navazující konvektivní fáze prší. Potom se (poněkud neočekávaně) objeví výrazné horké místo deponovaného  $^{137}\text{Cs}$  na zemském povrchu až ve vzdálenosti několika desítek kilometrů od původního zdroje úniku.

## ESTE – Systém na podporu rozhodovania krízového štábu

**Eva Fojčíková, Ludovít Lipták, Monika Krpelanová, Miroslav Chylý, Peter Čarný**

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

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

Príspevok sumarizuje vlastnosti, modely a prístupy ESTE – systému na podporu rozhodovania krízového štábu v prípade jadrovej a radiačnej havárie. Jednou z prvých úloh systému je stanoviť prognózu zdrojového člena na základe hodnotenia symptómov stavu reaktora, prípadne stavu paliva v bazéne vyhoreného paliva, a na základe znalosti stavu bariér slúžiacich na zabránenie úniku rádioaktívnych látok z jadrového zariadenia do životného prostredia. Hlavnou úlohou systému je poskytnúť krízovému štábu podklady a výstupy, ktoré sa použijú pri navrhovaní neodkladných alebo následných ochranných opatrení. Osobitne sa jedná o návrhy na ukrytie, jódovú profylaxiu a prípadne aj na evakuáciu obyvateľov v zóne alebo aj mimo zóny havarijného plánovania daného jadrového zariadenia. V súvislosti s tým, že krízový štáb môže mať potrebu analyzovať a modelovať aj opatrenia týkajúce sa príjmu rádionuklidov ingesciou (resp. všeobecne opatrenia v poľnohospodárstve a potravi-

nárstve), sú implementované v ESTE aj modely a algoritmy pre výpočet kontaminácie zložiek potravinového reťazca a dávok ingesciou. V súvislosti s Atómovým zákonom v ČR (Zákon 263/2016) a v súvislosti so Zákonom o radiačnej ochrane v SR (Zákon 87/2018) došlo k zmene zásahových úrovní pre neodkladné ochranné opatrenia a k zmene vekových kategórií pri výpočte ožiarenia jednotlivcov z radov obyvateľstva. V príspevku sú sumarizujúco opísané postupy, modely a algoritmy ESTE. Osobitne je diskutovaný model pre výpočet dávok ingesciou v podmienkach strednej Európy a v podmienkach subtropickej krajiny čiastočne púštneho charakteru. Podrobne sú prezentované a porovnané algoritmy aplikácie zásahových úrovní pre neodkladné ochranné opatrenia v krajinách, kde je systém ESTE implementovaný pre potreby krízových štábov, t.j. v SR, ČR, Bulharsku, Iráne a v Rakúsku.

# ESTE Annual Impacts – Systém na hodnotenie vplyvu prevádzkových výpustí na obyvateľstvo a životné prostredie

Ludovít Lipták, Eva Fojčíková, Monika Krpelanová, Miroslav Chylý, Peter Čarný

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

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

Príspevok sumarizuje vlastnosti, modely a prístupy programu ESTE Annual Impacts, ktorý je určený na analýzy a hodnotenie vplyvu prevádzkových výpustí do atmosféry a hydrosféry z jadrových zariadení na obyvateľstvo a životné prostredie. V príspevku sú popísané modely ESTE AI pre šírenie a dopady prevádzkových výpustí do atmosféry a do hydrosféry (rieka, vodná nádrž a more). Okrem iného je prezentovaný spôsob aplikácie polí morských prúdov (sea currents) pre potreby výpočtu disperzie rádionuklidov v morskom prostredí. Je uvedený postup výpočtu dávky na reprezentatívnu osobu a sú uvedené predpokladané vlastnosti reprezentatívnej osoby. Osobitne je diskutovaný model, vrátane spotrebných košov, pre výpočet dávok ingesciou v podmienkach strednej Európy, v podmienkach subtropickej krajiny čiastočne púštného charakteru a v prípade

výpustí do mora. Sú uvedené aj postupy výpočtu radiačných dopadov na živočíchy a rastliny (Biota). Sú prezentované výsledky výpočtov, ktoré boli vykonané pre rôzne scenáre a pre rôzne jadrové zariadenia (prevádzkové výpuste z tlakovodného reaktora, z ťažkovodného reaktora a prevádzkové výpuste z veľkého spracovateľského centra jadrových materiálov), v rámci projektu MAAE „MODARIA“. Systém ESTE Annual Impacts používa JE Bohunice na hodnotenie dopadu výpustí z prevádzky JE V-2, JAVYS a. s. na hodnotenie dopadu výpustí z prevádzok JAVYS v lokalite Bohunice, 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).



## Ozáření obsluhy bioplynových stanic při práci s kontaminovanou biomasou

Jan Škrkal<sup>1</sup>, Radim Možnar<sup>1</sup>, Miroslav Kajan<sup>2</sup>, Karin Fantínová<sup>1</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)

V případě závažné radiační havárie energetického zařízení, může bezprostředně dojít k rozsáhlé kontaminaci okolní rostlinné vegetace. Velké množství zemědělských plodin bude vyloučeno z konzumace z důvodu překročení radiačních limitů. Kontaminovanou biomasu je však možné využít v bioplynových stanicích k výrobě elektrické energie a tepla.

Tento článek se zabývá výpočtem efektivní dávky, kterou by mohla obdržet obsluha bioplynové stanice o výkonu 1 MW el., zpracovávající silážovanou rostlinnou biomasu kontaminovanou Cs-137 a Cs-134.

Bylo uvažováno externí ozáření a interní ozáření cestou inhalace aerosolových částic. Za účelem výpočtu externího ozáření byl v MCNP vytvořen model bioplynové stanice. Roční efektivní dávky byly vypočteny pro tři scénáře: siláž čerstvě kontaminovaná Cs-134 nebo Cs-137 po hypotetické havárii, siláž s hmotnostní aktivitou odpovídající černobylskému spadu z roku 1986 na území ČR a siláž s hmotnostními aktivitami odpovídajícími aktuální radiační situaci.

## Zajištění radiační ochrany v Centru výzkumu Řež

Antonín Kolros, Jiří Neužil

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

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

Je prezentován způsob zajištění a organizace radiační ochrany v Centru výzkumu Řež, s. r. o. (CVŘ). CVŘ je výzkumná organizace zaměřená na výzkum chování materiálů a komponent, vývoj a inovaci technologií pro energetiku, zejména jadernou. CVŘ v současné době provozuje deset pracovišť se zdroji ionizujícího záření II., III. a IV. kategorie. Pracoviště jsou z hlediska radiační ochrany členěny do tří samostatných infrastruktur, každá infrastruktura s vlastní dohlížející osobou. Infrastruktura SUSEN zahrnuje šest pracovišť II. a III. kategorie určených pro práci s otevřenými nebo uzavřenými zdroji ionizujícího záření kategorizovanými jako jednoduché nebo vysokoaktivní zdroje. Pět pracovišť této infrastruktury bylo nově zavedeno do roku 2016 v rámci projektu SUSEN. Do této infrastruktury jsou začleněny např. horké komory CVŘ, laboratoř studeného kelímku nebo laboratoř neutronového generátoru

s 14 MeV D–T urychlovačem. Počátkem roku 2019 by se tato infrastruktura pak měla rozšířit o další tři nové pracoviště II. a III. kategorie s otevřenými zdroji IZ. Infrastruktura reaktory zahrnuje dvě pracoviště IV. kategorie s výzkumnými reaktory LVR 15 a LR 0. Jedná se o pracoviště historicky vzniklé v ÚJV Řež, a. s., která jsou od roku 2012 provozována CVŘ. Nejnovější infrastruktura PFW Plzeň zahrnuje v roce 2018 nově vzniklé pracoviště II. kategorie s generátorem záření HELCZA o maximálním výkonu 0,8 MW. Členění radiační ochrany CVŘ je důsledkem různorodosti radiačních pracovišť, rozdílnými podmínkami nakládání se zdroji IZ. Umožňuje řešit specifika jednotlivých pracovišť v rámci jednotlivých infrastruktur z hlediska přípravy radiačních pracovníků pro práci v kontrolovaném a sledovaném pásmu, jejich připravenosti k provádění odezvy na radiační mimořádnou událost, školení zasahujících osob atd.

# Porovnání výsledků kapacitních cvičení laboratoří vybavených spektrometrií gama začleněných v RMS

Michal Sloboda, Helena Malá, Petr Rulík, Vendula Rovenská

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

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

V radiační monitorovací síti (RMS) je trvale začleněno 7 laboratoří vybavených spektrometrií gama: 4 laboratoře SÚRO (Praha, Hradec Králové, Ostrava a České Budějovice), 2 laboratoře Státního veterinárního ústavu (Praha a Olomouc) a 1 laboratoř Výzkumného ústavu vodohospodářského.

Během posledních jedenácti let bylo pro tyto laboratoře uspořádáno 5 zátěžových kapacitních cvičení (ZKC). Cílem cvičení bylo experimentálně prověřit aktuální měřicí kapacitu laboratoří vybavených spektrometrií gama při aktuálním technickém vybavení a personálním obsazení, dále pak odhadnout kapacitu celé RMS a vytipovat problematiska místa celého procesu (časově nejnáročnější, s maximem možných chyb apod.), počínaje příjmem vzorků a konče zadáním výsledků do centrální databáze SÚJB MonRaS. V případě zjištění chyb nalézt příčiny a navrhnout řešení. Dalším cílem bylo procvičit práci v laboratořích při havarijním monitorování a doložit, že pravidelná cvičení zvyšují kapacitu laboratoří, přispívají ke kvalitě práce a připrave-

nosti na případnou havárii. Délka cvičení v každé laboratoři byla přibližně 12 hodin, neboť při mimořádné události se předpokládá práce v režimu 12 hodinových směn, který by byly schopny laboratoře zajišťovat po dobu 14 dnů. Cvičné vzorky byly připraveny tak, aby pokryly širokou škálu komodit, které by za havárie do laboratoří přicházely (aerosolové filtry, sorbent plyných forem jódu, spady, pitná voda, půdy a složky potravních řetězců včetně celodenní stravy). Část vzorků byla předem kontaminována umělými radionuklidy.

V roce 2018 bylo kapacitní cvičení pořádáno pouze pro laboratoře SÚRO, neboť posloužilo hlavně pro otestování nově vyvinuté aplikace na automatické načítání odebraných vzorků do laboratorního systému, který byl v laboratořích SÚRO zaveden. V práci jsou uvedeny výsledky tohoto cvičení a jejich porovnání s výsledky předchozích cvičení.

Práce byla vykonána za podpory projektu BV MV Strategie řízení nápravy území po radiační havárii, identifikační kód VH20172020015.

## Radiation monitoring system using unmanned aerial vehicles

Jakub Lüley<sup>1</sup>, Štefan Čerba<sup>1</sup>, Branislav Vrbán<sup>1</sup>, Filip Osuský<sup>1</sup>, Juraj Dudáš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> B&J NUCLEAR s.r.o., Alžbetin Dvor 145, Miloslavov, 900 42, SR

<sup>2</sup> UAVONIC s.r.o., Galvániho 17/B, Bratislava, 821 04, SR

[jakub.luley@bjnuclear.eu](mailto:jakub.luley@bjnuclear.eu)

Dangers related to the radiological impact of nuclear facilities are issues sensitively perceived by public. Although the primary objective in nuclear power R&D is to increase the level of safety, the risk of failure of NPP's components cannot be totally excluded. Even with the very low probability of events leading to leakage of radioactive particles outside the nuclear facility ( $< 10^{-4}$  per reactor per year), R&D of systems that could mitigate the impact of these events cannot be neglected. The radiological protection of the population must always be the top priority. Although the design of the current generation of NPPs incorporates features that minimize the risk of large radioactive releases outside the reactor, it is still important to focus on the development of systems that can mitigate the consequences of such events. For such a purpose the RMS-00x radiation monitoring system could be used, which is a modular system covering the functionality of dose rate measurement, air sampling and radiation map creation without requiring the human personnel to be present at the measurement site.

Before this system is used in real conditions, its components must be thoroughly calibrated, based on certified measurement equipment and state-of-art simulation tools. This paper deals with the description of the RMS-00X sensor modules and demonstrates their functionality in combination with UAV. In addition to partial testing activities, several complex tests in environmental conditions were performed. One of them was carried out at the private airport, where the measuring nodes were installed on an unmanned aerial vehicle and the aim was to verify the functionality of the measuring nodes. In addition, demonstration of the use of the developed technology was carried out as part of the regular emergency planning and preparedness of EBO NPP on 26<sup>th</sup> October 2017. The exercises were attended by the staff of the radiation protection, physical protection and dosimetry of SE a. s. and also the Director of EBO V2 NPP. Since that time, the system has been continuously improved to keep up with new trends in radiation protection and to provide easy to use working environment for the personnel.

# Schopnosti Skupiny monitorování a leteckého průzkumu Armády České republiky

**Jiří Komárek, Kateřina Valterová, Petr Kolník, Josef Koudelka**

Armáda České republiky/Skupina monitorování a leteckého průzkumu, Ministerstvo obrany, Tychonova 221/1, Praha 6 – Hradčany, 160 00, ČR

[komarekj@army.cz](mailto:komarekj@army.cz)

Armáda České republiky se již více než dvě dekády podílí na monitorování radiační situace na území České republiky i mimo něj. Nejsilnějším nástrojem AČR pro tuto činnost je Skupina monitorování a leteckého průzkumu u 314. centra výstrahy ZHN v Hostivici. Tato skupina dlouhodobě a úzce spolupracuje se Státním ústavem radiační ochrany, v. v. i. a 24. základnou dopravního letectva v Praze-Kbelích. Úkolem skupiny je především letecké monitorování radiační situace a letecký radiační průzkum s pomocí vrtulníku.

Cílem této práce je prezentovat schopnosti skupiny monitorování a leteckého průzkumu Armádní radiační monitorovací sítě (ARMS), která je součástí Celostátní radiační monitorovací sítě (CRMS) pro monitorování radiační situace v míru. Letecká skupina CRMS disponuje modernizovaným

systémem pro leteckou spektrometrii záření gama. Tento systém umožňuje zobrazení výstupu letecké spektrometrie ve formě georeferencovaných dat zobrazitelných na mapovém podkladu monitorovaného prostoru. Spojení tohoto systému a vrtulníku umožňuje rychlý radiační průzkum velkého území bez ohledu na charakter terénu v relativně krátké době.

Úkolem skupiny monitorování a leteckého průzkumu, v rámci plnění úkolů vyplývajících z realizační dohody uzavřené mezi AČR a SÚJB, je především rychlý průzkum rozsáhlých ploch v návaznosti na závažnou událost na jaderném zařízení doprovázenou únikem radioaktivity do životního prostředí, ať už na území ČR nebo mimo něj.

# Mezinárodní cvičení leteckých skupin havarijního radiačního monitorování ARM17 ve Švýcarsku v červnu 2017

Marcel Ohera<sup>1</sup>, Lubomír Gryc<sup>1</sup>, Irena Češpírová<sup>1</sup>, Aleš Froňka<sup>1</sup>, Jan Helebrant<sup>1</sup>, Jiří Komárek<sup>2</sup>, Kateřina Valterová<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> 314. centrum výstrahy ZHN, Armáda České republiky, ČR

[marcel.ohera@suro.cz](mailto:marcel.ohera@suro.cz)

V červnu 2017 proběhlo ve Švýcarsku mezinárodní porovnávací cvičení leteckých skupin, kterého se zúčastnily 2 týmy ze Švýcarska, 2 z Německa, 1 z Francie a 1 z České republiky. Cvičení probíhalo na vojenské letecké základně v Dübendorfu poblíž Curychu a v jeho okolí. Za Českou republiku se zúčastnila společná skupina složená ze dvou leteckých monitorovacích skupin Státního ústavu radiační ochrany a letecké skupiny 314. centra výstrahy ZHN AČR, které působí na našem území v rámci Radiační monitorovací sítě ČR. Hlavním úkolem mezinárodního cvičení bylo simulování scénáře, kdy těchto šest leteckých týmů mělo za úkol na ploše odpovídající přibližně 7 % rozlohy Švýcarska lokalizovat dva ztracené zdroje Cs-137 a odhadnout jejich aktivity a zároveň vyzkoušet, jak rychle lze při větším počtu leteckých skupin z různých zemí s rozdílným přístrojovým vybavením zmapovat kontaminované území. Cvičení mělo řadu dalších úkolů – porovnání hodnot naměřených polovodičovou gamaspektrometrií na zemi s údaji získanými leteckou gamaspektrometrií, stanovení pozadí vrtulníků a

stanovení příspěvku kosmiky měřením nad jezerem Zuger See ve výškách od 90 m do 2 400 m nad hladinou jezera a měření v extrémně členitém terénu v Alpách v nadmořské výšce cca 2500 m.

Mezinárodní cvičení ARM17 jasně ukázalo, důležitost spolupráce mezi jednotlivými leteckými týmy z různých zemí. Monitorování v omezeném čase vyžaduje navržení strategie mezi jednotlivými leteckými skupinami včetně koordinace letů jednotlivých skupin a zvážení možnosti leteckých měřících systémů. Přestože byly zjištěny některé rozdíly v datech jednotlivých skupin, tyto rozdíly by neměly mít vliv na provádění rozhodování v případě reálné havárie.

Cvičení dalo řadu námětů pro koordinaci těchto skupin při provádění monitorování, zpřesnění některých vyhodnocovacích postupů, vytvoření jednotného formátu ERS pro ukládání a zpracování dat.

Řešení těchto řady otázek z tohoto cvičení bude prověřeno na dalším setkání leteckých skupin v roce 2019 ve Francii.

# Optimalizace parametrů neutronového svazku na pracovišti neutronové radiografie výzkumného reaktoru LVR-15

Hana Assmann Vratislavská, Jaroslav Šoltés, Ladislav Viererbl

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

[hana.vratislavska@cvrez.cz](mailto:hana.vratislavska@cvrez.cz)

Výzkumný reaktor LVR-15 je lehkovodní reaktor provozovaný Centrem výzkumu Řež. Jeho nominální tepelný výkon je 10 MW a slouží především jako zdroj neutronů. Jeden z jeho horizontálních kanálů, označený jako HK1, je využitý jako svazek tepelných neutronů pro pracoviště neutronové radiografie. Podobně jako rentgenová radiografie je neutronová radiografie transmisní zobrazovací metoda, jen místo rentgenového záření se využívá neutronového záření. I její využití je podobné, ale je zde podstatně jiná citlivost na různé prvky, zaměřuje se především na sledování prvků, které mají vyšší účinný průřez pro tepelné neutrony, jako je například vodík, lithium, bór nebo zlato.

Hlavními požadavky na svazek neutronů pro neutronovou radiografii je eliminace nežádoucího záření (záření gama a rychlých neutronů), dostatečná intenzita svazku a paralelnost svazku. Eliminace nežádoucího záření bylo dosaženo

vložením filtru z monokrystalů křemíku o celkové délce 1 m. Po uvedení pracoviště do provozu v roce 2015 byla intenzita svazku na jeho ústí, vyjádřená veličinou příkon fluence, více než dostatečná, cca  $3 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Naopak paralelnost svazku, která úzce souvisí s rozlišovací schopností zařízení, nebyla ideální. Paralelnost svazku se charakterizuje poměrem L/D, kde L je vzdálenost vzorku od zdroje záření a D je průměr zdroje. Tento poměr byl zhruba 40.

V roce 2017 byla provedena úprava svazku tak, že do kanálu blízko aktivní zóny reaktoru bylo vloženo mezikruží z kadmia, které v podstatě zmenšilo průměr zdroje tepelných neutronů na polovinu. Tím se sice snížil příkon fluence na čtvrtinu, ale dvakrát se zvýšil poměr L/D. Jsou uvedeny výsledky měření neutronových polí před touto úpravou a po ní.

# Adaptace programového vybavení pro hodnocení radiologických důsledků mimořádných úniků radionuklidů ze skladů vyhořelého jaderného paliva

Petr Pecha<sup>1</sup>, Emilie Pechová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Adaptivní systémy, Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i., Pod Vodárenskou věží 4, Praha 8, 182 00, ČR

<sup>2</sup> Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i. , externí spolupráce, ČR

[pecha@utia.cas.cz](mailto:pecha@utia.cas.cz)

Při vývoji českého kódu HARP (HAzardous Radioactivity Propagation) pro odhadování vlivu radiologických důsledků nehod byly téměř výhradně hodnoceny události s bezprostředním nástupem v časné fázi, kdy byly uvažovány hlavně krátkodobé a střednědobé radionuklidy s poločasy rozpadu řádově od minut do několika desítek roků, které se uplatňují již krátce po odstavení reaktoru. V souvislosti s řešením otázek ukládání vyhořelého paliva do přechodných skladů s výhledem transportu do hlubinných úložišť je nutné revidovat implicitní grupy radionuklidů a rozšířit je o typické postulované mimořádné úniky ze skladů vyhořelého paliva. K únikům aktivity může hypoteticky dojít již ve fázi překládání horkého paliva do přechodného chladicího tanku, při ztrátě chlazení vyhořelé kazety, pádu sudů s palivem při přepravě až po důsledky málo pravděpodobných seizmických událostí. Na základě rešerše bylo provedeno rozšíření databáze radionuklidů systému HARP o další nejdůleži-

tější dlouhodobé radionuklidy. V zásadě se jednalo o výběr štěpných a aktivačních produktů a dále o transurany ze skupiny aktinidů. Jsou konstatovány velké neurčitosti v odhadech zdrojových členů úniku pro případy vyhořelého paliva, které mohou být až řádové. Ve druhé části plakátového sdělení jsou uvedeny některé výsledky výpočtů s rozšířenou grupou dlouhodobých radionuklidů. Současně je provedeno vzájemné srovnání pro obálkové scénáře s výsledky evropského environmentálního kódu COSYMA. Je zavedena nová strategie, kdy se vychází z detailního srovnávání základních řídicích fyzikálních veličin (prostorové průběhy aktivit v mraku, jejich časových integrálů a depozice na zemi). Jsou zmíněny skryté záludnosti při následné srovnávací analýze radiologických dopadů související s explicitně neuvedenými hodnotami některých použitých konstant a konverzních faktorů u cizího kódu.



# Experimentální ověření aktivit vzorků ozářených v reaktoru s výsledky stanovenými pomocí MCNP

Pavel Žlebčík<sup>1</sup>, Ondřej Huml<sup>2</sup>, Daniela Ekendahl<sup>1</sup>

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

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

[pavel.zlebcik@suro.cz](mailto:pavel.zlebcik@suro.cz)

Během ozařování látek neutrony dochází na jádrech látky k jaderným reakcím, které často vedou ke vzniku umělých radionuklidů. Na základě emitovaného záření vznikajícího při přeměně je možné stanovit jejich aktivity a odhadnout parametry neutronového pole, v kterém byla ozářena. Příspěvek se věnuje stanovení aktivit vzorků ozářených v reaktoru pomocí MCNP a jejich porovnání s experimentálně změřenými hodnotami pomocí HPGe detektoru. Cílem bylo

ověřit, zda aktivity odhadnuté na základě znalostí neutronových spekter, příslušných reakcí a podmínek ozařování korespondují s hodnotami aktivit stanovenými pomocí polovodičové spektrometrie gama. Výsledky experimentů ukazují, že výpočtem stanovené odhady aktivit ozářených vzorků jsou ve většině případů v dobré shodě s výsledky aktivit stanovenými na základě experimentálních měření.

## Koncentrační postupy ke stanovení aktivity ruthenia z atmosférického spadu

Zuzana Davidková, Miroslav Hýža, Michal Fejgl

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

[zuzana.davidkova@suro.cz](mailto:zuzana.davidkova@suro.cz)

Poté, co byly v říjnu 2017 v atmosférických aerosolech ve střední Evropě zaznamenány zvýšené aktivity  $^{106}\text{Ru}$  neznámého původu, byly využity maximální kapacity SÚRO v. v. i. ke vzorkování aerosolů, za účelem získání experimentálního materiálu. Vzorky aerosolů byly odebrány jednak prosáváním přes aerosolové filtry, jednak sběrem listí obsahujícího zvýšenou aktivitu  $^{106}\text{Ru}$  z atmosférického spadu.

SÚRO v. v. i. touto cestou získal dostatek materiálu umožňujícího provádět experimenty s rutheniem ve formě, která pravděpodobně ideálně simuluje chemickou formu ruthenia po úniku do ovzduší z inventáře jaderného reaktoru.

Získaný materiál byl podroben experimentům, jejichž cílem bylo nalézt jednoduchý koncentrační postup, který by umožnil stanovení  $^{106}\text{Ru}$  ve formě atmosférického spadu ve vzorcích vegetace (například posečené trávy nebo listí). K tomuto účelu byla vybrána technika spalování se stupňovanou a definovanou teplotou. Provedené experimenty vedly k nalezení vhodných podmínek pro zakoncentrování ruthenia v aerosolovém spadu. Chování ruthenia při různých teplotách spalování také umožnily do jisté míry posoudit, v jakých chemických formách bylo ruthenium ve vzorcích přítomno.

# Simulace odezvy detektoru na bázi $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ při radionuklidové kontaminaci atmosféry po havárii jaderné elektrárny

Petr Vágner<sup>1</sup>, Tomáš Urban<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nuvia, a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

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

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

Rozvoj jaderné energetiky je provázen i haváriemi a nehodami, které společně s permanentním tlakem protijaderných aktivistů živí společenské obavy o bezpečnost jaderných elektráren. Projektanti jaderných elektráren berou tyto obavy zcela vážně a na základě provozních zkušeností a doporučení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (název úřadu v České republice, v ostatních zemích existují obdobné instituce) a dalších mezinárodních orgánů stále zvyšují bezpečnostní úroveň jaderných projektů s hlavním důrazem na jadernou a radiační bezpečnost a minimalizaci dopadů potenciálních provozních nehod a havárií na okolní obyvatelstvo a životní prostředí. K potvrzení bezpečnosti provozu jaderných elektráren slouží monitorovací sítě v jejich okolí i celostátní monitorovací sítě.

V tomto příspěvku je zkoumána možnost využití scintilačních detektorů na bázi  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  jako součást gama spektrometrických systémů pro terénní využití a případně jako součást monitorovací sítě v okolí jaderných elektráren. Byl vytvořen model sondy s  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  krystalem. Po provedení základních simulací odhadu odezvy na vnitřní aktivitu krystalu a radionuklidové zdroje v jednoduché (blízké) geometrii, byla simulována i odezva sondy při vybraných hypotetických scénářích úniku radionuklidů z jaderné elektrárny a při idealizované distribuci těchto radionuklidů v okolí měřícího místa. Výsledky simulačních výpočtů jsou v příspěvku dále diskutovány.

Tato práce je podpořena grantem OPVVV, reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000778.

# Simulace dávek od mraku kontaminované vzdušiny z havarijního úniku při těžké havárii JE

Jaroslav Klusůň, Tomáš Urban

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

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

Pro rozhodování o opatřeních a zásazích ke zmírnění následků v případě těžkých havárií JE spojených s únikem radionuklidů do okolního prostředí, je klíčové rychlé získání údajů o radiační situaci na zasaženém území. K rychlému shromáždění údajů se předpokládá i letecké monitorování s využitím jak pilotovaných, tak v současné době stále více využívaných dálkově ovládaných resp. částečně autonomních (dronů) leteckých prostředků. V souvislosti s plánováním leteckého monitorování, radiační ochrany leteckého personálu, případně problematikou radiační odolnosti zařízení bezpilotních prostředků, byla navržena výpočetní metodika a provedeny simulace odhadů prostorové distribuce dávkových příkonů v mraku z havarijního úniku (resp. v jeho okolí) pro vybrané havarijní scénáře a modely stability atmosféry. Pro přibližný odhad dávek od mraku

kontaminované vzdušiny byl pro blízké okolí zdroje úniku použit jednoduchý Gaussovský model. Modelové výpočty byly provedeny pomocí programu MCNP. Uvažovány byly kategorie stability atmosféry A–F podle Pasquillovy klasifikace a vybrané havarijní scénáře úniku. Příspěvek popisuje strukturu navrženého modelu, metodiku výpočtu a příklady výsledků modelových výpočtů ve formě zobrazení vybraných profilů z modelovaných 3D distribucí dávkových příkonů v mraku a jeho okolí a spektrálního složení fotonových polí v okolí mraku. V návaznosti na dřívější práce jsou z hlediska RO diskutovány i možnosti simulace dávek personálu v leteckých prostředcích a možnosti využití dekonvoluční techniky při spektrometrické analýze radionuklidového složení kontaminantů v mraku při leteckém monitorování.

## Systemy střední úrovně pro jaderné elektrárny

Petr Okruhlica<sup>1</sup>, Břetislav Mach<sup>1</sup>, Jaroslav Klusoň<sup>2</sup>, Tomáš Urban<sup>2</sup>, Jakub Dvořák<sup>1</sup>

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

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

[jakub.dvorak@vf.cz](mailto:jakub.dvorak@vf.cz)

Bezpečný provoz jaderných elektráren z hlediska radiační ochrany je vždy zajišťován nadřazenými systémy řízení například systém SEJVAL, v současnosti doplněný o systém společnosti VF a. s. CISRK. Tyto systémy potřebují pro svůj provoz zajištěná data z detektorů veličin tlaku, teploty, dávkového příkonu, poloh ventilů atd. Data z měřících kanálů jsou prezentována na vizualizačních zařízeních v dozorně radiační kontroly a v blokové dozorně. Data do těchto systémů mohou být přenášena různými způsoby a společnost VF si vybrala princip sběru na střední úrovni.

Tento přístup ke sběru dat vychází z myšleny distribuce lokálních sdružovacích jednotek se schopností alokovat data až z 10 detektorů. Tyto jednotky zabezpečují komunikaci s dolní úrovní RMS (detekční bloky a monitory), s horní úrovní RMS (SEJVAL, CISRK), zabezpečují napájení, zajišťují externí signalizaci a umožňují lokální správu a prezentaci dat. Systém je také možno vybavit moduly s bezdrátovou komunikací. Tento projekt (FV10065) byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

## Systemy proměření vzácných plynů za havarijních stavů jaderných elektráren

Petr Okruhlica<sup>1</sup>, Břetislav Mach<sup>1</sup>, Jiří Příhoda<sup>2</sup>, Jiří Smola<sup>2</sup>, Jakub Dvořák<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ÚCH PrF MU v Brně, Kamenice 753/5, Brno, 625 00, ČR

[jakub.dvorak@vf.cz](mailto:jakub.dvorak@vf.cz)

Provozní stavy jaderných zařízení musí počítat i se situacemi mimo svůj běžný provoz. Tyto situace se označují jako Design Basis Accident (DBA) a jsou to situace za kterých může docházet i k uvolnění radionuklidů mimo obvyklé části technologií nebo do životního prostředí. Na tyto situace jsou specificky konstruována zařízení, která za horších provozních podmínek měří vyšší hodnoty objemových aktivit nebo dávkových příkonů. Mezi tyto zařízení patří také měřidla vzácných plynů, která mohou měřit objemovou aktivitu na potrubí technologie od aktivit  $10^6$  do aktivit  $10^{18}$  Bq/m<sup>3</sup>.

Detekční část těchto zařízení tvoří polovodičové detektory nebo ionizační komory. V prezentaci se podrobně věnujeme měření objemové aktivity ostré páry za použití ionizační komory a vyhodnocení měřeného proudu generovaného ionizační komorou pomocí měřidla malých proudů. Parametry ionizační komory jsou porovnány s výpočty MCNP. Tento projekt (FV10719) byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

# Detektor vzácných plynů vysokého rozsahu v paroplynné směsi o vysokém tlaku – Monte Carlo simulace

Tomáš Urban<sup>1</sup>, Jaroslav Klusoň<sup>1</sup>, Jakub Dvořák<sup>2</sup>, Petr Okruhlica<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> VF, a. s., Svitavská 588, Černá Hora, 679 21, ČR

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

Podle konstrukčního návrhu byl sestaven model ionizační komory (IK) včetně vnitřního zdroje. V první fázi simulačních výpočtů byly nasimulovány odezvy IK na fotony různé kvality (N83, N100, Cs-137, Co-60) v geometrii paralelního svazku dopadajícího na IK pod různými úhly vzhledem k ose symetrie IK (0°, 30°, 60°, 90°). S vytvořeným geometrickým modelem IK byla také odhadnuta odezva IK na vnitřní referenční zdroj, a to pro různé typy radionuklidových referenčních zdrojů a ve dvou krajních polohách v patroně umístěné ve dně IK.

V další fázi simulačních výpočtů byl ke geometrickému modelu IK přidán model potrubí parovodu v geometrických uspořádáních přímého potrubí a potrubí s kolenem. Pro vybrané energie monoenergetických linií fotonů/elektronů z intervalu od desítek keV až do jednotek MeV byla modelo-

vána odezva IK a příkon kermy ve vzduchu v místě středu IK v závislosti na uvažované délce potrubí, tj. zdrojového členu, tvořeného aktivitou s homogenní distribucí v paroplynné směsi v potrubí. Na základě těchto modelových výpočtů byl pro navržený objem IK, referenční tlak a jednotkovou emisi zdroje stanoven odhad závislosti ionizačního proudu na energii fotonů/elektronů, odhad rozsahu proudu komory pro požadovaný rozsah měřitelných dávkových příkonů ( $10^{-6}$  až  $10^3$  Gy/h) a energetická závislost odezvy IK. Ve smyslu stejných okrajových podmínek byl také studován vliv změny tlaku a složení pracovního plynu. Výsledky simulačních výpočtů pro různé parametry pracovního plynu IK jsou v příspěvků dále diskutovány.

Tato práce byla podpořena grantem MPO, program TRIO, No. FV10065.

# Důsledky zveřejnění zkreslených zpráv a záměrných dezinformací v mediálním prostoru na postoje populace – případová studie

Ivana Fojtíková, Michal Jankovec

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

[Ivana.Fojtikova@suro.cz](mailto:Ivana.Fojtikova@suro.cz)

Masmédia nás dnes obklopují téměř na každém kroku, zahlcují nás zprávami, vnímáme je, ať chceme nebo ne. Mají vliv na naše chování, rozhodování a postoje. Jejich působení je často účelové, to se týká například reklamy, vzdělávacího či zábavného obsahu. Někdy může být však jejich účelem ovlivnit chování cílových skupin podáním záměrně zkreslených zpráv, nebo dokonce dezinformací.

Příspěvek shrnuje případovou studii demonstrující vliv zkreslených informací o výskytu radiojódů nad Evropou na chování a postoje populace k ochraně před ionizujícím zářením. Ukázalo se, že některé segmenty populace jsou chybnými informacemi snáze ovlivnitelné, což může vést k nežádoucím obavám občanů a snížení důvěryhodnosti politiky státu v oblasti radiační ochrany a jaderné bezpečnosti.



# Občanské radiační monitorovací sítě v ČR – nástroj ke vzdělávání a zvyšování motivace občanů k sebeochraně

Ivana Fojtíková, Irena Češpírová, Petr Kuča, Jan Helebrant, Barbora Marešová, Petra Kadlec Linhartová

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

[Ivana.Fojtikova@suro.cz](mailto:Ivana.Fojtikova@suro.cz)

V ČR je pro případ včasného zjištění změny radiační situace, případně jaderné havárie a monitorování jejích následků v provozu stacionární síť včasného zjištění provozovaná Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Její fungování vyplývá ze zákona 263/2016 Sb. a na něj navazující legislativy (např. vyhláška 360/2016 Sb.).

V případě radiační mimořádné události lze očekávat výrazné zvýšení zájmu občanů o měření, kterému může být obtížné z kapacitních důvodů vyhovět, což vždy otevírá prostor pro vznik nežádoucích obav veřejnosti, fám až paniky.

Nabízí se možnost využít zájem a aktivitu občanů a institucí, a vybudovat tzv. občanskou měřicí síť, která může poskytovat významný rozsah měření (bez nároků na měřicí

kapacity státu) a dodávat výsledky měření doplňující oficiální monitorovací systémy.

Pro vznik a fungování občanské sítě je potřebné identifikovat subjekty (instituce, profesní či zájmové skupiny nebo jednotlivce), jež budou mít zájem a příležitost provádět měření, vybavit je příslušnou technikou, metodami a podporou a patřičně vyškolit. Tyto aktivity jsou obsahem projektu RAMESIS řešeného v SÚRO.

Příspěvek rekapituluje současný stav projektu, oslovené subjekty a dosavadní výsledky měření. V průběhu řešení projektu se ukázalo, že vlastní měření a zpracování výsledků je jedním z vhodných a přirozených nástrojů pro vzdělávání studentů, zájmových skupin i osvětu populace, jak v oblasti radiační ochrany, tak i radiační problematiky obecně.

# Podpora občanských měření radiace v České Republice – projekt RAMESIS

Petr Kuča, Jan Helebrant

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

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

Príspevek se zabývá výsledky projektu RAMESIS (ID: VI20152019028, Radiační měřicí síť pro instituce a školy k zajištění včasné informovanosti a zvýšení bezpečnosti občanů měst a obcí). Jde o projekt bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra ČR, řešený SÚRO ve spolupráci s ÚTEF ČVUT a NUVIA a. s., zaměřený na podporu vytvoření a provozování občanské měřicí sítě pro monitorování dávkového příkonu záření gama v ČR a podporu porozumění problematice radiační ochrany veřejnosti.

Občanská měření jsou podporována vytvořením sítě stacionárních detektorů, zápůjčkami mobilních detektorů Safecast pro měření v terénu a také širokou paletou vzdělávacích materiálů a podpůrných softwarových nástrojů.

Stacionární detektory vlastní konstrukce jsou určeny zejména pro umístění ve školách a dalších institucích. Pro terénní měření slouží zmíněné detektory Safecast bGeigie Nano. Oba typy detektorů jsou bezplatně poskytovány/zapůjčovány zájemcům o měření.

Data ze všech zmíněných detektorů putují do centrální aplikace RAMESIS, která se stará o jejich zpracování a prezentaci uživatelům i veřejnosti. Aplikace zajišťuje automatické přebírání a zpracování dat ze sítě stacionárních detektorů, pro mobilní detektory poskytuje uživateli rozhraní pro nahrání dat. Data z obou typů detektorů jsou ukládána do databáze a webové uživatelské rozhraní zajišťuje vizualizaci dat s využitím map, grafů či tabulek.

Důležitou roli hraje i souběžně vytvářený informační portál, který uživateli poskytuje informace o projektu RAMESIS, používaných detektorech, jejich parametrech a ovládní, zásadách a způsobu měření atd. Pozornost je věnována i obecným informacím o problematice radiační ochrany, radiačním monitorování, atd.

V rámci projektu také vznikly nástroje pro lokální prezentaci výsledků mobilních měření na PC/notebooku uživatele využívající řešení na bázi open-source software a volně dostupných mapových podkladů (OpenStreetMap).

## Present status of radiation protection at ELI Beamlines

**Veronika Olšovcová, Sabrina Bechet, David Horváth, Nikhil Shetty, Vojtěch Stránský, Roman Truneček, Roberto Versaci**

ELI Beamlines, Fyzikální ústav AV ČR, Za Radnicí 835, Dolní Břežany, 252 41, ČR

[veronika.olsovcova@eli-beams.eu](mailto:veronika.olsovcova@eli-beams.eu)

Extreme Light Infrastructure (ELI) is a European Research Infrastructure which benefits from the latest technical development in new generation laser technology to produce high intensity ultra-short laser pulses. “ELI Beamlines” is the Czech Republic based pillar, which aims at the development of high-brightness sources of X-rays and the acceleration of proton, electron, and ion beams, to be used both for pure research and practical applications. Radiation fields generated by lasers differ from conventionally generated fields in some characteristics, such as ultra-short pulse length and

low repetition rates, which raise some challenges for the reliable implementation of radioprotection systems.

After many years of preparatory work, ELI Beamlines is about to start its operations, scheduling the commissioning of 4 beamlines for early 2019, with gradual increase in source charge, energy, and repetition rate.

This contribution discusses the radiation protection assessment of different beamlines, the various factors taken into account, and the mitigation measures implemented, such as shielding and monitoring systems.

# Řešení problémů při implementaci požadavků radiační ochrany v praxi

Josef Sabol

Katedra krizového řízení, Fakulta bezpečnostního managementu PAČR v Praze, Lhotecká 559/7, Praha 4, 140 00, ČR

sabol@polac.cz

Referát se zaměřuje na poslední vývoj v oblasti zajištění adekvátní ochrany pracovníků, pacientů, obyvatelstva, jakož i životního prostředí v kontextu dodržování principů radiační ochrany zejména pokud jde o kvantifikaci ozáření a s tím souvisejících aspektů.

Je proveden rozbor posledních specifických doporučení ICRP, ICRU a dalších vědeckých, odborných a profesionálních názorů, které se vesměs kloní k provedení některých změn nejenom v souvislosti s opuštěním stávající koncepce operačních veličin, ale i problémy, které se týkají přehodnocení některých limitů a také měření resp. monitorování veličin v souladu s jejich definičními vztahy. Tyto těžkosti a nejednotné postupy ovlivňují sledování skutečného stavu a trendů ozáření v jednotlivých zemích, a nakonec i v celosvětovém měřítku. Podrobnější pohled na řadu publikací nebo na materiály zabývající se radiační ochranou ukazuje na nejednotný přístup v hodnocení ozáření, který v budoucnosti bude nutno určitým přijatelným způsobem harmonizovat.

Na základě provedeného rozboru současného stavu radiační ochrany se ukazuje, že dnešní metody hodnocení ozá-

ření a jeho interpretace pomocí monitorování jsou již překonány a je třeba hledat nové přístupy ke kvantifikaci ozáření tak, aby sloužily potřebám radiační ochrany v praxi, kde rozhodující význam hrají lékařské aplikace. K řešení tohoto problému by zřejmě prospělo promyšlené zjednodušení formulace požadavků radiační ochrany s orientací na zúžený systém veličin, které by se daly přímo stanovit nebo odhadnout na základě měření a monitorování. Důležitý je i diferencovaný přístup k hodnocení stochastických a deterministických biologických účinků.

Současný systém radiační ochrany by se i nadále mohl ubírat stávajícím způsobem, ale rozvíjel by se v podstatě jenom v oblasti výzkumu na vysokých školách či ve specializovaných vědecko-výzkumných organizacích a ústavech, jejichž některé relevantní výsledky či doporučení by se mohly postupně zavádět ve zjednodušené podobě do praxe. Tam by se používal omezený okruh měřitelných veličin, který by umožnil spolehlivé hodnocení míry ozáření, byť s určitou přijatelnou chybou (nakonec i současný velmi rigidní systém je zatížen značnou chybou).

# Interpretace rizik v oblasti nízkých dávek: lékařské ozáření vs. fukušimská pohavarijní situace

Eva Zemanová<sup>1</sup>

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

[eva.zemanova@sujb.cz](mailto:eva.zemanova@sujb.cz)

Příspěvek se zabývá aspekty interpretace rizik ozáření nízkými dávkami se zaměřením na radiodiagnostiku v porovnání s různými způsoby komunikace o rizicích ve fukušimské prefektuře, kde je ozáření nízkými dávkami obyvatel nyní řízeno jako součást existující expoziční situace v dekontaminovaných rezidenčních oblastech. Emoce a strach z rizik ionizujícího záření, tzv. „perceived risks“, mohou v častých případech převýšit rizika reálná. Pro radiodiagnostiku i pro ochranu obyvatel platí stejné základní principy radiační ochrany, zejména zdůvodnění a optimalizace.

S pacienty je nutno o rizicích lékařského ozáření komunikovat a musí jim být jasně, jednoduše, ale sofistikovaně vysvětlena přiměřenost rizika nízkých dávek. Trvalým úkolem zůstává nalézat a rozvíjet vhodné způsoby vysvětlování principů radiační ochrany tak, aby byly veřejnosti srozumitelné.

Jiný pohled na problematiku rizik ozáření obyvatelstva se objevil po jaderné havárii ve Fukušimě. Cílem komunikace s veřejností o rizicích nízkých dávek ve fukušimské prefektuře je přesvědčit obyvatele o tom, že dávky, které mohou obdržet v dekontaminovaných rezidencích, jsou tak nízké, jak je rozumně dosažitelné a že radiační situace je v těchto oblastech optimalizovaná i v kontextu ekonomickém, socioekonomickém atd.

Ke vnímání radiačních rizik obyvateli Fukušimy jsou přidružené i emoce jako strach, úzkost a nedůvěra ve vládu. V článku proto poukážeme na to, že základem efektivní komunikace s veřejností musí být primárně získání její důvěry. Technická fakta musí být sdělována jednoduše a srozumitelně a do komunikace musí být nezbytně implementován respekt pro individuální emoce, nedůvěru a akceptování strachu nejen z rizik ozáření, ale i z návratu do oblastí, kde obyvatelé zažili nezapomenutelnou stresovou situaci.

## Jadrovochemický priemysel na Slovensku

Oľga Holá

dôchodkyňa, kpt. Rašu 1, Bratislava, 841 01, SR

[olga.hola@stuba.sk](mailto:olga.hola@stuba.sk)

Knižná publikácia vznikla ako jeden diel zo súboru publikácií „Chemický priemysel v zrkadle dejín Slovenska“. Ide o systematické a kritické zmapovanie a zhromaždenie údajov z dostupnej literatúry, archívov, ústnych, či písomných spomienok. Autorka spracovala v tejto publikácii zrod a rozvoj jadrovochemického priemyslu na Slovensku až po súčasnosť. Kniha obsahuje 6 kapitol. Prvá kapitola sa venuje výučbe, vede a výskumu v tejto oblasti, predovšetkým na FCHPT STU, PriF UK, z ústavov napr. VUJE, SHMÚ, VÚVH, a ďalšie. V druhej kapitole sa uvádza geologický prieskum a ťažba uránu na Slovensku. Tretia kapitola popisuje históriu,

súčasnosť a budúcnosť jadrových elektrární v Československu a na Slovensku – Jadrové elektrárne v Jaslovských Bohuniciach a v Mochovciach. Ďalšia kapitola sa týka rádioaktívnych odpadov a ich vyradovaniu, predovšetkým ide o akciovú spoločnosť JAVYS. Piata kapitola sa týka výroby rádionuklidov a rádiofarmák, opisuje vznik ale aj postupný zánik Cyklotrónového centra SR a vznik a rozvoj akciovej spoločnosti BIONT. Posledná kapitola uvádza niektoré akciové spoločnosti a spoločnosti s ručením obmedzeným, ktoré poskytujú služby, montáže, demontáže a rôzne dodávky pre jadrovochemický priemysel.

# Slovenské predpisy radiačnej ochrany po transpozícii smernice 2013/59/EURATOM z pohľadu užívateľa

**Pavol Ragan**

SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

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

Smernica 2013/59/EURATOM bola v SR transponovaná zákonom č. 87/2018 Z.z. V nadväznosti na zákon boli vydané viaceré vyhlášky. Rozsiahly európsky predpis rezultuje do objemnej legislatívy – nový zákon s viac ako sto šesťdesiatimi paragrafmi a mnohostrannými prílohami a medzi dôležité dôsledky patrí aj novelizácia zákona o zdravotnej starostlivosti, v ktorom sa ocitli viaceré ustanovenia týkajúce sa lekárskeho ožiarenia. Takto je napríklad radiačná ochrana pri lekárskom ožiarení upravená tromi zákonmi (87/2018, 576/2004, 355/2007) a aspoň tromi vyhláškami (o zabezpečení RO, o lekárskom ožiarení, kategorizácia rizikových prác).

Veľká časť ustanovení novej legislatívy sa v podstate zhoduje s predošlými predpismi a je združená v zákone o radi-

ačnej ochrane. Zákon má podrobné štruktúrované členenie, ktoré v podstate má logickú štruktúru, avšak mimoriadne podrobné upravenie jednotlivých problematík vedie k jeho komplikovanosti a obmedzuje užívateľa v možnosti dostatočne rýchlo sa zorientovať v možnostiach a povinnostiach, resp. získať prehľad pre potreby konkrétnej činnosti. Pravdepodobne bežný užívateľ legislatívy (odborný zástupca, osoba s priamou zodpovednosťou, pracovník) bude mať veľký problém v jej používaní.

Závažným nedostatkom zákona ako aj jeho vykonávacích predpisov sú viaceré vágne a nejasné ustanovenia, vnútorné protirečenia, ba dokonca neústavné ustanovenia alebo nesúlady so smernicou.

## Nový studijní program Decommissioning

Lenka Thinová<sup>1</sup>, Dušan Kobylka<sup>2</sup>, Kateřina Čubová<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> KJCH, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Proces vyřazování jaderných zařízení z provozu je velice náročný na intelektuální zdroje, inovační a inženýrská rozhodnutí. Jeho realizace vyžaduje vysoce kvalifikované experty a získávání nových znalostí. Cílem nového programu je vychovat odborníky schopné plánovat a vést projekty související s vyřazováním jaderných zařízení z provozu, řešit problematiku nakládání s radioaktivními odpady, navrhovat úložiště radioaktivních odpadů včetně provádění náročných bezpečnostních rozborů a hodnocení.

Na základě multioborové výuky předmětů z oblasti konstrukce a provozu jaderných zařízení, materiálových vlastností, jaderné fyziky a chemie, odpadového hospodářství, detekce a ochrany před ionizujícím zářením včetně evropské a české legislativy bude absolvent dostatečně odborně vybaven k řešení všech situací v problematice vyřazování a nakládání s radioaktivními odpady. Tyto technické odborné znalosti jsou doplněny předměty, zvyšujícími schopnosti absolventa orientovat se v základní právní a ekonomické

praxi a komunikace s veřejností. Semináře vedené odborníky z praxe budou velmi cennou součástí výuky, která obohatí znalosti absolventů na základě rozboru případových studií. Kromě speciálních znalostí získaných studiem získají studenti dovednost rychlé orientace v neznámé mezioborové problematice, analýzy problémů a syntézy výsledků. Mezi nabyté vlastnosti patří rovněž odpovědnost za vykonanou práci a za učiněná rozhodnutí.

Díky zcela nové, multidisciplinární výuce, se bude schopen uplatnit v celém řetězci vyřazovacích prací jaderných zařízení, ve všech procesech souvisejících s nakládáním s radioaktivními odpady a při přípravě a realizaci projektů úložiště radioaktivních odpadů včetně provádění náročných bezpečnostních analýz. Dostatečné znalosti z oblasti atomové legislativy a výkonu státní správy při mírovém využívání jaderné energie umožní absolventovi uplatnit se také ve státních odborných institucích jako je SÚJB, SÚRAO, SÚRO v. v. i., SUJCHBO v. v. i. apod.



# Výsledky radiačního průzkumu v zařízeních určených pro sběr a zpracování kovového odpadu

**Jan Ryba**

Sekce radiační ochrany, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[jan.ryba@sujb.cz](mailto:jan.ryba@sujb.cz)

V souvislosti s plněním požadavků §91 zákona č.263/2016 Sb., provedl Státní úřad pro jadernou bezpečnost ve spolupráci se Státním ústavem radiační ochrany v. v. i. pilotní radiační průzkum v zařízeních určených ke shromažďování a zpracování kovového odpadu. Oslovená zařízení byla vybrána na základě několika zvolených kritérií a účast v tomto projektu byla dobrovolná.

Prezentované plakátové sdělení obsahuje výsledky uvedeného průzkumu a přináší informaci o stavu zavedených opatření určených k detekci a vyhledání radioaktivního materiálu. Dále uvádí míru úrovně edukace pracovníků v oblasti základních principů radiační ochrany a přináší výsledky provedeného monitorování na těchto pracovištích.

## Princip limitování expozic ionizujícímu záření v historických souvislostech

Radek Černý<sup>1</sup>, Lenka Thinová<sup>1</sup>, Tomáš Čechák<sup>1</sup>, Aleš Froňka<sup>2</sup>

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

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

[radek.cerny@fjfi.cvut.cz](mailto:radek.cerny@fjfi.cvut.cz)

Limity ozáření v radiační ochraně a související problematika se historicky vyvíjí a měly by odrážet úroveň aktuální znalosti biologických účinků pole záření společně se společensky akceptovatelnou mírou újmy. Pochopení historického vývoje limitů, vycházejících z aktuálně dostupných zdrojů dat, může být důležité pro správné uplatnění principů radiační ochrany v praxi. S daným tématem proto úzce souvisí

problematika kategorizace radiačních pracovníků a pracovišť.

Povědomí o souvislostech a historickém vývoji pohledu na ochranu lidí pracujících s ionizujícím zářením v těsné souvislosti s vytvářením limitů se vytrácí z povědomí mladé generace pracovníků v radiační ochraně. Snahou autorů příspěvku je tyto skutečnosti ve zkratce připomenout.

## Diskusia k využitíu efektívnej dávky pri hodnotení rizika z lekárskeých ožiarení

Denisa Nikodémová<sup>1</sup>, Dušan Šalát<sup>2</sup>, Martina Horváthová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Slovenská zdravotnícka Univerzita v Bratislave, SR

<sup>2</sup> Univerzita Cyrila a Metódy v Trnave, SR

<sup>3</sup> Trnavská univerzita – Fakulta zdravotníctva a sociálnej práce v Trnave, SR

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

Zdravotné riziko v dôsledku lekárskeho ožiarenia je kľúčovým morálnym problémom poskytovateľov zdravotnej starostlivosti a udržiavať ožiarenie „tak nízke ako je to možné“ vytvára povinnosť znižovať možné riziká pomocou optimalizácie, dodržiavania techniky zobrazovania, diagnostických referenčných úrovní, apod. Otvorenou otázkou však zostáva, že odhad rizika pre individuálneho pacienta je veľmi obtiažne realizovať, predovšetkým kvôli veľkým neistotám v parametroch vstupujúcich do výpočtov v oblasti nízkych dávok. Navyše sa aktuálne mení názor na lineárny a bezprahový vzťah medzi aplikovanou dávkou žiarenia a rizikom vzniku nádorového ochorenia v oblasti malých dávok, najmä v intervale 3–10 mSv, kde štatistické ukazovatele nedovoľujú jednoznačné závery.

Príslušnou veličinou pre plánovanie ožiarenia pacientov a hodnotenia vzťahu medzi potenciálnym zdravotným rizikom a prínosom je ekvivalentná dávka alebo absorbovaná

dávka v ožarovaných tkanivách. Použitie efektívnej dávky pre hodnotenie ožiarenia pacientov má vážne obmedzenia, ktoré treba pri kvantifikácii lekárskeho ožiarenia brať do úvahy. Efektívna dávka môže mať význam pri porovnávaní dávok pri rôznych diagnostických vyšetreniach a používaní odlišných technológií pre rovnaké lekárske vyšetrenie. Hodnotenie a interpretácia efektívnej dávky z lekárskeho ožiarenia sú problematické, keď sú orgány alebo tkanivá ožiarené iba z časti alebo heterogénne, čo je najmä prípad röntgenovej diagnostiky (ICRP 103).

V prezentácii budú diskutované názory na využívanie efektívnej dávky pre manažment ochrany pred stochastickými účinkami ožiarenia v medicíne, publikované v Análoch ICRP (apríl 2018) pracovnou skupinou ICRP, ako návrh na konzultácie v odborných skupinách pracovníkov radiačnej ochrany.

## Renovácia obštrukčného faktora fajčiarov, ktorí prestali fajčiť

Radoslav Böhm<sup>1</sup>, Antonín Sedlák<sup>2</sup>, Karol Holý<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

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

<sup>3</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

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

Aktuálna bronchiálna dávka v okamihu radónovej expozície je výsledkom protichodných vplyvov fajčenia na pľúcny epitel – na jednej strane hyperprodukcie hlienu, ktorá dávku znižuje, na druhej strane chronickej obštrukcie, ktorá ju zvyšuje. Oba tieto procesy pôsobia súčasne a na výslednom radiačnom zaťažení sa podieľajú s rôznou váhou. V príspevku sme použitím epidemiologického a mikrodozimetrického modelu rekonštruovali časový vývoj obštrukčného faktora v závislosti od času, ktorý uplynul od skončenia fajčenia. Pri výpočte sme predpokladali, že fajčiar s dennou spotrebou cigariet  $S_d$ , fajčiaci  $t_s$  rokov prestal fajčiť a abstinoval  $t$  rokov. Následne bol ožiarený radónom s expozíciou  $W$ , ktorá podľa epidemiologického modelu navýšila relatívne riziko vzniku rakoviny pľúc o ERRS. Prírastok tohto rizika závisel od aktuálnej pľúcnej dávky, ktorá odzrkadľovala stu-

peň morfometrických a fyziologických zmien indukovaných fajčením. Mikrodozimetrickým modelom hraničnej mernej energie bolo možné nájsť taký pomer medzi pľúcnou dávkou fajčiara a nefajčiara, ktorý uvedený prírastok rizík vyvolal. Biologický účinok radónu teda slúžil ako vhodný prostriedok na monitorovanie dávky v pľúcnom tkanive. Prestavší fajčiari boli exponovaní v rôznych časových okamihoch fajčiarskej abstinencie, čo viedlo k rekonštrukcii časového priebehu obštrukčného faktora a k získaniu informácie o rýchlosti renovácie pľúc po ukončení fajčenia. Odvodená závislosť má pre dozimetriu pľúc praktický význam, umožňuje u abstínujúcich fajčiarov korektnejšie vyhodnotiť absorbovanú dávku a zohľadniť aktuálny stupeň poškodenia pľúc, ktoré sa počas abstinencie postupne zotavujú.

## Different approaches to the understanding of indoor radon reference level

**Jiří Hůlka, Ladislav Tomášek**

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

[jiri.hulka@suro.cz](mailto:jiri.hulka@suro.cz)

The paper analyzes the approaches for establishing of radon concentration reference level in residential buildings and the philosophical and regulatory background of this choice. It also evaluates the impact of establishing of different reference levels on the possible population exposure reduction

and the expected lung cancer reduction in the future, assuming the validity of the LNT hypothesis. In addition, possible alternative reference levels are considered taking into account the different new buildings technologies.

# Radonový program ČR – konec jedné etapy a Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu

**Marcela Berčíková, Jaroslav Slovák, Hynek Novák**

Oddělení radonového programu, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[marcela.bercikova@sujb.cz](mailto:marcela.bercikova@sujb.cz)

V prezentaci bude zhodnocena druhá etapa Radonového programu od roku 2010–2019, výsledky, projekty, protiradonová opatření a důležité změny ovlivňující Radonový program. Bude zmíněna nová vlna problému s domy typu START,

ovlivnění realitního trhu a stanovisko SÚJB k tomuto problému.

Národní akční plán co přináší, jakou bude mít strukturu a další aspekty, budou zmíněny v závěrečné části prezentace.

# Meranie objemovej aktivity radónu v budovách ležiacich na predpokladaných zlomových pásmach

Iveta Smetanová<sup>1</sup>, Andrej Mojžeš<sup>2</sup>, František Marko<sup>2</sup>, Kamil Fekete<sup>1</sup>, Kristián Csicsay<sup>1</sup>, Andrea Mosná<sup>2</sup>, Ivan Zvara<sup>2</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)

Meranie objemovej aktivity  $^{222}\text{Rn}$  v ovzduší vybraných rodinných domov, škôl, materských škôl a úradov sa vykonáva v rámci riešenia projektu „Multidisciplinárny výskum geofyzikálno-štruktúrnych parametrov a environmentálneho vplyvu zlomov Západných Karpát“. Výskum sa realizuje v troch obciach: Sološnica (65 budov), Zázrivá (23 budov) a Vydrník (23 budov), ktoré ležia na zlomových pásmach. Integrované meranie koncentrácie radónu vo vnútornom ovzduší sa vykonáva pomocou stopového detektora alfa častíc RAMaRn (SÚJCHBO, ČR). V budovách sú umiestnené 2 až 3 detektory, prevažne v obývaných miestnostiach na prízemí. Radónový monitoring bude prebiehať po dobu jedného roka, detektory sú vymieňané po tro-

jmesačnej expozícii (marec-máj, jún-august, september-november, december-február), aby bolo možné ohodnotiť sezónnu zmenu objemovej aktivity  $^{222}\text{Rn}$ . 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, podpivničenie, tesnosť okien, rok konštrukcie a rekonštrukcie). V príspevku sú porovnané predbežné výsledky získané v prvej etape monitoringu vo všetkých troch obciach. Výskum je finančne podporovaný vedecou grantovou agentúrou APVV MŠ SR v rámci projektu APVV-16-0146 a VEGA MŠ SR a SAV v rámci projektov 2/0083/18 a 1/0115/18.

# Variabilita objemovej aktivity radónu vo vybraných materských školách na Slovensku

Monika Müllerová<sup>1</sup>, Karol Holý<sup>1</sup>, Iveta Smetanová<sup>2</sup>, Patrícia Kureková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, Bratislava, 842 48, SR

<sup>2</sup> Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, P.O.Box 106, Bratislava, 840 05, SR

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

Objemová aktivita radónu v materských školách Slovenskej republiky dosahuje široký rozptyl hodnôt. Závisí od typu podložia, roku výstavby škôlky a je ovplyvnená aj režimom vetrania. Objemová aktivita radónu vo vybraných materských škôlkach bola meraná dlhodobo pomocou stopových detektorov RAMARN (SÚJB, Česká republika) a RSKS (Radosys Ltd., Maďarsko), pre získanie sezónnych variácií. Tieto detektory boli umiestnené v materských školách po dobu 3 mesiacov a boli menené  $4\times$  do roka, aby bol pokrytý celý rok. Informácie o denných variáciách boli získané z krátkodobých meraní trvajúcich približne týždeň pomocou kontinuálnych monitorov AlphaGUARD (Genitron, Nemecko) a Tera systém (Tesla, Česká republika).

Do príspevku sme vybrali 3 materské škôlky, ktoré sa nachádzali v oblasti stredného a vysokého radónového rizika podľa máp zostrojených Geologickým ústavom Dionýza Štúra. Cieľom práce bolo zmapovať všetky triedy a spálne,

kde sa združovali deti a následne vypočítať ročnú efektívnu dávku z inhalácie radónu.

Sezónne variácie vykazovali minimá v jarných mesiacoch (apríl až jún) a maximá v jesenných (október až december) a letných mesiacoch (júl až september). Letné maximá boli pravdepodobne spôsobené uzatvorením materskej školy na dobu jedného mesiaca, keď vetranie priestorov nebolo uskutočňované. Denné variácie radónu vykazovali ranné maximá a popoludňajšie minimá v priebehu pracovných dní, spôsobených vetraním priestorov. Počas víkendov neboli zaznamenané žiadne variácie v sledovaných škôlkach. Počas nich dosahovali objemové aktivity radónu svoje maximá vďaka naakumulovaniu radónu vo vnútorných priestoroch. V rámci prieskumu bola nájdená materská škola, v ktorej objemová aktivita radónu dosahovala hodnotu  $1\,000\text{ Bq/m}^3$ , čo pri výpočte ročnej efektívnej dávky predstavovalo záťaž pre deti na úrovni až  $13,3\text{ mSv}$ .



# Kontinuální monitorování radonu ve vodě – přehled metod a výsledky měření in-situ

Petra Vyletěllová<sup>1,2</sup>, Aleš Froňka<sup>1</sup>

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

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

[petra.vyletelova@suro.cz](mailto:petra.vyletelova@suro.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. Pro porovnání měřících systémů OAR ve vodě byly prove-

deny testy kontinuálních monitorů RAD7 a RM-3 s dvěma typy výměníků – RAD AQUA fungující na principu rozstříkávání vody a membránový výměník umožňující difúzi radonu. Na základě těchto experimentů byla určena rychlost odezvy jednotlivých detekčních systémů po spuštění průtoku vody skrze výměník. Z laboratorních testů vyšel nejlépe detekční systém RAD7 + RAD AQUA, který byl následně vyzkoušen i v terénu při měření termální vody a vodního zdroje na Chebsku.

# Objemová aktivita radónu vo vodách prameňov vybraných lokalít západného Slovenska

Terézia Eckertová, Monika Müllerová, Karol Holý

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

[Terezia.Eckertova@fmph.uniba.sk](mailto:Terezia.Eckertova@fmph.uniba.sk)

Slovensko je krajina s rôznorodým geologickým podložím. Jeho západnú časť tvoria jadrové pohoria, typicky budované komplexom premenených a magmatických hornín. Tieto sa vyznačujú so zvýšenými hodnotami objemových aktivít radónu (OAR). Podzemné vody, ktoré pretekajú cez toto prostredie sa ním obohacujú a následne vyvierajú na povrch v podobe prameňov.

Väčšina vôd z oblasti pohorí na západnom Slovensku nebola doteraz na rádioaktivitu preskúmaná, pričom mnohé z nich sa využívajú aj ako zdroj pitnej vody. Navyše územie je zaujímavé aj prítomnosťou zvýšenej uránovej minera-

lizácie neďaleko obce Kálnica ležiacej v pohorí Považský Inovec.

Z územia pohorí Malé Karpaty, Považský Inovec a Strážovské vrchy boli zozbierané vzorky 174 vôd rôznych prameňov a prírodných studničiek a určila sa ich OAR. Na základe získaných údajov boli následne zostrojené mapy OAR vo vodách pre celú skúmanú oblasť, pričom chýbajúce miesta na mape boli namodelované interpolačnou metódou Radial Basis Function. Podklad zostrojených máp je tvorený mapou geologického podložia, slúžiacou pre porovnanie s typom hornín, na ktorom prameň vyvieria.

# Měření nízkých aktivit objemové aktivity radonu ve vzduchu v rozsahu 0,1–10 Bq/m<sup>3</sup> v SÚRO, v. v. i.

Karel Jílek, Ondrej Pisarčík

Radonová a thoronová laboratoř, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

[karel.jilek@suro.cz](mailto:karel.jilek@suro.cz)

V souvislosti s existencí podzemních a nadzemních laboratoří a výzkumných center, zabývajících se měřením a kontrolou radioaktivity zejména v ovzduší (např. CTBTO) neustále roste poptávka a potřeba zajistit možnost kontinuální monitorování velmi nízkých aktivit i radonu pohybujících se v oblasti i pod 1 Bq/m<sup>3</sup>. S ohledem na typické hodnoty atmosférických objemových aktivit radonu na pevninách, pohybujících se v řádu jednotek a desítek Bq/m<sup>3</sup> je pak tento požadavek oprávněný.

Důvodem většiny těchto požadavků je pak především vývoj technologií a postupů pro snížení nežádoucího pozadí od radonu a jeho krátkodobých produktů přeměny pro používané měřicí systémy a jejich ověření.

V příspěvku bude prezentována nezávislá dvojice spektrometrických a nespektrometrických měřidel, kontinuálních monitorů objemové aktivity radonu ve vzduchu, které byly vyvinuty v SÚRO v. v. i. a které umožňují spolehlivá kontinuální měření radonu ve vzduchu v oblasti 0,1–10 Bq/m<sup>3</sup>.

## Historie radiační ochrany v uranovém hornictví v ČR (ČSSR)

Zdeněk Gregor<sup>1</sup>, Martin Čermák<sup>2</sup>, Jana Mrázková<sup>2</sup>, Rostislav Dudáš<sup>3</sup>, Lenka Thinová<sup>4</sup>

<sup>1</sup> DIAMO s. p., o. z. GEAM, č. p. 86, Dolní Rožínka, 592 51, ČR

<sup>2</sup> DIAMO s. p., o. z. SUL, 28. října 184, Příbram VII, 261 01, ČR

<sup>3</sup> DIAMO s. p., o. z. TÚU, Pod Vinicí 84, Stráž pod Ralskem, 471 27, ČR

<sup>4</sup> DIAMO s. p., ŘSP, Máchova 201, Stráž pod Ralskem, 471 27, ČR

[thinova@diamo.cz](mailto:thinova@diamo.cz)

Od prvních způsobů monitorování radiačních pracovníků v uranovém hornictví po současně platné Metodické doporučení SÚJB uběhlo několik desetiletí. Příspěvek autorů se snaží zmapovat vývoj radiační ochrany v uranovém hornic-

tví, způsoby hodnocení ozáření a stanovení efektivní dávky. Text je doplněn ukázkou používaných přístrojů na výstavě historických měřidel v sále konference.

## Měření objemové aktivity radonu sondami TERA

Ladislav Dušek<sup>1</sup>, Zdeněk Dutka<sup>2</sup>, Aleš Froňka<sup>3</sup>, Jiří Hůlka<sup>3</sup>, Karel Jílek<sup>3</sup>, Martin Simandl<sup>1</sup>, Václav Řeřicha<sup>1</sup>,  
Josef Voltr<sup>3</sup>, Petra Vyletělová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> TESLA, a. s., Poděbradská 186/56, Praha 9, 190 00, ČR

<sup>2</sup> Ing. Zdeněk Dutka, U kombinátu 35, Praha 10, 100 00, ČR

<sup>3</sup> 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 a vyrábí systém pro měření objemové aktivity radonu v objektech, podzemních i otevřených prostorách, přičemž v uzavřených prostorách lze využít i k regulaci. Systém zahrnuje měřicí sondy, centrální jednotku, opakovač a silové spínače. Vlastní sondy mají paměť na uložení naměřených hodnot a také nabízejí několik možností drátové i bezdrátové komunikace. Měření OAR je prováděno na principu kolekce p.p. Rn na povrchu detekčního prvku s následným měřením energetického spektra alfa částic. Ze spekter pak jsou počítány hodnoty OAR, včetně započítání vlivu teploty a vlhkosti.

Vlastnosti sond byly důkladně otestovány (stabilita, vliv vnějších podmínek, rychlost odezvy atd.). Pokračuje také další vývoj. Vlastnosti jako citlivost a dlouhodobá stabilita jsou mírně závislé na použitém filtru na rozhraní měřicího objemu a vnějšího prostředí, což je známá záležitost už od detektorů Radim pracujících na podobném principu. Některé výsledky budou prezentovány. Provedené experimenty ukazují, že sondy představují jednoduché řešení pro kontrolu OAR a případnou regulaci. Vývoj je finančně podpořen MPO v rámci programu TRIO projektem FV30112 „Nová generace sond pro měření radonu“.

# Štúdium správania sa $^{222}\text{Rn}$ a jeho produktov premeny vo vonkajšej atmosfére

Karol Holý, Markus Helej, Monika Müllerová, Martin Bulko, Radoslav Böhm

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

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

Simultánne merania  $^{222}\text{Rn}$  a jeho krátkožijúcich produktov premeny  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  a  $^{214}\text{Po}$  vo vonkajšej atmosfére majú radiohygienický a aplikačný význam. Také dáta poskytujú informácie napr. o rovnovážnom faktore  $F$  v atmosfére, ktorý je dôležité poznať pre výpočet efektívnej dávky od radónu. Na základe metód založených na pomeroch  $^{222}\text{Rn}/^{210}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}$  a  $^{214}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$  je možné určovať dobu zotrvania aerosólov v atmosfére. Navyše radón a jeho krátkožijúce produkty premeny sú vhodné indikátory vertikálnych výmenných procesov v atmosfére.

Pre meranie objemovej aktivity  $^{222}\text{Rn}$  je využívaná veľkoobjemová scintilačná komora a pre meranie jeho produktov

premeny filtračná metóda so Si detektorom, tzv. Tsivoglouva metóda. Vzduch pre analýzy je nasávaný z výšky 1,5 m nad zemským povrchom. Údaje o objemových aktivitách sú zbierané v 2 hodinových intervaloch. Objemová aktivita  $^{222}\text{Rn}$  a krátkožijúcich produktov premeny v atmosfére vykazujú podobné variácie. Rovnovážny faktor  $F$  vykazuje značnú časovú variabilitu a v prípade väčších rýchlostí vetra boli dokonca zistené hodnoty  $F$  väčšie ako 1. Merania ukázali, že rovnovážny faktor  $F$  dosahuje o 50 % vyššie hodnoty v zime ako v lete.

# Vývoj a testovanie zariadenia pre kontinuálne monitorovanie objemovej aktivity radónu vo vodách

Terézia Eckertová, Karol Holý, Monika Müllerová

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

[Terezia.Eckertova@fmph.uniba.sk](mailto:Terezia.Eckertova@fmph.uniba.sk)

Radón ako rádioaktívny inertný plyn je pomerne ľahko detekovateľný v ľubovoľnej zložke životného prostredia. Vo vodách spoľahlivý princíp merania objemovej aktivity radónu (OAR) spočíva v jeho odseparovaní od kvapaliny a v jeho následnom prevedení do pracovného objemu detektora. Pri kontinuálnom sledovaní koncentrácií radónu, kedy sa často krát pracuje s veľkým objemom vody, ktorý sa obmieňa rýchlosťou aj niekoľko litrov za minútu, je treba tento postup zefektívniť a urýchliť. Súčasne je potrebné odizolovať všadeprítomnú vlhkosť od citlivej časti meracej sústavy. Takéto merania sú potom vhodným prostriedkom pre sledovanie sezónnych variácií radónu vo vodách, ako aj k objasneniu a porozumeniu faktorom spôsobujúcim tieto zmeny. Navyše evidencia náhlych zmien v OAR v podzem-

ných vodách môže slúžiť na identifikáciu geodynamických aktivít a predikciu zemetrasení.

V tomto príspevku sú zostrojené a testované dve meracie aparatúry, ktoré umožňujú nepretržitý záznam o koncentrácií radónu vo vodách. Jedna je navrhnutá pre zdroje s veľkou výdatnosťou, druhá pracuje s konštantným objemom vzorky, využívajúc rozličný spôsob uvoľňovania  $^{222}\text{Rn}$  z vody. Prezentované sú prvé laboratórne testy pre kontinuálne meranie OAR vo vode z vodovodnej siete, ako aj namerané variácie OAR v priebehu týždňa.

Tieto meracie aparatúry boli súčasne navrhnuté s cieľom ich možného využitia pre meranie OAR v prírodných studničkách, prameňoch, či vrtoch.

## Testovací zařízení pro nízké hodnoty objemové aktivity radonu

**Josef Vošahlík, Petr Otáhal, Eliška Fialová, Ivo Burian**

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

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

V rámci evropského projektu vzniklo zařízení určené pro testování přístrojů při nízkých hodnotách objemové aktivity radonu. Hodnoty objemové aktivity radonu lze libovolně nastavit v rozsahu od 100 Bq/m<sup>3</sup> do 300 Bq/m<sup>3</sup>. Hlavní částí zařízení je komora LLRCh (Low-Level Radon Chamber) o objemu 324 litrů. K přípravě radonové atmosféry slouží stlačený vzduch a průtočný zdroj radonu typu RF 5

od ČMI OI Praha. Toto zařízení umožňuje udržet konstantní hodnotu objemové aktivity radonu na dané úrovni po dobu několika dní.

Poster byl vypracován na základě výsledků řešení projektu 16ENV10 MetroRADON v rámci EUROPEAN METROLOGY PROGRAMME FOR INNOVATION AND RESEARCH (EMPIR).



# Studie obsahu Po-210 v moči lidí žijících v objektech s vysokými koncentracemi radonu

Petra Valdezová, Zuzana Davidková

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

[zuzana.davidkova@suro.cz](mailto:zuzana.davidkova@suro.cz)

Cílem předkládaného výzkumu je najít možný vliv koncentrace radonu vyšší než 1 000 Bq/m<sup>3</sup> na obytných a pracovních místech na koncentraci <sup>210</sup>Po v moči. Prvním krokem bylo stanovení koncentrace <sup>210</sup>Po ve vzorcích močí těchto lidí. Skupina dvaceti devíti nekuřáků sbírala moč vyloučenou během 24 hodin a byli taktéž požádáni, aby před týdnem a během sběru moči nekonzumovali ryby, mořské plody, játra a ledviny. Tyto faktory ovlivňují příjem <sup>210</sup>Po a tím i jeho vylučování močí, jak bylo popsáno v rešerši Hölgye a Strakové (Radioprotection. 449 (3): 345–353) a v práci zabývající se exkrecí <sup>210</sup>Po a <sup>210</sup>Pb (Radiat. Prot. Dosim. 156,1–6)

Hodnoty aktivity <sup>210</sup>Po nalezené v celodenní moči jsou v rozmezí 3,1–28,8 mBq/den. Aritmetický průměr

je  $7,64 \pm 5,78$  mBq/den a geometrický průměr vyšel 6,4 mBq/den. Na druhé straně, lidé, kteří nebyli vystaveni vysokým koncentracím radonu, měli hodnoty koncentrací v rozsahu 1,4–10,8 mBq/den, což bylo zjištěno Hölgyem (Radiat. Environ. Biophys. 54, 251–255) ve skupině 40 pražských občanů.

Znalost koncentrací aktivity <sup>222</sup>Rn v domácnostech samotných dobrovolníků není dostatečná k určení možného dopadu radonu na vylučování <sup>210</sup>Po v moči. Proto bylo následně z této skupiny vybráno osm dobrovolníků, kteří sbírali moč jednou měsíčně od února až do června. Zjišťovaly se údaje o prostředí, ve kterých žijí nebo pracují a také návyky těchto lidí (ventilace, doba pobytu v obydlích, atd.).

# Využití folie KODAK LR 115 k současnému stanovení hodnoty ekvivalentní objemové aktivity radonu a ekvivalentní objemové aktivity thoronu

Josef Holeček, Petr Otáhal

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

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

SÚJCHBO Kamenná dlouhou řadu let využívá k monitorování pracovišť osobní dozimetr OD-88A. Dozimetr OD-88A byl vyvinut jako osobní dozimetr horníka ke stanovení hodnoty ekvivalentní objemové aktivity radonu pomocí stopového detektoru s citlivou vrstvou tvořenou polymerickým nitrátem celulózy, vedenou pod obchodním názvem KODAK LR 115. Funkce tohoto dozimetru je založena na prosávání vzdušiny přes vláknitý filtr a následné detekce na povrchu filtru zachycených radionuklidů emitujících alfa částice pomocí stopového detektoru. Pro stanovení hodnoty ekvivalentní objemové aktivity radonu je v OD-88A využito detekce Po-214, emitujícího částice o energii 7,8 MeV. Jím emitované částice jsou od ostatních alfa částic emitovaných na povrchu filtru zachycenými radionuklidy odseparovány vhodně zvolenou bariérou, tato bariéra je tvořena mylaro-

vou folií. Podobně je pro stanovení ekvivalentní objemové aktivity thoronu využito detekce Po-212, které emituje alfa částice o energii 8,8 MeV. Tento radionuklid byl pro stanovení hodnoty ekvivalentní objemové aktivity thoronu zvolen právě pro vysokou energii jím emitovaných částic, která umožňuje jeho jednoznačnou identifikaci ve směsi všech produktů přeměny jak Rn-220, tak Rn-222. Volbou vhodné bariéry, tvořené buď tenkou hliníkovou či mylarovou folií, jsou z detekční oblasti stopového detektoru odstraněny všechny ostatní částice. Vysoký energetický rozdíl mezi energiemi částic emitovanými Po-214 a Po-212 vede k možnosti detekovat oba radionuklidy bez vzájemného ovlivnění současně jedním detektorem a tím tak snadno odhadnout současně jak hodnotu ekvivalentní objemové aktivity radonu, tak ekvivalentní objemové aktivity thoronu.

# Hybridní metody analýzy aplikované na rotaci Země a časové řady koncentrací radonu pro detekci anomálií, způsobených seismickými jevy

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

<sup>1</sup> Department of Mathematics and Physics, University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Viale Lincoln 5, Caserta, 81100, Italy

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

<sup>3</sup> Ústav struktury a mechaniky hornin, AV ČR v. v. i., V Holešovičkách 41, Praha 8, 182 09, ČR

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

V poslední době se hybridní metody pro analýzu časových řad dat stále častěji používají, neboť dokáží kombinovat výhody dvou nebo více tradičních individuálních algoritmů. Tyto metody mají vyšší přesnost s absolutní chybou nižší než v případě použití jednotlivých metod odděleně. Pro analýzu časových řad koncentrací radonu, měřenou v 7 evropských jeskyních, v kombinaci s údaji o rotaci Země (pro eliminaci vlivů rotace na pohyby na tektonických struktu-

rách a tím na koncentraci radonu v podzemních prostorách, byly použity kombinace metod EMD+SVR, MLR+ARIMA a SSA+FM). Cílem analýzy bylo vybrat nejlepší metodu, vhodnou pro identifikaci anomálií v časové řadě koncentrací radonu, které se objevují v souvislosti se seismickou aktivitou v zemské kůře. Korelací výsledků analýz se seismickými ději se prokázalo, že metoda EMD+SVR má lepší výsledky, neboť zpracovává méně parametrů a je tedy stabilnější.

# Kontaminace sedimentů Orlovské/Rychvaldské stružky radionuklidy

Lucie Vítková<sup>1</sup>, Petr Jelínek<sup>2</sup>, Lenka Thinová<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Odbor ekologie, o. z. ODRA DIAMO s. p., Siroťčí 1145/7, Ostrava-Vítkovice, 703 00, ČR

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

Vypouštění důlních vod do povrchových vodotečí v oblastech uhelných revírů může zvýšit riziko kontaminace říčních dnových i břehových sedimentů přírodními radionuklidy. Tato práce se zabývá problémem kontaminace břehových sedimentů radionuklidem Ra-226, která je způsobena vypouštěním důlních vod z Vodní jámy Žofie (hornslezská pánev) do povrchových vod místních stružek. Petřvaldská stružka, do které ústí výpusť z Vodní jámy Žofie, se vlévá do Orlovské/Rychvaldské stružky (obsahující vysokou koncentraci síranů, které ovlivňují zachytávání radia v sedimentech). Na základě dříve vypracovaných studií byla vybrána oblast k detailnějšímu proměření zahrnující necelé 2 km podél toku.

Měření  $H^*(10)$  přímo v korytě povrchového toku doplňovala in situ gama spektrometrie na březích v blízkosti toku, odběry vzorků břehových sedimentů podél toku, hloubkové profily půdy a odběry rostlin na místech hloubkových profilů pro stanovení transfer faktoru. V odebraných vzorcích byly metodou polovodičové laboratorní gama spektrometrie stanoveny hmotnostní aktivity vybraných přírodních radionuklidů. Na základě prostudování zájmové lokality a výsledků dosud provedených měření byly vytipovány oblasti, ve kterých budou provedena doplňující měření s cílem vypracovat environmentální studii, umožňující posoudit dopad kontaminace na jedince z obyvatelstva.

# Preparace mikrovzorků kolagenu, dřeva a uhlíku s využitím ABA automatu pro radiouhlíkové datování metodou AMS

Pavel Šimek<sup>1,2</sup>, Natálie Megisová<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> Katedra jaderné chemie, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>3</sup> Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 4, Praha 1, 118 01, ČR

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

Radiouhlíkové datování představuje exaktní datovací metodu a jejím průkopníkem byl kolektiv prof. F.W.Libby v 50. letech 20. století. V rámci uhlíkového koloběhu v přírodě vzniká <sup>14</sup>C relativně stabilní rychlostí v horní části atmosféry působením kosmického záření, a to reakcí <sup>14</sup>N(n,p)<sup>14</sup>C. Radiouhlík je oxidován na <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> a dále asimilován rostlinami a přenášen potravním řetězcem. Pokud došlo k izolaci <sup>14</sup>C z přírodního uhlíkového koloběhu, dochází k poklesu aktivity <sup>14</sup>C následkem radioaktivní přeměny. Vzhledem k poločasu přeměny <sup>14</sup>C ( $T_{1/2} = 5730$  let) činí dosah radiouhlíkové datovací metody přibližně 40 až 50 tisíc let.

Analýza mikrovzorku pro radiouhlíkové datování pomocí Accelerator Mass Spectrometry (AMS) začíná zvolením vhodného postupu zpracování. Obvykle se provádí předúprava, jelikož ve vzorcích jsou obsaženy cizorodé příměsi, které je nutné odstranit. Mobilní chemické formy uhlíku způsobují ovlivnění výsledku datování. Patří mezi ně především huminové a fulvo kyseliny. Dále přítomnost karbonátové formy uhlíku ovlivňuje výsledek datování. Acid-Basic-Acid

(ABA) metoda se zakládá na střídavém loužení v kyselém, neutrálním a alkalickém prostředí. Po předúpravě je vzorek vysušen a s přídavkem CuO je pod vakuem zataven do ampule z křemenného skla a spálen při teplotě 900 °C. Připravený CO<sub>2</sub> je sušen a dávkován ke grafitizaci. Redukci provádíme v uzavřené ampuli pomocí par Zn za katalytického působení Fe při teplotě 580 °C.

Pro předúpravu mikrovzorků pomocí loužení v roztocích jsme v naší laboratoři sestavili automatickou jednotku řízenou počítačem. Šest souběžně zpracovaných vzorků je umístěno do skleněných jednocestných kyvet o objemu 10 ml. Kyvety jsou utěsněny zátkami s kapilárami pro přívod a odvod loužicích roztoků. V závislosti na typu vzorků lze kyvety umístit do termobloku nebo je ponechat volně ve stojanu. V současnosti se doba pro automatizovanou předúpravu pohybuje v rozmezí 17 až 30 hodin, v závislosti na typu vzorků. Zásadním přínosem automatizované aparatury pro naši laboratoř je možnost standardizovaného a nepřetržitého střídavého loužení vzorků bez časových omezení.

# Přístrojové vybavení pro stanovení distribuce uranu a dalších prvků ve vzorcích metodou rentgenové fluorescenční analýzy

Tomáš Trojek<sup>1</sup>, Radek Prokeš<sup>1</sup>, Petr Mikysek<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup> Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, Praha 6, 165 00, ČR

<sup>3</sup> Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, Brno, 611 37, ČR

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

Mnohé radionuklidy jsou dobře identifikovatelné na základě detekce a spektrometrie ionizujícího záření produkovaného při radioaktivních přeměnách. Alternativou by mohly být analytické metody založené na měření výskytu daných atomů ve zkoumaném vzorku, které by teoreticky měly být vhodné především pro radionuklidy s dlouhým poločasem přeměny, neboť u těchto radionuklidů připadá na jednotkovou aktivitu relativně velká hmotnost (počet atomů) samotné radioaktivní látky. Typickým příkladem mohou být právě přírodní radionuklidy. Jednou z užívaných analytických metod je i rentgenová fluorescenční analýza založená na buzení charakteristického rentgenového záření v povrchových oblastech vzorku. Tato analýza může být prove-

dena nedestruktivně bez odběru vzorku a základní informace o složení jsou k dispozici téměř okamžitě po zahájení měření. Principiálně tato analytická metoda umožňuje stanovit zastoupení pouze prvků, avšak při známém či očekávaném izotopickém složení, lze koncentrace prvků přepočítat na aktivity jednotlivých radionuklidů. V tomto příspěvku jsou shrnuty vlastnosti aparatur sestavených a užívaných pro měření nejrůznějších materiálů na FJFI ČVUT v Praze. Hlavní pozornost je zde věnována detekci uranu a stanovení jeho rozložení ve zkoumaném objektu. Kromě běžné bodové analýzy je zde představeno i 2D skenování, mikroanalýza pomocí rentgenové optiky nebo také měření hloubkové distribuce pomocí konfokální rentgenové fluorescenční analýzy.

## Tvorba map PPDE příbramských uranových hald a okolí

Daniel Bednář<sup>1</sup>, Miroslav Jurda<sup>2</sup>, Ladislav Němeček<sup>1</sup>, Petr Otáhal<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

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

V okolí Příbrami se nachází okolo 25 hald vzniklých ve spojení se získáváním uranu, který se zde těžil mezi roky 1948 a 1991. Některé z hald je už téměř nemožné dohledat, jejich materiál byl buď odvezen a zpracován (halda šachty č. 16 a 22), nebo došlo k jejich částečné rekultivaci a v okolní krajině jsou téměř neznatelné (halda šachty č. 1 a 18). Jiné ale v krajině tvoří dominantní nepřírozené kopcovité útvary, které při cestě do Příbrami zaujmou už z dálky. Haldy jsou environmentální zátěží pro své okolí, ať už se jedná o šíření prachu, který může obsahovat radioaktivní složky, či vyplavování radioaktivních izotopů, z haldového materiálu srážkami. Tyto haldy, i když z velké části tvořeny hlusinou, neustále přitahují pozornost sběratelů minerálů a hledačů vzácných kovů. Haldy také mnohdy slouží jako nelegální skládka různých druhů odpadů. Dne 1. 5. 2018

byly na jedné z hald nalezeny předměty několikanásobně převyšující pozadí záření gama na haldách obvyklé. Tento nález byl také jedním z podnětů k podrobnějšímu měření a tvorbě map rozložení PPDE na haldách. Pro měření byl použit přístroj GT-40 vybavený scintilačním detektorem NaI(Tl) o objemu 345 cm<sup>3</sup> a dron s podvěsem D230A také vybavený scintilačním detektorem NaI(Tl) o objemu 2 × 10<sup>4</sup> cm<sup>3</sup>. Pomocí přístroje GT-40 byly vytvořeny mapy pochůzkových měření okolo paty hald a na jejich vrcholcích. Protože se jedná o haldy sypané, jsou jejich stěny mnohdy neschůdné, a proto na nich nebylo pochůzkové měření možné, z tohoto důvodu bylo při měření využito dronu. V příspěvku budou představeny vybrané lokality, na kterých byla provedena měření PPDE a některé z nálezů umělých a přírodních zářičů z Příbramských uranových hald.

# Údržba kotlů spalujících uhlí s tepelným výkonem nad 5 MW – nový typ pracoviště NORM – pilotní studie

Kateřina Navrátilová Rovenská, Aleš Froňka, Jan Hradecký, Petra Vyletělová, Petr Rulík, Petra Valdezová

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

[katerina.rovenska@suro.cz](mailto:katerina.rovenska@suro.cz)

Směrnice 2013/59/Euratom, kterou implementuje atomový zákon 263/2016 Sb., ve znění pozdějších předpisů, a jeho prováděcí vyhláška 422/2016 Sb., rozšířila seznam pracovišť s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu o údržbu kotlů spalujících uhlí s tepelným výkonem nad 5 MW. Se stanovením osobních dávek při činnostech souvisejících s údržbou kotlů nebyly doposud v ČR žádné zkušenosti. Pilotní studie byla rozdělena na experimentální

a teoretickou část. V rámci experimentální části byly provedeny odběry a měření na vybraných odstavených kotlích. V rámci teoretické části byla provedena literární rešerše v oblasti distribuce přírodních radionuklidů při spalování uhlí a výsledky stanovení osobních dávek při údržbě kotlů. Poster shrnuje doposud dosažené výsledky z obou etap studie.



# Verifikácia stanovenia hmotnostnej aktivity uhlíka C-14 v tuhých matriciach

Dušan Galanda, Jana Slimáková, Adriana Lacenová

Katedra jadrovej chémie, Universita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, Bratislava, 842 15, SR

[galanda@fns.uniba.sk](mailto:galanda@fns.uniba.sk)

Izotop uhlíka C-14 predstavuje o.i. významný kontaminant životného prostredia výskyt ktorého súvisí s prevádzkou jadrovo-energetických zariadení.

Vzhľadom na fakt, že uhlík je významným biogénnym prvkom, predstavuje prítomnosť C-14 v jednotlivých častiach potravinového reťazca významné riziko a s tým súvisiacu nevy-

hnutnosť jeho monitorovania v rôznych zložkách životného prostredia.

Prezentovaná práca sa zaoberá verifikáciou metódy stanovenia C-14 v tuhých vzorkách metódou termického rozkladu a následnou spektrometrickou analýzou na LSC.

Na verifikáciu metódy stanovenia C-14 sme aplikovali referenčný materiál dodávaný IAEA s označením IAEA-C3.

# Sanácia kontaminovaných vôd pomocou bioremediácie mikroriasami *Chlorella vulgaris* a *Scenedesmus obliquus*

Dominika Tatarová, Dušan Galanda, Jozef Kuruc

Katedra jadrovej chémie, Universita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, Bratislava, 842 15, SR

[tatarova10@uniba.sk](mailto:tatarova10@uniba.sk)

Rádionuklidy, ktoré sa dostali do životného prostredia skúškami jadrových zbraní, z jadrových havárií alebo inou ľudskou činnosťou predstavujú ekologickú záťaž pre životné prostredie. Mnohé sanačné techniky sú technicky a finančne veľmi náročné a často krát nie úplne priaznivé pre životné prostredie. Vhodnou alternatívou je bioremediácia, ktorá využíva metabolickú činnosť organizmov na degradáciu alebo elimináciu kontaminantov z prostredia.

V našich experimentoch sme sa zamerali na bioremediáciu pomocou sladkovodných zelených mikrorias *Chlorella vulgaris* a *Scenedesmus obliquus*. Priebeh bioremediácie sa sledoval na modelových roztokoch obsahujúcich  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{60}\text{Co}$ . Dôležitý parameter bolo určenie optimálneho pH prostredia a následné sledovanie poklesu aktivity rádionuklidov v čase. Koncentrácia biomasy bola stanovená pomocou Bürkerovej komôrky paralelne s UV-VIS spektrometrickou metódou.

## Depth of contamination of Cs-137 in concrete structures

Martin Listjak<sup>1,2</sup>, Jakub Dolniak<sup>1</sup>, Dušan Ondriš<sup>1</sup>, Vladimír Nečas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oddelenie osobnej dozimetrie a dozimetrie životného prostredia, VUJE, a. s., Okružná 5, Trnava, 918 64, SR

<sup>2</sup> Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

[martin.listjak@vuje.sk](mailto:martin.listjak@vuje.sk)

There is number of nuclear installations under decommissioning project. During the operation some leakages may occur especially for facilities where an accident occurred in past. For such facilities is typical that long period passed from shut down, typically several tens years. The most of radionuclides originated from operation of nuclear power plants have short half live and cannot be detected after such long time. In this case only few radionuclides are possible to detect. For example A1 nuclear power plant (NPP) in Jaslovské Bohunice (Slovakia) is more than 40 years after end of operation and only <sup>137</sup>Cs may be detected by gamma spectroscopy.

Contamination of the surface may results from leakages during the operation or from maintenance works and therefore may result in large amount of radioactive waste. It desirable to minimize waste as much as possible and maximize amount of materials to be free released into the environment. For this purposes it is important to know contamination

depth of concerned radionuclides. Radionuclide concentration depth profile may be determined by sampling, which is costly, time consuming and are not representative for all sampled area. Another option to estimate depth of contamination is by using of in-situ measurement, which is very rapid, more representative method but larger uncertainties may be an issue.

There are numerous papers on estimation of radionuclides concentration depth profile. As most sensitive methods for small relaxation depth seems to be peak to valley (P/V) and multiple photopeak (P/P) methods. According to the literature, P/V is the most sensitive method, but interference with surrounding radiation may by a huge problem. Verification of in-situ measurements by sampling is usually required by authorities. Comparison of those approaches is provided in the paper. Finally, variability of relaxation length is examined and discussed at the end of the paper.

## Stanovenie profilu aktivity Cs-137 vo vzorkách betónových jadier

Jakub Dolniak<sup>1</sup>, Martin Lištjak<sup>1</sup>, Alojz Slaninka<sup>1</sup>, Vladimír Nečas<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, Slovenská Republika

[Jakub.Dolniak@vuje.sk](mailto:Jakub.Dolniak@vuje.sk)

V rámci vyradovania stavebných objektov JZ je potrebné určovať hĺbku kontaminácie pre výber spôsobu a nástrojov dekontaminácie. Štandardná metóda je gamaspektrometrická analýza odrezkov vrtných jadier, ktorá je práčna a zdĺhavá. Z toho vyplýva potreba nových (rýchlejších) metód pre operatívnejšie získanie odhadu hĺbky kontaminácie.

Posudzované boli nasledovné metódy, ktorých výsledky boli porovnávané s výsledkami získanými štandardnou metódou: metóda odhadu hĺbky kontaminácie pomocou metódy pomeru dvoch pík (Peak to Peak) toho istého rádionuklidu, ktorá je založená na rozdielnom zoslabení gama žiarenia v závislosti od jeho energie a tým aj rozdielnej detekčnej účinnosti pre tieto energie a metóda využívajúca pomer meraní jadrového vrtu z dvoch strán.

# Metodika uvoľňovacieho monitorovania veľkorozmerných kovových komponentov z vyradovania JE A1

Alojz Slaninka, Martin Lištjak, Štefan Ševečka

Oddelenie osobnej dozimetrie a dozimetrie životného prostredia, VUJE, a. s., Okružná 5, Trnava, 918 64, SR

[alozj.slaninka@vuje.sk](mailto:alozj.slaninka@vuje.sk)

Cieľom uvoľňovania materiálov spod administratívnej kontroly do ŽP je minimalizácia tvorby RAO a prípadná recyklácia a opätovné využitie materiálov. V rámci procesu uvoľňovania materiálov je kontrolovaná plošná aktivita povrchovej rádioaktívnej kontaminácie (okrem sypkých materiálov) a následne hmotnostná aktivita. Povrchová kontaminácia je monitorovaná pomocou ručných prenosných meradiel. Hmotnostná aktivita je monitorovaná na štandardných monitorovacích pracoviskách pomocou určených meradiel v súlade s postupmi schválenými rozhodnutím Úradu verejného zdravotníctva SR. Tieto monitory používajú ako meracie nádoby 200 L MEVA sudy alebo 600 L kontajnery.

V prípade monitorovania veľkorozmerných kovových komponentov s hmotnosťami na úrovni desiatok ton, akými sú napr. zavážacie stroje, je potrebné tieto fragmentovať na rozmery umožňujúce ich vloženie do štandardných meracích nádob. Proces fragmentácie je pomerne nákladný a časovo náročný.

Preto bola vyvinutá metodika uvoľňovacieho monitorovania, založená na in situ meraniach pomocou prenosných

meradiel v kombinácii so systematickým odberom vzoriek a ich laboratórnymi analýzami. Metodika definuje požiadavky na merané veličiny, metódy a postupy merania, techniku a hustotu vzorkovania ako aj postupy rozhodovania a interpretácie dosiahnutých výsledkov meraní. Navrhnutá metodika spĺňa všetky legislatívne požiadavky kladené na proces uvoľňovania podľa zákona č. 87/2018 Z.z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov a bola schválená rozhodnutím Úradu verejného zdravotníctva SR.

Hlavným prínosom navrhutej metodiky uvoľňovania je, že veľkorozmerné kovové komponenty nie je potrebné fragmentovať na tak malé časti, ako pri štandardných monitorovacích zariadeniach, ale na fragmenty (s hmotnosťou na úrovni ton), s ktorými je možné bezpečne manipulovať. Vykonaná bezpečnostná analýza ukázala, že takýto spôsob uvoľňovania je výhodnejší nielen z pohľadu času a nákladov, ale aj z pohľadu ALARA.

Navrhnutá metodika ako aj prvotné skúsenosti s jej uplatnením budú podrobnejšie diskutované v príspevku.

# Pretavovanie kontaminovaných kovových materiálov a uvoľňovania ingotov do ŽP

Andrej Slimák, Alojz Slaninka, Martin Lištjak

Oddelenie osobnej dozimetrie a dozimetrie životného prostredia, VUJE, a. s., Okružná 5, Trnava, 918 64, SR

[andrej.slimak@vuje.sk](mailto:andrej.slimak@vuje.sk)

S narastajúcim počtom jadrových elektrární blížiacich sa ku koncu svojej prevádzkovej životnosti narastajú čoraz viac nároky na nakladanie s materiálmi vzniknutými počas ich demontáže. Vyradovanie jadrových elektrární vedie k vzniku veľkého množstva materiálov s relatívne nízkou aktivitou ako sú kovy a betónová sutina. Hodnotným materiálom sú najmä kovy, ktoré je ekonomicky výhodné dekontaminovať a opätovne využiť. Na dekontamináciu kovov je využívaných množstvo technológií, pričom ako jedna z vhodných sa javí technológia pretavovania. Cieľom pretavovania je dekontaminácia kontaminovaného kovového šrotu a jeho následne uvoľnenie do ŽP vo forme kovových ingotov.

V Slovenskej republike v súčasnosti prebieha druhá etapa vyradovania JE V1 a tretia a štvrtá etapa vyradovania JE A1, ktorých cieľom je okrem iného aj demontáž technologických zariadení primárneho okruhu a ich pomocných zariadení. Počas týchto činností bude vznikáť značné množstvo kontaminovaného kovového odpadu, ktoré bude veľmi náročné, až nemožné dekontaminovať pod uvoľňova-

ciu úroveň súčasne využívanými technológiami. Za uváženia súčasného nakladania s kovovými rádioaktívnymi odpadmi (RAO) (bez ich pretavenia) by muselo byť značné množstvo zhodnotiteľných materiálov spracovaných ako RAO, čo by viedlo k rýchlejšiemu zaplňaniu kapacít Republikového úložiska RAO v Mochovciach. Cieľom pretavovania kontaminovaných kovových materiálov je zníženie celkovej produkcie RAO a zvýšenie podielu kovov uvoľnitelných do životného prostredia (ŽP) a tým v konečnom dôsledku aj ekonomické zefektívnenie procesu nakladania s kovovými materiálmi vzniknutých počas vyradovania jadrových zariadení z prevádzky.

Prezentácia sa zaoberá pretavovaním kontaminovaných kovových materiálov vzniknutých z vyradovania jadrových elektrární v podmienkach Slovenskej republiky a stručne popisuje pretavovacie zariadenie, ktoré je v súčasnosti v procese realizácie v Jaslovských Bohuniciach. Hlavným cieľom prezentácie je popis navrhovanej metodiky uvoľňovania ingotov do ŽP pričom sú dodržané všetky legislatívne požiadavky.

# Monitory rádioaktívnych odpadov

Renáta Tóthová, Miloš Ursíny

VF, a. s., Svitavská 588, Černá Hora, 679 21, ČR

[renata.tothova@vf.sk](mailto:renata.tothova@vf.sk)

Takmer pri každej ľudskej činnosti vznikajú odpady. V týchto dňoch je tvorba, resp. minimalizácia tvorby odpadov dôležitou celosvetovou témou. Vzniká množstvo odpadov rôzneho typu a stupňa nebezpečnosti. Vzhľadom na to, že v dnešnej dobe sa zdroje ionizujúceho žiarenia používajú v rôznych oblastiach ľudskej činnosti, zákonite vzniká aj určité množstvo rádioaktívnych odpadov, ktorých vplyv vstupuje do radiačnej ochrany na danom pracovisku. Pod radiačnou ochranou sa rozumie systém technických a organizačných opatrení, ktorých úlohou je obmedziť, ideálne minimalizovať ožiarenie resp. možnosť ožiarenia ľudí ionizujúcim žiarením.

Podľa zákona Národnej rady Slovenskej republiky č. 87/2018 o radiačnej ochrane je fyzická alebo právnická osoba, ktorá vykonáva činnosti, pri ktorých môže vzniknúť rádioaktívny odpad, povinná zabezpečiť, aby jeho množstvo a aktivita boli udržiavané, na čo najnižšej úrovni. Uvedený zákon tiež určuje uvoľňovacie úrovne pre uvoľňovanie rádioaktívnych odpadov do životného prostredia, resp. nutnosť ich skladovania alebo ďalšieho spracovania. Z toho vyplýva, že dôležitou súčasťou spracovávania rádioaktívnych odpadov je ich rozdelenie na jednotlivé typy, rozdelenie podľa aktivity

a druhu rádionuklidov a v neposlednom rade vyradenie tej časti odpadu, ktorá nie je rádioaktívna, resp. jej aktivita umožňuje uvoľniť ju do životného prostredia.

Na túto činnosť je možné použiť rôzne zariadenia a prístroje. Jedným z typov sú monitory pre uvoľňovanie materiálov do životného prostredia, tzv. free release monitory. Princípy týchto monitorov sú podobné – v odtienenom prostredí je zameraná aktivita materiálu. Monitory sa líšia najmä rozmermi, podľa toho pre aké množstvo a aký typ materiálu sú určené. Ďalej sa napríklad líšia energetickým a meracím rozsahom, minimálnou detekovateľnou aktivitou, spôsobom spracovania výsledkov a podobne.

Cieľom príspevku bude stručne popísať problematiku rádioaktívnych odpadov a bližšie popísať jeden konkrétny typ free release monitora používaného v praxi – jeho konštrukciu, spôsob merania a vyhodnocovania výsledkov, ktoré má vplyv na triedenie odpadu na odpad, ktorý je možné uvoľniť, odpad, ktorý je vhodný na ďalšie spracovanie alebo odpad, ktorý je nutné skladovať alebo špeciálne skladovať, vzhľadom na jeho aktivitu. Vyhodnocovanie výsledkov bude popísané vzhľadom na požiadavky použité v praxi a požiadavky aktuálnej legislatívy Slovenskej republiky.

# Výpočty dávkových polí pri viacvrstvových tieneniach metódami point-kernel a Monte Carlo a ich overenie experimentálnym meraním

Dávid Bednár<sup>1,2</sup>, Martin Lištjak<sup>2</sup>, Andrej Slimák<sup>2</sup>, Vladimír Nečas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

<sup>2</sup> Oddelenie osobnej dozimetrie a dozimetrie životného prostredia, VUJE, a. s., Okružná 5, Trnava, 918 64, SR

[david.bednar@vuje.sk](mailto:david.bednar@vuje.sk)

Výpočty dávkových polí sú mnohokrát nevyhnutnou súčasťou ocenenia radiačnej záťaže pracovníkov v rôznych fázach procesu vyradovania jadrových zariadení. Môže ísť o plánovanie prác v zmysle princípu ALARA, zhodnotenie účinnosti tienenia rádioaktívneho materiálu, posúdenie radiačnej záťaže pri manipulácii s rádioaktívnym materiálom (RAO), pri obsluhovaní zariadení na spracovanie RAO a pod. Pri týchto udalostiach sa často vyskytujú viacvrstvové tienenia z rôznych materiálov, najčastejšie železo, olovo alebo betón, za účelom zvýšenia efektívnosti tienenia. Na výpočet veličín posudzujúcich radiačnú situáciu sa používajú buď

stochastické, alebo deterministické výpočtové prostriedky. V tomto príspevku je prostredníctvom zvolených geometrií s rôznou konfiguráciou doskových tienení posudzovaná radiačná situácia za tienením. Výpočty boli realizované pomocou deterministického prostriedku Visiplan, stochastického prostriedku MCNP a pre zvolené geometrie bol vykonaný experiment s dvomi rôznymi meracími zariadeniami. Cieľom práce je porovnať a zhodnotiť výsledky dosiahnuté meraniami a výpočtami, analyzovať spôsoby výpočtu jednotlivých výpočtových kódov a pojednať o odchýlkach vo výsledkoch.



# Štúdium vplyvu pH a doby kontaktu na adsorpciu $^{99m}\text{Tc}$ , $^{85}\text{Sr}$ a $^{60}\text{Co}$ z vodných roztokov na neaktivovaný a aktivovaný uhlík

Andrea Hamárová, Oľga Rosskopfová

Katedra jadrovej chémie, Universita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, Bratislava, 842 15, SR

[hamarova17@uniba.sk](mailto:hamarova17@uniba.sk)

Antropogénne rádionuklidy predstavujú vysoké nebezpečenstvo pre životné prostredie. Ide o rádionuklidy a ťažké kovy, ktoré vznikali pri testovaní jadrových zbraní, ale aj pri prevádzke jadrových zariadení či aplikáciách v nukleárnej medicíne. Patria sem napríklad  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  či  $^{85}\text{Sr}$  a pod. Medzi vhodné materiály, ktoré sú schopné adsorbovať rádionuklidy a ťažké kovy, patria aj adsorbenty pripravené na báze uhlíka. Študoval sa vplyv pH a doby kontaktu na adsorpciu  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{60}\text{Co}$  a  $^{85}\text{Sr}$  na neaktivovaný (CN) a aktivovaný (CA) uhlík, ktorý bol pripravený pyrolýzou odpadového kaučuku používaného v automobilovom priemysle. Pri všetkých skúmaných rádionuklidoch bola doba kontaktu ustálená po 10 minútach a tento čas bol rovnaký pre CN aj CA. Percentá sorpcie sa pre CN pohybovali od 0 % po 39,8 %. Pre CA bolo percento sorpcie v rozsahu 62,4 % až 99,1 %. Hodnoty pH pred a po adsorpcii sa pohybovali v rozmedzí 5,5–6,5. Taktiež sa skúmal vplyv pH na adsorpciu vybraných rádionuklidov na CN a CA. pH destilovanej vody bolo upravené pomocou 0,1 mol/dm<sup>3</sup> HCl resp.

0,1 mol/dm<sup>3</sup> NaOH na hodnoty 1, 2, 3, 4, 6, 8 a 10. Pri štúdiu vplyvu pH na adsorpciu rádionuklidov na CN bolo zistené, že adsorpcia  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{60}\text{Co}$  z vodných roztokov bola veľmi nízka a percento sorpcie sa pohybovalo v rozmedzí od 0 % do 18,9 %. V prípade adsorpcie  $^{99m}\text{TcO}_4^-$  na neaktivovaný uhlík platilo, že R % so stúpajúcim pH klesalo. R % bolo v rozmedzí od 70,0 % do 0 %. V prípade aktivovaného uhlíka bolo zistené, že percento sorpcie pri rádionuklidoch  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{60}\text{Co}$  stúpalo so stúpajúcimi hodnotami pH. Percento sorpcie sa pohybovalo v rozmedzí 85–97 % pri hodnotách pH 3–10. Pri nižšom pH boli hodnoty R % nízke, a to 1,3–31,0 %. Percento sorpcie bolo pri adsorpcii  $^{99m}\text{TcO}_4^-$  aniónov na aktivovaný uhlík vyššie ako 98,0 % v celom rozsahu hodnôt pH. Hodnoty pH sa merali pred a po adsorpcii rádionuklidov a možno konštatovať, že aktivovaný uhlík vykazoval tlmivé vlastnosti pri pH vyššom ako 3. Tlmivé vlastnosti neaktivovaného uhlíka sa prejavovali minimálne. Chyba merania bola menej ako 5 %.

# Zhodnotenie vplyvu neistôt v rámci modelu referenčnej biosféry na dlhodobú bezpečnosť hlbinného úložiska

Dorota Flamíková<sup>1</sup>, Dana Barátová<sup>2</sup>, Vladimír Nečas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

<sup>2</sup> Národný jadrový fond, Mierová 19, Bratislava, 821 05, SR

[dorota.flamikova@stuba.sk](mailto:dorota.flamikova@stuba.sk)

Bezpečné nakladanie s vysoko aktívnym odpadom a vyhoretým jadrovým palivom predstavuje jednu z najdôležitejších úloh, ktorým čelí jadrový sektor. Dlhodobú bezpečnosť a efektívne zabezpečenie funkcie izolácie týchto typov odpadov od životného prostredia podľa celosvetového konsenzu ponúkajú hlbinné úložiská. Keďže tieto majú poskytovať ochranu obyvateľstva a životného prostredia pred nežiadúcim rádiologickým vplyvom počas veľmi dlhého časového obdobia, musí byť ešte pred ich uvedením do prevádzky vypracovaná komplexná štúdia hodnotenia dlhodobej bezpečnosti, ktorej súčasťou je aj vytvorenie modelu referenčnej biosféry. Za účelom hodnotenia dlhodobej bezpečnosti hlbinného úložiska pre vyhoreté jadrové palivo bol vytvorený prvotný model referenčnej biosféry s uvažovaním scenára poľnohospodárskej usadlosti (normálny

evolučný scenár). Predpokladá sa, že jedinec z kritickej skupiny obyvateľov konzumuje dopestované kontaminované plodiny a produkty zvieracieho chovu. Tento model zahŕňa rôzne komponenty biosféry a viaceré expozičné cesty (inhálacia, ingescia, externé ožiarenie). Model referenčnej biosféry bol vytvorený pomocou simulačného prostriedku GoldSim. Z dôvodu zohľadnenia neistôt a neurčitostí uvažovaného scenára bola vykonaná pravdepodobnostná analýza s použitím metódy Monte Carlo, ktorá je v použitom simulačnom prostriedku GoldSim priamo implementovaná. Cieľom analýzy bolo zhodnotiť vplyv vybraných neistôt na dlhodobú bezpečnosť hlbinného úložiska. Analýza bola zameraná predovšetkým na parametre, ktoré majú významný vplyv na efektívnu dávku jednotlivca z kritickej skupiny obyvateľov.

# Vplyv veľkosti defektu v plášti úložného kontajnera pre vyhorené jadrové palivo na únik rádionuklidov z hlbinného úložiska

**Branislav Stríbrnský, Vladimír Nečas**

Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Slovenská technická univerzita v Bratislave Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

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

V zmysle medzinárodných zmlúv a odporúčaní je v súčasnosti jedinou možnosťou trvalého zneškodnenia vyhoreného jadrového paliva (VJP) a vysokoaktívnych odpadov ich uloženie v hlbinnom úložisku (HÚ). Za účelom preverenia bezpečnostných funkcií hlbinného úložiska je nevyhnutné vykonať hodnotenie jeho bezpečnosti. V prípade hodnotenia bezpečnosti HÚ pre VJP sa mnoho prác zaoberá prípadom, kedy po uplynutí životnosti úložného kontajnera zlyhá celý jeho plášť. Jedná sa o veľmi konzervatívny predpoklad, pretože možno očakávať, že po uplynutí životnosti kontajnera vznikne v jeho plášti defekt (defekty) lokálneho charakteru, a teda že únik rádionuklidov z úložného kontajnera bude menší. S použitím výpočtového programu GoldSim bola vykonaná analýza, aký vplyv má veľkosť počiatočného defektu v plášti úložného kontajnera na únik rádionuklidov z kontajnera do geosféry a ďalej do biosféry. Výpočty boli vykonané v kontexte vybraných fyzikálnych a chemických vlastností uloženého paliva, úložného systému a okolitého

materiálového prostredia (difúzne koeficienty, limity rozpustnosti, distribučné koeficienty, degradačné rýchlosti). Výsledky boli zosumarizované a následne tiež prepočítané na ročné efektívne dávky pre referenčnú osobu z kritickej skupiny obyvateľstva. Vo výpočtoch bol uvažovaný koncept ukladania podľa českého Referenčného projektu hlbinného úložiska s úložným kontajnerom 7PK VVER 440 v hypotetickej lokalite v granitických horninách. Z výsledkov vyplýva, že hoci je vplyv veľkosti defektu na únik niektorých rádionuklidov z úložného kontajnera významný (na úrovni jednotiek až desiatok %), vplyv na ročnú efektívnu dávku pre referenčnú osobu z kritickej skupiny obyvateľstva je zanedbateľný, čo je spôsobené minimálnym vplyvom veľkosti defektu na únik bezpečnostne relevantných rádionuklidov. Je však nutné poznamenať, že viaceré vstupné parametre vykonaných výpočtov budú pre prípad reálneho úložiska odlišné a preto treba venovať tejto problematike dostatočnú pozornosť.

## Stanovenie a separácia $^{79}\text{Se}$ v rádioaktívnych odpadoch

**Bianka Horváthová, Silvia Dulanská, Ľubomír Mátel, Boris Remenec**

Katedra jadrovej chémie, Universita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, Bratislava, 842 15, SR

[horvathov108@uniba.sk](mailto:horvathov108@uniba.sk)

Pre separáciu  $^{79}\text{Se}$  vo vzorkách rádioaktívnych odpadov bola použitá optimalizovaná metóda destilácie. Významné interferujúce rádionuklidy  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{60}\text{Co}$  boli pred separáciou odstránené pomocou spoluzrážania. Na odstránenie  $^{60}\text{Co}$  sa použila metóda spoluzrážania s  $\text{NH}_4\text{OH}$  pri pH 8 a na odstránenie  $^{137}\text{Cs}$  sa využila vysoká selektivita fosfomolybdénanu amónneho  $(\text{NH}_4)_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ . Spoluzrážaním sa odstránilo až  $\sim(85\text{--}90)\%$   $^{137}\text{Cs}$  a  $\sim(90\text{--}92)\%$   $^{60}\text{Co}$ . Destilácia prebiehala v prostredí  $50\text{ cm}^3$   $6,5\text{ mol} \cdot \text{dm}^3$   $\text{HCl}$  a  $14\text{ cm}^3$   $18,31\text{ mol} \cdot \text{dm}^3$   $\text{HBr}$ . Selén sa vyžrážal z roztoku

pomocou  $2\text{ cm}^3$   $15\%$   $\text{TiCl}_3$  a  $2\text{ g}$  of  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ , pričom sa výtázky stanovili gravimetricky a pohybovali sa v rozmedzí  $(72\text{--}88)\%$ . Aktivity  $^{79}\text{Se}$  sa stanovili pomocou kvapalinovej scintilačnej spektrometrie na Tri Carb 3100 TR v energetickom okne  $(0\text{--}80)\text{ keV}$  a všetky aktivity boli menšie ako je hodnota minimálnej detegovateľnej aktivity (MDA). Najnižšia hodnota MDA bola  $0,003\text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Daná metóda separácie  $^{79}\text{Se}$  môže byť použitá pre deklarovanie aktivity  $^{79}\text{Se}$  v rádioaktívnych odpadoch pred ich uložením.

## Dozimetrická a spektrometrická charakterizace neznámého obsahu kontejnerů

Petra Krejčová, David Zoul, Petr Švrčula

Materiálové a mechanické vlastnosti, Centrum výzkumu Řež, s. r. o., Hlavní 130, Husinec, Řež, 250 68, ČR

[petra.krejцова@cvrez.cz](mailto:petra.krejцова@cvrez.cz)

Cílem prezentované práce je dozimetrická a spektrometrická charakterizace neznámého, potenciálně vysoce aktivního obsahu kontejnerů ze 70. let minulého století. Tato činnost byla prováděna v nově vybudovaných horkých komorách

v Centru výzkumu Řež v rámci projektu SUSEN (udržitelná energetika). Výsledná spektra poslouží k určení radionuklidového složení včetně aktivit jednotlivých radionuklidů pro předání materiálů SÚRAO k trvalému uložení.

# Stanovení objemové aktivity Ra-226 ve vodě z dlouhodobého pohledu legální metrologie

Tomáš Soukup

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

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

Rádium je významný potenciální zdroj ozáření osob z přírodních radionuklidů, hlavně vzhledem k emisi alfa částic a výskytu dalších nuklidů s emisí alfa v řetězci radioaktivních přeměn. Z hlediska radiační ochrany je zapotřebí sledovat obsah rádia v pitné vodě (někdy i v odpadní vodě). Vyhláška č. 307/2002 Sb. uváděla pro pitnou vodu mezní hodnoty izotopů rádia. Jako  $^{226}\text{Ra}$  jsou udávány výsledky stanovení rádia kvůli potížím při určení skutečného nuklidového složení a také vzhledem k obvyklému obsahu v přírodních zdrojích. V důsledku významu pro zdraví (případně ochranu životního prostředí), viz zákon 505/1990 Sb., §3, byla měřidla objemové aktivity rádia ve vodě zařazena jako stanovená měřidla a periodicky ověřována. Z roků 1997 až 2017 vznikl

rozsáhlý soubor dat z provedených metrologických zkoušek v 26 laboratořích. Postup zkoušky odpovídá zadání úkolu, kontrolu metrologických vlastností měřidla pro stanovování objemové aktivity „dodávané vody“, zahrnuje tedy i operace s odebranými vzorky. Některé výsledky statistického zpracování těchto dat jsou uvedeny v přednášce.

Nejdůležitější závěry z porovnání těchto dat: výsledky ověřování měřidel ve všech laboratořích jsou vyhovující, a oba obvyklé postupy měření (měření dceřiného  $^{222}\text{Rn}$  a měření emise alfa po chemické separaci) jsou srovnatelné. Metodika ověřování je vyhovující a tato stanovená měřidla budou i nadále ověřována stejným postupem.

## Revízia primárneho etalónu kermu vo vzduchu s implementáciou ICRU Report 90

Norman Durný

Oddelenie ionizujúceho žiarenia, Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, 842 55, SR

[durny@smu.gov.sk](mailto:durny@smu.gov.sk)

Národný etalón žiarenia gama – NE028/02, pozostávajúci z primárnej časti tvorenej valcovou dutinovou grafitovou ionizačnou komorou a sekundárnych častí tvorených zostavou sekundárnych ionizačných komôr, referenčných radiačných zväzkov a ostatných zariadení, prešiel od svojho budovania a vyhlásenia viacerými zmenami. Okrem zmien v zostave zariadení NE028/02 boli na primárnej ionizačnej komore OMH ND1005/A vykonané zmeny v stanovení stenového korekčného faktora  $k_{wall}$  pomocou MC simulácií v kóde MCNPX, zmena v stanovení jej aktívneho objemu a zmeny niekoľkých korekčných faktorov  $\Pi k_i$ .

Správnosť vykonaných zmien bola potvrdená úspešnými kľúčovými medzinárodnými porovnávacími meraniami pre kermu vo vzduchu  $^{60}\text{Co}$  BIPM.RI(I)-K1 a  $^{137}\text{Cs}$  BIPM.RI(I)-

K5 medzi SMU a BIPM v roku 2017, so zázpismi v KCDB databáze BIPM.

V roku 2016 vydala medzinárodná komisia pre radiačné jednotky a meranie ICRU Report č. 90 ktorý obsahuje redefinované kľúčové dáta pre dozimetrické etalóny a aplikácie. Prijatie tohto dokumentu, odsúhlasené poradným výborom BIPM pre ionizujúce žiarenie CCRI(I) od 1. 1. 2018, prináša v závislosti od kvality žiarenia zmeny jednotky Gray až 0,7% pre kermu vo vzduchu a absorbovanú dávku vo vode.

Zmeny vyplývajúce z ICRU Report 90 boli implementované na primárnu časť NE028/02 a sú implementované na dozimetrické etalóny a meradlá nižších rádov vo všetkých oblastiach dozimetrie.

## 3D gama tomografie radioaktivních metalurgických a geologických vzorků

David Zoul<sup>1</sup>, Pavel Zháňal<sup>1</sup>, Milan Zuna<sup>2</sup>, Ladislav Viererbl<sup>1</sup>, Antonín Kolros<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> Chemie palivového cyklu, ÚJV Řež, a. s., Husinec-Řež č. 130, Řež, 250 68, ČR

[david.zoul@cvrez.cz](mailto:david.zoul@cvrez.cz)

V Centru výzkumu Řež byl zkonstruován jedinečný 3D tomografický přístroj umožňující trojrozměrný pohled do vnitřku malých radioaktivních vzorků o průměru až několika desítek milimetrů. Rozlišení lepší, než jeden kubický milimetr, dovoluje detekovat strukturální nehomogenity, jako jsou dutiny, praskliny nebo oblasti s různým chemickým složením.

Skener s označením SPE-CT byl úspěšně vyzkoušen na několika vzorcích složených z drobného (3 mm) radio-nuklidového zdroje umístěného excentricky v homogenních ocelových pouzdrech. Pro detekci jemných prasklin uvnitř malých vzorků bylo provedeno ultrajemné skenování vzorku,

jež odhalilo přesné umístění a orientaci tenké trhliny uměle vytvořené uvnitř vzorku.

Přístroj byl rovněž testován stran možnosti analýzy vzorků hornin z difúzních cel, kde se sleduje především průběh aktivity podél osy vzorku, aby se stanovila propustnost vzorku vůči vodě. Na 3D skeneru byl geologický vzorek vyhodnocen po difúzním experimentu, kdy je vzorek na několik měsíců umístěn mezi dvěma zásobníky s vhodným roztokem. Vstupní zásobník obsahuje radioaktivní stopovač (<sup>134</sup>Cs), výstupní zásobník je neaktivní. Na výsledném 3D skenu byl rovněž byl patrný vliv nehomogenit uvnitř vzorku.



# Využití alfa/beta diskriminačního obvodu k detekci tepelných neutronů

Jiří Janda, Lucie Fišerová

Ústav ochrany proti zbraním hromadného ničení Univerzity obrany, Kasárna Dědice V. Nejedlého, Vyškov, 682 01, ČR

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

Práce je zaměřena na možné použití  $\alpha$ - $\beta$ / $\gamma$  diskriminačního obvodu a směsi scintilačního prášku s Li-6 pro účinnou detekci tepelných neutronů. Na základě získaných výsledků se zdá, že sulfid zinečnatý aktivovaný stříbrem je nejslibnějším scintilátorem pro detekci tepelných neutronů kvůli

největšímu rozdílu ve velikosti pulsů vytvořených alfa/gama zářením. Dále byl zkoumán vliv optického nosiče PMMA nebo dodatečné stínící matrice vytvořené polystyrenovým plastovým scintilátorem na signál při různých typech záření.

## Rekonštrukcia národného etalónu neutrónov NE 016/98

Pavol Blahušiak

Oddelenie ionizujúceho žiarenia, Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, 842 55, SR

[blahusiak@smu.gov.sk](mailto:blahusiak@smu.gov.sk)

V období rokov 2017 až 2018 prebieha na SMÚ rekonštrukcia a recalibrácia národného etalónu neutrónov NE 016/98. Dôvodom rekonštrukcie boli zlý technický stav zariadenia, nevyhovujúce bezpečnostné podmienky používania a značná zastaranosť niektorých súčastí etalónu, ktorá nevyhovovala súčasným metrologickým požiadavkám.

Technickú rekonštrukciu etalónu zabezpečila podľa požiadaviek SMÚ spoločnosť VF Žilina. Jednalo sa hlavne o obnovu automatického systému exponovania neutrónových žiaričov v pracovnej polohe neutrónového ožarovača z miestnosti operátora. V upravenom zásobníku ožarovača sa nachádza niekoľko zdrojov neutrónov,  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{241}\text{AmBe}$  a  $^{239}\text{PuBe}$ . Neutrónové žiarenie pochádzajúce zo zásobníka neutrónov je tienené polyetylénovými tehľami – „neutrónstop-om“. Zásobník so žiaričmi je uložený v pôvodnom betónovom lôžku.

Po sfunkčnení etalónu nasledovalo jeho opätovné nabitie žiaričmi a niekoľko kontrolných, resp. kalibračných meraní

vykonaných pomocou Bonnerového sférického spektrometra s proporcionálnym  $^3\text{He}$  detektorom, s neutrónovou sondou Berthold LB 6411, prípadne s osobnými neutrónovými dozimetrami.

Vzhľadom na požadovanú polohovú stabilitu ožarovača počas expozície neutrónových žiaričov v priebehu ich vyťahovania bol použitý dutý duralový stĺp. Stĺp nezanedbateľne zvyšuje spätný rozptyl neutrónov so zdroja k detektoru a teda dochádza k skreslovaniu nameranej odozvy detektora. Tento problém riešime pomocou simulačného MCNP kódu, pomocou ktorého sa snažíme nasimulovať vplyv stĺpu na odozvu detektora. Momentálne prebieha obnova činností etalónu a v novembri 2018 sa aktívne zapojíme do medzinárodného porovnania: „CCRI(III)-S1: Supplementary Comparison for the Calibration of Ambient Dose Equivalent (Rate) Meters in ISO Neutron Reference Fields“.

## Detekce okamžitého záření gama v okolí výzkumného reaktoru LVR-15

Ladislav Viererbl, Vít Klupák, Antonín Kolros, Hana Assmann Vratislavská, Zdena Lahodová

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

[vie@cvrez.cz](mailto:vie@cvrez.cz)

Štěpný jaderný reaktor generuje během provozu v aktivní zóně značné množství neutronů. V ustáleném stavu zhruba 40 % těchto neutronů je pohlceno palivem k zajištění udržení řetězové reakce. Další část neutronů zanikne interakcemi s moderátorem, biologickým stíněním a dalším okolním konstrukčním materiálem. Většina těchto reakcí spojených se zánikem volného neutronu je typu  $(n, \gamma)$ , kdy neutron je pohlcen atomovým jádrem a je emitován jeden nebo více fotonů okamžitého záření gama (prompt gamma radiation). Toto záření lze dobře detekovat i v okolí reaktoru, především v oblasti energií 3 MeV až 10 MeV, kde běžné přírodní i umělé radionuklidové zdroje fotony těchto energií neemitují.

Výzkumný reaktor LVR-15 v Řeži má nominální tepelný výkon 10 MW a využívá se především jako zdroj neutronů pro vědecké a komerční aplikace. Jedním ze sledovaných aspektů je radiační situace v okolí reaktoru. Zde bylo pro-

vedeno měření amplitudových spekter impulzů s pomocí dvou typů scintilačních detektorů – NaI(Tl) (rozměry  $\phi 40 \times 50$  mm) a plastický scintilátor ( $\phi 76 \times 76$  mm). K detekci světelných impulzů byl použit fotonásobič a mnohokanálový amplitudový analyzátor. Měření byla provedena v místech oddělených od haly reaktoru minimálně jednou stěnou, kde nebylo z hlediska radiační ochrany kontrolované ani sledované pásmo.

Spektrum bylo měřeno v širokém rozsahu energií 30 keV až 1 000 MeV. Měření byla provedena jak při odstaveném reaktoru LVR-15, tak za jeho provozu. Podle očekávání se během provozu reaktoru výrazně zvýšila četnost impulzů v oblasti energií 3 MeV až 8 MeV, převážně v důsledku detekce okamžitého záření gama. Jsou uvedena naměřená spektra a odhad dávkových příkonů souvisejících s touto složkou záření.

# Katalog rentgenových spekter měřených polovodičovým CdTe detektorem

Dana Kurková, Libor Judas

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

[dana.kurkova@suro.cz](mailto:dana.kurkova@suro.cz)

V letech 2012–2018 byla v Kalibrační laboratoři SÚRO s pomocí CdTe polovodičového detektoru změřena řada rentgenových spekter různých kvalit rentgenového záření, například svazky typu N, svazky typu RQR, mamografické svazky. Spektra byla měřena v režimu nízkého toku fotonů, který jsme docílili snížením anodového proudu na rentgenové lampě a použitím kolimátorů. Spektra byla dále korigována na detekční účinnost, únikové jevy, Comptonův rozptyl a v některých případech také neúplný sběr kladného náboje pomocí analyticky vypočtené matice odezvy. Ze spekter byl vytvořen katalog rentgenových spekter ve formě textového dokumentu obsahující grafické zobrazení spekter a tabulky s charakteristickými daty odvozenými ze spekter a dostupnými daty z literatury umožňující porovnání. Dále jsou k dispozici data jednotlivých spekter v textovém

formátu a datová struktura vytvořená v prostředí Matlab obsahující v jednom souboru data jednotlivých spekter a hodnoty koeficientu homogenity, střední energie a první polotloušťky, které je možné zobrazit v grafickém okně zobrazeného spektra spolu s jeho názvem. Katalog navazuje na katalog spekter vytvořený v Ústavu hygieny a epidemiologie v roce 1991 dostupný v tištěné formě. Podobné katalogy změřených spekter jsou dostupné v literatuře relativně vzácně vzhledem k obtížnosti měření spekter způsobené zejména vysokými fotonovými toky zdrojů rentgenového záření a nemožností nastavení nízkých fotonových toků u těchto zdrojů.

Projekt byl řešen za podpory Ministerstva vnitra ČR v rámci programu MV-163433-4/OBVV-2016.

## Online monitor kontaminace vody NuEM DWMS

**Lukáš Skála, Tomáš Grísa, Lucie Fišerová**

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

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

NuEM DWMS je autonomní monitorovací systém kontaminace vody vyrobený pro rychlou a přesnou indikaci kontaminace beta a gama radionuklidy v pitné vodě. Systém je zabudován do robustní nerezové ocelové skříně a sestává se ze dvou nezávisle pracujících detektorů beta a gama záření, přípojných trubek, detektoru úniku vody a nádoby z nerezavějící oceli s Marineliho nádobou. Elektronické vybavení, zapojení, signalizační světla a vestavěný počítač jsou zabudovány do samostatné skříňky ve vrchní části panelu. LCD displej na čelním panelu zobrazuje naměřená data v reálném čase a aktuální stav detektorů. Voda je do systému vedena systémem potrubí přes přívodní ventil umístěný

ve spodní části Marineliho nádoby a je průběžně měřena oběma sondami. Toto uspořádání umožňuje fixní měření záření v geometrii Marineliho nádoby. Data ze stanice jsou automaticky přenášena do monitorovacího střediska přes Ethernet nebo GPRS. Monitorovací středisko je vybaveno SW NuSOFT RAMON pro centrální vyhodnocení a zobrazení možné radioaktivní kontaminace vodou pomocí dat z lokální sítě monitorovací stanice vody. Systém je určen pro monitorování a včasné upozornění na zvýšenou přítomnost radioaktivních látek v pitné vodě, popř. na dalších místech, kde je monitorování vody nutné.

# Primárna etalonáž aktivity rádionuklidov systémom TDCRG v podmienkach Slovenského metrologického ústavu

Matej Krivošík<sup>1,2</sup>, Tomasz Ziemek<sup>3</sup>, Ryszard Broda<sup>3</sup>, Jarmila Ometáková<sup>1</sup>, Andrej Javorník<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, 842 55, SR

<sup>2</sup> Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Námestie Slobody 1, Bratislava, 812 31, SR

<sup>3</sup> NCBJ RC POLATOM, ul. Andrzeja Soltana 05-400, Otwock-Swierk, Polsko

[krivosik@smu.gov.sk](mailto:krivosik@smu.gov.sk)

Slovenský metrologický ústav ako národná metrologická inštitúcia v Slovenskej republike v roku 2017 započal spoluprácu s RC POLATOM Poľsko pri budovaní primárneho etalónu v rámci projektu Agentúry na podporu výskumu a vývoja (APVV) s názvom Vývoj národného etalónu Rn-222 a zabezpečenie etalonáže Rn-222 na Slovensku, ktorý bol schválený pod označením APVV-15-0017. Jedným z cieľov projektu je vybudovanie primárneho etalónu aktivity rádionuklidov založenom na princípe kvapalinovej scintilačnej analýzy v spojení s modelom merania na báze TDCR-G („triple-to-double coincidence ratio with gamma channel“) t. j. počítanie pomeru dvojných a trojných koincidencií. Aplikáciou matematického modelu, na ktorom je metóda TDCR založená, je tak možné stanoviť detekčnú účinnosť pre daný rádionuklid, a tým aj jeho aktivitu. Metóda TDCR bola vyvinutá pre priame stanovenie absolútnych aktivít rádionuklidov podliehajúcich beta ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$  a EC) príp. alfa pre-

mene v kvapalnom scintilačnom kokteile. Systém vychádza z koncepcie zariadenia, ktoré bolo navrhnuté a vyvinuté na základe spolupráce medzi RC POLATOM (PL) a LNE-LNHB (FR). Systém momentálne umožňuje využívať dve metódy stanovenia aktivity rádionuklidov, ktoré sú Medzinárodným úradom pre váhy a miery (BIPM) uznané ako primárne metódy stanovenia aktivity rádionuklidov, a to TDCR a  $4\pi\beta(LS)\gamma$  koincidenčné meranie. Vďaka využitiu FPGA programovateľného poľa systém umožňuje zároveň aplikovať metódu analýzy koincidencií, tzv. „pulse mixing method“. Boli stanovené základné charakteristiky systému a na ich základe boli realizované merania vybraných rádionuklidov (H-3, Cs-134). Výsledky boli porovnané s hodnotami, ktoré boli namerané v RC POLATOM na ich etablovanom TDCRG systéme a vykazujú dobrú zhodu. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0017.

# Autonomní multirobotický systém pro lokalizaci zdrojů ionizujícího záření

Petr Gábrlík<sup>1</sup>, Tomáš Lázna<sup>1</sup>, Petr Sládek<sup>2</sup>, Luděk Žalud<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav automatizace a měřicí techniky, FEKT VUT v Brně, Technická 3082/12, Brno, 616 00, ČR

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

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

Príspevek se věnuje kooperaci dronu a pozemního robotu při lokalizaci zdrojů ionizujícího záření. Úkolem dronu je získat podrobnou a aktuální 3D mapu oblasti zájmu a dále vytipovat lokality, kde by se mohly nacházet zdroje ionizujícího záření (IZ). Pozemní robot Orpheus-X4 má poté za úkol získat detailní mapu distribuce IZ v těchto lokalitách a umožnit výpočet parametrů přítomných zářičů. Celý systém byl demonstrován pomocí komplexního experimentu, který simuloval odcizení radioaktivního materiálu teroristy, kteří byli při jeho převozu zastaveni silovými složkami. Při zásahu však došlo k úniku radioaktivního materiálu, přičemž cílem bylo jej pomocí námi vyvíjeného robotického systému ATEROS (Autonomně-teleprezenční robotický systém) dohledat bez nutnosti do nebezpečné oblasti vyslat osoby. Pro experiment byla zvolena plocha o velikosti asi 2 ha, ve které byly do dvou podoblastí rozmístěny zdroje IZ. Jednalo se o radionuklidy Co-60 a Cs-137 o aktivitách v rozmezí od 3 do 124 MBq.

Při prvním letu nesl dron vybavení pro leteckou fotogrammetrii. Ze získaných dat byl sestaven 3D model terénu a na jeho základě byla vypočítána trajektorie pro druhý

let, během kterého byl dron vybaven detektorem IZ. Model umožnil při tomto letu kopírovat terén a držet nad ním přibližně konstantní výšku, což je pro detekci IZ výhodou. Po průletu byla data z detektoru interpolována do mapy, ze které bylo metodou adaptivního prahování vyfiltrováno radiační pozadí. Výsledkem byly dvě horké skvrny, které byly následně aproximovány pomocí polygonů. Dalším krokem bylo zohlednění mapy překážek, která byla vytvořena z modelu terénu na základě maximálního povoleného sklonu. V rámci takto upravených polygonů s vnitřními neprůjezdnými oblastmi jsou rozplánovány trajektorie pro jejich úplné pokrytí pomocí algoritmu Boustrophedon. Pro navigaci robotu z výchozí pozice a mezi oblastmi byl využit algoritmus A\*.

Experiment proběhl úspěšně. Ve srovnání s předchozí prací našeho týmu se podařilo dosáhnout stavu, kdy jednotlivé autonomní kroky řetězce na sebe plynule navazují a celý systém se tak postupně stává autonomním. Do budoucna plánujeme vybavit pozemní robot Orpheus systémem pro vyhýbání se dynamickým překážkám.

# Lokalizace zdrojů ionizujícího záření pomocí autonomního robotického systému

Tomáš Lázna<sup>1</sup>, Luděk Žalud<sup>1</sup>, Jaroslav Kares<sup>2</sup>, Ota Fišera<sup>2</sup>, Michal Tomek<sup>2</sup>, Pavel Čuda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav automatizace a měřicí techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Technická 3082/12, Brno, 616 00, ČR

<sup>2</sup> Skupina speciální dozimetrie, Vojenský výzkumný ústav, s. p., Veslařská 230, Brno, 637 00, ČR

[kares@vvubrno.cz](mailto:kares@vvubrno.cz)

Príspevek se věnuje vývoji kompaktní inteligentní detekční hlavy (IDH) ionizujícího záření s nejméně jedním stupněm volnosti, implementovatelnou na robotickou, mobilní i stacionární platformu. Systém se skládá ze dvou scintilačních detektorů typu NaI(Tl). Jeden z těchto detektorů je kolimovaný a umožňuje směrově citlivé měření. Druhý detektor slouží pro výpočet dávkového příkonu a poskytuje dostatečnou citlivost. Pro činnost IDH byly vyvinuty metody pro zpracování a vyhodnocení signálů z detektorů a IDH byla integrována na robotickou platformu vybavenou speciálně vyvinutými algoritmy pro autonomní činnost robotu v závislosti na naměřených radiačních datech a módu činnosti. V řídicím systému robotu byly implementovány tři režimy činnosti s využitím IDH. První režim sloužil jako reference, jedná se o klasický přístup k lokalizaci zdrojů IZ monitorováním oblasti zájmu po rovnoběžných liniích. Ve druhém režimu bylo cílem zrychlit vyhledání bodových

zdrojů díky využití kolimovaného detektoru. Pro robot byl vyvinut nový řídicí algoritmus, který v případě indikace zvýšené intenzity IZ všesměrovým detektorem upraví trasu robotu na základě směrového měření. Ve třetím, inspekčním, režimu operátor ručně definuje trajektorii a body, ve kterých má být provedeno směrové měření. Robot poté měření podél této trajektorie autonomně opakuje a indikuje případné změny v rozložení dávkového příkonu. Všechny plánované režimy provozu IDH a robotu byly úspěšně experimentálně ověřeny. V režimu rychlého vyhledávání zdroje IZ se povedlo snížit čas nutný k lokalizaci zdrojů IZ přibližně na polovinu vůči režimu mapování oblasti po rovnoběžných trajektoriích, přičemž přesnost lokalizace zůstala řádově stejná. V režimu inspekce bylo dosaženo požadované funkcionality a indikace (ne)přítomnosti zdrojů fungovala při experimentech spolehlivě.



## Výběr vhodného odběrového nástroje pro vzorkování kontaminovaných zemín

Michal Setnička, René Marek, Tomáš Kroupa, Alena Čtvrtečková

Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství HZS ČR – Institut ochrany obyvatelstva, Na Lužci 204, Lázně Bohdaneč, 533 41, ČR

[michal.setnicka@ioolb.izscr.cz](mailto:michal.setnicka@ioolb.izscr.cz)

Pět chemických laboratoří Hasičského záchranného sboru České republiky (CHL HZS ČR) je nedílnou součástí Radiační monitorovací sítě (RMS) zřizované SÚJB. Plní zde funkci mobilních skupin (MS), které provádějí monitorování dávek, dávkových příkonů a aktivit radionuklidů v terénu a odběry vzorků všech složek životního prostředí. Pro plnění těchto úkolů jsou patřičně materiálně vybaveny a disponují i kvalifikovaným personálem.

Tento příspěvek zahrnuje výsledky jednoho z výzkumných úkolů řešených HZS ČR v rámci bezpečnostního výzkumu. Zabývá se výběrem vhodného vzorkovacího nástroje a správného metodického postupu pro vzorkování kontaminovaných vzorků zeminy, např. po havárii v jaderné elektrárně spojené s únikem radioaktivity mimo jaderné zařízení.

Důraz byl přitom kladen na jednoduchost pracovního postupu a hlavně také na reprodukovatelnost odběrů a z nich získaných výsledků, které slouží jako podklad pro rozhodování krizového štábu a ostatních zodpovědných orgánů státní správy. Rozsah kontaminace zemín, především radionuklidy s dlouhým poločasem přeměny, je také důležitý

ukazatel pro odhad možných dávek obdržených obyvatelstvem při pobytu v kontaminovaném prostoru, nebo při využití těchto ploch pro produkci potravin.

Celkově bylo odebráno, za pomoci různých vzorkovacích nástrojů, více než 100 vzorků z různých typů půd. Na základě výsledků statistického zpracování získaných dat byl vybrán jako nejvhodnější nástroj – kořenový vrták. Tento byl pak na základě uživatelských zkušeností částečně upraven, čímž došlo k dalšímu zvýšení reprodukovatelnosti odběrů s relativní chybou odběru na úrovni 7,5 %.

Na základě získaných výsledků je kořenový vrták možné doporučit jako nejvhodnější odběrové zařízení pro reprodukovatelné odběry vzorků zemín. Vedle vysoké hodnoty reprodukovatelnosti mezi hlavní výhody kořenového vrtáku patří: přesně definovaná plocha a hloubka odběru, jednoduchá manipulovatelnost, možnost provádět odběry podle horizontu, jednoduché vyjmutí (vytlačení) vzorku z odběrového nástroje bez nutnosti kontaktu s potenciálně kontaminovaným vzorkem.

## Referenční plocha pro in-situ gama-spektrometrii

Tomáš Kroupa, René Marek, Michal Setnička, Alena Čtvrtečková

MV – GRH HZS ČR – Institut ochrany obyvatelstva, Na Lužci 204, Lázně Bohdaneč, 533 41, ČR

[tomas.kroupa@ioolb.izscr.cz](mailto:tomas.kroupa@ioolb.izscr.cz)

Chemické Laboratoře HZS ČR jsou součástí Radiální monitorovací sítě (RMS) zřizované SÚJB a podílí se na monitorování radiační situace v České Republice. K tomuto účelu mají k dispozici množství vybavení a přístrojů. Jedním z nich je spektrometr FALCON 5000N. Ten je vybaven elektricky chlazeným polovodičovým detektorem, umožňujícím velice přesné měření spekter gama záření a to jak v laboratorních podmínkách, tak i při měření v terénu. Právě měření v terénu může hrát zásadní roli při monitorování radiační situace při mimořádných událostech spojených s depozicí radioaktivních látek na větším zasaženém území. Typickým příkladem může být spad po nehodě v jaderné elektrárně. Tato data pak mohou být významným ukazatelem pro odhady možných dávek získaných buď pobytem v kontaminovaném prostoru, nebo při využití těchto ploch pro produkci potravin a jejich následnou konzumaci.

Pro ověření správnosti nastavení všech parametrů (např. účinnostní kalibrace), je nutné pravidelně měřit standardní vzorek o známém složení a známé aktivitě. Toto je možné

jednoduše v laboratoři, ale v terénních podmínkách to tak snadné není. Vytvořit plochu kontaminovanou daným množstvím je sice možné, ale nepraktické.

Proto jsme začali hledat vhodné referenční plochy, které by obsahovaly vyšší množství homogenně rozptýleného  $^{137}\text{Cs}$  po vypadnutí radioaktivního mraku přecházejícím přes naše území po nehodě v jaderné elektrárně Černobyl. Takovéto plochy by šli úspěšně použít jako referenční plochy pro kalibrování spektrometrů pro měření in-situ měření gama záření. Jako nejvhodnější kandidáty jsme vybrali několik malých letišť v Pardubickém a Královohradeckém kraji. Tato letiště byla vybrána záměrně jako plochy, které jsou dlouhodobě neobdělávány.

V rámci tohoto hledání jsme uskutečnili sérii terénních měření spektrometrem FALCON 5000N. Jako nejvhodnější se zdá být letiště Chocẽň, kde se nám podařilo během prvních pokusů zjistit relativně homogenní rozložení  $^{137}\text{Cs}$  s plošnou aktivitou  $2,37 \pm 0,41 \text{ kBq/m}^2$ .

## Vývoj sekundárneho etalónu $^{222}\text{Rn}$ vo vzduchu – predbežné výsledky

Matej Krivošík<sup>1,2</sup>, Pavol Blahušiak<sup>1</sup>, Jarmila Ometáková<sup>1</sup>, Andrej Javorník<sup>1,2</sup>, Michaela Zálešáková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddelenie Ionizujúceho Žiarenia, Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, 842 55, SR

<sup>2</sup> Strojnícka Fakulta, Slovenská Technická Univerzita, Námestie slobody 17, Bratislava 1, 81231, Slovenská Republika

[blahusiak@smu.gov.sk](mailto:blahusiak@smu.gov.sk)

Od roku 2016 sa Slovenský metrologický ústav venuje riešeniu projektu s názvom „Vývoj národného etalónu  $^{222}\text{Rn}$  a zabezpečenie etalonáže  $^{222}\text{Rn}$  na Slovensku“.

Časťou tohto projektu bol aj vývoj a tvorba sekundárneho etalónu – radónovej komory, ktorá pozostáva z niekoľkých súčastí. Základ sekundárneho etalónu tvorí nerezová radónová komora navrhnutá a zostavená na SMÚ. Na meranie radónu v komore sa používajú Lucasové komory a kontinuálny monitor radónu AlphaGUARD. Vývoj radónovej komory spočíval v návrhu a realizácii nerezovej tlakovej nádoby s objemom  $1\text{ m}^3$ , zabezpečení tesnosti komory ako aj v návrhu a realizácii systému pTH na sledovanie termodynamických parametrov plynu (teplota, tlak, vlhkosť), pozostávajúceho z hardvérovej a softvérovej časti. Merací systém radónu s možnosťou nadväznosti na primárny eta-

lón bude slúžiť na prenos jednotky Becquerel  $^{222}\text{Rn}$  vo vzduchu do praxe.

Na vytvorenie radónovej atmosféry vo vnútri komory je používaný prietokový rádionuklidový zdroj RF 100 obsahujúci soľ  $^{226}\text{Ra}$  s aktivitou 118 kBq.

Počas vývoja radónovej komory prebehlo stanovenie jej základných technických parametrov, ako sú presné stanovenie objemu nádoby a plochy vnútorných stien radónovej komory a definovanie parametrov homogénnej radónovej atmosféry. V súčasnosti prebieha kalibrácia kontinuálneho monitora radónu AlphaGUARD a Lucasových komôr. Následne počítame s uvedením sekundárneho etalónu do štandardnej prevádzky.

Táto práca je podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0017.

## Autorizované metrologické středisko SÚJCHBO, v. v. i.

Eliška Fialová, Josef Vošahlík, Ivo Burian, Petr Otáhal

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

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

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i. provozuje Autorizované metrologické středisko, které pro Českou republiku zajišťuje metrologickou návaznost měřidel na měření objemové aktivity radonu (OAR) a ekvivalentní objemové aktivity radonu (EOAR). AMS je autorizováno ÚNMZ, akreditováno ČIA dle standardu ČSN EN/IEC 17025:2005 a certifikováno Lloyd's dle standardů ČSN EN ISO 9001 (systém managementu kvality), ČSN EN ISO 14001 (systém environmentálního managementu) a ČSN OHSAS 18001 (systém managementu bezpečnosti).

AMS zajišťuje ověřování měřidel okamžitých hodnot OAR a EOAR; měřidel pracujících v krokovém, nebo intervalovém režimu; kontinuálních, či pseudokontinuálních měřidel; měřidel měřících krátkodobý, či dlouhodobý průměr OAR a krátkodobý průměr EOAR.

AMS se pravidelně zúčastňuje metrologického navázání na zahraniční organizace (v minulosti NRPB Chilton, či PTB Braunschweig, v současné době BfS Berlín). Odchylna AMS od BfS Berlín činila při posledním navázání v roce

2017  $-4\%$  (scintilační komory NY + analyzátor NP-420L),  $-2\%$  (scintilační komory NY + analyzátor FASA) a  $-1\%$  (AlphaGuard).

SÚJCHBO, v. v. i. provozuje vedle AMS také Kalibrační laboratoř akreditovanou ČIA, v rámci které již úzce spolupracoval s předními zahraničními organizacemi (např. PTB Braunschweig, BfS Berlín, NIRS Chiba, NRPB Chilton, VNIIFTRI Mendelejevo Moscow, Universiteit Gent Belgium, NPL Teddington, SMÚ Bratislava a další). V rámci KL se SÚJCHBO v. v. i. zúčastnilo řady mezinárodních porovnávacích měření a projektů (např. Badgastein – Rakousko 1991; Příbram – Česká republika 1997; US mine and EPA laboratory 1998; projekt EUROMET 2006; v současnosti projekt MetroRADON).

Činnost AMS je součástí snahy o udržení a zlepšení kvality radiační ochrany v ČR (zejména v oblasti snižování OAR v interiérech, jehož průměr je mnohem vyšší, než celosvětový průměr). V rámci těchto aktivit SÚJCHBO úzce spolupracuje se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

# Ověření MCNP modelu manganové lázně pro kalibraci radionuklidových zdrojů neutronů

Jan Rataj, Tomáš Bílý, Ondřej Novák

Katedra jaderných reaktorů, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Manganová lázeň je standardní a ověřená metoda využívaná ke stanovení emise neutronů z radionuklidových zdrojů. Na pracovišti reaktoru VR-1 slouží k ověřování emise neutronů radionuklidových zdrojů typu  $^{241}\text{Am}$ –Be a  $^{252}\text{Cf}$ , které jsou používány v jejích laboratořích především pro praktickou výuku a výzkumnou činnost.

Manganová lázeň je tvořena kulovou nádobou vyrobenou z plexiskla, která je vyplněna vodným roztokem  $\text{MnSO}_4$  o celkovém objemu 168,3 l. Radionuklidové zdroje jsou do středu lázně zaváděny pomocí suchého plexisklového kanálu. Poloha kanálu v lázni je nastavitelná, tak aby neutronový zdroj byl umístěn vždy v jejím středu, a to nezávisle na jeho velikosti. Aktivita lázně je stanovena z odebraného aktivovaného vzorku roztoku pomocí gama-spektrometrického systému s HPGe detektorem. Emise neutronů z radionuklidového zdroje je určena jako podíl saturované aktivity  $^{56}\text{Mn}$  v lázni a účinnosti lázně. Účinnost lázně je dána jejími rozměry, použitými konstrukčními

materiály, složením a koncentrací vodného roztoku  $\text{MnSO}_4$  a vlastnostmi neutronového zdroje (energetické spektrum a konstrukční materiály). Účinnost lázně tedy popisuje skutečnost, že ne všechny neutrony emitované zdrojem umístěným v lázni jsou zachyceny jádru  $^{55}\text{Mn}$ .

Účinnost lázně byla stanovena na základě výpočtů s pomocí 3-D transportního statistického kódu MCNP. Byl vytvořen MCNP model lázně, který detailně popisuje všechny její komponenty včetně neutronových zdrojů. Ověření MCNP modelu bylo provedeno pro tři dostupné radionuklidové zdroje: dva zdroje typu  $^{241}\text{Am}$ –Be (emisivita  $2 \times 10^5$ , resp.  $1 \times 10^7 \text{ n} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a jeden zdroj typu  $^{252}\text{Cf}$  (emisivita  $6 \times 10^7 \text{ n} \cdot \text{s}^{-1}$ ), a to na základě dvou experimentálně stanovených veličin: účinnosti lázně a reakční rychlosti pro záchyt neutronů na jádrech  $^{55}\text{Mn}$  v lázni. V rámci výpočetních analýz byl zhodnocen i vliv použitých knihoven účinných průřezů.

# Stanovení spektrální fluence neutronů ze zdroje typu Pu-Be

Zdeněk Vykydal, Jan Rusňák

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

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

Součástí normy ISO 8529 jsou referenční energetická spektra v praxi nejrozšířenějších radionuklidových neutronových zdrojů typu  $^{252}\text{Cf}$  a  $^{241}\text{Am-Be}$  stejně jako příslušné koeficienty pro výpočet dávkového ekvivalentu. V portfoliu neutronových zdrojů ČMI jsou, mimo výše uvedené, také zdroje typu  $^{241}\text{Am-F}$ ,  $^{241}\text{Am-B}$  a Pu-Be. Zdroje typu  $^{241}\text{Am-F}$  a  $^{241}\text{Am-B}$ , kvůli nízkému výtěžku, poskytují pouze nízké emise neutronů a pro rutinní kalibrace nejsou vhodné. Oproti tomu zdroje typu Pu-Be jsou v mnoha laboratořích stále používány ke kalibračním měřidel. Stanovení spektrální

fluence neutronů u tohoto typu zdroje je složitější, protože obvykle není známo izotopické složení radioaktivní směsi plutonia a jeho dceřiných produktů a také díky způsobu výroby, kdy se mechanicky mísí radioaktivní složka s práškovým beryliem. Oba body přitom mají vliv na výtěžek neutronů, tvar spektra a efektivní poločas přeměny. Tento příspěvek popisuje postup stanovení spektrální fluence neutronů z Pu-Be zdroje ČMI pomocí Bonnerova spektrometru v kombinaci s měřeními emise neutronů v manganové lázni.

# Projekt „Metrologie pro mobilní detekci ionizujícího záření po jaderném nebo radiologickém incidentu“

Petr Kovář, Jan Rusňák, Jiří Šuráň

oddělení primární metrologie veličin ionizujícího záření, Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

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

Cílem evropského výzkumného projektu "Metrology for mobile detection of ionising radiation following a nuclear or radiological incident" je vytvoření efektivních mobilních prostředků pro monitorování ionizujícího záření v reálném čase, které by v případě jaderných či radiologických incidentů poskytly rychlá a spolehlivá data potřebná pro klíčová rozhodnutí pracovníků radiační bezpečnosti a záchranných složek. Projekt byl zahájen v roce 2017 a potrvá do roku 2020 a je rozdělen do 4 dílčích celků.

První část je zaměřena na vývoj bezpilotního leteckého prostředku schopného provádět identifikaci radionuklidů a měření dávkového ekvivalentu na povrchu země v zamořené

oblasti. V druhé části jsou vyvíjeny mobilní filtrovací stanice umožňující stanovit stupeň radioaktivního znečištění ve vzduchu. Třetí část zkoumá současný stav a možnosti krizového využití nevládních radiačních monitorovacích sítí jako jsou např. Safecast, Radmon, uRad, apod. Poslední část projektu si klade za cíl vytvoření stabilních a reprodukovatelných postupů pro měření prostorové dávky pomocí pasivních dozimetrů, aby mohlo dojít k harmonizaci pasivní dozimetrie pro radiační monitorování životního prostředí v rámci Evropy. ČMI se významně podílí na prvních dvou částech projektu.

## Porovnání statistických metod pro separaci neutron/gama

Aleš Jančář<sup>1</sup>, Zdeněk Kopecký<sup>1</sup>, Zdeněk Matěj<sup>2</sup>, Filip Mravec<sup>1</sup>, Václav Přenosil<sup>2</sup>, Jiří Čulen<sup>1</sup>, Ondřej Herman<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Masarykova Universita, Botanická 68a, Brno, 612 00, ČR

[ales.jancar@vf.cz](mailto:ales.jancar@vf.cz)

V neutronové spektrometrii se používají různé metody pro separaci neutronů a fotonů. Většina těchto metod je založena na pulsní tvarové diskriminaci (PSD). Jednotlivé metody byly implementovány do neutronového digitálního spektrometru a kvalita PSD byla porovnávána pomocí statistických

algoritmů. Hodnota ANOVA F je měřítkem kvality PSD separace. Čím větší je hodnota F, tím větší je rozlišení neutron/gama. Kvalita rozlišení byla vylepšena kombinací dvou PSD metod s využitím Fisherovy lineární diskriminační analýzy.



# Vývoj procedury kvantitativního vyhodnocení dat z konfokální mikro-XRF analýzy

Radek Prokeš, Tomáš Trojek

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

[radek.prokes@fjfi.cvut.cz](mailto:radek.prokes@fjfi.cvut.cz)

Konfokální mikro rentgenová fluorescenční analýza (konfokální mikro-XRF) je analytická metoda umožňující provádět kvalitativní i kvantitativní analýzy vícevrstvých vzorků s možností rozlišení jednotlivých vrstev. Narozdíl od konvenční XRF analýzy lze s konfokálním uspořádáním získat informaci o prostorové distribuci prvků pod povrchem vzorku. Naměřené hloubkové křivky jednotlivých prvků však bohužel neodráží přesně profily jejich koncentrací, protože tyto profily jsou modifikovány absorpčními efekty a funkcí citlivosti konkrétního konfokálního mikro-XRF spektrometru. Pro kvantitativní vyhodnocení naměřených hloubkových profilů, tzn. určení koncentračních profilů přítomných prvků, je nutné vytvořit rekonstrukční proceduru, která bude založena na odpovídající kalibraci přístroje pro konfokální mikro-XRF.

Tato práce popisuje proces kalibrace laboratorního přístroje pro konfokální mikro-XRF, který byl zkonstruo-

ván na Katedře dozimetrie a aplikace ionizujícího záření (KDAIZ) FJFI ČVUT v Praze. Přístroj sestává z rentgenky (Mo anoda, 50 kV, 1 mA), SDD detektoru a je vybaven dvěma polykapilárními optikami (v excitačním a detekčním kanálu). Kalibrace spočívá v určení funkce hloubkového rozlišení a funkce citlivosti přístroje. Na základě výsledků kalibrace byl vytvořen algoritmus pro kvantitativní vyhodnocení změřených hloubkových profilů. Tato procedura je založena na tzv. technice přímé dekonvoluce a zahrnuje dva hlavní kroky: dekonvoluci hloubkových profilů s funkcí citlivosti přístroje a korekci na absorpci záření X. Protože přístroj pro konfokální mikro-XRF zkonstruovaný na KDAIZ FJFI ČVUT v Praze je primárně určen pro zkoumání historických maleb, byl tento algoritmus kvantifikace otestován na hypotetickém vícevrstevném vzorku sestávajícím ze dvou překrývajících se barevných vrstev.

# Srovnání metod pro analýzu nelinearity neutronových detekčních systémů na reaktoru VR-1

Tomáš Bílý, Linda Keltnerová

Katedra jaderných reaktorů, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Aktivní detektory neutronů využívané pro radiační ochranu i jiné aplikace často pracují v pulsním režimu, ve kterém jsou neutrony rozlišovány na základě analýzy jednotlivých událostí v detektoru a vhodně zvolených kritérií (např. diskriminace podle výšky či tvaru pulsu). Jednou z klíčových charakteristik detektorů pracujících v tomto režimu je linearita odezvy, která je ovlivňována především mrtvou dobou. Pro studium linearitu odezvy je nezbytné zajistit dobře definované prostředí, které umožňuje v širokém rozsahu změnu intenzity neutronového toku dopadajícího na detektor při zachování ostatních vlastností neutronového pole (zejména energetického spektra neutronů dopadajících na detektor). Takové podmínky nabízejí výzkumné reaktory nulového výkonu. V případě reaktoru VR-1 lze využívat neutronových toků až po cca  $10^9$  n/s cm<sup>2</sup>, tj. lze studovat nelinearitu odezvy typicky až do maximálně dosahovaných četností detektorů (v případě plynových detektorů neutronů jde o desítky či stovky tisíc cps). Příspěvek shr-

nuje srovnání několika přístupů ke stanovení nelinearity neutronových detekčních systémů pracujících v pulsním režimu, založených na experimentálních metodách využívaných na reaktorech nulového výkonu a na teoretických vztazích popisujících chování detektoru s mrtvou dobou kumulativního či nekumulativního typu či s kombinací obou těchto typů. Z experimentálních metod je využita Srovnávací metoda využívající srovnání odezvy detektoru s odezvou kompenzované ionizační komory pracující v proudovém režimu s monitorem malých proudů a Kinetická metoda využívající asymptotického exponenciálního růstu výkonu reaktoru po zavedení kladné reaktivity jako zdroje informace o pravdivé odezvě. Aplikace teoretických vztahů vycházejí z hodnot mrtvých dob získaných fitováním experimentálních dat teoretickými průběhy, a z metody maximálních četností. Uvedené metody jsou aplikovány na studium nelinearity detektorů typu SNM-10 a SNM-13, pracujících ve spojení s analyzátoři TEMA EMK 310.

# Porovnání materiálů pro vyplnění volného prostoru ve stávajících stíněních gama spektrometrických tras

Lenka Dragounová, Karin Fantínová

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

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

Cílem práce bylo otestovat vybrané materiály a zhodnotit jejich vhodnost pro použití jako dostínění stávajících stíněních spektrometrických tras v laboratoři SÚRO Praha. Naše gama spektrometrická laboratoř se stále více zaměřuje na měření nízkých aktivit a za tímto účelem vystává požadavek mimo jiné na snižování pozadí spektrometrických měření. Jednou z možností je vyplnění volného prostoru uvnitř stínění s použitím nízkopozadových materiálů. Tímto krokem dojde ke zmenšení volného prostoru kolem detektoru a tím pádem ke snížení pozadí způsobeného zejména radonem a jeho dceřinými produkty obsaženými ve vzduchu. Testovanými materiály byly polyethylenové kvádry z fan-

tomu IGOR, pytle z protiradonové fólie, elektrolytická měď a černý plast (polyamid). Hodnocen byl vliv na integrální počet impulsů, plochy vybraných pozadových píků a vznik nežádoucích píků ve spektru majících původ v přidaném materiálu. Vhodnost materiálu byla hodnocena i z pohledu jeho dostupnosti a pořizovací ceny. Práce je doplněna o výpočty vlivu takového dostínění pomocí metody Monte Carlo. Kromě vnitřního dostínění bylo také napočítáno, jakou měrou přispívají k pozadí průlety fotonů mezerou mezi tělesem stínění a jeho uzávěrem a jakého efektu by se docílilo jejich případným odstíněním.

# Vliv radonového pozadí na detekční limity při automatickém monitorování obsahu radionuklidů v ovzduší

Miroslav Hýža<sup>1</sup>, Petr Rulík<sup>1</sup>, Vojtěch Bednář<sup>2</sup>, Jan Surý<sup>2</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

[miroslav.hyza@suro.cz](mailto:miroslav.hyza@suro.cz)

Monitorování radioaktivity ovzduší prostřednictvím měřících systémů s automatickým odběrem aerosolů a jejich následným automatickým měřením a vyhodnocením se ukazuje jako vhodný doplněk ke standardnímu monitorování založenému na měření aerosolových filtrů v laboratořích. Výhoda automatizace spočívá zejména ve včasné detekci radiační události. V rámci projektu ministerstva vnitra (VI20152018042) vyvinuli Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. a firma NUVIA, a. s. zařízení pro odběr aerosolů s automatickou výměnou aerosolových filtrů v dálkově nastavitelném režimu provozu. Filtrace vzduchu je zajištěna pumpou o průtoku 10 m<sup>3</sup>/hod přes vysoce účinné

sklovláknové filtry. Po odběru jsou filtry automaticky přesunuty do měřicí části zařízení vybavené HPGe detektorem s relativní účinností 50 % v oloveném stínění. Spektra jsou během měření průběžně ukládána za účelem dosažení co nejnižších detekčních limitů (MDA). K tomu byl vyvinut analyzační algoritmus, který zohledňuje postupně klesající radiační pozadí tvořené dceřinými produkty radonu deponovanými na analyzovaném filtru. Tato práce popisuje postup analýzy spekter a kvantifikuje vliv fluktuace radonového pozadí na úroveň MDA pro vybrané radionuklidy očekávané v ovzduší po havárii JE.

# Optimalizace gama spektrometrické analýzy vzhledem k detekčním limitům

**Barbora Vendlová**

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

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

Se snižující se koncentrací umělých radionuklidů v atmosféře jsou kladeny stále větší nároky na měření co nejnižších aktivit. K posouzení citlivosti detekčního systému slouží veličina nazývaná minimální detekovatelná aktivita (MDA). Práce se zabývá problematikou spojenou s MDA, jež vychází z teorie detekčních limitů. Konkrétně se zaměřuje na parametry ovlivňujícími detekční účinnost, na níž jsou hodnoty MDA

závislé, při měření aerosolových filtrů. Mezi tyto parametry patří rozměry a materiál vzorku, výběr detektoru a geometrie měření, definovaná vzorkem a detektorem. Práce se také věnuje problematice vlivu stínění detektoru na MDA. Nakonec je analyzován rozdíl související s optimalizací tvaru vzorku a geometrií měření, jež přímo ovlivňuje snížení MDA.

# Priemyselné rádionuklidové indikačné metódy a ich využitie na Slovensku

Robert Hinca, Vladimír Slugeň

Ústav Jadrového a Fyzikálneho Inžinierstva, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, Slovenská Technická Univerzita, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

[robert.hinca@stuba.sk](mailto:robert.hinca@stuba.sk)

V roku 2018 MAAE odštartovala európsky regionálny projekt (RER1020) zameraný na koordináciu prístupov k metódam rádionuklidových indikátorov a priemyselných indikačných meraní na báze zdrojov ionizujúceho žiarenia. Zdroje ionizujúceho žiarenia moderná spoločnosť široko využíva v oblasti starostlivosti o zdravie (zdravotníctvo, veterinárstvo a biomedicínsky výskum), v priemyselných a environmentálnych aplikáciách a pridružených oblastiach vzdelávania, vedy a výskumu.

Rádionuklidové indikačné metódy predstavujú súbor kvalitatívnych a kvantitatívnych meracích postupov založených na prenose rádioaktívneho indikátora médiom, alebo na interakcii ionizujúceho žiarenia s prostredím. Najčastejšie sa stretávame s metódami rádionuklidových indikátorov na meranie dynamických charakteristík tekutín (prietok v potrubíach, prúdenie podzemných vôd, úniky z podzemných rezervoárov alebo potrubí, dynamika procesov v čističkách odpadových vôd alebo bioplynových staniciach a pod.). Pri týchto metódach sa rádionuklidový indikátor – (angl. radiotracer) vo forme otvoreného žiariča pridáva do meraného média.

Inou oblasťou použitia rádionuklidových žiaričov je meranie parametrov výrobných procesov (angl. nucleonic gauges). V tomto prípade sa používajú najmä uzavreté rádionuklidové žiariče alebo generátory ionizujúceho žiarenia (RTG) a využívajú sa zákonitosti interakcie žiarenia s látkou. V závislosti na meranom parametri a vlastnostiach použitého média sa vyberá vhodný zdroj žiarenia. Zdroje neutrónov sa používajú na meranie napríklad hustoty, porozity, vlhkosti, hrúbky. Zdroje beta žiarenia na meranie hrúbky tenkých fólií (celofán, alobal, papier). Zdroje alfa žiarenia sa v priemysle používajú napr. v indikátoroch zadymenia. Zdroje gama žiarenia sa využívajú na meranie hladiny, hustoty, zrnitosti, homogenity, parametrov technologického procesu vo viacfázovom prostredí (ropné rafinérie, stavebný priemysel). Široké použitie majú rádionuklidové žiariče a röntgenové zdroje v rádiografických metódach nedeštruktívnej kontroly materiálov (zvary), výrobkov (plnenie konzerv, triedenie surovín).

Tento príspevok vznikol vďaka projektu VEGA 1/0104/17.

# Spektrometrický portálový monitor osôb na báze plastických scintilátorov

Štefan Krnáč, Pavol Ragan, Peter Šuták

Metra s. r. o., Matejkova 30, Bratislava, 841 05, SR

[stefan.krnac@metra.sk](mailto:stefan.krnac@metra.sk)

Radiačné portály pre monitorovanie osôb používajú kryštalické alebo plastické scintilačné detektory. Kryštalické scintilátory majú spektrometrické vlastnosti, ale sú do značnej miery obmedzené detekčným objemom. Na druhej strane veľkoplošné plastické scintilačné detektory majú výrazne obmedzené spektrometrické vlastnosti a z tohto dôvodu ich v súčasnosti nie je možné používať pre kvalitatívnu analýzu. V príspevku je prezentovaná metodika matematického

spracovania spektier (WSP), ktorá umožňuje urobiť spektrometrickú analýzu aj v prípade spojitých spektier plastických scintilátorov. Prezentované výsledky ukazujú, že energetické rozlíšenie takejto spektrálnej analýzy je porovnateľné s rozlíšením NaI(Tl) detektorov. To umožňuje konštruovať spektrometrické portály s vysokou citlivosťou a priepustnosťou osôb rádovo na sekundovej úrovni.

## Tuhý, vodě ekvivalentní fantom krku pro využití v nukleární medicíně

Ludmila Štemberková<sup>1</sup>, Tomáš Vrba<sup>2</sup>, Jaroslav Šolc<sup>1</sup>

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

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

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

Jedním ze zdrojů nejistot stanovení absorbované dávky v nukleární medicíně je kvantitativní zobrazování. Značná nejistota je dána způsobem kalibrace, která, pokud je vůbec k dispozici, je založena na zjednodušených fantomech, jež se podobají reálným pacientům pouze omezeně. Snížením této nejistoty se zabývá mezinárodní výzkumný projekt „Metrology for clinical implementation of dosimetry in molecular radiotherapy“ (MRTDdosimetry), jehož jedním z témat je výzkum v oblasti 3D tisku kvazi-realistických antropomorfních fantomů.

Tento příspěvek popisuje výrobu, parametry a první zkušenosti s novým antropomorfním fantomem, který umožňuje

testování a kalibraci zařízení využívaných k zobrazování aktivity v oblasti krku. CT data reálného pacienta byla upravena a převedena do formátu vhodného pro 3D tiskárny, kde byla vytištěna skořepina fantomu, a to včetně povrchu páteře. Následně byla páteř vyplněná kosti-ekvivalentním materiálem na bázi silikonové pryskyřice s vhodnou příměsí, a zbytek fantomu vodě-ekvivalentním materiálem na bázi polyuretanu s příměsí  $\text{CaCO}_3$ . Oba materiály jsou tuhé, díky čemuž nedochází k problémům s naplňováním a protékáním fantomu ani tvorbě bublin. Vyjímatelná krční vložka umožňuje měnit rozložení a objemovou aktivitu radionuklidu v oblasti štítné žlázy a přilehlých uzlin.



## Miónová zložka prírodného pozadia ako zdroj pre miónovú rádiografiu?

**Pavol Ragan**

Metra s. r. o., Matejkova 30, Bratislava, 841 05, SR

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

Kozmické žiarenie pri styku s vrchnými vrstvami atmosféry interaguje s molekulami vzduchu a výsledkom je pomerne intenzívne pole vysokoenergetických (rádovo GeV až stovky GeV) anti/miónov. Tie majú síce krátku dobu života, ale vzhľadom na ich energiu a rýchlosť blížiacu sa rýchlosti svetla uplatní sa dilatácia času a mióny môžu doletieť až na zemský povrch. Anti/mióny sú nabité častice a na svojej ceste k povrchu zeme (ne)kontinuálne strácajú energiu ionizačnými stratami. Rovnako interagujú s ľudským telom

a ako najväčšia zložka kozmického žiarenia na zemskom povrchu prispievajú približne tretinou k vonkajšiemu ožiareniu, pričom príspevok od nich rastie s nadmorskou výškou.

V práci sa Monte Carlo simuluje interakcia miónov s detektormi a ako vstupné údaje sa použili dáta z EXPACS ver. 4.04 počítané pomocou PARMA modelu. Simulované spektrá sú porovnané s nameranými pomocou plastického scintilátora.

# Využití dekonvoluční techniky pro analýzu gama spektrometrických dat z monitorování terénu pomocí bezpilotních prostředků

Jaroslav Kluson<sup>1</sup>, Lenka Thinová<sup>1</sup>, Tomáš Svoboda<sup>1</sup>, Tomáš Brunclík<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Georadis s. r. o., Novomoravanská 321/41., Brno, 619 00, ČR

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

Dekonvoluční technika, využívající modelové matice odezvy scintilačního detekčního systému, vypočtené metodou Monte Carlo, umožňuje stanovení dávkových příkonů a/nebo koncentrací radionuklidů z dat ze scintilační spektrometrie gama. Metoda dosud byla testována a aplikována na pozemní statická měření s detektorem 3" × 3" NaI(Tl), kdy lze vhodnou dobou měření zajistit dobrou statistiku měřených spekter a na letecké monitorování pomocí pilotovaných prostředků, kdy lze dosáhnout přijatelnou statistiku díky velkým rozměrům detektoru (NaI(Tl) o objemu 1600 cm<sup>3</sup>) i při krátké době skenu 1 s. V případě leteckého monitorování s využitím dronů je výrazně omezujícím kritériem hmotnost instalovaného spektrometrického systému a není proto možno využít velkoobjemové detektory. Druhý parametr ovlivňující statistiku/kvalitu měřených spekter – doba skenu (tj. doba náběru jednoho spektra) – přitom určuje prostorové rozlišení výsledků monitorování a měl by z tohoto hlediska být dostatečně krátký a nelze ho tedy příliš prodlužovat. Pozitivní roli z hlediska detekce a prostorového rozlišení

naopak hraje možnost monitorování z malých výšek nad monitorovanou lokalitou.

Cílem práce bylo ověřit možnosti využití dekonvoluční metody i pro analýzu spekter s velmi špatnou statistikou. K testování metody byla využita spektra z leteckého spektrometru D230A (Georadis s. r. o.) vybaveného dvojicí detektorů 2" × 2" NaI(Tl) zavěšeného na dronu. Spektra byla měřena v letové výšce cca 10 m s dobou skenu 1 s. Testován byl i potenciální přínos zpracování sumačních spekter (ze 2, 3 a 5 skenů). Příspěvek prezentuje výsledky uvedených testů a příklad map kontaminace terénu sestavených na základě dat, vyhodnocených uvedenou metodikou. Vzhledem k tomu, že ověření bylo provedeno na datech z lokality s vyššími dávkovými příkony, lze v současné etapě řešení konstatovat, že metoda je (s daným spektrometrickým systémem) použitelná pro oblast havarijního monitorování. Využitá měření byla provedena ve spolupráci s fy Georadis s. r. o. a s podporou SÚRO, v. v. i. a státního podniku DIAMO, Stráž pod Ralskem.

## Cs-137 Measurements Using Extended Windows Method

Marcel Ohera, Irena Češpírová, Lubomír Gryc, Anna Selivanová, Lukáš Kotík, Martina Vtelenská

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

[marcel.ohera@suro.cz](mailto:marcel.ohera@suro.cz)

Measurements with large NaI(Tl) crystals was originally used in geophysics and the windows method using fixed spectral windows for calculating K, U and Th activity concentrations were used. This contribution describes the enhanced window method for Cs-137 surface activity calculations for emergency monitoring, the calibration of large NaI(Tl) crystals installed in the gamma-ray spectrometer on three calibration pads in Stráž pod Ralskem and on Cs-137 calibration pad which was simulated in Monte Carlo code. Additionally to the standard stripping factors  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and  $a$ , new stripping factors ( $\varepsilon$ ,  $\tau$  and  $\delta$ ) for Cs-137 were introduced and the sensitivities for natural radionuclides

were measured over the reference area near Vyškov where the activity concentrations were determined using ground HPGe measurements (in-situ). The sensitivity for Cs-137 was determined using Monte Carlo simulation. The minimum detectable activities of Cs-137 (Currie's MDA) are also presented. To determine background and to find expressions for the cosmic background, a series of measurements was made over a large lake. Examples of data processing are presented and compared with the results of a post-processing program.

The paper is drawn up on the basis of the Ministry of the Interior Project results, ID: VH20172020015.

# Současné metody korekcí na samoabsorpci a pravé koincidence v laboratorní gama spektrometrii

Radim Možnar<sup>1,2</sup>, Kamila Johnová<sup>1</sup>

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

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

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

Laboratorní spektrometrie záření gama je v současné době široce využívanou a dobře popsanou analytickou metodou. Součástí analýzy je mimo jiné i provedení korekcí na samoabsorpci ve vzorku a pravé koincidence. Přestože dnes existuje celá řada metodik a softwarových nástrojů určených k výpočtu těchto korekcí, lze se v ČR setkat s případy,

kdy laboratoř tyto korekce zcela zanedbává. V některých případech tak může být stanovená aktivita odchýlena od správné hodnoty až o desítky procent. Příspěvek mapuje v současnosti dostupné nástroje pro výpočet výše zmíněných korekcí a shrnuje praktické zkušenosti autorů s těmito metodami.

# Ionizující záření jako faktor změn cytoskeletu buněk maligního mezoteliomu – Primární řasinka

Alžběta Filipová, Marcela Jeličová, Zuzana Šinkorová

Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví Hradec Králové, Univerzita obrany, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

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

Maligní pleurální mezoteliom (MPM) je agresivní, různorodé nádorové onemocnění, které se vyvíjí z metastatických buněk plicní tkáň-pohrudnice a je spojeno s expozicí nemocných vůči azbestu. MPM je znám jako nádor se špatnou prognózou a krátkým přežitím pacientů. Dalším závažným problémem MPM je radiorezistence a odolnost vůči chemoterapii. Již víme, že ionizující záření svojí povahou ovlivňuje celý lidský organismus a jeho účinek na normální i nádorové buňky v in vitro podmínkách má charakter deterministických účinků. Mimo již známé efekty na úrovni DNA a další molekulární mechanismy, ovlivňuje též cytoskeletální stabilitu buňky, a tím také její morfologické struktury. Primární řasinka jako solitární, senzorická, mikrotubulární struktura hraje zásadní roli při interakci s buněčným mikroprostředím. U nádorových buněk jsou primární řasinky detekovány ve zvýšených počtech, abnormální délce a nepravidelné strukturu mikrotubulů. Její vadná struktura nebo funkce by mohla být příčinnou souvislostí ve vývoji široké škály

lidských nemocí, včetně rakoviny. Nedávné studie prokázaly přítomnost primární řasinky u buněk MPM, což je spojeno se zvýšenou aktivitou signální dráhy Hedgehog. Cílem naší studie bylo detekovat přítomnost primární řasinky u buněčné linie MSTO-211H po hladovění nebo ozáření dávkami 2, 5, a 10 Gy. Primární řasinka byla detekována pomocí imunofluorescence. Výsledky tohoto experimentu demonstrují, že metabolický stres zvýšil četnost výskytu primární řasinky a došlo k jejímu významnému prodloužení ( $\approx 17 \mu\text{m}$ ). Záření zvýšilo četnost výskytu řasinky, ale nebylo pozorováno významné prodloužení řasinky. Tato data podporují teorii, že změna délky primární řasinky může být jeden z prediktivních faktorů cytoskeletální nestability.

Projekt byl podpořen Ministry of Defense of the Czech Republic-long-term organization development plan Medical Aspects of Weapons of Mass Destruction of the Faculty of Military Health Sciences, University of Defense, SV/FVZ201703.

## Porovnání radiační citlivosti tukových kmenových buněk a buněk karcinomu prsu

Anna Michaelidesová<sup>1</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>, Jana Konířová<sup>1,2</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Lukáš Cupal<sup>1,3</sup>, Marie Davídková<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Ústav molekulární genetiky, AV ČR, ČR

<sup>3</sup> Nemocnice na Bulovce, ČR

[anna.michaelidesova@odz.ujf.cas.cz](mailto:anna.michaelidesova@odz.ujf.cas.cz)

Karcinom prsu je u žen nejčastějším diagnostikovaným nádorem. U většiny diagnostikovaných žen se jako léčba tohoto typu nádoru doporučuje resekce nádorové tkáně z prsu, či resekce celého prsu. Často se navíc indikuje i radioterapie lůžka nádoru či celého prsu.

Tuková tkáň je jedna z nejbohatších na kmenové buňky. Tukové kmenové buňky se řadí do kategorie mezenchymálních kmenových buněk a mají schopnost sebeobnovy a diferenciaci do různých typů buněk, jako například adipocyty, chondrocyty, myocyty a jiné.

Vzhledem k vysokému procentu tuku v prsní tkáni lze zde očekávat i vysoký počet tukových kmenových buněk, které mohou být poškozené při radioterapii prsních nádorů. Existují studie, které ukazují, že ozáření tukových kmenových buněk může vést k podpoře růstu nádorových buněk

karcinomu prsu. Jiné studie pak naznačují, že ozáření celého prsu zpomaluje regeneraci poškozené prsní tukové tkáně právě kvůli poškození tukových kmenových buněk, které pak ztrácí svou kapacitu sebeobnovy, proliferace a diferenciaci.

Cílem studie bylo prozkoumat citlivost tukových kmenových buněk a buněk karcinomu prsu na ionizující záření. V rámci studie byly ozářené dávkami 1, 2, 4, a 8 Gy tukové kmenové buňky získané z tukové tkáně žen po liposukci a buněčná linie karcinomu prsu MCF7. Ozáření proběhlo na lineárním urychlovači Varian Clinac 600 C/D DBX na Ústavu radiační onkologie Nemocnice Na Bulovce. Po ozáření bylo sledováno několik parametrů, jako je buněčná proliferace, indukce apoptózy a genová exprese.

Předběžné výsledky studie naznačují, že tukové kmenové buňky jsou odolnější na ozáření než buněčná linie MCF7.

## Vliv ionizujícího záření na neurální kmenové buňky

Jana Konířová<sup>1,2</sup>, Lukáš Cupal<sup>1,3</sup>, Martina Zíková<sup>2</sup>, Anna Michaelidesová<sup>1,3</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>, Marie Davidková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddělení dozimetrie záření, 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

<sup>3</sup> Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Neurální kmenové buňky jsou definovány schopností sebeobnovy a potenciálem diferencovat do tří základních typů neurálních buněk - astrocytů, neuronů a oligodendrocytů. Během ontogeneze se neurální kmenové buňky podílí na vzniku celého nervového systému, důležitou funkci mají ale i v mozku dospělého jedince. Zde se tyto buňky vyskytují především ve specifických oblastech a kromě klíčové funkce v procesech učení a paměti se také podílí na reparaci a sebeobnově neurálních tkání. Pro vznik a vývoj nervového systému i pro jeho správné fungování je klíčová především přesná regulace rovnováhy mezi proliferací a diferenciací neurálních kmenových buněk a jakékoliv narušení této rovnováhy může vést ke vzniku různých patologií.

V dnešní době patří radioterapie mezi běžně používané metody při léčbě primárních mozkových nádorů. Zářením ale bývá zasažena nejen patologická, ale i zdravá tkáň. Dochází tak i k poškození neurálních kmenových buněk, což může být příčinou pozdějších vedlejších negativních

účinků radioterapie na nervový systém. Z tohoto důvodu je tak zásadní lépe pochopit dopad záření na případné poškození neurálních kmenových buněk.

Cílem našeho projektu je popsat vliv záření na neurální kmenové buňky in vitro. Buňky byly ozářeny klinickým rentgenovým paprskem 4 MV dávkou 0 až 8 Gy. Poté byla stanovena míra přežití buněk, rychlost jejich proliferace a indukce apoptózy. Dále jsme také sledovali změny v genové expresi a tendenci buněk spontánně diferencovat.

Získané výsledky prokázaly nižší míru přežití a vyšší hladinu apoptózy u ozářených buněk v porovnání s kontrolou. Současně se zvyšující se dávkou se zvedala i úroveň exprese genů spojených s reakcí buněk na poškození a s apoptózou. Dále jsme také zaznamenali, že neurální kmenové buňky jsou po ozáření mnohem více náchylné ke spontánní diferenciaci, a to do buněk neuronálního a astrocytového typu.

## Poškození a mechanismus reparace DNA u buněčných kultur karcinomů hlavy a krku po experimentálním ozáření

Zuzana Horáková<sup>1,2</sup>, Martin Falk<sup>3</sup>, Iva Falková<sup>3</sup>, Michal Masařík<sup>4</sup>, Olga Kopečná<sup>3</sup>, Alena Bačíková<sup>3</sup>, Stanislav Kozubek<sup>3</sup>, Hana Binková<sup>1,5</sup>, Jaroslav Gumulec<sup>4</sup>, Martina Raudenská<sup>4</sup>, Hana Polanská<sup>4</sup>, Rom Kostrica<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinika ORL a chirurgie hlavy a krku, FN U svaté Anny v Brně, Brno, ČR

<sup>2</sup> Klinika ORL, Fakultní nemocnice Olomouc, ČR

<sup>3</sup> Biofyzikální ústav Akademie věd ČR, Brno, ČR

<sup>4</sup> Ústav patologické fyziologie, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, Brno, ČR

<sup>5</sup> Oddělení ORL, Vojenská nemocnice, Brno, ČR

[zuzana.horakova@upol.cz](mailto:zuzana.horakova@upol.cz)

Nádory hlavy a krku jsou šestou nejčastější malignitou na světě. Je pro ně typické agresivní chování s vysokou mortalitou i morbiditou. Radikální chirurgická léčba mnohdy znamená i po vyléčení značnou mutilaci pacienta.

Volba šetrnější nechirurgické terapie (radio/chemoterapie) je ovšem spojena s rizikem, pouze cca 50 % nádorů lze hodnotit jako dostatečně radiosensitivní. Doposud neexistuje žádný indikátor stanovení radiosensitivity před indikací léčby. Tento problém reflektuje probíhající studie s hlavní otázkou stanovení radiosensitivity, resp. radioresistence nádoru in vitro předvolbou optimální léčby.

Z odebraných vzorků nádoru a přiléhající zdravé sliznice pacientů s karcinomem dutiny ústní, hltanu a hrtanu jsou

připravovány buněčné kultury, na kterých se hodnotí molekulárně genetické parametry, DNA poškození (DNA double strand break) a reparační dynamiky po ozáření in vitro.

Poprvé v tomto kontextu se podařilo připravit buněčné primokultury několika typů (normální fibroblasty, tumorasociované fibroblasty a nádorové buňky, včetně směsných kultur) kultivované přímo z biopsií odebraných z nádorů pacienta s cílem nahlédnutí do heterogenity karcinomů v kontextu jejich radiosensitivity/radioresistence; na dosud hodnoceném souboru byly navrženy parametry v dynamice reparačních procesů, které by charakterizovaly sensitivitu nádoru k terapeutickému ozáření.

Podpora projektu: GACR 16-12454S.



## Růst a přežití buněčné linie DAOY v adherentních a suspenzních podmínkách po ozáření na Leksellově gama noži Perfexion

Veronika Paštyková<sup>1,2</sup>, Jana Vachelová<sup>2</sup>, Markéta Hurychová<sup>1</sup>, Marie Davidková<sup>2</sup>, Miroslav David<sup>1</sup>, Josef Novotný Jr.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, FJFI ČVUT, 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> Oddělení lékařské fyziky, Nemocnice Na Homolce, Roentgenova 2, Praha 5, 150 30, ČR

[veronika.pastykova@gmail.com](mailto:veronika.pastykova@gmail.com)

Studie hodnotí radiobiologický efekt vyvolaný změnou dávkového příkonu gama záření Leksellova gama nože (LGN) Perfexion v Nemocnici Na Homolce v Praze.

V klinických podmínkách dochází při stereotaktické radiochirurgii na LGN k výrazným změnám dávkového příkonu. První příčinou je přirozená radioaktivní přeměna, kterou <sup>60</sup>Co podstupuje s poločasem 5,62 let. Druhá, z hlediska této studie zásadnější příčina změny dávkového příkonu je kombinace až několika desítek tzv. „shotů“ s různými izocentry, díky čemuž se dávkový příkon výrazně mění i v rámci jednoho ozáření jednoho cílového objemu.

Buněčná linie DAOY je tvořena kmenovými buňkami získanými z desmoplastického meduloblastomu na mozečku čtyřletého chlapce. Pro tuto studii byly buňky pěstovány dvěma způsoby, a sice standardním způsobem jako adherentní kultura a následně v suspenzním médiu, kde buňky tvoří sférické kolonie. Jedním z cílů studie bylo

posoudit přednosti a nedostatky jednotlivých forem růstu buněk. Buňky pěstované oběma způsoby byly následně ozařovány na LGN různými dávkovými příkony v rozmezí 0,35–3,31 Gy/min. Ozařování probíhalo ve sférickém fantomu ABS Elekta se speciálně vytvořenou vložkou pro upevnění eppendorf tuby s buňkami v médiu. Pro zajištění co nejhomogennějšího ozáření buněk byl použit 16 mm kolimátor LGN. Buňky byly ozařovány dávkami 0–8 Gy a pomocí klonogenních testů byly stanoveny křivky přežití pro různé dávkové příkony. Křivky byly proloženy lineárně kvadratickým modelem a byla sledována závislost tvaru křivky a stejně tak i závislost parametru  $\alpha/\beta$  na hodnotě dávkového příkonu LGN.

Studie je podporována Ministerstvem zdravotnictví České republiky - koncepční vývoj výzkumné organizace (Nemocnice Na Homolce – NNH, projekt č. 00024883).

## Úloha ortovanadanu sodného v buněčné smrti

Zuzana Šinkorová, Alžběta Filipová, Aleš Tichý, Lenka Andrejsová

Radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

[zuzana.sinkorova@unob.cz](mailto:zuzana.sinkorova@unob.cz)

Zvýšený zájem o chemické radioprotektivní látky, které minimalizují účinky ionizujícího záření je spojený se vzrůstajícím trendem využívání biomedicínských přístrojů určených nejen k diagnostice ale i léčbě onkologických onemocnění. Tím také vzrůstá zájem o chemické radioprotektivní látky, které mají schopnost minimalizovat účinky ionizujícího záření a tak snižují poškození organismu na orgánové, buněčné i molekulární úrovni. Radioprotektivní účinky založené na látkách inhibujících apoptózu jsou charakteristické pro látky pozdní generace; mezi které patří inhibitory proteinu p53. P53 působí jako transkripční faktory, které regulují aktivaci proteinů účastnících se v buněčném cyklu a podílí se nejen na zastavení růstu, opravách DNA ale i na procesu buněčné smrti. V současné době je známo, že ortovanadan sodný (OV) inhibuje apoptózu zprostředkovanou p53. OV byl aplikován intraperitoneálně 5 minut před

nebo 5 minut po celotělovém gama ozáření myši. Bylo sledováno přežití myši, počet buněk v periferní krvi a kostní dřeni a byla provedena analýza lymfocytárních populací. Ortovanadan sodný aplikovaný myším intraperitoneálně má radioprotektivní účinek a zvyšuje přežití celotělově ozářených myši. V rozporu s publikovanými údaji nebyl potvrzen účinek mitigační. Celulární složení v kostní dřeni se významně nezměnilo; pozorovali jsme však změny v absolutních počtech buněk v periferní krvi a v populaci lymfocytů během prvního měsíce po ozařování mezi kontrolní, ozářenou skupinou a skupinou, které byl podán orthovanadan před ozáření. Naše nálezy u letálně ozářených myších ukázaly, že OV účinně potlačuje apoptózu zprostředkovanou p53 při aplikaci před ozařováním celého těla.

Projekt byl podpořen grantem GACR č. 17-13541S a projektem rozvoje organizace DZRO-ZHN 1917-2020.

# Lineární přenos energie pro onkogenní účinky radonu a produktů jeho přeměny

**Antonín Sedlák**

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

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

Tématem příspěvku je otázka, jak charakterizovat onkogenní účinek radonu a produktů jeho přeměny na základě některé veličiny již dobře zavedené v radiační ochraně. Takovou veličinou je bezesporu lineární přenos energie, LET. Je třeba definovat její průměrnou hodnotu s ohledem na vztah dávka – účinek u karcinogenních efektů. K tomu účelu je užít mikodozimetrický model hraniční měrné energie. Z něho vyplývá, že účinek při vysokém LET by měl klesat přibližně s třetí mocninou LET. Podrobně je to ověřováno rozbohem závislosti relativní biologické účinnosti na lineárním

přenosu energie u publikovaných experimentů s onkogenní transformací savčích buněk ozařovaných monoenergetickými částicemi alfa. Jsou-li tyto buňky exponovány pomocí radonového ozařovače, pak analýza vede k závěru, že onkogenní účinek radonu a produktů jeho přeměny je v tomto případě srovnatelný s účinkem částic alfa s lineárním přenosem energie  $75 \text{ keV}/\mu\text{m}$ . Je tedy asi o čtvrtinu nižší než hodnota LET, při níž je účinek monoenergetických částic alfa maximální. Některé implikace pro případ karcinomů plic v důsledku inhalace radonu mohou být také opatrně zkoumány.

## Riziko leukémie a bazaliomů u horníků uranových dolů

Ladislav Tomášek

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

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

Epidemiologické studie mezi horníky uranových dolů zkoumaly hlavně výskyt rakoviny plic ve vztahu k expozici radonu. Ačkoliv leukémie je značně radiosenzitivní, je její hodnocení složitější, neboť její incidence je podstatně nižší než rakovina plic. Jeden z prvních výsledků u horníků českých uranových dolů byl publikován v roce 2006 Dr. Řeřichou a byl založen na tzv. case-cohort přístupu o celkovém počtu 84 případů. Riziko bylo hodnoceno ve vztahu ke kumulované expozici radonu. Jak ukázal Jacobi, je třeba riziko hodnotit ve vztahu k celkovému ozáření, které zahrnuje nejen příspěvek z radonu, ale také z dlouhodobých radionuklidů alfa a zevního záření gama. Presentace zahrne nové výsledky ve studii 100 000 horníků uranových dolů, která je založena na 67 případech. Průměrné ekvivalentní dávky v celé studii

činí 33 mSv z radonu, 46 mSv ze zevního záření gama a 106 mSv z dlouhodobých radionuklidů. Průměrné dávky u případů leukémie jsou téměř dvojnásobné. Koefficient relativního rizika na 1 Sv v této studii je 3,8. Tyto výsledky budou porovnány s výsledky Řeřichovy case-cohort studie (68 případů mezi vybranými 5 000 horníky, u nichž jsou k dispozici podrobné expoziční údaje).

Výsledky incidence bazaliomů ve vztahu k radiační expozici v obou studiích budou poprvé hodnoceny v obou souborech, neboť incidence v potřebném rozsahu nebyla v dřívějším hodnocení k dispozici. V souboru 10 000 horníků 69 případů a 309 případů v souboru vybraných 5 000 horníků.

Studie vznikla v rámci projektu institucionální podpory Ministerstva vnitra ČR – MV-25972-2/OBV-2012-2017.

# Risk evaluation in the low-dose range for radiation-exposed children, based on DNA damage

Lenka Jánošíková<sup>1</sup>, Martina Juričková<sup>2</sup>, Martina Horváthová<sup>2</sup>, Denisa Nikodémová<sup>3</sup>, Andrej Klepanec<sup>1</sup>,  
Dušan Šalát<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physiotherapy, Balneology and Medical Rehabilitation, University of Ss. Cyril and Methodius in Trnava, SR

<sup>2</sup> Faculty of Health Care and Social Work, University of Trnava in Trnava, SR

<sup>3</sup> Slovak Medical University in Bratislava, SR

[lenka.janosikova@ucm.sk](mailto:lenka.janosikova@ucm.sk)

One of the most common usages of radiation in current medical diagnosis is computed tomography (CT) using X-rays. Potential health risk of CT scan has been discussed in various studies to determine whether low-dose radiation from CT could enhance the chromosome aberration yields in pediatric patients and increase the risk of carcinogenesis. Therefore, studying the effects of low-dose radiation is of great interest. The induction of DNA damage by a CT scan

examination has been demonstrated in several reports by the  $\gamma$ -H2AX assay, micronuclei assay and dicentric measurements. Despite these findings, other work has failed to find a link between the late cancer risk in children exposed to CT scans, so it is still difficult to draw conclusions about the effects of CT examinations. This article provides an overview of previously published data and summarizes the current state of knowledge.

## Poškození plasmidové DNA zářením s nízkým lineárním přenosem energie

Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Zacharenia Nikitaki<sup>2</sup>, Maria Souli<sup>2</sup>, Zuzana Jamborová<sup>3</sup>, Anna Michaelidesová<sup>1,3</sup>, Michaela Foster<sup>2</sup>, Monika Puchalska<sup>2</sup>, Patricia Pospisil<sup>2</sup>, Lembit Sihver<sup>2</sup>, Marie Davídková<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Atominstitut, Technische Universität Wien, Stadionallee 2, Vienna, 1020, Rakousko

<sup>3</sup> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

brabcova@ujf.cas.cz

Relativní biologická účinnost (RBÚ) pole ionizujícího záření je definována jako podíl dávky potřebné k dosažení daného biologického účinku v tomto a v referenčním poli. Referenční je typicky fotonový zdroj, buď rentgenové záření (200 kV, 250 kV, 6 MV) nebo gamma záření (<sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs). Takové zdroje jsou obvykle považovány za ekvivalentní, s jednotkovou RBÚ. Ve skutečnosti se ovšem liší hodnotou lineárního přenosu energie (LPE), což může výpočet RBÚ značně zkreslit. Tento příspěvek pojednává o měření primárních výtěžků poškození DNA indukovaných na modelu plasmidové DNA dvěma různými referenčními zdroji – 200 kV rentgenovým zářením (LET ~ 3,5 keV/μm) a kobaltovým zářičem (LET ~ 0,3 keV/μm). Výsledky jsou porovnány s výtěžky poškození vyvolanými dalším radiačním

zdrojem záření s nízkým LPE – 198 MeV protonovým svazkem (LET ~ 0,8 keV/μm).

Plasmid pBR322 (4361 bázevých párů) byl rozpuštěn ve vodě a vychytávací radikálů 2-amino-2-hydroxymethylpropan-1,3-diolem (Tris) různých koncentrací. Pomocí vychytávače lze kontrolovat rozsah nepřímého radiačního účinku. Nejvyšší použitá vychytávací kapacita odpovídá buněčnému prostředí, kde jsou nepřímé účinky do značné míry potlačeny. Různé konformace ozářeného plasmidu byly analyzovány pomocí elektroforézy. To umožnilo vypočítat výtěžky jednoduchých a dvojných zlomů pomocí modelu popisujícího obecně vzájemný vztah plasmidových konformací, které vznikají v důsledku poškození nějakým poškozujícím činidlem. Vypočtené výtěžky jsou diskutovány z hlediska jejich vlivu na výpočet RBÚ.

# Simulace radiačního poškození plasmidové DNA: závislost na délce a prostorové konformaci

Martin Šefl<sup>1,2,3</sup>, Klára Stefanová<sup>1,2</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Sherlock Holmes<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Nemocnice Na Bulovce, Budínova 67/2, Praha 8 – Libeň, 180 81, ČR

<sup>4</sup> Baker Street 16.xxooxx, London, UK

sefl@ujf.cas.cz

Plasmidy jsou často využívány ke studiu časných účinků ionizujícího záření. Nepoškozené plasmidy jsou uzavřené smyčky dvoušroubovice DNA, a využívají se jako jednodušší model buněčné DNA. Prostorové rozložení molekuly plasmidu ve vodném roztoku lze popsat metodami molekulární dynamiky nebo přiblížit hrubozrným modelem popisujícím plasmid jako elastický řetěz.

V průběhu času se konformace plasmidu ve vodném roztoku mění. Navíc ji ovlivňují parametry prostředí, délka molekuly a zlomy na řetězci DNA. Závislost výtěžku radiačního poškození na konformaci plasmidu posud nebyla pomocí Monte Carlo metod podrobněji studována a v simulacích je obvykle zanedbávána.

Hrubozrný model elastického řetězu posloužil k vytvoření knihovny geometrií plasmidů popsaných na atomární úrovni (k metodě viz příspěvek K. Stefanové). Pro každou

z konformací byly poté pomocí Monte Carlo simulace s využitím Geant4-DNA odhadnuty výtěžky přímých poškození DNA. Základem kódu použitého pro výpočty byl Geant4 příklad PDB4DNA, upravený pro zohlednění v našem případě potřebného spektra poškození DNA.

Na simulacích s plasmidy ozářenými in silico ionty Fe-56 o energii 500 MeV/u ověříme, ovlivňuje-li konformace molekuly plasmidu výtěžky jednoduchých, dvojných zlomů a komplexních poškození. Simulace porovnáme s experimentálními daty (k metodě viz příspěvek Z. Jamborové).

Myslíme ale, že v nejbližších dnech by ctěné čtenáře mohla zaujmout zejména neuvažovaná studie poškození mitochondriální RNA ionty Fe-17, a to na modelové sekvenci UCUGAAGAGAAAAUGGCUAGAACUAUUAUUUCUGAAUUUUUA.

# Biophysical simulation tool PARTRAC: Modelling proton beams at therapy-relevant energies

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

<sup>1</sup> Institute of Radiation Protection, Helmholtz Zentrum München, Germany

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

[pavel.kundrat@helmholtz-muenchen.de](mailto:pavel.kundrat@helmholtz-muenchen.de)

PARTRAC is a dedicated tool for modelling radiation effects on subcellular and cellular scales. It starts from a cross section database to simulate the stochastic character of individual energy deposition events and tracks of photons, electrons, protons and light ions over energy ranges occurring naturally or in medical and technical applications. Subsequently, 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. Work in progress aims at extending the tool to the endpoint of cell killing.

Recent PARTRAC simulations of proton stopping over macroscopic volumes will be reported. Although the tool has been dedicated to capturing radiation physics, chemistry and biology on nano- to micrometer scales, it does reproduce the macroscopic Bragg peaks. It also quantifies the increase in DNA damage and its complexity along the beam penetration depth. Implications for biological effectiveness of therapeutic proton beams will be discussed. Possible extensions to heavier ions will be outlined.



## Štúdium latentnej fázy radiačnej pneumonitídy: Kedy je ten správny čas?

Anna Lierová<sup>1,2</sup>, Marcela Jeličová<sup>1</sup>, Lenka Andrejsová<sup>1</sup>, Jaroslav Pejchal<sup>1</sup>, Zuzana Šinkorová<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Katedra klinických oborů, Fakulta zdravotnických studií, Univerzita Pardubice, Průmyslová 395, Pardubice, 530 03, ČR

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

Od udalostí ako 11. septembra 2001, Černobyľ a Tokaimury sa zvýšilo spoločenské povedomie o možnom riziku jadrovej udalosti. V prípade takejto udalosti má prvoradý význam okamžitá starostlivosť a liečba o postihnutých, ktorí boli vystavení ionizujúcemu žiareniu (IZ). V prípade expozície jedinca dávke vyššej ako 1 Gy dochádza už k rozvoju deterministických účinkov, spôsobujúce poškodenie biologických tkanív. Medzi najviac radiosenzitívne tkanivá sa radí hematopoetický systém. Avšak pri vyšších dávkach ako 5 Gy je treba zohľadňovať aj ďalšie, dodatočne sa rozvíjajúce poškodenia, napríklad dýchacej sústavy. Pľúca sú stredne radiosenzitívny orgán, však komplexita pľúcneho tkaniva sa prejaví pri rozvoji radiačne indukovaného poškodenia (RIP). Prvá fáza RIP je radiačná pneumonitída, s intervalom nástupu 2 až 3 mesiace po ožiarení. Toto zápalové štádium následne môže progredovať až do radiačnej fibrózy. Avšak pred nástupom akútnych komplikácií prebieha v pľúcach ešte latentná fáza radiačnej pneumonitídy už od prvého týždňa po ožiarení. Táto fáza sa prejavuje

len na úrovni molekulovej a bunkovej. Reakcia postihnutých buniek a produkcia rôznych cytokínov počas tohto štádia môžu výsledne ovplyvniť priebeh a intenzitu nasledujúcich štádií. Aj napriek pokrokom v štúdiu mechanizmov RIP, doposiaľ však neexistuje účinná terapeutická stratégia. Preto cieľom našej práce bolo detailne preskúmať proteínovú, bunkovú a tkanivovú odpoveď organizmu v intervale latentnej fázy radiačnej pneumonitídy. Ako vhodný model bol zvolený myši kmeň C57Bl/6, ktorý bol vystavený celotelovej dávke 8 Gy. Zmeny na sledované na všetkých troch zmiernených úrovniach v intervale od 4 hodín do 60 dňa po ožiarení. Stanovenie krvného obrazu slúžilo ako ukazovateľ stupňa radiačného poškodenia a absolútny počet lymfocytov ako biodozimetrický marker. Výsledky tohto experimentu preukázali rozsiahle zmeny na bunkovej ale aj proteínovej úrovni v pľúcnom tkanive od 21 dňa po ožiarení, čo koreluje s charakteristickými prejavmi latentnej fázy radiačnej pneumonitídy.

## Experimentální zvířecí model prasete domácího

Lenka Andrejsová, Alžběta Filipová, Markéta Němcová, Zuzana Šinkorová

Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

[lenka.zarybnicka@unob.cz](mailto:lenka.zarybnicka@unob.cz)

Periferní krevní lymfocyty jsou snadno dostupným zdrojem biologického materiálu, který se vyznačuje vysokou vnímavostí vůči ionizujícímu záření. V důsledku ozáření indukují buněčnou smrt a dochází ke snižování jejich počtu v periférii. Odborné práce zabývající se biodozimetrií je často obtížné srovnat v důsledku využívání odlišných experimentálních uspořádání (in vivo či in vitro studie prováděné na tkáňové, buněčné nebo molekulární úrovni) a v neposlední řadě i díky rozličnému rozsahu absorbovaných dávek. Z tohoto důvodu se tato studie se zabývá lymfocytárními změnami periferní krve (T-lymfocytů a NK buněk) ovlivněných gama zářením v rámci různých experimentálních uspořádání. Za účelem porovnání in vivo, ex vivo (krev byla odebrána 1 hodinu po in vivo ozařování a poté kultivována v podmínkách in vitro) a in vitro experimentálních přístupů v biodozimetrii byl využit zvířecí model velkých bílých prasat, který byl ozařován dávkami 0–10 Gy a testován v čase 0–48 hodin.

Intenzita odpovědi v rámci in vivo, ex vivo a in vitro ozáření byla porovnána stanovením času nástupu poklesu absolutních počtů lymfocytů. Nejrychlejší pokles byl zaznamenán v rámci modelu in vivo (již 1 hodinu po ozáření). K poklesu u ex vivo a in vitro modelů došlo v čase 8 hodin. Následně byly porovnány trendy změn základních T-lymfocytárních populací ( $CD3^+CD8^+$  a  $CD3^+CD8^-$  T-buněk) a  $CD3^-CD8^+$  NK cells in vivo a in vitro. V rámci obou vykazovaly nejvyšší relativní radiorezistenci NK buňky a naopak  $CD3^+CD8^-$  T-buňky nejvyšší vnímavost. V posledním kroku byly T-lymfocyty rozděleny prostřednictvím mnohobarevné průtokové cytometrie na 7 základních subsetů a byl studován jejich biodozimetrický potenciál in vivo. Na základě získaných dat byly jako nejslibnější biodozimetrický ukazatel určeny populace nulových T-lymfocytů ( $CD2^-/+CD3^+CD4^-CD8^-TCRg^+$ ), T-pomocných buněk ( $CD2^+CD3^+CD4^+CD8^-TCRg^-$ ) a NK buněk ( $CD2^+CD3^-CD4^-CD8^+TCRg^-$ ).

# Hodnocení radiační zátěže pomocí mikrojaderného testu *in vivo* experimentálního modelu selat

Marcela Jeličová, Anna Lierová, Zuzana Šinkorová

Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

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

V současné době jsou účinky ionizujícího záření na živou soustavu detailně studovány v mnoha oblastech vědy. Biologická dozimetrie nabývá na významu všude tam, kde hrozí riziko zevního ozáření nebo potenciální hrozba ze zneužití zdrojů záření. Na základě specifické odpovědi organismu jsme schopni odhadnout míru radiační zátěže. Analýza změn a hodnocení rozsahu poškození může být následně využita k rekonstrukci obdržené dávky záření, k odvození dávkově závislých deterministických účinků a zahájení včasné a efektivní léčby. Metody biologické dozimetrie se opírají o sledování periferních krevních buněk, zejména lymfocytů, zastoupení jednotlivých subpopulací a o studium strukturálních změn v genetické informaci. Tato práce byla zaměřena na analýzu krevního obrazu, konkrétně na zastoupení buněk bílé krevní řady a hodnocení chromozomálních abe-

rací v lymfocytech s použitím mikrojaderného testu u celotělově ozářených zvířecích modelů selat. Experimenty byly prováděny v rozmezí dávek 0 až 10 Gy. Nesrážlivá heparinovaná krev byla odírána v časových intervalech 1–30 dní. U vyšších dávek sloužila k analýze krevního obrazu a stanovení diferenciálu leukocytů 1. až 3. den po ozáření. Lymfocyty pro mikrojaderný test byly z periferní krve ozářených modelů izolovány a stimulovány fytohemaglutininem v čase 0 a 4 hodiny po ozáření. Dosažené výsledky obou metod poukazují na výraznou korelaci mezi mírou radiačního poškození buněk a nárůstem dávky. Svou specifitou a spolehlivostí jsou řazeny mezi biodozimetrické metody první volby při retrospektivním odhadu absorbované dávky ionizujícího záření.

# Ochrana buněk před ionizujícím zářením pomocí vychytávačů hydroxylových radikálů

Lukáš Ondrák<sup>1</sup>, Jana Vachelová<sup>2</sup>, Marie Davidková<sup>2</sup>, Barbora Neužilová<sup>1</sup>, Viliam Múčka<sup>1</sup>

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

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

[lukas.ondrak@fjfi.cvut.cz](mailto:lukas.ondrak@fjfi.cvut.cz)

V rámci této práce byl testován vliv methanolu, ethanolu a dimethylsulfoxidu jako vychytávačů hydroxylových radikálů na radiační citlivost buněk. Jako modelové organismy byla vybrána bakterie *Escherichia coli* jako zástupce prokaryotních buněk, kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* a buněčná kultura V79 (plicní fibroblasty křečka čínského) jako zástupci eukaryotních buněk. Ozařování bylo provedeno zářením gama <sup>60</sup>Co při různých dávkových rychlostech. Vyhodnocení bylo provedeno počítáním kolonií tvořených přežívajícími buňkami na agarových plotnách. Radiační ochrana  $\sigma$  byla definována jako podíl přirozených logaritmů

frakcí přeživších buněk bez vychytávače  $S_0$  a s vychytávačem  $S$ . Měrná radiační ochrana  $k$ , tj. radiační ochrana založená na vychytávání hydroxylových radikálů, byla definována jako směrnice závislosti radiační ochrany  $\sigma$  na vychytávací účinnosti  $Q$  modifikátoru definované jako součin koncentrace  $c$  modifikátoru v ozařované suspenzi a rychlostní konstanty  $k_{OH}$  reakce modifikátoru s hydroxylovými radikály. Bylo zjištěno, že závislost měrné radiační ochrany na dávkové rychlosti v rozsahu 1,8–100 Gy/h má nemonotónní průběh s maximem v oblasti dávkových rychlostí 50–55 Gy/h v případě všech modelových organismů a vychytávačů.

## Změny specifické interakce proteinu p53 s DNA po ozáření

Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Václav Štěpán<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> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Protein p53 je supresor nádorů, který je jedním z nejdůležitějších faktorů regulujících proliferaci buněk, jejich diferenciaci a apoptózu jako odezvu buněk na různé formy stresových signálů. P53 je jaderný fosfoprotein a jeho biochemická funkce je silně závislá na schopnosti vázat se na specifickou sekvenci DNA a fungovat tak jako transkripční faktor.

Změny specifické interakce proteinu p53 po ozáření byly sledovány experimentálně ve vodném roztoku DNA plasmidů. Protein byl ozařován rostoucími dávkami gama záření Co-60 a následně inkubován s DNA plazmidem pPGM1, jenž obsahuje vazebnou sekvenci 5'-AGACATGCCTAGACATGCCT-3'. Množství specifických komplexů proteinu p53 s DNA bylo stanovováno pomocí agarózové gelové elektroforézy.

Experimentální měření bylo doplněno teoretickým modelováním s cílem vysvětlit sledované efekty.

Teoretické modelování je v radiobiologii užitečným nástrojem pro simulování primárních procesů radiačního poškození DNA, proteinů, buněčných organel i celých buněk. Software RADACK umožňuje předpovídat poškození biomolekul hydroxylovými radikály, které vznikají v biologických systémech při radiolýze vody ionizujícím zářením s nízkým LPE. Na základě tohoto modelu byl vyvinut teoretický model poškození Warlock, který byl použit pro vysvětlení vzniku radiačního poškození proteinu p53.

V příspěvku budou prezentovány a diskutovány výsledky experimentálních měření a teoretických simulací.

# Vlastnosti neurálních kmenových buněk a metody pro analýzu jejich odezvy na ionizující záření in vitro

Jana Koniřová<sup>1,2</sup>, Lukáš Cupal<sup>3</sup>, Martina Zíková<sup>2</sup>, Anna Michaelidesová<sup>1,3</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>, Marie Davidková<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Ústav molekulární genetiky AV ČR, ČR

<sup>3</sup> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[lukas.cupal@bulovka.cz](mailto:lukas.cupal@bulovka.cz)

Kmenové buňky se vyznačují schopností sebeobnovy a tvorby jiných, již diferencovaných, typů buněk. Tento výzkum se zabýval radiační odezvou kmenových buněk neurálních (NSC), které se nacházejí v mozkové tkáni a jsou zodpovědné za vývoj mozku, případně za jeho regeneraci. Z těchto buněk následně diferenciací vznikají další typy buněk mozkové tkáně – astrocyty, oligodendrocyty a neurony. Eliminace NSC může vést k zastavení produkce neuronů, a tím k poškození kognitivních funkcí. Společně se schopností NSC regenerovat poškozenou mozkovou tkáň

je důležité znát jejich odezvu na ionizující záření, aby mohla být optimalizována radioterapeutická léčba mozkových nádorů.

Poster popisuje vlastnosti kmenových buněk s důrazem na NSC, oblasti výskytu NSC v mozku, stručný souhrn znalostí ohledně odezvy NSC na ionizující záření, a nakonec také metody a postupy použité při výzkumu, jako je například kvantitativní polymerázová řetězová reakce (qPCR) či způsob ozařování NSC.

## Využití detekce $\gamma$ H2AX/53BP1 foků jako potenciálního prediktivního markeru radiosenzitivity nádorů hlavy a krku

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

Zhoubné nádory hlavy a krku (HNSCC) představují v ČR 6. nejčastější nádory u mužů a 17. u žen a incidence u obou pohlaví setrvale narůstá. Pouze 60% pacientů reaguje na neinvazivní chemo/radioterapii, jejíž selhání naopak významně zhoršuje výsledky následné záchranné chirurgie v porovnání s chirurgií primární. Chirurgický zákrok často pacienty znetvoří a je spojen s poměrně vysokou morbiditou. I když je prvotní volba správné terapie zásadní, nebyly dosud nalezeny spolehlivé prediktivní klinické nebo molekulární markery.

V rámci našeho projektu zaměřeného na studium molekulární odpovědi a radiosenzitivity jednotlivých nádorů hlavy a krku jsme hledali radiosenzitivní a radiorezistentní modelové HNSCC buněčné linie, které by sloužily jako standard pro další analýzy buněčných kultur získaných od HNSCC pacientů. Vybrali jsme dvě modelové linie – FaDu a Detroit 562, na nichž jsme provedli detailní 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. Srovnání s linií normálních kožních fibroblastů odhalilo zvýšenou genomovou nestabilitu obou nádorových linií, radiosenzitivitu FaDu linie a radiorezistenci linie Detroit. Stejnou metodou jsme vyšetřili 26 různých buněčných kultur nádorových buněk i buněk přilehlé nenádorové tkáně 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).

Projekt je podporován GAČR GA16-12454S a AZV 16-29835A.

# Vliv dávkového příkonu Leksellova gama nože na indukci apoptózy v buněčné linii DAOY v suspenzním médiu

Markéta Hurychová<sup>1,2</sup>, Veronika Paštyková<sup>1,3</sup>, Jana Vachelová<sup>3</sup>, Marie Davidková<sup>3</sup>, Miroslav David<sup>1</sup>, Josef Novotný<sup>2</sup>

<sup>1</sup> FJFI ČVUT, 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

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

Prezentovaná studie byla provedena s buňkami DAOY meduloblastomu, nejčastějšího maligního nádoru nervového systému v dětském věku. Těžištěm studie je reálný experiment na Leksellově gama noži (LGK) Perfexion, jenž se používá v klinické praxi. Aby bylo možné tento experiment provést, bylo zapotřebí najít podmínky pro kultivaci buněčné kultury v suspenzi. Převoz adherentních buněčných kultur mezi laboratoří a nemocnicí způsobuje nežádoucí stres. Tento stres by měl být minimalizován právě hleda-

nými a testovanými suspenzními podmínkami. V příspěvku bude prezentována analýza výsledků stanovení apoptózy z několika experimentů. Experimenty na LGK provedené v adherentních a suspenzních podmínkách budou mezi sebou porovnány. Studie bude pokračovat měřeními vlivu dávkového příkonu na indukci apoptózy.

Studie je podporována Ministerstvem zdravotnictví České republiky - koncepční vývoj výzkumné organizace (Nemocnice Na Homolce – NNH, projekt č. 00024883).



## Rádiosenzitivita nádorových buniek a nanočastice

Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Falk Martin<sup>1</sup>, Lenka Štěfančíková<sup>2</sup>, Daniel Depeš<sup>1</sup>, Iva Falková<sup>1</sup>, Sandrine Lacombe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Radiobiologie a buněčná biologie, Biofyzikální ústav, Akademie věd České republiky, v. v. i., ČR

<sup>2</sup> Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, Université Paris-Sud, Francie

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

Rádioterapia je jedným z najvýznamnejších prístupov v liečbe nádorových ochorení. Efektivita rádioterapie sa výrazne odlišuje medzi jednotlivými druhmi malignít a jej nevýhodou je, že ionizujúce žiarenie preniká rovnakou mierou do nádorových a zdravých buniek. Využitie nanočastíc je novou stratégiou, ktorá zvyšuje efekt ionizujúceho žiarenia. Súčasťou štruktúry nanočastíc sú atómy kovov s vysokým protónovým číslom. Rádiosenzitivita buniek je podmienená prítomnosťou atómov kovov, ktoré majú tendenciu absorbovať väčšie množstvo fotónov. Bolo dokázané, že nanočastice sa preferenčne akumulujú v nádorových bunkách.

Mechanizmus, ktorý zabezpečuje prenikanie nanočastíc do bunky je spojený vo väčšine prípadov s endocytózou. Vstup nanočastíc do bunky je ovplyvnený parametrami ako sú: veľkosť, tvar, materiál a povrchová úprava.

Na základe pokročilých mikroskopických metód bola zaznamenaná prítomnosť nanočastíc v endozómoch a lyzozó-

moch. Nanočastice neprenikajú do bunkového jadra ani do mitochondrií ako by sa dalo predpokladať vzhľadom na ich rádiosenzitivujúci účinok.

Cieľom tejto práce bolo zistiť dôsledky rádiosenzitivizácie na bunkách U87 (human glioblastoma cells) a bunkách HeLa po ožiarení 2 a 4 Gy (<sup>60</sup>Co). Najzásadnejším poškodením pre bunku v dôsledku ožarovania je vznik dvojreťazcových zlomov. Naším cieľom bolo vyhodnotiť frekvenciu dvojreťazcových zlomov v bunkách po ožiarení, ktoré obsahujú zlaté alebo platínové nanočastice a porovnávali sme ich s bunkami bez nanočastíc. Zvýšená frekvencia dvojreťazcových zlomov nebola zistená u buniek obsahujúcich zlaté ani platínové nanočastice v porovnaní s bunkami bez nanočastíc.

Je možné predpokladať, že práve lyzozómy majú významnú metabolickú funkciu v cytoplazme a podieľajú sa na amplifikácii ionizujúceho žiarenia, čo má zásadný význam pre objasnenie mechanizmu pôsobenia nanočastíc.

## Porovnání radiační citlivosti různých buněčných linií

Jana Vachelová, Anna Michaelidesová, Marie Davídková

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

[jana.vachelova@odz.ujf.cas.cz](mailto:jana.vachelova@odz.ujf.cas.cz)

Ve snaze prozkoumat efekty ionizujícího záření na lidský organismus se vyvinula řada modelů, na kterých je toto zkoumání možné. Vedle různých modelů DNA, jako jsou například plasmidy, či živých organismů, jako jsou například myši, octomilky nebo prasata, se také často využívají v radiační biologii buněčné linie. Tyto buněčné linie mohou být normální imortalizované či rakovinné.

Každá buněčná linie má vzhledem ke svým charakteristikám různou citlivost na ionizující záření, primárně kvůli

svým reparačním mechanismům, které mohou být deficitní. Je velmi důležité znát parametry používaných buněčných linií, a proto jsme se rozhodli představit zde porovnání citlivosti námi používaných buněčných linií po ozáření gama a protonovým zářením.

Jelikož hodnoty relativní biologické účinnosti jsou závislé na druhu buněk/tkáně, pro které je tato hodnota stanovena, tak zde budou prezentované i odlišnosti v těchto hodnotách v závislosti na použité buněčné linii.

## Single-molecule localization microscopy as a promising tool for $\gamma$ H2AX/53BP1 foci exploration

Alena Bačíková<sup>1</sup>, Daniel Depeš<sup>1,2</sup>, Jin-Ho Lee<sup>3</sup>, Elizaveta Bobkova<sup>3</sup>, Lucie Ježková<sup>4</sup>, Iva Falková<sup>1</sup>, Felix Bestvater<sup>5</sup>, Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Olga Kopečná<sup>1</sup>, Mariia Zadnepriantc<sup>4</sup>, Elena Kulikova<sup>4</sup>, Elena Smirnova<sup>4</sup>, Tatiana Bulanova<sup>4</sup>, Alla Boreyko<sup>4</sup>, Evgeny Krasavin<sup>4</sup>, Michael Hausmann<sup>3</sup>, Martin Falk<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Masaryk University, Faculty of Sciences, Brno, Czech Republic, Brno, ČR

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

<sup>4</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Rusko

<sup>5</sup> German Cancer Research Center (DKFZ), Heidelberg, Germany

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

Quantification and structural studies of DNA double strand breaks (DSBs) are an essential part of radiobiology because DSBs represent the most serious damage introduced to the DNA molecule by ionizing radiation. Although standard immunofluorescence confocal microscopy has demonstrated its usefulness in a large number of research studies, it lacks the resolution required to separate individual, closely associated DSBs, which appear after cell exposure to high linear energy transfer (high-LET) radiation and can be visualized as clusters or streaks of radiation-induced repair foci (IRIFs). This prevents our deeper understanding of DSB induction and repair. Recent breakthroughs in super-resolution light microscopy, such as the development of single-molecule localization microscopy (SMLM), offer an optical resolution of approximately an order of magnitude higher than that of standard confocal microscopy and open new horizons in radiobiological research. Unlike electron

microscopy, SMLM (also referred to as “nanoscopy”) preserves the natural structure of biological samples and is not limited to very thin sample slices. Importantly, SMLM not only offers a resolution on the order of approximately 10 nm, but it also provides entirely new information on the biochemistry and spatio-temporal organization of DSBs and DSB repair at the molecular level.

The work was supported by the Czech Science Foundation (project 16-12454S), the Ministry of Health of the Czech Republic (AZV grant no. 16-29835A), mobility action for international exchange of the Heidelberg University within the excellence initiative II of the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) to Michael Hausmann, and the grants from the Czech Republic to the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna (Projects of the Czech Plenipotentiary and the 3 + 3 Projects).

## Poškození tří různých plasmidových DNA svazky těžkých iontů

Zuzana Jamborová<sup>2</sup>, Anna Michaelidesová<sup>1,2</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>

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

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

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

Přestože jsou škodlivé účinky ionizujícího záření na živý organismus známé téměř od objevu paprsků X, stále nejsou detailně prostudovány mechanismy radiačního poškození způsobeného těžkými nabitými částicemi vyskytujícími se přirozeně ve vesmíru nebo používanými v radioterapii.

Tato práce se zaměřuje na studium výtěžků jednoduchých (SSB) a dvojných (DSB) zlomů na dvoušroubovici plasmidové DNA, jež slouží jako zjednodušený model buňky bez přítomnosti reparačních procesů, které by se odehrávali v živém organismu. Experiment byl proveden pro tři typy plasmidů různých velikostí – plasmid pUC19 sestávající se z 2686 bázových párů, pBR322 mající 4361 bázových párů a pKLAC2 s 9107 bázovými páry. Vzorky byly rozpuštěny ve vodě a fosfátovém pufru, aby se docílilo dvou odlišných koncentrací plasmidové DNA. Do části vzorků byl

přidán vychytávač hydroxylových radikálů Tris (2-amino-2-hydroxymethyl-propan-1,3-diol) ve dvou koncentracích. Největší koncentrace vychytávače umožňuje napodobení buněčného prostředí s částečně potlačeným nepřímým účinkem záření.

Poškození bylo indukováno svazkem iontů železa s energií 500 MeV/u na Heavy Ion Medical Accelerator (HIMAC) v Japonsku, vzorky byly ozářeny dávkami od 0 do 100 Gy. K detekci poškození byla použita elektroforetická metoda a k výpočtu výtěžků SSB a DSB použit zjednodušený Cowanův model (při zanedbaní krátkých DNA fragmentů). Výsledky byly zpracovány vzhledem k různé koncentraci vzorků, různé koncentraci vychytávače Tris a také délce plasmidů.

## Atomární modely různých konformací plasmidové DNA pro Monte Carlo simulace

Klára Stefanová<sup>1,2</sup>, Martin Šefl<sup>1,2</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> KDAIZ, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

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

Plasmidy, uzavřené smyčky dvoušroubovice DNA nacházející se v cytoplazmě některých bakterií, obsahují tisíce až statisíce bazických párů. Protože plasmid představuje jednodušší organizaci molekuly DNA než chromatin, často se využívá k výzkumu fyzikálních a chemických účinků ionizujícího záření na molekulu DNA. Konformace plasmidu se ve vodném roztoku v čase mění – vliv rozdílných konformací dosud nebyl pomocí Monte Carlo simulací podrobněji studován.

Cílem naší práce je vytvořit kód pro generování statické atomární struktury plasmidu ve vodném roztoku v různých časových okamžicích. Různé konformace plasmidu během vývoje v čase bude možné dále využít k odhadům vlivu konformace na výtěžky primárních poškození plasmidu ionizujícím zářením.

Základní kostru struktury plasmidu pro další výpočty jsme získali pomocí kódu popsaného v Huang J., et al. (PNAS 2001, 98(3): 968-973). Následně jsme tuto kostru zjemnili pomocí algoritmu uvedeného v Kümmerle, E. A. a Pomplun E. (Eur Biophys J., 2005, 34: 13–18). Součástí implementovaných algoritmů je i kontrola parametrů vygenerovaných prostorových modelů. Poté jsme na nanosenou kostru nanесли atomární strukturu odpovídající sekvenci bází daného plasmidu. Vzniklé atomární struktury byly uloženy do PDB (RCSB Protein Data Bank) formátu, který umožňuje jejich přenositelnost. Lze je využít je pro Monte-Carlo simulace v Geant4-DNA, například s využitím příkladu PDB4DNA, který umožňuje import těchto souborů.

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

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

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

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

[vavrole1@fjfi.cvut.cz](mailto:vavrole1@fjfi.cvut.cz)

Výzkumný projekt se věnuje návrhu a optimalizaci zobrazovacího protokolu zvoleného nádoru pomocí  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT na multimodálním zobrazovacím systému PET/SPECT/CT pro malé hlodavce na pracovišti Centra pokročilého preklinického zobrazování (CAPI) při 1. Lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

První, zde prezentovaná, část optimalizace zobrazovacího protokolu zahrnuje hlavní parametry pro stanovení délky hladovění subjektu před PET/CT zobrazením a 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 studnového typu.

Doba akumulace radiofarmaka před PET/CT zobrazováním byla stanovena na 90 min s ohledem na minimalizaci délky anestezie. Optimální doba hladovění, vzhledem k velkým rozptylům naměřených hodnot, nebyla zvolenou metodikou stanovena. Zjištěné poznatky, spolu s dalšími parametry, byly zahrnuty do návrhu optimalizované verze zobrazovacího protokolu, kterým bude výzkumný projekt dále pokračovat. Výsledný zobrazovací protokol bude sloužit jako referenční model při optimalizaci zobrazovacích protokolů PET/CT pro další zvolené nádorové linie.

## Rozšíření modelů biologického terče v kódu RADAMOL o nukleosomu

Václav Štěpán<sup>1</sup>, Martin Šeřl<sup>1,2</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>

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

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

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

Pro modelování úvodních fází účinku ionizujícího záření na dílčí části živých organismů se často využívá zjednodušených modelů DNA ve vodě, například plasmidů, oligonukleotidů a podobně.

Teoretický model RADAMOL byl vyvinut pro popis vychytatelného a nevychytatelného účinku ionizujícího záření na jednoduché biologické molekuly ve vodě. Doposud byl model využíván pro výpočty s oligomery DNA, komplexy DNA-protein a pro popis časového vývoje radiolýzy vody per se.

Jako vstupní data model využívá podrobného popisu fyzikální stopy ionizující částice ve vodě a na atomární úrovni

popsaného biologického terče. Pro generování fyzikální stopy částice mohou být použity kódy TRIOL a Geant4. Geometrické modely biologického terče jsou připravovány buď pomocí programu Amber nebo lze využít veřejných databází jako je RCSB Protein Data Bank.

V tomto příspěvku se snažíme popsat vliv konformace krátkého úseku DNA na výtěžky přímých a nepřímých poškození DNA – a to porovnáním výsledků pro DNA oligomer skládající se ze sta bázeových párů s modelem nukleosomy nově zahrnutým do kódu RADAMOL. Výsledky napoví, jestli jsou krátké oligomery DNA vhodným přiblížením pro situaci v buňce.

# Ethanol jako modifikátor radiační citlivosti živých buněk vůči UV záření

Barbora Neuzilová, Viliam Múčka, Lukáš Ondrák

Katedra jaderné chemie, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[barbora.neuzilova@fjfi.cvut.cz](mailto:barbora.neuzilova@fjfi.cvut.cz)

Cílem této studie bylo studovat možnou radiační ochranu bakterií *E. coli*, DBM 3125 a kvasinek *S. cerevisiae*, DBM 272 ethanolem před UVC zářením (254 nm). Ozařování bylo provedeno nízkotlakou rtuťovou výbojkou. Nominální hodnoty dávkové rychlosti se pohybovaly v intervalu 6–42 Gy h<sup>-1</sup>. Bylo zjištěno, že frakce přeživších buněk roste s koncentrací ethanolu. Ethanol má tedy ochranný účinek na radiační citlivost obou mikroorganismů. Specifická ochrana  $k$  ( $k$  je směrnice závislosti ochranného účinku  $\sigma$  na koncen-

traci ethanolu;  $\sigma = \ln S_0 / \ln S_S$ , kde  $S_0$  a  $S_S$  jsou frakce přeživších buněk bez a s modifikátorem) závisí na dávkové rychlosti a na koncentraci modifikátoru v intervalu nízkých koncentrací 5–100 mM. Ochranný účinek ethanolu je u kvasinek vyšší než u bakterií, na rozdíl od ozařování gama zářením <sup>60</sup>Co. Dále bylo zjištěno, že tepelným opracováním kvasinek před ozařováním (50° C, 20 min) se zvýší účinek vychytávače.



## Mechanisms and challenges for understanding radiation induced changes in chromatin nanoarchitecture

Jin-Ho Lee<sup>1</sup>, Elizaveta Bobkova<sup>1</sup>, Theresa Gier<sup>1</sup>, Martin Gote<sup>1</sup>, Franz Schmidt-Kaler<sup>1</sup>, Emily Brieger<sup>1</sup>, Emanuel Maus<sup>1</sup>, Matthias Krufczik<sup>1</sup>, Robert Chojowski<sup>1</sup>, Friederike Korn<sup>1</sup>, Marion Eryilmaz<sup>1</sup>, Emma Wagner<sup>1</sup>, Andreas Hofmann<sup>2</sup>, Dieter W. Heermann<sup>2</sup>, Felix Bestvater<sup>3</sup>, Sarah Schumann<sup>4,5</sup>, Harry Scherthan<sup>4</sup>, Iva Falková<sup>6</sup>, Martin Falk<sup>7</sup>, Michael Hausmann<sup>1</sup>, Lars G. Hildenbrand<sup>1,7</sup>

<sup>1</sup> Kirchhoff-Institute for Physics, University of Heidelberg, Heidelberg, Germany

<sup>2</sup> Institute for Theoretical Physics, University of Heidelberg, Heidelberg, Germany

<sup>3</sup> German Cancer Research Center (DKFZ), Heidelberg, Germany

<sup>4</sup> Department of Nuclear Medicine, University of Würzburg, Würzburg, Germany

<sup>5</sup> Bundeswehr Institute of Radiobiology, München, Germany

<sup>6</sup> Institute of Biophysics of the Czech Academy of Sciences, Brno, ČR

<sup>7</sup> Department of Radiation Oncology, Universitätsmedizin Mannheim, University of Heidelberg, Mannheim, Germany

[jin-ho.lee@kip.uni-heidelberg.de](mailto:jin-ho.lee@kip.uni-heidelberg.de)

The three-dimensional architecture of genomes acts as an additional level of mode for fundamental biological processes such as DNA damage response. In this context, nanoprobng and super-resolution microscopy are powerful methods for structural analyses of genomic targets in native chromatin of single cells at resolutions of single antibodies, proteins, histones, short DNA stretches, etc. We used multi-color chromatin nanoprobng and single molecule localization microscopy of established DNA damage and chromatin markers in 3D-conserved nuclei of different cell types exposed to various types and doses of ionizing radiation. Similarly, effect of gold nanoparticles on extent and direction of cellular radiation response was assessed. Our

studies revealed the nanoarchitecture of damage foci with respect to  $\gamma$ H2AX, Mre11 or 53BP1 and their molecular rearrangements during repair processes. Nanoscopy of genomic Alu resulted in linear-quadratic dose-effects for low to higher dose ranges and in changes of H3K9me3 distribution around Alu clusters upon radiation exposure. Preliminary results show post-irradiation time dependent changes in Alu chromatin. Moreover, gold nanoparticles incorporated into cells seem to act by an interplay of radiation enhancement and chromatin remodeling leading to altered radiosensitivity. Our results contribute to the understanding of cellular radiation responses, thereby laying the basis for improved biological dosimetry and radiotherapies in future.

# Využití plastového scintilátoru Exradin W1 pro dozimetrii v radioterapii

Irena Koniarová<sup>1,2</sup>, Ondřej Konček<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Oddělení radioterapie a rtg laboratoře, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

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

<sup>3</sup> UJP Praha, a. s., Nad Kamínkou 1345, Praha – Zbraslav, 156 10, ČR

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

Plastový scintilátor Exradin W1 (výrobce Standard Imaging) je detektor vhodný pro relativní dozimetrii v radioterapii. Jedná se o vodě-ekvivalentní detektor, který umožňuje pracovat s prostorovým rozlišením 1 mm. Detektor musí být připojen ke dvěma elektrometrům, protože výsledná odezva úměrná absorbované dávce se musí korigovat na přítomnost Čerenkovova záření. Výrobce deklaruje, že odezva detektoru je lineární s dávkou, nezávislá na dávkovém příkonu, energii a teplotě. Tyto vlastnosti činí tento detektor vhodným pro provádění relativní dozimetrie malých a nestandardních polí. Cílem práce bylo ověřit vlastnosti detektoru a jeho použitelnost pro absolutní i relativní dozimetrii ozařovačů používaných v radioterapii (vysokoenergetické fotonové a elektronové svazky lineárního urychlovače,

tomoterapie, HDR brachyterapie). V práci jsou popsány naše první zkušenosti s tímto detektorem, zejména stabilita kalibrace detektoru, porovnání faktorů velikosti pole a procentuálních hloubkových dávkových křivek vysokoenergetických fotonových svazků změřených s detektorem W1 s daty naměřenými diamantovým detektorem PTW 60019, příspěvek šumu vznikajícího v děliči v závislosti na jeho vzdálenosti od svazku, závislost na dávkovém příkonu, použití detektoru pro tomoterapeutické svazky, elektronové svazky a brachyterapeutický HDR zdroj. Tato práce byla podpořena projektem Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky č. FV20411 a projektem Ministerstva vnitra České republiky č. MV-25972-2/OBV-2012/2018.

## Hybridní pixelový detektor PHpix – využití v klinické praxi

Denis Dudáš, Milan Semmler, Kateřina Peterková, Ondřej Konček, Petr Galus

UJP Praha a. s., Nad Kamínkou 1345, Praha-Zbraslav, 156 00, ČR

[dudas@ujp.cz](mailto:dudas@ujp.cz)

Momentálně nepoužívanější technologií při zobrazování v radioterapii jsou flat panel detektory, založené na bázi CsI/GOS/aSi nebo aSe. Takové detektory přinášejí vysokou detekční účinnost a rozlišení. Jednoznačnou nevýhodou je ovšem nízká radiační odolnost (v řádku kGy), což omezuje možné oblasti využití. Pro vývoj a zavedení dávkově řízené radioterapie jsou zmiňované materiály a používání vyčítací elektronika nevhodné.

Detektor Phpix, vyvíjený na Kf ČVUT FJFI ve spolupráci s UJP PRAHA a. s., je konstruován tak, aby požadavkům dávkově řízené radioterapie plně a dlouhodobě vyhovoval. Kromě toho je jeho výroba jednodušší a levnější. V této části práce jsme se zaměřili na testování a posouzení vlastností, důležitých z hlediska využití v klinické praxi. Důraz byl kladen zejména na relativní dozimetrii a stabilitu odezvy.

# Porovnání různých metod stanovení dávkových distribucí v radioterapii pomocí gafchromických filmů EBT3

Vladimír Dufek<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Radiofyzikální oddělení, Nemocnice Na Bulovce, Budínova 67/2, Praha 8 – Libeň, 180 81, ČR

[vladimir.dufek@suro.cz](mailto:vladimir.dufek@suro.cz)

Gafchromické (samovyvolávací) filmy lze v radioterapii použít k ověření dodání dávkových distribucí spočtených terapeutickými plánovacími systémy. Různé metody stanovení dávkových distribucí pomocí gafchromických filmů ale dávají různou míru shody mezi dávkovou distribucí změřenou gafchromickým filmem a dávkovou distribucí vypočtenou plánovacím systémem. Cílem práce bylo vybrat nejvhodnější metodu.

V přednášce budou prezentovány výsledky porovnání těchto čtyř metod: (1) vyhodnocení červeného kanálu RGB snímků bez odečtení odezvy neozářeného filmu v programu Matlab, (2) vyhodnocení červeného kanálu RGB snímků s odečtením odezvy neozářeného filmu v programu Matlab, (3) vyhodnocení všech tří kanálů RGB snímků v programu Matlab, (4) vyhodnocení všech tří kanálů RGB snímků v komerčním programu FilmQA Pro.

Dávkové distribuce změřené filmy se porovnávaly jednak s dávkovými distribucemi změřenými detektorem MatriXX (matice ionizačních komor) a jednak s dávkovými distribucemi spočtenými plánovacími systémy.

Dávkové distribuce změřené filmy EBT3 se nejdříve pro čtyři různé velikosti homogenních polí  $14 \times 18 \text{ cm}^2$ ,  $10 \times 18 \text{ cm}^2$ ,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  a  $8 \times 18 \text{ cm}^2$  porovnávaly s dávkovými distribucemi změřenými pro výše uvedené velikosti polí detektorem MatriXX. Filmy umístěné ve vodě ekvivalentních RW3 deskách byly ozářeny na lineárním urychlovači Varian Clinac 2100CD v Nemocnici Na Bulovce. Míra shody mezi dávkovou distribucí změřenou filmy a detektorem MatriXX se kvantifikovala pomocí gama analýzy. Porovnání bylo provedeno pro skenování filmů na skenerech Epson V750 a Epson 11000XL a pro filmy ozářené dávkou 2 Gy a 6 Gy.

Na třech pracovištích byly dále gafchromické filmy umístěné v antropomorfním fantomu pánve ozářeny celkem šesti radioterapeutickými plány prostaty a dávkové distribuce změřené pro tyto plány gafchromickými filmy se porovnávaly s příslušnými dávkovými distribucemi vypočtenými terapeutickými plánovacími systémy. Míra jejich vzájemné shody se opět kvantifikovala pomocí gama analýzy.

## Pseudo-3D verifikace IMRT pomocí filmu

Tereza Hanušová<sup>1</sup>, Ivana Horáková<sup>2</sup>, Irena Koniarová<sup>1,2</sup>

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

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

[tereza.hanusova@fjfi.cvut.cz](mailto:tereza.hanusova@fjfi.cvut.cz)

S rozvojem ozařovacích technik s modulovanou intenzitou svazku (IMRT a VMAT) přišly na trh i komerční detektory, fantomy a software, které umožňují předléčebnou verifikaci patientských plánů v celém 3D prostoru. Elektronické detektory jsou ale schopné měřit jen malou část 3D prostoru, mělo by se spíše mluvit o 2D uspořádání. Aby bylo možné porovnat naplánovanou a naměřenou dávku ve 3D, jsou potřeba specifické rekonstrukční algoritmy a naměřená vstupní data, která ten který systém používá pro dopočítání 3D dávkové distribuce z naměřených 2D dat. Výsledky tak závisí na vlastnostech konkrétního detekčního systému. Skutečně 3D je pouze gelová dozimetrie, která je však stále příliš náročná

pro rutinní použití v klinické praxi. Tato práce si klade za cíl navrhnout metodu ověřování IMRT plánů ve 3D, která by využívala čistě jen naměřená data a dala by se přímo použít na klinických pracovištích bez nutnosti dokupovat další vybavení. Zvoleným detektorem je radiochromický film vložený do běžného IMRT fantomu. 2D a 3D gama analýza pro srovnání naměřené a predikované dávkové distribuce je provedena pomocí vlastního skriptu v Matlabu. Tento detekční systém je možné použít pro ověřování 3D dávkových distribucí při zavádění nových technik do provozu, v rámci auditů nebo pro komplikované individuální klinické případy, kde výsledky jiných detekčních metod jsou sporné.

## Daň za přesnost – zobrazovací technika v radioterapii a její nedostatky

**Vladimír Rak**

Masarykův onkologický ústav, Žlutý kopec 7, Brno, 656 53, ČR

[vladimir.rak@mou.cz](mailto:vladimir.rak@mou.cz)

Moderní radioterapie umožňuje aplikovat vysokou dávku ionizujícího záření do přesně definované oblasti s jejím výrazným poklesem již několik milimetrů mimo tuto oblast. Tato přesnost nám umožňuje použít vyšší jednotlivou nebo i celkové dávky záření. Dávky, které v minulosti byly pro svou toxicitu nedosažitelné, jsou nyní u některých nádorů standardem. Vysoká přesnost je také jeden ze základních předpokladů pro stereotaktickou radioterapii, která umožňuje s minimální toxicitou léčit časně plicní nádory a oligome-

tastická onemocnění. Problémem je tuto přesně naplánovanou dávku a její prudký pokles mimo nádor správně spojit s ozařovaným pacientem, přičemž naprostá většina nádorů není viditelná pouhým okem a jejich poloha oproti povrchu těla je variabilní (dýchání, peristaltika, ...). Příspěvek shrnuje možnosti a rizika zobrazovacích metod využívaných při ozařování ke správnému spojení geometrické přesnosti technického vybavení s inherentně variabilními biologickými systémy (živí lidé).

## Dobry ozařovací plán?

Matěj Navrátil<sup>1</sup>, Vladimír Vondráček<sup>1,2</sup>

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

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

[matej.navratil@ptc.cz](mailto:matej.navratil@ptc.cz)

Cílem této práce je zamyšlení se na tím, co to je dobrý ozařovací plán. Co toto spojení znamená pro pacienta, pro radiologického fyzika, či lékaře.

K tomuto nás motivují zejména zkušenosti získané z neustávajícího proudu srovnávacích plánů, které na našem pracovišti vytváříme.

Pro některé diagnózy neexistuje jednotná strategie léčby – např. high risk prostaty, či hodgkinské lymfomy.

Často lze zaznamenat, že konturace kritických orgánů je značně ovlivněna technickými možnostmi pracoviště tj. struktury, které nelze chránit, či jsou „daleko“ od PTV nejsou zakresleny a tím pádem ani jejich ozáření není kont-

rolováno. Toto je problém zejména u reiradiací, kdy je třeba důkladně zvážit, zda nemůže dojít k poškození některého z těchto často nezakreslených orgánů. Tento přístup spolu s mechanickým hodnocením DVH parametrů při kontrole ozařovacího plánu může vést k nesprávnému ozáření pacienta. Dále to také znesnadňuje zpětné vyhodnocení ozáření, zejména s ohledem na eventuální úpravu constraints pro jednotlivé orgány.

Je nutné dbát na neustálé udržování povědomí o možnostech ozařovací techniky na jiných pracovištích, tak aby byl klinický radiologický fyzik vždy schopen zvolit tu nejvhodnější ozařovací modalitu pro daného pacienta.

## Akční týden HERCA – zdůvodnění lékařského ozáření

**Petr Papírník, Jitka Nožičková**

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

[jitka.nozickova@sujb.cz](mailto:jitka.nozickova@sujb.cz)

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) se na přelomu roku 2016/2017 zapojil do mezinárodní akce nazvané Akční týden HERCA – zdůvodnění lékařského ozáření. Cílem akce mělo být posouzení, zda statistiky uváděné některými mezinárodními organizacemi (např. WHO), které hovoří o desítkách procent nezdůvodněných lékařských ozáření, jsou opodstatněné. Organizátorem akce byla organizace HERCA (Heads of European Radiological Protection Competent Authorities) a náplní bylo provedení určitého počtu

inspekcí na radiodiagnostických pracovištích cíleně zaměřených na uplatnění principu zdůvodnění. Náplň a rozsah inspekcí byl předem stanoven. Z důvodu posouzení klinických záležitostí SÚJB vyzval ke spolupráci Radiologickou společnost ČLS JEP, takže členem každého kontrolního týmu byl vždy lékař radiolog. Akce se setkala s příznivou odezvou ze strany pracovišť i Radiologické společnosti. Zjištění jsou předmětem prezentace.



# The role of automatic dose data collection in prepared mammography screening in Slovakia

Dušan Šalát<sup>1</sup>, Denisa Nikodemová<sup>2</sup>, Anna Šalátová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, SR

<sup>2</sup> Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, SR

<sup>3</sup> Ústav radiačnej ochrany s. r. o., SR

[dusan.salat@ucm.sk](mailto:dusan.salat@ucm.sk)

In the last years also in Slovakia it is observed an extensive changes in the technology and clinical practice of mammography examinations, not only because of the use of digital mammography devices, but also due to the new imaging methods, exceeding the application of tomosynthesis and improving the diagnostic options. Concerning the radiation load of the patients, despite of the fact that the number of mammography examinations does not show a significant increase and the radiation load is lower than that of most frequent CT scans, from the perspective of an individual and repetitive exposure of women connected to prepared

mammography screening programe, it is necessary to apply effectively the tools for compliance with the basic principles of radiation protection, mainly the optimization of the obtained doses.

The search for harmony between the high image quality (precise diagnostic information) and the radiation load will help us to find the best way for optimization. One of the proper instruments is also the adherence to diagnostic reference levels, set for the different thicknesses of the breasts, as well as, the automatic collection of the relevant exposures parameters of the examination.

# Personalized estimates of long-term health risks following breast-cancer radiotherapy: Selecting most informative anatomic features

Pavel Kundrát<sup>1,2</sup>, Cristoforo Simonetto<sup>1</sup>, Markus Eidemüller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Radiation Protection, Helmholtz Zentrum München, Germany

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

[pavel.kundrat@helmholtz-muenchen.de](mailto:pavel.kundrat@helmholtz-muenchen.de)

Adjuvant radiotherapy reduces the recurrence and mortality rates after breast-conserving surgery in breast-cancer patients. However, in the long-term it may also lead to heart disease or second cancer. The PASSOS project aimed at estimating these risks on a personalized basis, taking into account factors such as age or lifestyle as well as the patient's anatomy and its influence on dose deposition in diverse organs from alternative irradiation techniques. An overview will be given of the three pillars of the project: dose assessment in nearby and distant organs, risk models for low- and high-dose regions, and software to help in clinical decision-making processes.

Special attention will be devoted to anatomy-dependent dose estimates in critical nearby organs, i.e. the heart, lungs

and contralateral breast. Individual variability in organ doses can be largely explained by variations in minimum breast distance, central lung distance, minimum heart distance and further geometrical parameters depicting the patient's anatomy. For practical applications, only a few anatomic features have to be selected that are most informative regarding the person's long-term risk. To identify these anatomic features, dose-risk relationships have to be known for diverse organs. However, largely differing risk estimates have been reported for atomic bomb survivors and radiotherapy patients. Therefore, the impact of alternative organ and dose-metric weighting scenarios on feature selection, dose and risk assessment will be discussed.

## Radionuklidová terapie a požadavky nového atomového zákona

**Jitka Nožičková, Veronika Štědrová**

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

[jitka.nozickova@sujb.cz](mailto:jitka.nozickova@sujb.cz)

Zákon č. 263/2016 Sb., ve znění pozdějších předpisů, atomový zákon, nově zavedl povinnost individuálního plánování a ověřování ozáření cílových objemů při léčebných aplikacích radionuklidů. Dosud v praxi nebyly postupy plánování a ověřování terapeutické léčby prováděny na všech pracovištích

a pro všechny typy terapie otevřenými radionuklidovými zdroji. Předmětem příspěvku je informace o krocích, které Státní úřad pro jadernou bezpečnost podniká pro implementaci nového zákonného požadavku do praxe.

## Secondary neutrons in radiotherapy

Vladimír Vondráček<sup>1,3</sup>, Miloslav Králík<sup>2</sup>, Zdeněk Vykydal<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup> PTC Czech, Budínova 1a, Praha 8, 180 00, ČR

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

Over last decade radiotherapy technology made a big step forward. Massive deployment of computer technology made this medical discipline more promising and much better treatment results are expected or even now achieved. Together with much higher rate of cured patient go the worries about influence of unwanted dose delivered to whole patient body. Such doses may in long term lead to late or very late toxicity of treatment, usually represented by secondary induced cancer or other severe effects.

In our work we focused on measurement of neutron ambient dose equivalent in the treatment room. Measurement was done by Bonner sphere spectrometer around therape-

utic linear accelerators and in proton therapy treatment room. Measured values were compared to doses delivered into the treatment volume as usually prescribed for patient.

Sources of secondary neutrons were also identified and influence of particular parts of treatment machine is also discussed and taken into account.

Results of the study show superiority of scanned proton beam over photon beam in the sense of sparing dose to patient healthy tissues. In some cases this advantage is high and thus may be considered as an argument for broader usage of proton beam therapy for patients with long life expectancy.

## On-line dozimetria na pracoviskách intervenčnej rádiológie

Dušan Šalát<sup>1</sup>, Andrej Klepanec<sup>1</sup>, Denisa Nikodemova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, SR

<sup>2</sup> Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, SR

[dusan.salat@ucm.sk](mailto:dusan.salat@ucm.sk)

Medzi najviac ožiarených pracovníkov v medicínskej oblasti patria najmä pracovníci intervenčnej rádiológie. Pri náraste počtu intervenčných výkonov a sprísňovaní požiadaviek novej legislatívy v oblasti radiačnej ochrany sa stáva aktuálnou témou nielen potreba dôsledného dodržiavania základných princípov radiačnej ochrany, ale aj hľadanie nových metód na zníženie ožiarenia pracovníkov. Doteraz používané monitorovanie radiačnej záťaže pracovníkov pomocou tzv. pasívnych dozimetrov (TLD, OSL, film) síce umožňuje sledovať dodržiavanie limitov ožiarenia pracovníkov,

ale nevytvára podmienky aktívne prispôbiť výkon činností jednotlivých pracovníkov tak, aby dokázali eliminovať veľkosť svojho ožiarenia v reálnom čase.

Zavedenie on-line dozimetrie umožňuje, byť v každom okamihu rádiologického vyšetrenia informovaný o intenzite radiačného poľa v ktorom sa pracovník nachádza a tak vhodným spôsobom využívať technické možnosti rtg prístroja a organizačné opatrenia na znížovanie nielen svojho ožiarenia, ale aj ožiarenia svojich kolegov a pacientov.

## RapidArc technika při plánování radioterapie

Barbora Dršková, Tereza Hanušová

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

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

Při léčení onkologických pacientů se dnes již standardně používá technika s modulovanou intenzitou svazku – IMRT. Její novější variantou je Intensity Modulated Arc Therapy – IMAT, kdy se průběžně pohybují lamely kolimátoru i rameno urychlovače a celá frakce trvá výrazně kratší dobu. Při aplikaci této techniky je nutný jiný přístup k plánování léčby i k předléčebné verifikaci plánů měření. V současné době je m.j. diskutován rozdíl dvou algoritmů pro výpočet dávky – staršího AAA (analytický anizotropní algoritmus) a nového Acuros XB. Po seznámení se s oběma algoritmy na výpočet dávky a PRO (Progressive Resolution Optimizer) algoritmem používaným k optimalizaci IMAT plánů byly

AAA a Acuros XB porovnány na základě několika publikovaných studií. Následně byl proveden vlastní výzkum. V software Eclipse byly nakonfigurovány zmíněné algoritmy. Algoritmy pro výpočet dávky byly pak oba aplikovány na vytvořený RapidArc plán, při jehož optimalizaci byl použit PRO algoritmus. Byl volen pacient, který měl CT v oblasti cílového objemu zatíženo artefakty. Acuros XB a AAA byly porovnány, přičemž mezi jimi vypočtenými dávkami nebyly shledány signifikantní rozdíly, s výjimkou dávky na míchu s 0,5 cm lemem. Výpočet pomocí Acuros XB byl více než třikrát rychlejší než pomocí AAA.

## Odezva radiochromních gelových dozimetrů pro vyšší dávkové příkony

Václav Spěváček<sup>1</sup>, Denis Dudáš<sup>1, 2</sup>, Hana Bártová<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ÚJP PRAHA a. s., Nad Kamínkou 1345, Praha-Zbraslav, 156 10, ČR

[vaclav.spevacek@fjfi.cvut.cz](mailto:vaclav.spevacek@fjfi.cvut.cz)

Gelové dozimetry slouží k měření dávkové distribuce v prostoru. Jedná se o chemické dozimetry, ve kterých je aktivní složka fixovaná v hydrofilním gelu. Používají se hlavně k ověření prostorové distribuce dávky v radioterapii, ale je možná i aplikace při stanovení distribuce dávky průmyslových ozařovačů. Předmětem výzkumu byly radiochromní gelové dozimetry, na kterých dlouhodobě probíhá výzkum v laboratoři Katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření (KDAIZ). Jednalo se o modifikovaný Frickeho gelový dozimetr s xylenolovou oranží, gelový dozimetr na bázi Turnbullovy modře (TB) a komerční gelový dozimetr PRESAGE® (Heuris Inc.). Ozařování probíhalo na kobalto-

vém zdroji (<sup>60</sup>Co) v ÚJP Praha, který dosahuje dávkových příkonů řádu stovek Gy/min. Následně probíhalo srovnání odezvy radiochromních gelových dozimetrů s dozimetrem, jehož závislost odezvy na dávkovém příkonu je známá (Frickeho dozimetr) a kalibrační ozařování pomocí kobaltového zdroje (<sup>60</sup>Co – Gammacell 220) na KDAIZ. TB a Frickeho dozimetry jsou vhodné pro stanovení velkých dávek (stovky Gy), ale při velkých dávkových příkonech je nutná korekce odezvy. Dozimetr PRESAGE® je též použitelný, ale korekce na dávkový příkon je již značná. Vyhodnocení odezvy proběhlo pomocí optické tomografie (OT) a spektrofotometrického měření.

## Results of national study of radiation exposure from radiotherapy of heel spurs

Vladimír Dufek<sup>1,2</sup>, Lukáš Kotík<sup>1</sup>, Helena Žáčková<sup>1</sup>, Ivana Horáková<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Radiofyzikální oddělení, Nemocnice Na Bulovce, Budínova 67/2, Praha 8 – Libeň, 180 81, ČR

[vladimir.dufek@suro.cz](mailto:vladimir.dufek@suro.cz)

Most of the more than 26 000 patients treated per year with radiotherapy for non-malignant diseases in the Czech Republic are patients undergoing radiotherapy of heel spurs. The aim of this study was to evaluate radiation exposure of these patients. The evaluation of radiation exposure was based on measured organ doses, on data obtained from questionnaire (designed by the National Radiation Protection Institute), on data from the Institute of Health Information and Statistics of the Czech Republic and on data from the General Health Insurance Company of the Czech Republic (which insures more than 50 % of all insured persons in the Czech Republic). From the provided data we obtained (using an in-house Matlab script) number of patients, patient age distribution, distribution of treatments and treatment courses for particular diagnoses of radiotherapy of non-malignant diseases.

Organ doses for single treatment of heel spurs with prescribed absorbed dose 1 Gy on surface for typical treatment

parameters (ascertained via questionnaire) were measured with thermoluminescence dosimeters in a male anthropomorphic Rando phantom on x-ray therapy unit Wolf T200.

To evaluate and to compare doses from different diagnoses of radiotherapy of non-malignant diseases treated on x-ray therapy units collective effective doses for these diagnoses were calculated as a product of typical effective dose from single treatment and number of treatments per year.

The results show that treatment of heel spurs represented 79.4 % of all treatments in radiotherapy of non-malignant diseases on x-ray therapy units in the Czech Republic in 2013. The collective effective dose from radiotherapy of heel spurs in the Czech Republic in 2013 was evaluated as 77 manSv. It represents 25.6 % of total collective effective dose for all diagnoses of radiotherapy of non-malignant diseases.

The work was supported by financial support of TA ČR (TB02SUJB037).



# Korespondenční TLD audit pro 3D konformní radioterapii v ČR

Michaela Kapucianová, Daniela Ekendahl

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

[michaela.kapucianova@suro.cz](mailto:michaela.kapucianova@suro.cz)

V České republice je již od roku 1997 prováděn nezávislý korespondenční audit v radioterapii pomocí termoluminiscenčních dozimetrů (TLD), který spočívá v kontrole kalibrace svazku. Existují však i pokročilejší varianty TLD auditu zaměřené na kontrolu dávky při složitějších podmínkách ozáření. Jednou z nových variant je TLD audit pro 3D konformní radioterapii. Tento TLD audit spočívá v tom, že dávka je pomocí TLD kontrolována nejen za referenčních podmínek, ale i v podmínkách radiačních polí ovlivněných přítomností nehomogenit v ozařovaném objemu. TLD jsou ozařovány ve vybraných bodech ve speciálním fantomu, který obsahuje bloky nehomogenit představující plicní a

kostní tkáň. Úkolem radioterapeutického pracoviště je pro předepsané podmínky ozáření vypočítat dávkovou distribuci a aplikovat požadovanou dávku. Relativní odchylka mezi dávkou naměřenou pomocí TLD a dávkou stanovenou pracovištěm by neměla přesáhnout 3 %. V letech 2015 až 2017 byla tomuto auditu podrobena všechna radioterapeutická pracoviště v ČR, která jsou vybavena moderními lineárními urychlovači. Výsledky prokazují poměrně dobrou úroveň v přesnosti aplikace dávky v radioterapii v ČR. Z celkového počtu 20 zúčastněných pracovišť 14 z nich (70 %) mělo výsledky v tolerančních mezích již při prvním měření.

## Studie dávek ze skiagrafických, skiaskopických a CT vyšetření dětských pacientů

Kateřina Chytrá<sup>1</sup>, Leoš Novák<sup>1</sup>, Pavel Rejtar<sup>2</sup>, Martin Homola<sup>3</sup>, Kateřina Daničková<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Oddělení radiační ochrany v rentgenové diagnostice, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>2</sup> Fakultní nemocnice Hradec Králové, ČR

<sup>3</sup> Fakultní nemocnice Olomouc, ČR

<sup>4</sup> Fakultní nemocnice v Motole, ČR

[katerina.chytra@suro.cz](mailto:katerina.chytra@suro.cz)

V letech 2015 až 2017 provedlo SÚRO, v. v. i. sběr dat ze skiagrafických, skiaskopických a CT vyšetření dětských pacientů na 4 pracovištích ČR. Do studie byla zahrnuta skiagrafická a CT vyšetření hlavy, hrudníku, břicha, pánve a páteře a skiaskopická vyšetření trávicího traktu a vylučovacího ústrojí. Rentgenová vyšetření končetin nebyla i přes jejich četnost do studie zahrnuta z důvodu nízké radiační zátěže pacienta. Do studie byli zahrnuti pacienti od narození do 18 let věku. Analýza dávek odhalila některé známky špatné praxe, mimo jiné např. použití stejných expozičních parametrů jako pro dospělé pacienty. Tato analýza by měla do

budoucná sloužit jako podklad studie pro stanovení národních diagnostických referenčních úrovní pro dětské pacienty. V rámci analýzy proto byla testována metodika stanovení místních diagnostických referenčních úrovní (MDRÚ) pro různé kategorie dětských pacientů. Součástí posteru budou stručný popis metodiky analýzy dat pro jednotlivé modalitě a výsledky obsahující použití vybraných expozičních parametrů a distribuce dávkových veličin v závislosti na tělesné konstituci či věku dětských pacientů a MDRÚ odpovídající navržené metodice stanovení.

# Optimalizace radiační zátěže radiačních pracovníků při CT intervenčních výkonech

**Stanislav Kaczor, Kamila Kulhová, Martin Pytloun, Zuzana Mikulcová**

Oddělení radiologické fyziky, Fakultní nemocnice v Motole, V Úvalu 84, Praha, 150 06, ČR

[stanislav.kaczor@fnmotol.cz](mailto:stanislav.kaczor@fnmotol.cz)

Intervenční výkony pod CT kontrolou patří mezi nejnáročnější z hlediska radiační ochrany personálu. Intervenující lékař musí stát velice blízko u CT a při některých výkonech je nutné, aby držel prsty přímo v primárním svazku. Pomocí různých typů a umístění dozimetrů se snažíme získat data pro analýzu dávek obdržených intervenujícími. Byla zavedena doporučení jako například snížení expozič-

ních parametrů, využití konstrukce CT jako stínění během CT skiaskopie, edukace radiologických asistentů ohledně důležitosti a možností SW ochrany. Z naměřených analyzujeme účinnost jednotlivých doporučení, průměrnou radiační zátěž rukou a na hrudníku intervenujícího lékaře při různých výkonech a vliv pracovních postupů jednotlivých lékařů na jejich radiační zátěž.

## Vybrané případy nejčastějších příčin nestandardních pracovních úkonů během manipulace s radiofarmakou

Jana Hudzietzová<sup>1</sup>, Marko Fülöp<sup>2</sup>, Josef Sabol<sup>3</sup>, Pavol Ragan<sup>2</sup>, Daniel Baček<sup>4</sup>, Otakar Kraft<sup>5</sup>, Andrea Raganová<sup>6</sup>

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

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

<sup>3</sup> PAČR, Lhotecká 559/7, Praha, 143 00, ČR

<sup>4</sup> PET centrum BIONT, a. s., Karloveská 2929/63, Bratislava, 841 04, SR

<sup>5</sup> KNM FNO a LF OU, 17. listopadu 1790/5, Ostrava, 708 52, ČR

<sup>6</sup> ÚFKF LF UK, Sasinkova 4, Bratislava, 811 08, SR

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

Během manipulace s radiofarmakou může pracovník provést úkony, které se odchylně od předepsaných (standardních) pracovních postupů. Cílem příspěvku je stanovit nejčastější příčiny nestandardních pracovních úkonů, které mohou významným způsobem přispívat k ročnímu limitu ozáření kůže ruky.

V rámci práce bylo sledováno několik pracovišť nukleární medicíny v ČR a SR, na kterých pracovníci manipulovali s radiofarmakou značenými <sup>131</sup>I a <sup>18</sup>F. Každý pracovník byl monitorován ve třech opakovaných cyklech. Nestandardní pracovní úkony byly identifikovány na základě významných rozdílů v distribuci a vícenásobného nárůstu v naměřených hodnotách Hp(0,07) v jednom z těchto cyklů.

Na základě naměřených dat byly identifikovány případy, u kterých byly odhadovány nestandardní pracovní úkony charakterizované významným ozáření kůže ruky. Mezi takové úkony se nejčastěji řadil kontakt s málo stíněným zářičem (většinou zjištěn jako jeden lokální bod) a možná

nezjištěná radioaktivní kontaminace, která byla v některých případech pozorována na několika místech jedné ruky nebo na obou rukách. Většina případů nestandardních pracovních úkonů byla zjištěna v pozicích, kde rutinně nejsou nošeny prstové dozimetrie.

V rutinní činnosti může pracovník provést úkon, který se odchylně od standardního pracovního postupu a nemusí si být toho ani vědom. Tyto nestandardní pracovní úkony mohou vést k významnému ozáření kůže rukou, a pokud by k nim docházelo častěji (vícekrát do roka), může se celkové ozáření přiblížit hodnotě ročního limitu. V případě provádění důsledné kontroly radioaktivní kontaminace lze díky následné dekontaminaci toto ozáření podstatně snížit. Pro snížení radiační zátěže kůže ruky při kontaktu s nestíněnou částí zářiče lze doporučit použití vhodných manipulačních pomůcek, díky kterým je tento kontakt eliminován. Práce vznikla za podpory projektu SGS18/100/OHK4/1T/17.

## Posouzení shody dvou měření při dozimetrii v radioterapii s využitím nejistot

Irena Koniarová, Lukáš Kotík

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

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

Nejdůležitější veličinou, která je stanovována v radioterapii, je absorbovaná dávka ve vodě. Při posuzování shody mezi dvěma naměřenými dávkami se obvykle používá tolerance 2 % pro vysokoenergetické fotonové a 3 % pro vysokoenergetické elektronové svazky. Cílem této práce bylo zhodnotit, zda jsou tyto tolerance vhodně zvolené vzhledem k nejistotě stanovení porovnávaných veličin a popsat způsob porovnání měřených veličin se zohledněním dílčích nejistot. V daném případě je třeba pro posouzení shody analyzovat zejména přesnost obou měření. Při analýze se vycházelo z nejistot uvedených v doporučení TRS 398 a byly zvažovány případy, kdy nejistota některých dílčích vstupujících veličin je stejná a je vázána na správnost veličiny (kdy obě porovnávané hodnoty jsou systematicky posunuty vůči správné hodnotě stejným směrem o stejnou hodnotu, např. při posouzení shody naměřených dávek stejným dozimetrickým řetězcem v rámci zkoušek zdrojů, dále označeno jako případ 1), a

kdy je různá (například při použití kalibračního koeficientu dozimetrického řetězce ve dvou různých kalibračních laboratořích, dále označeno jako případ 2). Zvláštní pozornost byla věnována odhadu nejistoty procentuální hloubkové dávky, která je nezbytná pro stanovení absorbované dávky vysokoenergetických elektronových svazků kvůli přepočtu absorbované dávky z referenční hloubky do hloubky maxima. Zjištěná kritická hodnota, pro kterou nelze považovat dvě hodnoty za shodné, byla pro případ 1: 2,5 % u fotonových a 2,9 % u elektronových svazků, a pro případ 2: 3,1 % u fotonových a 3,4 % u elektronových svazků (pro  $k = 2$ ). Jedná se o konzervativní odhady. Při pečlivé analýze s realističtějšími hodnotami dílčích nejistot (nikoliv z TRS 398) je možné tolerance snížit. V příspěvku budou uvedeny vztahy, které je možno využít pro jakýkoliv obecný analogický případ. Tato práce byla podpořena projektem Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky č. FV20411.

## Možnosti redukovania radiačnej záťaže a zdravotnej ujmy zdravotníckych pracovníkov pri intervenčnej rádiológii

Zuzana Bárdyová<sup>1</sup>, Martina Horváthová<sup>1</sup>, Denisa Nikodemová<sup>2</sup>, Tibor Balázs<sup>3</sup>, Ivan Vulev<sup>3</sup>, Robert Borka<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 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> CINRE, Tematínska 5/A, Bratislava-Petržalka, 851 05, SR

<sup>4</sup> Cardioservice, s. r. o., Plynárenská 1, Bratislava, 821 09, SR

[zuzana.bardyova@truni.sk](mailto:zuzana.bardyova@truni.sk)

V priebehu posledných 20 rokov dochádza k nárastu prevalence intervenčných diagnostických a terapeutických výkonov. Každý intervenčný výkon je vysoko individuálny a závisí od typu, zložitosti a skúsenosti operátora. Niektoré procedúry sú v dôsledku svojej náročnosti zdĺhavé a intervenční rádiológovia sú tak okrem ionizujúceho žiarenia vystavení aj vyššej fyzickej záťaži. Medzi štandardné osobné ochranné prostriedky intervenčných rádiológov patrí ochranná olovená zástera, olovený golier a okuliare s ekvivalentom olova. Nosenie olovených záster má za následok nepohodlie operátora, ktoré môže byť príčinou väčšej únavy počas dlhších procedúr. Zároveň mnohé štúdie dokazujú, že využívanie olovených záster v skupine intervenčných rádiológov zvyšuje frekvenciu výskytu muskuloskeletálnych problémov, ktoré môžu viesť k znemožneniu vykonávania svojej práce. K hlavným problémom intervenčných rádiológov patria bolesť chrbta, krku, bedier, kolien a členkov. Okrem spomínaných ortopedických problémov sú operátori

vystavení zvýšenému riziku vzniku malignity (napr. nádory mozgu,...) a katarakty, ktoré vyplývajú z nutnosti výskytu operátora v blízkosti primárneho zväzku žiarenia počas intervenčného výkonu. Aj napriek dôslednému využívaniu osobných ochranných prostriedkov, dochádza k neúplnému krytiu operátora a niektoré orgány a časti tela zostávajú nechránené. Medzi takéto časti patrí mozog, očná šošovka, ruky a nohy. Z tohto dôvodu sa do praxe začali zavádzať iné spôsoby, ktoré zabezpečia takmer dokonalú ochranu pred expozíciou za súčasného komfortu. Alternatívnym spôsobom osobnej radiačnej ochrany je mobilná ochranná kabína CATHPAX® AF a závesný ochranný systém pred rtg žiarením Zero-Gravity, ktoré sa stali predmetom nášho záujmu v štúdií. Očakávaným výsledkom štúdie je vyšší stupeň radiačnej ochrany operátora za použitia mobilnej ochrannej kabíny a závesného ochranného systému v porovnaní so štandardnými ochrannými prostriedkami ako je olovnatá zástera.

# Vliv výběru tabulek účinných průřezů a modelů jaderných interakcí v kódu MCNP6.2 na výpočty relevantní pro protonovou terapii

Jaroslav Šolc, Ludmila Štemberková, Jana Šmoldasová

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

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

Príspevek shrnuje studii vlivu výběru interakčních modelů a tabulek účinných průřezů na výsledky Monte Carlo výpočtů relevantních pro protonovou terapii. Sledovány byly jak parametry primárního svazku (celková absorbovaná energie od primárních protonů, pozice Braggova píku) tak zejména parametry rozptýleného záření (charakteristika sekundárních částic, deponovaná energie od sekundárních částic, energetická distribuce fluence neutronů v okolí fantomu).

Výpočty byly provedeny v kódu MCNP verze 6.2 pro mono-energetické primární protonové svazky o energii 100, 150 a 226 MeV vysílané do čtyř různých homogenních materiálů: voda, tuková tkáň, svalová tkáň a nylon. Výpočty byly provedeny pro tabulky interakcí protonů ENDF70, LA150, TENDL-2017, TENDL-PT a FENDL-3.0, a pro interakční modely ISABEL, BERTINI, CEM03.03 a INCL.

# Aplikácia požiadaviek novej legislatívy pri návrhu rádioterapeutického pracoviska s lineárnym urýchľovačom

**Pavol Ragan**

SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

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

Pri stanovení zámeru vybudovať nové pracovisko s činnosťami vedúcimi k ožiareniu je potrebné stanoviť medznú dávku. Aktuálne ustanovenia zákona o radiačnej ochrane predpokladajú určenie medznej dávky prevádzkovateľom v spolupráci s expertom na radiačnú ochranu. Nesúladne s týmto ustanovením zákona boli vo vyhláške č. 101/2018 Z. z. ustanovené medzné dávky 1 mSv pre pracovníkov a 0,1 mSv pre obyvateľov, pričom sa v medzinárodnom kontexte používajú medzné dávky niekoľkonásobne vyššie v oboch kategóriách.

Zásadný vplyv to môže mať pri redizajnovaní existujúceho pracoviska s kobaltovým žiaričom a jeho nahradením lineárnym urýchľovačom. Rozdiel medzných dávok znamená

väčšiu hrúbku tienenia v desiatkach cm betónu, neprimerane zvýšené náklady na statickú radiačnú ochranu, prípadne až nemožnosť pracovisko rádioterapie redizajnovať. Ustanovenie konkrétnych hodnôt medzných dávok zjednodušuje proces vedúci k výstavbe pracoviska a zjednocuje prístup, avšak bez ohľadu na závažnosť potreby jednotlivých zdravotníckych úkonov, bez ohľadu na veľkosť (integrál) dávok, bez ohľadu na charakteristiky prístrojov, a teda v rozpore so základným princípom – odôvodnením. Zároveň sa (čiastočne) vylučuje použitie optimalizačných postupov, ktoré sú obmedzené len na výber variánt použitých materiálov a priestorových riešení bez možnosti variácie výslednej dávky.



## Diskusia k využitiu efektívnej dávky pri hodnotení rizika z lekárskeho ožiarení

Denisa Nikodémová<sup>1</sup>, Dušan Šalát<sup>2</sup>, Martina Horváthová<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, SR

<sup>2</sup> Univerzita Cyrila a Metódy v Trnave, SR

<sup>3</sup> Trnavská univerzita – Fakulta zdravotníctva a sociálnej práce v Trnave, SR

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

Zdravotné riziko v dôsledku lekárskeho ožiarenia je kľúčovým morálnym problémom poskytovateľov zdravotnej starostlivosti a udržiavať ožiarenie „tak nízke ako je to možné“ vytvára povinnosť znižovať možné riziká pomocou optimalizácie, dodržiavania techniky zobrazovania, diagnostických referenčných úrovní, apod. Otvorenou otázkou však zostáva, že odhad rizika pre individuálneho pacienta je veľmi obtiažne realizovať, predovšetkým kvôli veľkým neistotám v parametroch vstupujúcich do výpočtov v oblasti nízkych dávok. Navyše sa aktuálne mení názor na lineárny a bezprahový vzťah medzi aplikovanou dávkou žiarenia a rizikom vzniku nádorového ochorenia v oblasti malých dávok, najmä v intervale 3–10 mSv, kde štatistické ukazovatele nedovoľujú jednoznačné závery.

Príslušnou veličinou pre plánovanie ožiarenia pacientov a hodnotenia vzťahu medzi potenciálnym zdravotným rizikom a prínosom je ekvivalentná dávka alebo absorbovaná

dávka v ožarovaných tkanivách. Použitie efektívnej dávky pre hodnotenie ožiarenia pacientov má vážne obmedzenia, ktoré treba pri kvantifikácii lekárskeho ožiarenia brať do úvahy. Efektívna dávka môže mať význam pri porovnávaní dávok pri rôznych diagnostických vyšetreniach a používaní odlišných technológií pre rovnaké lekárske vyšetrenie. Hodnotenie a interpretácia efektívnej dávky z lekárskeho ožiarenia sú problematické, keď sú orgány alebo tkanivá ožiarené iba z časti alebo heterogénne, čo je najmä prípad röntgenovej diagnostiky (ICRP 103).

V prezentácii budú diskutované názory na využívanie efektívnej dávky pre manažment ochrany pred stochastickými účinkami ožiarenia v medicíne, publikované v Análoch ICRP (apríl 2018) pracovnou skupinou ICRP, ako návrh na konzultácie v odborných skupinách pracovníkov radiačnej ochrany.

## ČSFM – Benefit pro radiologické fyziky

**Petra Dostálová<sup>1</sup>, Dana Prchalová<sup>2</sup>, Lenka Petýrková Janečková<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> Fakultní nemocnice Motol, V Úvalu 84, Praha 5, 150 06, ČR

<sup>3</sup> Krajská nemocnice Liberec a. s., Husova 357/10, Liberec, 460 63, ČR

[petra.dostalova@homolka.cz](mailto:petra.dostalova@homolka.cz)

Česká společnost fyziků v medicíně (ČSFM) vznikla jako dobrovolné občanské sdružení fyziků působících v medicíně, zejména radiologických fyziků, a fyzických nebo právnických osob se zájmem o fyziku v medicíně a její rozvoj. ČSFM byla registrována Ministerstvem vnitra ČR 6. 4. 2004. ČSFM o.s. je národním reprezentantem České republiky v Evropské federaci organizací pro medicínskou fyziku (EFOMP) od

1. 5. 2004. ČSFM má zejména za cíl prosazovat profesní zájmy radiologických fyziků působících ve zdravotnictví, podporovat výuku, výzkum a vývoj v oblasti medicínské fyziky a podílet se na zvyšování úrovně odborných znalostí svých členů. K plnění svých cílů spolupracuje ČSFM o.s. s národními i mezinárodními organizacemi a společnostmi. Členství v ČSFM přináší jejím členům řadu benefitů.

## Rejstřík

Ambrosino Fabrizio, 87  
Ambrožová Iva, 23, 30, 31, 34, 36, 37, 40  
Andrejsová Lenka, 142, 149, 150  
Assmann Vratislavská Hana, 51, 111  
A. Mikhailov Mikhail, 23

Baček Daniel, 184  
Bačíková Alena, 140, 155, 159  
Balara Dušan, 31  
Balázs Tibor, 186  
Barátová Dana, 102  
Bárdyová Zuzana, 186  
Bártová Hana, 179  
Becker Janine, 148  
Bečková Věra, 26  
Bednár Dávid, 100  
Bednář Daniel, 91  
Bednář Vojtěch, 128  
Bechet Sabrina, 63  
Benton Eric, 28  
Berčíková Marcela, 74  
Bestvater Felix, 159, 165  
Bílý Tomáš, 121, 126  
Binková Hana, 140  
Blahušiak Pavol, 110, 119  
Bobkova Elizaveta, 159, 165  
Böhm Radoslav, 72, 82  
Boreyko Alla, 159  
Borka Robert, 186

Bradnová Věra, 30, 40  
Brieger Emily, 165  
Briestenský Miloš, 87  
Broda Ryszard, 114  
Brunclík Tomáš, 134  
Budayová Miluše, 38  
Bulanova Tatiana, 159  
Bulko Martin, 82  
Buňata Milan, 39  
Burian Ivo, 84, 120

Csicsay Kristián, 75  
Cupal Lukáš, 138, 139, 154

Čarný Peter, 43, 44  
Čechák Tomáš, 38, 70  
Čemusová Zina, 32  
Čerba Štefan, 48  
Čermák Martin, 80  
Černý Radek, 38, 70  
Češpírová Irena, 50, 61, 135  
Čtvrtečková Alena, 117, 118  
Čubová Kateřina, 68  
Čuda Pavel, 116  
Čulen Jiří, 124

Daníčková Kateřina, 182  
David Miroslav, 141, 156  
Davidková Marie, 29, 40, 138, 139, 141, 146, 152–154, 156,

- Davídková Zuzana, 54, 85  
Depeš Daniel, 155, 157, 159  
Dolniak Jakub, 95, 96  
Dostálová Petra, 190  
Dragounová Lenka, 127  
Dršková Barbora, 178  
Dudáš Denis, 167, 179  
Dudáš JuraJ, 48  
Dudáš Rostislav, 80  
Dufek Vladimír, 168, 180  
Dulanská Silvia, 104  
Durný Norman, 107  
Dušek Ladislav, 81  
Dutka Zdeněk, 81  
Dvořák Jakub, 57–59  
Dvořák Roman, 40
- Eckertová Terézia, 78, 83  
Eidemüller Markus, 148, 174  
Ekendahl Daniela, 26, 32, 53, 181  
Eryilmaz Marion, 165
- Falk Martin, 140, 155, 159, 165  
Falková Iva, 140, 155, 157, 159, 165  
Fantínová Karin, 41, 45, 127  
Fejgl Michal, 54  
Fekete Kamil, 75  
Fialová Eliška, 84, 120  
Filipová Alžběta, 137, 142, 150  
Fišera Ota, 116  
Fišerová Lucie, 109, 113  
Flamíková Dorota, 102
- Fojčíková Eva, 43, 44  
Fojtík Pavel, 25, 41  
Fojtíková Ivana, 60, 61  
Foltínová Lubica, 35  
Foster Michaela, 146  
Francová Pavla, 162  
Friedland Werner, 148  
Froňka Aleš, 50, 70, 77, 81, 92  
Frtús Josef, 35  
Fülöp Marko, 35, 184
- Gábrlík Petr, 115  
Galanda Dušan, 93, 94  
Galus Petr, 167  
Gier Theresa, 165  
Gote Martin, 165  
Granja Carlos, 30  
Gregor Zdeněk, 80  
Grísa Tomáš, 113  
Gryc Lubomír, 50, 135  
Gumulec Jaromír, 155  
Gumulec Jaroslav, 140
- Hamárová Andrea, 101  
Hanušová Tereza, 169, 178  
Hausmann Michael, 159, 165  
Heermann Dieter W., 165  
Helebrant Jan, 50, 61, 62  
Helej Markus, 82  
Herman Ondřej, 124  
Hildenbrand Lars G., 165  
Hince Robert, 130

Hofmann Andreas, 165  
Holá Olga, 66  
Holeček Josef, 86  
Holmes Sherlock, 147  
Holý Karol, 72, 76, 78, 82, 83  
Homola Martin, 182  
Horáková Ivana, 169, 180  
Horáková Zuzana, 140, 155  
Horváth David, 63  
Horváthová Bianka, 104  
Horváthová Martina, 71, 145, 186, 189  
Hradecký Jan, 92  
Hudzietzová Jana, 184  
Hůlka Jiří, 73, 81  
Huml Ondřej, 26, 53  
Hupka Ivan, 26  
Hurychová Markéta, 141, 156  
Hýža Miroslav, 54, 128

Chojowski Robert, 165  
Chylý Miroslav, 43, 44  
Chytrá Kateřina, 182

Jamborová Zuzana, 146, 160  
Jančář Aleš, 124  
Janda Jiří, 109  
Jankovec Michal, 60  
Jánošíková Lenka, 145  
Javorník Andrej, 114, 119  
Jeličová Marcela, 137, 149, 151  
Jelínek Petr, 88  
Ježková Lucie, 159

Jílek Karel, 79, 81  
Johnová Kamila, 136  
Judas Libor, 32, 112  
Jurda Miroslav, 91  
Juričková Martina, 145

Kaczor Stanislav, 183  
Kadlec Linhartová Petra, 61  
Kajan Miroslav, 45  
Kákona Jakub, 23  
Kákona Martin, 23, 27, 36, 37, 40  
Kapuciánová Michaela, 181  
Kareš Jaroslav, 116  
Keltnerová Linda, 126  
Klepanec Andrej, 145, 177  
Klupák Vít, 111  
Klusoň Jaroslav, 56, 57, 59, 134  
Kobylka Dušan, 68  
Kodaira Satoshi, 30, 34  
Kolmašová Ivana, 31  
Kolník Petr, 49  
Kolros Antonín, 40, 46, 108, 111  
Komárek Jiří, 49, 50  
Konček Ondřej, 166, 167  
Koniarová Irena, 166, 169, 185  
Koniřová Jana, 138, 139, 154  
Kopecký Zdeněk, 124  
Kopečná Olga, 140, 155, 159  
Koplová Markéta, 33  
Korn Friederike, 165  
Kostrica Rom, 140  
Košťál Michal, 40

- Kotík Lukáš, 135, 180, 185  
Koudelka Josef, 49  
Kovář Ivan, 29  
Kovář Petr, 123  
Kozubek Stanislav, 140, 155  
Kraft Otakar, 184  
Králík Miloslav, 176  
Krasavin Evgeny, 159  
Krejčová Petra, 105  
Krist Pavel, 23  
Krivošík Matej, 114, 119  
Krnáč Štefan, 131  
Kroupa Tomáš, 117, 118  
Krpelanová Monika, 43, 44  
Krufczik Matthias, 165  
Kubancák Jan, 27, 29, 36, 37  
Kuča Petr, 31, 61, 62  
Kudela Karel, 27, 36  
Kulhová Kamila, 183  
Kulikova Elena, 159  
Kundrát Pavel, 148, 174  
Kureková Patrícia, 76  
Kurková Dana, 112  
Kuruc Jozef, 94
- Lacénová Adriana, 93  
Lacombe Sandrine, 157  
Lahodová Zdena, 111  
Langer Ronald, 36  
Lázna Tomáš, 115, 116  
Lee Jin-Ho, 159, 165  
Lierová Anna, 149, 151
- Lipták Ludovít, 43, 44  
Listjak Martin, 95  
Lištjak Martin, 96–98, 100  
Lüley Jakub, 48  
Lužová Martina, 23, 30, 37, 40
- Mach Břetislav, 57, 58  
Malá Helena, 26, 47  
Malátová Irena, 25  
Marek René, 117, 118  
Marešová Barbora, 61  
Marko František, 75  
Martin Falk, 157  
Masařík Michal, 140, 155  
Matěj Zdeněk, 124  
Mátel Lubomír, 104  
Maus Emanuel, 165  
Megisová Natálie, 89  
Michaelidesová Anna, 138, 139, 146, 154, 158, 160  
Mikulcová Zuzana, 183  
Mikysek Petr, 90  
Minářová Jana, 31  
Modrý Adam, 162  
Mojzeš Andrej, 75  
Morejon Leonel, 24  
Mosná Andrea, 75  
Možnar Radim, 45, 136  
Mravec Filip, 124  
Mrázková Jana, 80  
Můčka Viliam, 152, 164  
Müllerová Monika, 76, 78, 82, 83

- Navrátil Matěj, 171  
Navrátilová Rovenská Kateřina, 92  
Nečas Vladimír, 95, 96, 100, 102, 103  
Němcová Markéta, 150  
Němeček Ladislav, 91  
Neužil Jiří, 46  
Neužilová Barbora, 152, 164  
Nikitaki Zacharenia, 146  
Nikodemova Denisa, 177  
Nikodemová Denisa, 173, 186  
Nikodémová Denisa, 35, 71, 145, 189  
Novák Hynek, 74  
Novák Leoš, 182  
Novák Ondřej, 121  
Novotný Josef, 38, 156  
Novotný Jr. Josef, 141  
Nožičková Jitka, 172, 175
- Ohera Marcel, 50, 135  
Okruhlica Petr, 57–59  
Olšovcová Veronika, 24, 63  
Ometáková Jarmila, 114, 119  
Ondrák Lukáš, 152, 164  
Ondriš Dušan, 95  
Osuský Filip, 48  
Otáhal Petr, 84, 86, 91, 120
- Pagáčová Eva, 155, 157, 159  
Pachnerová Brabcová Kateřina, 34, 37, 138, 146, 147, 160,  
163  
Pankrác Jan, 162  
Papírník Petr, 172
- Paštyková Veronika, 141, 156  
Pecha Petr, 42, 52  
Pechová Emilie, 52  
Pejchal Jaroslav, 149  
Peksová Dagmar, 23, 27, 29, 36, 37  
Peterková Kateřina, 167  
Petýrková Janečková Lenka, 190  
Pisarčík Ondřej, 79  
Ploc Ondřej, 23, 27–31, 36, 37, 40  
Polanská Hana, 140  
Pospisil Patricia, 146  
Prchalová Dana, 190  
Prokeš Radek, 90, 125  
Přenosil Václav, 124  
Příhoda Jiří, 58  
Puchalska Monika, 146  
Pytloun Martin, 183
- Ragan Pavol, 35, 67, 131, 133, 184, 188  
Raganová Andrea, 184  
Rak Vladimír, 170  
Rataj Jan, 121  
Raudenska Martina, 140  
Reitz Günther, 23  
Rejtar Pavel, 182  
Remenec Boris, 35, 104  
Rosnecký Vít, 33  
Roskopfová Oľga, 101  
Rovenská Vendula, 47  
Rulík Petr, 47, 92, 128  
Rusňák Jan, 122, 123  
Ryba Jan, 69

- Řeřicha Václav, 81  
Římal Václav, 33
- Sabol Josef, 64, 184  
Santolík Ondřej, 31  
Sedlák Antonín, 72, 143  
Selivanová Anna, 135  
Semmler Milan, 167  
Setnička Michal, 117, 118  
Shetty Nikhil, 63  
Shurshakov Vyacheslav A., 34  
Scherthan Harry, 165  
Schmidt-Kaler Franz, 165  
Schumann Sarah, 165  
Sihver Lembit, 146  
Simandl Martin, 81  
Simonetto Cristoforo, 174  
Skála Lukáš, 113  
Sládek Petr, 115  
Slaninka Alojz, 96–98  
Slimák Andrej, 98, 100  
Slimáková Jana, 93  
Sloboda Michal, 47  
Slovák Jaroslav, 74  
Slugeň Vladimír, 130  
Smetanová Iveta, 75, 76  
Smirnova Elena, 159  
Smola Jiří, 58  
Sokol Zbyněk, 31  
Solivajs Dušan, 35  
Sommer Marek, 23, 28, 30, 153  
Soukup Tomáš, 106
- Souli Maria, 146  
Spěváček Václav, 179  
Stefanová Klára, 147, 161  
Stránský Vojtěch, 24, 63  
Stríbrnský Branislav, 103  
Studený Jiří, 38  
Surý Jan, 128  
Svoboda Tomáš, 134
- Šalát Dušan, 71, 145, 173, 177, 189  
Šalátová Anna, 173  
Šefc Luděk, 162  
Šefl Martin, 147, 161, 163  
Ševečka Štefan, 97  
Šimek Pavel, 89  
Šinkorová Zuzana, 137, 142, 149–151  
Škrkal Jan, 45  
Šlegl Jakub, 23, 31  
Šmoldasová Jana, 187  
Šolc Jaroslav, 132, 187  
Šoltés Jaroslav, 51  
Štědrová Veronika, 175  
Štěfánčíková Lenka, 157  
Štemberková Ludmila, 132, 187  
Štěpán Václav, 23, 27, 36, 37, 40, 147, 153, 161, 163  
Štěpánek Josef, 33  
Štěpánková Helena, 33  
Šuráň Jiří, 123  
Šuták Peter, 131  
Švrčula Petr, 105
- Tatarová Dominika, 94



Thinová Lenka, 68, 70, 80, 87, 88, 134

Tichý Aleš, 142

Tichý Ondřej, 42

Tolochek Raisa V., 34

Tomášek Ladislav, 73, 144

Tomek Michal, 116

Tóthová Renáta, 99

Trojek Tomáš, 90, 125

Truneček Roman, 24, 63

Urban Tomáš, 55–57, 59

Ursíny Miloš, 99

Vágner Petr, 55

Vachelová Jana, 138, 139, 141, 152, 154, 156, 158

Valdezová Petra, 85, 92

Valterová Kateřina, 49, 50

Vávrová Lenka, 162

Vendlová Barbora, 129

Versaci Roberto, 24, 63

Veselá Mariana, 162

Viererbl Ladislav, 51, 108, 111

Vítková Lucie, 37, 88

Voltr Josef, 81

Vondráček Vladimír, 171, 176

Vošahlík Josef, 84, 120

Vrba Tomáš, 132

Vrban Branislav, 48

Vtelenská Martina, 135

Vulev Ivan, 186

Vykydal Zdeněk, 122, 176

Vyletělová Petra, 77, 81, 92

Wagner Emma, 165

Zadnepriantc Mariia, 159

Zaitsev Andrei Aleksandrovich, 30, 40

Zálešáková Michaela, 119

Zarubin Pavel Igorevich, 30, 40

Zelenka Zdeněk, 38, 39

Zemanová Eva, 65

Zháňal Pavel, 108

Ziemek Tomasz, 114

Zíková Martina, 139, 154

Zoul David, 33, 105, 108

Zuna Milan, 108

Zvara Ivan, 75

Žáčková Helena, 180

Žalud Luděk, 115, 116

Žlebčík Pavel, 26, 53