

# XXXVIII. Dny radiační ochrany

sborník abstraktů

Mikulov, Česká republika

7.–11. 11. 2016



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:

**Ing. Marie Davídková, CSc.**

Ing. Ludmila Auxtová

RNDr. Radoslav Böhm, Ph.D.

RNDr. Helena Čabánková, Ph.D.

prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc.

Ing. Tatiana Duranová

Mgr. Aleš Froňka, Ph.D.

doc. RNDr. Karol Holý, CSc.

Ing. Jiří Hůlka

Ing. Irena Malátová, CSc.

doc. RNDr. Denisa Nikodemová, Ph.D.

RNDr. Darina Páleníková, MPH.

Ing. Karla Petrová

RNDr. Zdeněk Rozlívka

RNDr. Jiří Slovák

RNDr. Ivana Ženatá

## Organizační výbor:

Lenka Thinová

Zuzana Augstenová

Lukáš Bláha

Eva Čermáková

Marie Davídková

Jan Hradecký

Kamila Johnová

Petra Kohoutová

Jiří Martinčík

Petr Průša

Pavel Solný

Václav Štěpán

Tomáš Urban

Helena Valouchová

Tomáš Vrba

## XXXVIII. Dny radiační ochrany

### sborník abstraktů

Editor

Václav Štěpán

Vydalo

České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze

Kontaktní adresa

Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření,  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze,  
Břehová 7, 115 19, Praha 1

Kontaktní osoba

Lenka Thinová, +420 607 729 178

Sazba

Václav Štěpán a Vít Zýka

Počet stran

161

Náklad

elektronická verze

DOI

<https://doi.org/10.14311/DRO.2016.XXXVIII>

ISBN

978-80-01-06029-2

## Úvodní slovo

Vážené kolegyně, vážení kolegové.

V letošním roce slaví Mezinárodní společnost pro radiační ochranu (International Professional Society for Radiation Protection, IRPA) 50 let od svého založení. Svě narozeniny IRPA oslavila na 14. kongresu IRPA, který se konal 9.–13. května v Kapském městě v Jižní Africe. Česká společnost pro ochranu před zářením se na kongresu prezentovala spolu s dalšími národními společnostmi a měli jsme i kandidátku do soutěže Young Professionals Award. Byla jí Ing. Karin Fantínová ze Státního ústavu radiační ochrany.

S velkou radostí uvádíme letošní XXXVIII. Dny radiační ochrany (DRO). Toto nezanedbatelné číslo vypovídá o tom, že i v České a Slovenské republice je radiační ochraně dlouhodobě věnována pozornost. Odborníci v oboru se na DRO pravidelně setkávají a diskutují aktuální otázky radiační ochrany.

V letošním roce si bohužel připomínáme i smutná výročí a to 30 let od havárie v Černobylu a 5 let od havárie jaderné elektrárny v japonské Fukušimě. Srovnáním těchto dvou nejhorších havárií spojených s mírovým využitím jaderné energie v historii, likvidací následků a dopady na jadernou energetiku, se dlouhodobě zabývá přední odborník na tuto problematiku v ČR RNDr. Vladimír Wagner, CSc., z Ústavu jaderné fyziky AV ČR, který přijal naše pozvání a jehož přednáška bude shrnutím zajímavých souvislostí z různých úhlů pohledu.

V posledních letech se snažíme na Dnech radiační ochrany cíleně věnovat různým aspektům vybraného problému radiační ochrany, který je v Čechách a na Slovensku právě aktuální. V loňském roce jsme věnovali pozornost řešení otázky úložiště jaderného odpadu. Pracovníci Správy úložišť radioaktivních odpadů pro účastníky konference mimo jiné připravili velmi zajímavý program na úterní večer týkající se problematiky dlouhodobého ukládání radioaktivních odpadů v České republice.

V letošním roce je takovýmto tématem oslava 70 let uranového průmyslu, 50 let od založení účelové organizace Uranové doly Hamr a zároveň ukončení likvidace povrchových areálů po hlubinné těžbě uranu u Stráže pod Ralskem. Uranový průmysl v Čechách udělal první krůčky po vzniku národního podniku Jáchymovské doly, založeném 1. ledna 1946. Za 70 let své existence prošel tento podnik řadou transformací a dnes je reprezentován státním podnikem DIAMO, zabývajícím se nejen těžbou, ale také ekologickými projekty. Do programu konference jsme proto zařadili sekci týkající se historie a radiační ochrany na pracovištích, souvisejících se získáváním radioaktivního nerostu v Československu a později v České republice. Nabitý program této sekce obsahuje příspěvky, jejichž pojítkem jsou klíčová slova těžba a zpracování uranu, radonová problematika – ať už jde o historický průřez, přednášku věnovanou geofyzikálním radiometrickým

kým metodám průzkumu uranového zrudnění, způsobům těžby, sanačním a rekultivačním pracím spojeným s těžbou uranu, nebo profesnímu ozáření a hodnocení zdravotních rizik. Doufáme, že Vás letošní tematické odpoledne zaujme a přinese Vám řadu nových informací z historie i současnosti. Přednášky jsou doplněny řadou plakátových sdělení a filmy zachycujícími likvidaci povrchových areálů.

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

Marie Davídková, Lenka Thinová

## 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)



## Obsah

<b>Úvodní slovo</b> . . . . .	1
<b>Sponzoři</b> . . . . .	3

## Pondělí

### Radon a problematika přírodních radionuklidů – 8

70. výročí uranového průmyslu v České republice <i>Tomáš Rychtařík</i> . . . . .	20
Počátky geofyzikálního průzkumu uranu a radiometrického mapování v Československu <i>Milan Matolín</i> . . . . .	21
Stručná charakteristika DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka <i>Jiří Jež</i> . . . . .	22
Činnost odštěpného závodu Správa uranových ložisek Příbram na lokalitách po bývalé uranové těžbě <i>Martin Čermák</i> . . . . .	23
Sanace horninového prostředí po chemické těžbě uranu v severních Čechách <i>Rostislav Dudáš, Vojtěch Vokál</i> . . . . .	24
Uvádění radionuklidů do životního prostředí v podmínkách DIAMO, s. p. o. z. ODRA <i>Petr Jelínek</i> . . . . .	25
Ozáření pracovníků při vyřazování z provozu Dolu Hamr I <i>Miloslav Němec, Hana Neznalová, Stanislava Lustyková</i> . . . . .	26
Radiační ochrana na podzemních pracovištích s radonem – zkušenosti z dozoru SÚJB <i>Marcela Velkoborská, Miroslav Jurda</i> . . . . .	27

Pondělí	Nemoci z povolání u horníků uranových a rudných dolů v ČR způsobené expozicí ionizujícím záření v období 2002–2015 <i>Tomáš Müller</i> . . . . .	28
Úterý	Odhad efektivní dávky pro obyvatele v obci Brod na Příbramsku <i>Lenka Thinová, Miroslav Jurda, Aleš Froňka, Radek Černý, Josef Vošahlík, Jaroslav Šolc, Radek Bican</i> . . . . .	29
	Radiační zátěž obyvatelstva SR z expozice radónu podľa nových odporúčaní EU <i>Helena Cabáneková, Matej Ďurčík</i> . . . . .	30
	Nový atomový zákon v oblasti přírodních zdrojů ionizujícího záření <i>Ivana Ženatá</i> . . . . .	31
	K diskusi o konverzi expozice radonu na dávku <i>Ladislav Tomášek</i> . . . . .	32
	Radon na pracovištích – Implementace požadavků směrnice 2013/59/Euratom <i>Ivana Fojtíková, Ivana Ženatá, Jana Timková</i> . . . . .	33
Středa	Radon podle nového atomového zákona a Radonový program ČR <i>Eva Pravdová, Jaroslav Slovák</i> . . . . .	34
	Metodická příprava na reprezentativní průzkum ozáření obyvatelstva ČR od radonu – stanovení průměrné objemové aktivity radonu ( $^{222}\text{Rn}$ a $^{220}\text{Rn}$ ) a průměrné násobnosti výměny vzduchu v budovách <i>Aleš Froňka, Ivana Fojtíková, Karel Jílek, Ladislav Moučka, Jan Lenk, Dana Hladíková, Jan Hradecký, Lukáš Bláha, Zdeněk Borecký, Michaela Slavíčková, Zina Čemusová</i> . . . . .	35
Čtvrtek	Metodologická příprava na reprezentativní průzkum ozáření obyvatelstva ČR od radonu – zajištění reprezentativity vzorku <i>Ivana Fojtíková, Aleš Froňka, Michal Jankovec</i> . . . . .	36
	Hodnocení ozáření v rodinných domech typu START <i>Eva Pravdová, Aleš Froňka, Ivana Fojtíková, Ladislav Moučka</i> . . . . .	37
	<b>Plakátová sdělení</b>	
Pátek	Dlhodobé hodnotenie celkovej objemovej aktivity alfa a beta a objemovej aktivity radónu v pitných vodách na Slovensku <i>Jana Merešová, Gabriela Wallová, Zuzana Kulichová</i> . . . . .	38
	Laboratorní a terénní porovnání kontinuálních monitorů radonu <i>Petra Vyletělová, Vojtěch Stránský</i> . . . . .	39



Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán Poskytování státních dotací na ozdravování školských zařízení <i>Eva Pravdová, Marcela Berčíková, Jaroslav Slovák</i> . . . . .	40
Stanovení meze saturace stopového detektoru při automatickém vyhodnocení <i>Josef Holeček, Petr Otáhal</i> . . . . .	41

## Úterý

### **Radiační ochrana v jaderně-palivovém cyklu, havarijní připravenost – 6**

Nová právní úprava havarijní připravenosti

*Věra Starostová* . . . . . 42

Nová právní úprava v oblasti monitorování radiační situace na území ČR

*Eva Šindelková* . . . . . 43

Doplnění a rekonstrukce systémů radiační kontroly v EDU

*Vít Petránek* . . . . . 44

K otázkám zpřesnění odhadů radiologických důsledků mimořádných úniků radioaktivity v reálném čase

*Petr Pecha, Petr Kuča* . . . . . 45

Výpočet aktivit vybraných štěpných produktů ve složitých polích záření gama

*Pavel Žlebčík, Ondřej Huml* . . . . . 46

Zátěžová kapacitní cvičení 2016

*Michal Sloboda, Petr Rulík, Helena Malá, Tereza Ježková* . . . . . 47

Fukušima I poté aneb co se za pět let podařilo při likvidaci následků havárie a dopady na jadernou energetiku

*Vladimír Wagner* . . . . . 48

Možnosti využití mezinárodní monitorovací sítě CTBTO – výstupy po havárii jaderné elektrárny Fukushima a po provedení podzemních jaderných testů v KLDŘ v letech 2006 až 2016

*Aleš Froňka* . . . . . 49

### **Plakátová sdělení**

Detektor bGeigie Nano v rámci projektu RAMESIS – zkušenosti po roce používání v ČR

*Jan Helebrant, Petr Kuča, Irena Češpírová* . . . . . 50

Radiační zátěž pracovníků NUVIA a. s. při některých činnostech v JE Dukovany

*Vladimír Vrban, Pavel Hora* . . . . . 51

Studium redistribuce a resuspenze umělých radionuklidů v lesním ekosystému vlivem požáru

*Petr Rulík, Tereza Ježková, Radim Možnar* . . . . . 52

Zabezpečení hromadného monitorování radiojodu u obyvatelstva po havárii JEZ

*Pavel Fojtík, Jan Surý* . . . . . 53

Jaderné havárie v Černobylu a Fukušimě: Srovnání radiologických dopadů <i>Jozef Sabol, Bedřich Šesták</i> . . . . .	54
--	----

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

Hodnotenie radiačnej záťaže pre operátora žeriatu počas demontáže tlakovej nádoby reaktora a jej presune do pásma rezania <i>Martin Launer, Martin Hornáček, Vladimír Nečas</i> . . . . .	55
Charakterizácia, dekontaminácia a uvoľňovanie podzemných šácht obj. 44/20 JE A1 – metódy a postupy <i>Pavol Pajerský, Martin Lištjak, Alojz Slaninka</i> . . . . .	56
Problematika stanovovania vonkajšieho ožiarenia pri ukladaní rádioaktívnych odpadov z demontáže parogenerátora <i>Martin Hornáček, Vladimír Nečas</i> . . . . .	57
Vplyv projektu vyradovania JE A1 na vybrané zložky životného prostredia <i>Martin Lištjak, Ondrej Slávik, Alojz Slaninka</i> . . . . .	58
Vyradovanie jadrového zariadenia experimentálnej spalovne VUJE a uvoľnenie budovy spod inštitucionálnej kontroly do životného prostredia <i>Alojz Slaninka, Martin Lištjak, Ľuboš Rau, Pavol Pajerský</i> . . . . .	59
Optimalizácia metódy destilácie pre stanovenie <sup>79</sup> Se <i>Silvia Dulanská, Bianka Horváthová, Boris Remenec, Lubomír Mátel</i> . . . . .	60
Zakoncentrovanie <sup>137</sup> Cs vo vodách pomocou impregnovaného biosorbentu <i>Ľubomír Mátel, Silvia Dulanská, Sabina Petercová</i> . . . . .	61
Záchyty zdrojů ionizujícího záření neznámého původu v ČR <i>Josef Mudra</i> . . . . .	62

**Plakátová sdělení**

Kontajner pre dlhodobé suché skladovanie vyhoreného jadrového paliva typu CASTOR 440/84M a možnosti jeho využitia na Slovensku <i>Dorota Flamíková, Gabriel Farkas, Vladimír Nečas</i> . . . . .	63
The determination of the neutron source term for calculation of induced activity inventory in WWER-440/V230 by MCNP code <i>Martin Oravkin, Gabriel Farkaš, Kristína Krištofová, Matúš Saro, Vladimír Slugeň</i> . . . . .	64

Výpočet dávkového zatažení pracovníků v rámci vybraných typů mezziskladů VJP <i>Martin Jesenič, Martin Hornáček, Vladimír Nečas</i> . . . . .	65
--	----

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

Změny u činností zvláště důležitých z hlediska RO a ZOZ <i>Hana Podškubková</i> . . . . .	66
--	----

Integrovaný bezpečnostní systém ELI Beamlines <i>Veronika Olšovcová, Petr Procházka, Roman Truneček, Jiří Trdlička, Hana Maňásková, Zdeněk Mendl, David Andert</i> . . . . .	67
---	----

Výcvik inspektorů mezinárodní organizace Smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) <i>Aleš Froňka</i> . . . . .	68
---	----

Aktuality z mezinárodního dění v oblasti radiační ochrany <i>Karla Petrová</i> . . . . .	69
---	----

Významné změny v legislativě v oblasti radiační ochrany a jejich zavedení do praxe <i>Karla Petrová, Jana Davidková</i> . . . . .	70
--	----

**Plakátová sdělení**

Pilotní studie nízkoradonové místnosti <i>Ivan Štekl, Fadahat Mamedov, Jiří Hůlka, Pavel Fojtík, Eva Čermáková, Ekaterina Rukhadze, Karel Smolek, Karel Jílek, Petr Rulík, Miloš Jelínek, Pavel Stoček</i> . . . . .	71
---	----

## **Středa**

### **Dozimetrie zevního a vnitřního ozáření – 2**

Timepix jako neutronový dozimetr – návrh a model

*Peter Rubovič, Daniela Ekendahl, Zdeněk Vykydal, Jiří Hůlka* . . . . . 72

Přehled výzkumu kosmického záření a radiačních jevů v atmosféře na ÚJF

*Ondřej Ploc, Iva Ambrožová, Martin Kákona, Václav Štěpán, Kateřina Pachnerová Brabcová, Dagmar Kyselová, Marie Davídková* . . . . . 73

Srovnávací dozimetrická měření na palubách letadel

*Dagmar Kyselová, Iva Ambrožová, Martin Kákona, Ján Kubančák, Martina Lužová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Lucie Vítková, Václav Štěpán, Antonín Kolros, Ladislav Viererbl, Ondřej Ploc* 74

LET FÍK: Stratosférický balón jako nástroj pro dozimetrii a popularizaci vědy

*Václav Štěpán, Martin Kákona, Pavel Krist, Pavel Kovář, Jakub Kákona, Jan Chroust, Nikola Lipenská, Klára Dostálková, Jiří Hovorka, Kateřina Pachnerová Brabcová, Lenka Thinová, Ondřej Ploc, Jean-Luc Picard, pes Fík* . . . . . 75

Vývoj open source polovodičového detektoru CANDY

*Martin Kákona, Pavel Krist, Václav Štěpán, Dagmar Kyselová, Vladimír Havránek, Bruno Sopko, Petr Přidal, Jakub Kákona, Jan Chroust, Ondřej Ploc* . . . . . 76

Nový databázový systém pro evidenci dozimetrických dat

*Mikuláš Peksa, Martin Kákona, Dagmar Kyselová, Václav Štěpán, Ondřej Ploc* . . . . . 77

Elektrochemická detekce poškození DNA po ozáření jako nový nástroj biodozimetrie

*Marcela Jeličová, Anna Lierová, Zuzana Šinkorová, Lenka Zárybnická, Radovan Metelka* . . . . . 78

Biodozimetrie – frekvence mikrojaderných v buněkách po ozáření fotony, protony a alfa částicemi

*Anna Michaelidesová, Jana Vachelová, Jana Konířová, Vladimír Havránek, Jan Štursa, Václav Zach, Vladimír Vondráček, Marie Davídková* . . . . . 79

### **Plakátová sdělení**

Dozimetr na bázi soli (NaCl)

*Daniela Ekendahl, Libor Judas, Michaela Kapuciánová, Zina Čemusová* . . . . . 80

Odlišnosti radiačního pole na různých místech Mezinárodní kosmické stanice

*Jakub Šlegl, Kateřina Pachnerová Brabcová, Iva Ambrožová, Raisa V. Tolochek, Vyacheslav A. Shurshakov* . 81

Pondělí	Retrospektivní dozimetrie s využitím čipových karet <i>Zina Čemusová, Daniela Ekendahl</i> . . . . .	82
	Spektra lineárního přenosu energie kosmického záření získaná detektory stop v pevné fázi metodou per partes <i>Kateřina Pachnerová Brabcová, Iva Ambrožová, Anna Červenková, Yuma Nagasaki, Marie Davídková, Thomas Berger</i> . . . . .	83
Úterý	Fantom použitelný pro kalibraci a verifikaci při radiojodové terapii <i>Tereza Kráčmerová, Lenka Jonášová, Zdeněk Wolf, Pavel Solný</i> . . . . .	84
	Ozáření personálu na lůžkových odděleních nukleární medicíny <i>Tomáš Čechák, Jiří Martinčík, Pavel Solný, Miluše Budayová, Tomáš Urban, Petr Papírník</i> . . . . .	85
	Připravované rozšíření funkcí WebSOD – webového rozhraní osobní dozimetrie VF <i>Jiří Studený</i> . . . . .	86
	Osobní dozimetrie v novém atomovém zákoně <i>Miluše Budayová</i> . . . . .	87
Středa	Radiační ochrana na o. z. GEAM podle nové legislativy <i>Oldřich Tomášek, Zdeněk Gregor</i> . . . . .	88
	Trendy ve vývoji počtu radiačních pracovníků a v rozložení jejich dávek a ve vývoji počtu zdrojů ionizujícího záření sestavené na základě dat z Registrů SÚJB <i>Jan Vinklář, Miluše Budayová</i> . . . . .	89
	<b>Metrologie, měření a přístrojová technika – 3</b>	
	Legální metrologie 25 let poté <i>Tomáš Soukup</i> . . . . .	90
	Kontinuální monitorování emise 14 MeV neutronů při provozu D-T neutronového generátoru pomocí <sup>10</sup> B <sub>F</sub> <sub>3</sub> ionizační komory <i>Antonín Kolros, Michal Košťál, Evžen Novák, Martin Schulc, Jiří Malý, Ján Milčák</i> . . . . .	91
	Rychlý dvoupárametrický spektrometrický systém pro měření ve směsných polích n/g <i>Zdeněk Matěj, Michal Košťál, František Cvachovec, Václav Přenosil, Ondřej Herman, Filip Mravec, Martin Pavelek, Martin Veškrna, Aleš Jančář</i> . . . . .	92
Pátek	Odezva pasivních detektorů k vysokoenergetickým neutronům <i>Iva Ambrožová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Marie Davídková</i> . . . . .	93

Pondělí	Rádionuklidy v atmosféře Bratislavy – meranie, variácie a ich aplikácie <i>Karol Holý, Ivan Sýkora, Alexander Šivo, Pavel P. Povínek, Miroslav Ješkoucký, Monika Müllerová, Martin Bulko, Marta Richtáriková</i> . . . . .	94
	Termoluminiscenční vlastnosti Mg kodopovaných scintilátorů na bázi epitaxních filmů multikomponentních granátů <i>Petr Průša, Miroslav Kučera, Federico Moretti, Anna Vedda, Martin Hanuš, Zuzana Lučeničová, Martin Nikl</i> . . . . .	95
Úterý	Moderní radiační technologie NUVIA pro monitorování situace při radiačních nehodách <i>Petr Sládek, Jan Surý</i> . . . . .	96
	Nové možnosti v monitorování starých zátěží po uranovém průmyslu <i>Miriám Slezáková, Karel Jílek, Jaromír Neubauer</i> . . . . .	97
	Měření radiačních veličin s užitím nízkoletící multikoptéry (dronu) v oblastech postižených hornickou činností spojenou s dobýváním a úpravou uranových rud <i>Radek Černý, Ladislav Němeček, Petr Otáhal, Josef Vošahlík, Ivo Burian</i> . . . . .	98
	Robotický systém pro CBRN mise <i>Luděk Žalud, Tomáš Lázna</i> . . . . .	99
Středa	Matematická korekce neúplného sběru náboje při měření spekter <i>Dana Kurková, Libor Judas</i> . . . . .	100
	<b>Plakátová sdělení</b>	
	Analysis of signal drifts at Co Self-powered neutron detectors <i>Matúš Saro, Róbert Hinca, Martin Oravkin, Vladimír Slugeň</i> . . . . .	101
Čtvrtek	Digitální spektrometr pro neutronovou dozimetrii <i>Aleš Jančář, Zdeněk Kopecký, Zdeněk Matěj, Martin Veškrna, František Cvachovec</i> . . . . .	102
	Perspektivní scintilátory pro detekci a spektrometrii neutronů <i>František Cvachovec, Daniel Sas, Václav Přenosil, Zdeněk Matěj, Filip Mravec, Martin Veškrna, Václav Vacek</i> . . . . .	103
	Dozimetrie radionuklidů pomocí radiochromních gelů <i>Jaroslav Šolc, Ludmila Burianová, Martin Kačur, Vladimír Sochor</i> . . . . .	104
	Dozimetrické vlastnosti sond NuDET <i>Tomáš Grísa, Ján Kubančák</i> . . . . .	105
Pátek	Použití scintilačního krystalu YAP:Ce pro spektrometrii alfa za standardních atmosférických podmínek <i>Tomáš Urban</i> . . . . .	106

Pondělí	Měření spekter v širokém energetickém rozsahu na výzkumném reaktoru LVR-15 <i>Ladislav Viererbl, Vít Klupák, Zdena Lahodová, Antonín Kolros</i> . . . . .	107
	Letecké monitorování <sup>137</sup> Cs z havárie černobylské elektrárny v oblasti Šumavy <i>Irena Čěspírová, Lubomír Gryc, Jan Helebrant, Marcel Ohera</i> . . . . .	108
Úterý	Metody zpracování gama spektrometrických dat z monitorování pomocí malých bezpilotních prostředků <i>Jaroslav Klusoň, Lenka Thínová, Tomáš Brunclík, Tomáš Svoboda</i> . . . . .	109
	Porovnání různých metod stanovení účinnosti kalibrace polovodičového detektoru HPGe po rychlém nasazení ve vojenské mobilní laboratoři AL-2R <i>Marcel Ohera, Libor Švec, Daniel Sas, Markéta Němcová</i> . . . . .	110
	Stanovení účinnosti HPGe detektoru pro měření vnitřní kontaminace čistými zářiči beta pomocí Monte Carlo simulací s využitím fantomů UPh-02T a LLNL <i>Karin Fantínová, Pavel Fojtík</i> . . . . .	111
Středa	Vylepšenie poloempirickej účinnostnej kalibrácie HPGe detektorov typu BEGe <i>Andrej Slimák, Martin Lištjak</i> . . . . .	112
	Testování multikanálových analyzátorů pro scintilační spektrometrii <i>Karolína Jurášková, Vojtěch Bednář, Petr Průša</i> . . . . .	113
	Posouzení samoabsorpce záření ve vzorku při laboratorní gama spektrometrii <i>Kamila Johnová</i> . . . . .	114
Čtvrtek	Postupy při zajišťování kvality výsledků zkoušek a kalibrací v laboratoři dozimetrie rentgenového a gama záření SÚRO <i>Libor Judas, Martina Vtelenská, Dana Kurková</i> . . . . .	115
	Příprava metodiky pro kalibraci kVp metrů: stanovení praktického špičkového napětí (PPV) pomocí přístroje DYNALYZER IIIU <i>Denís Dudáš, Libor Judas, Dana Kurková</i> . . . . .	116
	Chromatografická separácia samária a jeho stanovenie pomocou kvapalinovej scintilačnej spektrometrie <i>Dušan Galanda, Jana Strišovská</i> . . . . .	117
	Projekt „Metrologie pro zavedení dozimetrie radionuklidů do klinické praxe v nukleární medicíně“ <i>Jaroslav Šolc, Ludmila Burianová, Tomáš Vrba</i> . . . . .	118
Pátek	Stripové křemíkové senzory pro měření ve směsných neutron-gama radiačních polích <i>Tomáš Urban, Tomáš Slaviček, Jiří Hůlka, Angela Kok, Dirk Meier, Petr Mašek, Stanislav Pospíšil, Ozban Koybasi, Tomáš Trojek</i> . . . . .	119



Osobná dozimetria – požiadavky na určené meradlá a praktické skúsenosti

*Norman Durný* . . . . . 120

Referenčné radiačné polia Národného etalónu dozimetrických veličín žiarenia gama

*Norman Durný* . . . . . 121

Vplyv geometrie medicínskych rádionuklidov na odozvu ionizačnej komory

*Andrej Javorník, Jarmila Ometáková, Michaela Zálešáková* . . . . . 122

## Čtvrtek

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

Změny podle zákona č. 263/2016 Sb. (atomový zákon) u hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření a zvláštní odborná způsobilost k hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření <i>Barbora Havránková, Petr Papírník</i> . . . . .	123
Externí klinické audity ve zdravotnictví – zkušenosti po roce <i>Petr Borek, Radim Kříž, Jiří Hlavička</i> . . . . .	124
Praktické zkušenosti ČSFM, z. s. s prováděním externích klinických auditů v nukleární medicíně <i>Petra Dostálová, Jaroslav Ptáček, Vít Richter, Lenka Petýrková Janečková</i> . . . . .	125
Výsledky pilotní studie on-site nezávislé prověrky radioterapie v oblasti hlavy a krku <i>Irena Koniarová, Vladimír Dufek, Ivana Horáková</i> . . . . .	126
Stanovení populační dávky pacienta z nenádorové radioterapie v ČR <i>Vladimír Dufek, Lukáš Kotík, Ladislav Tomášek, Helena Žáčková, Ivana Horáková</i> . . . . .	127
Požadavky na radiační ochranu v nukleární medicíně <i>Jozef Sabol</i> . . . . .	128
Srovnání EBT2 a EBT3 filmů s detektorem PTW 2D-ARRAY seven29 pro verifikaci IMRT plánů <i>Tereza Hanušová, Ivana Horáková, Irena Koniarová</i> . . . . .	129
Dozimetrická verifikace patientských plánů pro ozařovač TomoTherapy HD <i>Kateřina Jelénková, Ondřej Pejchal, Jitka Končecová, Jan Štika</i> . . . . .	130
Využívání termoluminiscenční dozimetrie v CT koronarografii <i>Zuzana Bárdayová, Martina Horváthová, Denisa Nikodemová</i> . . . . .	131
Dozimetrie s fantomy simulující dětské pacienty <i>Kateřina Chytrá, Leoš Novák</i> . . . . .	132
Vliv repopulace a opožděného příjmu radionuklidu na buněčnou populaci <i>Martin Šeřf, Ioanna Kyriakou, Dimitris Emfietzoglou, Marie Davídková</i> . . . . .	133
Neutronová kontaminace klinického PBS protonového svazku <i>Matěj Navrátil, Vladimír Vondráček, Miloslav Králík, Zdeněk Vykydal</i> . . . . .	134
Použití radioaktivního uhlíku <sup>14</sup> C v radioterapii <i>Jakub Šlegl, Monika Puchalska, Lembit Sihver, Ondřej Ploc</i> . . . . .	135

Pondělí	Zaťaženie pracovníkov pri použití laserov fy LAP laser <i>Gabriel Králik, Eudmila Juchová, Miroslava Chrenková, Žaneta Kantová</i> . . . . .	136
	Porovnání radiační zátěže pracovníků KNME FN Motol při přechodu od roztoku <sup>131</sup> I ke kapslím <sup>131</sup> I <i>Lenka Jonášová, Jakub Suchánek, Tereza Kráčmerová</i> . . . . .	137
	Kontaminace <sup>131</sup> I z oddělení nukleární medicíny <i>Eva Zemanová</i> . . . . .	138
Úterý	Praktické zkušenosti ČSFM, z. s. s prováděním externích klinických auditů v radiační onkologii <i>Lenka Petýrková Janečková</i> . . . . .	139
	<b>Plakátová sdělení</b>	
	Statistické hodnocení lékařského ozáření <i>Ivanka Zachariášová, Karla Petrová, Hynek Novák</i> . . . . .	140
	„End-To-End“ audit – kontrola dávek a dávkové distribuce pro IMRT <i>Michaela Kapuciánová, Daniela Ekendahl, Irena Koniarová, Vladimír Dufek</i> . . . . .	141
Středa	Robustnosť ozařovacích plánů s využitím respiratory gatingu v protonové radioterapii <i>Helena Valouchová, Jitka Lerachová, Darina Trojková</i> . . . . .	142
	Využití range-shifteru v protonové radioterapii <i>Jan Štika, Tomáš Urban</i> . . . . .	143
	Hodnotenie ekvivalentných dávok IŽ na očné šošovky u rizikových skupín populácie <i>Veronika Trečková, Denisa Nikodemová</i> . . . . .	144
	Optimalizace vlastností Frickeho dozimetru s xylenolovou oranží při jeho použití v 3D gelovém dozimetru <i>Václav Spěváček, Hana Bártová</i> . . . . .	145
Čtvrtek	Amifostine in new light <i>Martin Falk, Michal Hofer, Denisa Komůrková, Iva Falková, Alena Bačíková, Bořivoj Klejduš, Eva Pagáčová, Lenka Štefančíková, Lenka Weiterová, Karel Angelis, Stanislav Kozubek, Ladislav Dušek, Štefan Galbavý</i> . . . . .	146
	Poškození plasmidové DNA svazky těžkých nabitých částic <i>Kateřina Pachnerová Brabcová, Lembit Sihver, Egor Ukraintsev, Václav Štěpán, Marie Davídková</i> . . . . .	147
Pátek	Formování a automatizace detekce mikrojader v ozářených buněčných kulturách <i>Stanislav Kaczor, Anna Michaelidesová, Marie Davídková</i> . . . . .	148

Stanovenie zmien indukovaných ionizujúcim žiarením na bunkové populácie a cytokínový profil v periférnej krvi a pľúcach <i>Anna Lierová, Marcela Jeličová, Lenka Zárybnická, Zuzana Šinkorová</i> . . . . .	149
Účinky gama záření na vodíkem zakončené nanokrystalické diamantové bio-tranzistory <i>Jana Vachelová, Roman Hříbal, Marie Krátká, Egor Ukraintsev, Marie Davídková, Marta Vandrovcová, Alexander Kromka, Bohuslav Rezek</i> . . . . .	150

**Pátek**

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

Biofyzikální analýza některých účinků malých dávek záření  
*Antonín Sedlák* . . . . . 151

Role epigenetiky v radiační biologii  
*Jana Konířová* . . . . . 152

Study of fully automated analyzing system for the study of low-dose radiation effects on cellular radiobiology  
*Yuma Nagasaki, Youichirou Matuo, Kateřina Pachnerová Brabcová, Nakahiro Yasuda* . . . . . 153

Krok kupředu ke kombinované personalizované terapii: Jak odpovídají různé typy buněk izolované z nádorů hlavy a krku na ozáření?  
*Olga Kopečná, Michal Masařík, Zuzana Horáková, Martin Falk, Iva Falková, Alena Bačíková, Daniel Depeš, Stanislav Kozubek* . . . . . 154

Vplyv morfometrických a fyziologických zmien fajčenia na pľúcnu dávku  
*Radoslav Böhm, Karol Holý, Antonín Sedlák* . . . . . 155

Nový pohled na radiosenzitizační efekt kovových nanočástic  
*Lenka Štefančíková, Martin Falk, Sandrine Lacombe, Daniel Depeš, Erika Porcel, Eva Pagáčová, Daniela Salado, Oliver Tillement, François Lux, Stanislav Kozubek* . . . . . 156

Předléčebné stanovení radiosensitivity nádorů hlavy a krku, cesta k individualizované terapii?  
*Zuzana Horáková, Martin Falk, Iva Falková, Olga Kopečná, Alena Bačíková, Stanislav Kozubek, Daniel Depeš, Hana Bínková, Břetislav Gál, Marketa Svobodová, Jaromír Gumulec, Martina Raudenská, Hana Polanská, Michal Masařík* . . . . . 157

Radiační poškození proteinu p53  
*Marek Sommer, Marie Davídková* . . . . . 158

Porovnání biologické účinnosti pasivního módu Double Scattering a aktivního módu Pencil Beam Scanning v protonové terapii  
*Anna Michaelidesová, Jana Konířová, Jana Vachelová, Vladimír Vondráček, Marie Davídková* . . . . . 159

**Rejstřík** . . . . . 160

Pondělí

Úterý

Středa

Čtvrtek

Pátek

## 70. výročí uranového průmyslu v České republice

**Tomáš Rychtařík**

DIAMO s. p., Máchova 201, Stráž pod Ralskem, ČR

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

Přednáška mapuje historii uranového průmyslu v České republice od 1. 1. 1946, kdy byl zřízen národní podnik Jáchymovské doly, Jáchymov, až do současnosti. Jsou popsány všechny lokality, kde byla realizována těžba uranu, vyčísleny

produkce uranu i vývoj zaměstnanosti v uranovém průmyslu v České republice. V další části přednáška popisuje činnosti a perspektivy státního podniku DIAMO.

# Počátky geofyzikálního průzkumu uranu a radiometrického mapování v Československu

Milan Matolín

PřF UK, Albertov 6, Praha 2, 128 00, ČR

[milan.matolin@natur.cuni.cz](mailto:milan.matolin@natur.cuni.cz)

Rozvoj a široké uplatnění radiometrických metod v Československu bylo spojeno zejména s průzkumem radioaktivních surovin a geologickým mapováním. V roce 1946 byly založeny Jáchymovské doly, státní organizace pro průzkum, těžbu a zpracování uranu, pozdější Československý uranový průmysl (1967) a DIAMO s. p. (1992). Průzkumné práce a exploatace uranu začala zejména v Krušných horách. K průzkumu uranu byly využity metody geologické, geochemické a geofyzikální. Geofyzikální radiometrické metody významně přispěly k lokalizaci tisíců anomálií radioaktivity, 16 846 výskytů uranu, ekonomickému hodnocení 164 uranových objektů a těžbě uranu na 66 ložiscích.

Pozemní průzkum uranu v padesátých letech dvacátého století zahrnoval plošně rozsáhlá měření radonu v půdě, autogama průzkum, peší gama průzkum, měření gama aktivity ve vrtech ale též gravimetrii, magnetometrii geoelektrické metody a seismiku. Pokusná letecká měření radioaktivity byla realizována v roce 1954. Systematické regionální letecké

geofyzikální radiometrické a magnetické mapování Československa bylo provedeno v letech 1957–1959 Geofyzikou Brno s aparaturou ASGM-25 vybavenou 72 velkoplošnými GM počítačemi trubice, umístěnou v letadle AN-2, při výšce letu 100 m, rychlosti letu 150 km/h a při vzdálenosti letových profilů 2 km. Pokryto bylo 100 % plochy Československa. Výstupem byla Aeroradiometrická mapa ČSSR (mapa profilů expozičního příkonu,  $\mu\text{R/h}$ ) vydaná Ústředním ústavem geologickým v roce 1965. Interpretace regionálního radiometrického měření vedla k publikovanému popisu radioaktivity hornin v Českém masívu (1970) a v Západních Karpatech (1976). V roce 1975 byla zřízena kalibrační základna ČSUP pro gamaspektrometrické přístroje a karotážní radiometry v Bratkovcích u Příbrami. Od 1976 byla v Československu zavedena letecká gama spektrometrie.

Geofyzikální měření radioaktivity v Československu a České republice přispěly k poznání radioaktivity přírodního prostředí a jeho hodnocení.

# Stručná charakteristika DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka

Jiří Jež

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM, ČR

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

Odštěpný závod GEAM provozuje těžebně–úpravářský komplex na ložisku Rožná. Hlubinná těžba uranových rud zde probíhá od roku 1958 a zpracování rudy na chemické úpravně od roku 1968. Uranová ruda z těžby byla zpočátku zpracovávána na úpravnách v jiných lokalitách (Příbram, Mydlovary). Dříve se na úpravně zpracovávaly i rudy z ložisek Olší, Pucov, Licoměřice, Slavkovice, Brzkov a Březinka, na všech těchto ložiscích je těžba ukončena, v současné době se zpracovává pouze těžba z ložiska Rožná.

Základními těžebními materiály jsou uraninit a coffinit, produktem vystupujícím z úpravny je uranový koncentrát ve formě diuranátu amonného s obsahem min. 65 % U. Výrobní technologie je provozována v uzavřeném cyklu vod, pouze nadbytečné vody jsou po zpracování v komplexu čistících stanic vypouštěny mimo systém do vodoteče. Při čištění volných vod odkališť odpadá síran sodný, tento odpad je zhodnocován prodejem ke komerčnímu využití.

V České republice byl příslušnými usneseními vlád schválen program útlumu těžby uranu. Jeho záměrem je postupná

likvidace všech těžebních a úpravářských kapacit uranu na našem území.

Proces útlumu těžby a úpravy uranových rud v ČR je velmi složitý a vyžaduje současné řešení řady závažných technických, technologických, ekonomických, ekologických a sociálních otázek. Program útlumu těžby a úpravy uranových rud je tvořen souborem vládních usnesení a konkrétně zohledněn technickými projekty likvidace jednotlivých těžebních oblastí a lokalit.

Vedle pozvolně končící těžební činnosti závod provádí zahlazování následků hornické činnosti po těžbě uranu, uhlí a rud v části regionu východních Čech a celé Moravy vyjma regionu Ostravska.

Příspěvek prezentuje činnosti závodu, radiační ochranu zaměstnanců a opatření ke snížení zátěže obyvatel v okolí dolu a úpravny uranové rudy. Jsou předvedeny čistírny důlní vody, technologie pro čištění odkalištní vody a ukázky rekultivací odvalů, odkališť apod.



# Činnost odštěpného závodu Správa uranových ložisek Příbram na lokalitách po bývalé uranové těžbě

**Martin Čermák**

Diamo, státní podnik, odštěpný závod Správa uranových ložisek, ul. 28. října 184, Příbram, 261 13, ČR

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

Diamo, státní podnik, odštěpný závod Správa uranových ložisek Příbram (o. z. SUL), vykonává správu a dohled nad územím dotčeným bývalou těžbou rud a uranu. Mezi nejvýznamnější úkoly patří čištění důlních vod převážně po bývalé uranové činnosti a báňsko-technický monitoring opuštěných důlních děl a odvalů. Nedílnou součástí činností na lokalitách po bývalé uranové činnosti je i zajištění plnění legislativních požadavků atomového zákona a tedy zajiš-

tění radiační ochrany. V příspěvku budou představeny nejvýznamnější lokality po uranové činnosti, které spravuje o. z. SUL a budou zde blíže popsána jednotlivá specifika vybraných lokalit především s ohledem na radiační ochranu. Výsledky monitoringu trvale prokazují, že současná činnost vede k postupnému zlepšování všech složek životního prostředí.

# Sanace horninového prostředí po chemické těžbě uranu v severních Čechách

Rostislav Dudáš, Vojtěch Vokál

DIAMO s. p., o. z. TÚU, Pod Vinicí 84, Stráž pod Ralskem, 471 27, ČR

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

Těžba uranu ve Stráži pod Ralskem v Libereckém kraji byla po několik desetiletí neodmyslitelnou součástí nejen tohoto města, ale i širokého okolí a regionu. Během období chemické těžby (1966–1996) bylo v lokalitě Stráž pod Ralskem na ploše vyluhovacích polí o celkové výměře 628 ha odvrháno cca 15 000 vrtů, z toho 8 000 technologických. Vlivem vtlačení chemických látek do cenomanského kolektoru při realizaci těžby uranu v této lokalitě došlo ke kontaminaci podzemních vod. Hlavními kontaminanty jsou v současné době zejména  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  a Al.

V roce 1996 byla rozhodnutím vlády ČR ukončena chemická těžba a následně byly stanoveny základní cíle sanace

této lokality. Mezi hlavní cíle sanace lze zařadit uvedení horninového prostředí do stavu, který zajistí trvalé využívání turosských zásob pitných vod v severočeské křídě. Dále likvidace vrtů, likvidace povrchových zařízení a začleňování povrchu vyluhovacích polí do ekosystémů s ohledem na regionální systémy ekologické stability a plány regionálního rozvoje.

Ukončení veškerých sanačních prací, včetně likvidace povrchových objektů a rekultivace povrchu je plánováno do roku 2042. Celkové náklady na realizaci sanace jsou odhadnuty na úrovni 50 miliard Kč.

## Uvádění radionuklidů do životního prostředí v podmínkách DIAMO, s. p. o. z. ODRA

Petr Jelínek

DIAMO, s. p. o. z. ODRA, Sirotní 1145/7, Ostrava-Vítkovice, 703 86, ČR

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

V rámci likvidace dolů v utlumované části Ostravsko–karvinského revíru bylo nutno řešit i udržování hladiny důlní vody v podzemních kolektorech na úrovních zajišťujících bezpečnost provozu v činné části OKR. Provádí se to čerpáním dynamických přítoků vod na dvou vodních jamách a následným vypouštěním těchto vod do povrchových vodo-

tečí. Přestože ve spádových oblastech obou vodních jam jsou zastoupeny geneticky velmi podobné typy vod, vyskytují se zde výrazné rozdíly zejména v obsahu radionuklidu  $^{226}\text{Ra}$ . Příspěvek analyzuje důvod těchto diferencí i jejich praktický dopad při vypouštění do povrchových toků.

## Ozáření pracovníků při vyřazování z provozu Dolu Hamr I

Miloslav Němec<sup>1</sup>, Hana Neznalová<sup>2</sup>, Stanislava Lustyková<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> RADON v.o.s., Novákových 6, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>3</sup> ENERGIE stavební a báňská a. s., Plzeňská 298/276, Praha 5, 151 23, ČR

[miloslav.nemec@sujb.cz](mailto:miloslav.nemec@sujb.cz)

Přednáška je rozdělena do třech částí. V první části je zmíněna historie Dolu Hamr I a CDS (Centrální dekontaminační stanice) a to jak z hlediska těžby a čištění důlních vod tak z hlediska jednotlivých etap vyřazování z provozu. Zároveň jsou popsány legislativní aspekty jednotlivých období provozu a vyřazování. Ve druhé části je popsán výběr dozimet-

rických veličin monitorovaných během vyřazování a postupy pro jejich stanovování včetně popisu metodik a přístrojů. Ve třetí části jsou uvedeny získané hodnoty osobních efektivních dávek radiačních pracovníků kategorie A a B, je proveden rozbor výsledků a porovnání velikostí dávek pracovníků během provozu a při vyřazování z provozu.

# Radiační ochrana na podzemních pracovištích s radonem – zkušenosti z dozoru SÚJB

**Marcela Velkoborská, Miroslav Jurda**

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

[miroslav.jurda@sujb.cz](mailto:miroslav.jurda@sujb.cz)

V ČR jsou v posledních letech ve zvýšené míře zpřístupňována důlní díla a další podzemní pracoviště pro montánní turistiku. Vzhledem k tomu, že se jedná o pracoviště, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů ionizujícího záření fyzických osob při výkonu jejich práce, podléhají tato pracoviště dozoru SÚJB. V prezentaci budou shrnuty aktuální zkušenosti z dozoru při obnově a

provozu těchto podzemních pracovišť. Na vybraných pracovištích bude popsán jejich režim, uvedeny výsledky měření a na jejich základě odhadnuté efektivní dávky pracovníků. Prezentace bude rovněž obsahovat i informaci o změnách v povinnostech provozovatelů a o dalších změnách vyplývajících z Atomového zákona č. 263/2016 Sb., který nabude účinnosti 1. 1. 2017.

# Nemoci z povolání u horníků uranových a rudných dolů v ČR způsobené expozicí ionizujícím záření v období 2002–2015

Tomáš Müller

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

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

Každý rok se v České republice předkládá k posouzení několik desítek případů onemocnění u stávajících či bývalých horníků uranových nebo rudných dolů, o kterých se postižený horník nebo jeho ošetřující lékař domnívá, že vznikly v důsledku expozice ionizujícím záření na pracovišti. Pouze malá část z těchto případů je v závěru řízení kvalifikována jako nemoc z povolání.

Skoro u všech onemocnění, která byla předložena k posouzení, se jednalo o zhoubné nádory. Podstatnou část z těchto zhoubných nádorů tvoří rakovina plic. Rozhodování o nemoci z povolání vychází z pravděpodobnostního přístupu posuzování založeném na stanovení podílu příčinné souvislosti (PPS) ozáření na vzniku onemocnění (např. metodické opatření č. 15 Věstníku ministerstva zdravotnictví ČR, částka 9, 1998). Nemoc z povolání je právní pojem, který zakládá nárok na odškodnění.

Sdělení podává souhrnnou informaci o všech posuzovaných případech nemocí z povolání u horníků uranových a

rudných dolů v České republice v období 2002–2015. Ve sledovaném období bylo na SÚRO každý rok předloženo k posouzení podmínek vzniku onemocnění 30–80 případů. Ve většině případů šlo o rakovinu plic. Druhou nejpočetnější skupinu diagnos tvořily rakoviny kůže (non-melanoma skin cancers). Třetí skupinou byly leukémie. Ostatní diagnózy se vyskytují sporadicky.

Z posuzovaných onemocnění splňuje kritéria priznání nemoci z povolání polovina až třetina posuzovaných případů. Z toho většinu tvoří rakovina plic. Podíl rakoviny plic u priznaných nemocí z povolání má v posledních letech klesající tendenci. Následují rakoviny kůže (basaliomy a spinaliomy). Jejich podíl na počtu priznaných nemocí z povolání má naopak rostoucí tendenci. V posledním roce jich bylo dokonce více než rakovin plic. Na třetím místě jsou leukémie (zhruba 1 případ za rok).

## Odhad efektivní dávky pro obyvatele v obci Brod na Příbramsku

Lenka Thinová<sup>1,2</sup>, Miroslav Jurda<sup>3</sup>, Aleš Froňka<sup>4</sup>, Radek Černý<sup>5</sup>, Josef Vošahlík<sup>5</sup>, Jaroslav Šolc<sup>6</sup>, Radek Bican<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> DIAMO s. p., o. z. SUL, Ul. 28. října 184, Příbram, 261 13, ČR

<sup>3</sup> SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

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

<sup>5</sup> SUJCHBO, Milín 71, Milín-Kamenná, 262 31, ČR

<sup>6</sup> Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

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

V České republice se nacházejí tisíce odvalů po hornické činnosti, jen některé z nich jsou pozůstatky po těžbě uranových rud. Tyto odvaly mohou být zdrojem řady chemických kontaminantů a přírodních radionuklidů ve vyšších koncentracích. Některé byly úspěšně sanovány a začleněny do krajiny v podobě parků, jiné jsou postupně odtěžovány a po vytrídění je kamenivo zužitkováno ve stavebním průmyslu. Řada odvalů je v rámci existujících expozičních situací stálým přispěvatelem k ozáření obyvatel, jako je tomu v případě obcí Brod, Lešetice a Konětopy na Příbramsku, ležících v blízkosti odvalu šachty č. 15. Tato šachta sloužila pro větrání, těžbu, dopravu materiálu a fárání. V současné době je na odvalu uloženo 7 507 639 m<sup>3</sup> kameniva, tj. cca 12 762 986 t. Odhaduje se, že odval obsahuje cca 0,005 %

zbytkového obsahu uranové mineralizace (cca 600–700 t uranu), což řádově více než je průměrný obsah U v horninách. K odhadu vnějšího a vnitřního ozáření obyvatel v obci Brod bylo provedeno gamma spektrometrické stanovení obsahu přírodních radionuklidů na odvalu a v jeho okolí, které bylo podkladem pro modelování externího ozáření metodou Monte Carlo a ke zmapování dávkových příkonů. Dále byly použity časové řady výsledků monitorování systémem ALGADE Environmental a monitorovací stanicí Ramonis. Ve vybraných domech byla změřena koncentrace radonu. Dále byla proměřena exhalace odvalu a koncentrace radonu v půdním plynu v okolí odvalu. Všechny tyto výsledky byly použity k diskusi kolem odhadu efektivní dávky v okolí odvalu.

# Radiačná záťaž obyvateľstva SR z expozície radónu podľa nových odporúčaní EU

Helena Cabáneková<sup>1</sup>, Matej Ďurčík<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oddelenie radiačnej hygieny, SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

<sup>2</sup> University of Arizona, Tuscon, USA

[helena.cabaneikova@szu.sk](mailto:helena.cabaneikova@szu.sk)

V príspevku je porovnaná v súčasnosti platná legislatíva SR s novými požiadavkami EU, záväznými pre členské štáty Európskej Únie. Ďalej sú prezentované výsledky skríningu kontaminácie stavebných materiálov a surovín prírodnými rádionuklidmi a odhadnutá radiačná záťaž obyvateľa SR z externého ožiarenia v obytnom priestore typickom pre Slovensko. Sú prezentované aj výsledky skríninov koncentrácie radónu v obytných priestoroch SR od roku 1992, pričom posledný skrínin koncentrácie radónu v obytných priestoroch, uskutočnený v roku 2014 v siedmych územných celkoch (Topoľčany, Levice, Galanta, Lučenec, Trenčín, Dolný Kubín a Košice), je korigovaný výsledkami opakovaných meraní a doplnený ďalšími meraniami v týchto lokalitách. Do každého obytného priestoru pri všetkých skríninových boli pridelené 2 ks detektorov typu CR-39 spolu

s návodom na umiestnenie a dotazníkom pre charakteristiku sledovaného objektu. Pri hodnotení radónovej situácie v celom sledovanom súbore obytných objektov bol potom zohľadňovaný druh obytného priestoru, typ miestnosti, ako aj charakter stavby. V závere príspevku, na základe analýzy nameraných výsledkov, nových koeficientov odhadu zdravotného rizika a konverzných koeficientov pre výpočet efektívnej dávky z expozície radónom, je uvedený odhad efektívnej dávky obyvateľstva v jednotlivých okresoch a krajoch Slovenska.

Táto práca bola podporená aj realizáciou projektu „Centrum excelentnosti environmentálneho zdravia“ ITMS č. 2424-0120033, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj, financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



## Nový atomový zákon v oblasti přírodních zdrojů ionizujícího záření

Ivana Ženatá

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

[ivana.zenata@sujb.cz](mailto:ivana.zenata@sujb.cz)

Dne 1.1.2017 nabývá účinnosti nový atomový zákon (č. 263/2016 Sb.) a jeho prováděcí předpisy. Do tohoto zákona byly, kromě jiných, zapracovány směrnice Rady 2013/51/Euroatom, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě a směrnice Rady 2013/59/Euroatom, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření.

Z tohoto důvodu došlo také ke změnám v požadavcích na radiační ochranu před přírodními zdroji ionizujícího záření, a to oproti požadavkům, které dosud stanoví zákon č. 18/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů (atomový zákon). Příspěvek podává informaci o změnách, které nastanou v oblasti regulace přírodního ozáření z pitné vody, stavebních materiálů, pracovišť s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření (pracoviště NORM) a pracovišť se zvýšeným ozářením z radonu.

## K diskusi o konverzi expozice radonu na dávku

Ladislav Tomášek

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

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

V posledních letech probíhá diskuse k novým doporučením ICRP, které se týkají konverze expozice radonu na efektivní dávku. Posledním příspěvkem k této diskusi byl seminář na půdě Spolkového ministerstva pro životní prostředí, stavebnictví a jadernou bezpečnost v Bonnu, který byl publikován v časopise Radiation Environment Biophysics (2016). V této práci bylo navrženo vrátit se k původní kon-

verzi 5 mSv/WLM, který byl zdůvodněn novými výsledky německé studie Bismut a také způsobem výpočtu převodních koeficientů založených na ekvivalentní dávce a faktoru DDREF.

V prezentaci bude vysvětlen původní epidemiologický přístup převodu (ICRP-65) a jeho modifikace v ICRP-126. Kromě toho budou analyzovány výsledky ze studie Wismut.

## Radon na pracovištích – Implementace požadavků směrnice 2013/59/Euratom

Ivana Fojtíková<sup>1</sup>, Ivana Ženatá<sup>2</sup>, Jana Timková<sup>1</sup>

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

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

[ivana.fojtikova@suro.cz](mailto:ivana.fojtikova@suro.cz)

Směrnice Rady 2013/59/Euratom z prosince 2013 zavádí jednotné bezpečnostní standardy pro ochranu zdraví jednotlivců, kteří jsou vystaveni profesionální expozici. V článku 54 je uveden výčet nových povinností, které mají za cíl zavést regulaci expozice radonu na pracovištích. Členské státy EU jsou dle Směrnice povinny 2013/59/Euratom stanovit vnitrostátní referenční úroveň pro koncentraci radonu

na pracovištích uvnitř budov a nařídít povinnost provádění měření radonu na pracovištích, která jsou umístěna v přízemí nebo v podzemním podlaží v oblastech, kde lze očekávat zvýšený výskyt radonu. Směrnice umožňuje stanovit další parametry specifikující povinná pracoviště. Příspěvek vysvětluje český přístup k implementaci této povinnosti do nové legislativy.

# Radon podle nového atomového zákona a Radonový program ČR

Eva Pravdová, Jaroslav Slovák

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

[jaroslav.slovak@sujb.cz](mailto:jaroslav.slovak@sujb.cz)

Dnem 1. ledna 2017 nabývá účinnosti zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon a nová vyhláška o radiační ochraně. Nová legislativní úprava problematiky radiační ochrany přinese řadu změn i do oblasti přírodních zdrojů ionizujícího záření. Znamená to, že i Radonový program ČR – Akční plán, 2010–2019 bude během následujících a závěrečných 3 let poznamenán a ovlivněn novou právní úpravou a naším aktuálním chápáním/vnímáním přírodních zdrojů ionizujícího záření a ochrany obyvatel před negativními účinky radonu. Nově jsou upraveny např. povinnosti provozovatelů pracovišť s možným zvýšeným ozářením z radonu, které nově tvoří samostatnou kategorii pracovišť. Veřejnosti se týká zejména povinnost zajistit měření úrovně objemové aktivity radonu v dokončené stavbě, která prošla rekonstrukcí a obsahuje nové obytné či pobytové místnosti. Dále je podrobně a nově řešena situace v oblasti zařízení školských, sociálních a zdravotních, u kterých je stanovena povinnost vlastníka

zajišťovat měření objemové aktivity radonu při uvedení do provozu po provedení změn dokončené stavby. Významným prvkem, který je zaveden do legislativy radiační ochrany je princip optimalizace (ALARA), který je pro výše uváděná zařízení povinný při překročení referenční hodnoty 300 Bq/m<sup>3</sup>. Nový „atomový zákon“ zavádí nově pojem přestupku resp. správního deliktu i do oblasti přírodních zdrojů ionizujícího záření, kde za nesplnění zákonem specifikovaných povinností vlastníkem budovy hrozí uložení pokuty. Státní úřad pro jadernou bezpečnost byl novým atomovým zákonem zmocněn ke zpracování a aktualizování národního akčního plánu pro regulaci ozáření obyvatel z radonu a stanovování koncepce pro řízení existujících expozičních situací a zároveň byla v oblasti národního akčního plánu (radonového programu) vymezena role participujících ministerstev a krajských úřadů.

# Metodická příprava na reprezentativní průzkum ozáření obyvatelstva ČR od radonu – stanovení průměrné objemové aktivity radonu ( $^{222}\text{Rn}$ a $^{220}\text{Rn}$ ) a průměrné násobnosti výměny vzduchu v budovách

Aleš Fronka, Ivana Fojtíková, Karel Jílek, Ladislav Moučka, Jan Lenk, Dana Hladíková, Jan Hradecký, Lukáš Bláha, Zdeněk Borecký, Michaela Slavičková, Zina Čemusová

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

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

Abychom získali aktuální informace o expozici obyvatelstva přírodním zdrojům ionizujícího záření v bytech, je nutné provést rozsáhlý reprezentativní průzkum s využitím ověřené měřicí techniky a certifikovaných pracovních postupů. Poslední reprezentativní průzkum ozáření obyvatelstva ČR od radonu a jeho krátkodobých produktů přeměny byl proveden v letech 1993–94 s využitím pasivních otevřených stopových detektorů s detekční fólií Kodak LR 115 instalovaných celkem v 3 582 bytech po dobu jednoho roku. Od té doby se významně změnila řada faktorů ovlivňujících expozici obyvatelstva od radonu ve vnitřním prostředí budov. Technologické postupy ve stavebnictví cílené na snižování energetické náročnosti budov a způsob života a bydlení významně ovlivňují celkovou násobnost výměny vzduchu, a tím i úroveň ozáření ve vnitřním prostředí domů. Navíc byly úspěšně vyvinuty a testovány nové detekční systémy

pro stanovení dlouhodobého průměru objemové aktivity radonu ( $^{222}\text{Rn}$  a  $^{220}\text{Rn}$ ) ve vnitřním ovzduší domů a stanovení průměrné násobnosti výměny vzduchu v budovách. V rámci metodické přípravy na velký reprezentativní průzkum byl vybrán vzorek 104 bytů, ve kterých byly instalovány různé pasivní detektory radonu a thoronu (stopové detektory a elektretové ionizační komory) s různou expoziční dobou (1 měsíc, 3 měsíce až 1 rok), termoluminiscenční dosimetry pro stanovení prostorového dávkového ekvivalentu záření gama a pasivní detektory stopovacích plynů pro stanovení průměrné násobnosti výměny vzduchu. V příspěvku budou prezentovány výsledky testování jednotlivých detektorů v laboratorních podmínkách a v prostředí vybraných bytů a praktické zkušenosti terénních pracovníků při rozmisťování detektorů u jednotlivých účastníků zahrnutých do výzkumného projektu.

# Metodologická příprava na reprezentativní průzkum ozáření obyvatelstva ČR od radonu – zajištění reprezentativity vzorku

Ivana Fojtíková, Aleš Froňka, Michal Jankovec

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

[ivana.fojtikova@suro.cz](mailto:ivana.fojtikova@suro.cz)

Pro provedení reprezentativního průzkumu ozáření obyvatelstva ČR z přírodních zdrojů ionizujícího záření je nezbytné vyřešit metodiku výběru a způsobu osazení dostatečně velkého souboru bytů, který bude reprezentovat bytový fond ČR ve zvolených parametrech ovlivňujících míru ozáření obyvatel. K dispozici jsou dvě metody získání výběrového souboru, které teoreticky vedou k zajištění reprezentativnosti: náhodný a kvótní výběr. Pro účely přípravy metodiky pro realizaci reprezentativního výzkumu byly alternativně

otestovány oba druhy výběru na dvou stejně velkých souborech bytů, aby bylo možné je následně srovnat z hlediska časové a finanční náročnosti, response rate, míry konverze (dokončení měření), kvality získaných dat a doporučit, který z nich bude vhodnější pro reprezentativní výzkum ozáření obyvatelstva. Pro informaci o možném vychýlení reprezentativity a určení výše odměny pro účastníky byl proveden pilotní telefonický výzkum, který přinesl řadu poznatků, které budou moci být využity při přípravě metodiky.

## Hodnocení ozáření v rodinných domech typu START

Eva Pravdová<sup>1</sup>, Aleš Froňka<sup>2</sup>, Ivana Fojtíková<sup>2</sup>, Ladislav Moučka<sup>2</sup>

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

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

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

Cílem strategie informovanosti, která je prioritou Radonového programu ČR 2010 až 2019 – Akčního plánu, je motivovat vlastníky k zájmu o kvalitu vnitřního ovzduší a k měření objemové aktivity radonu v jejich domech. V posledních letech se stále častěji vyskytují případy zvýšených hodnot objemové aktivity radonu ve vnitřním ovzduší existujících budov jako důsledek snižování násobnosti výměny vzduchu v souvislosti s energetickými úsporami na vytápění. Mezi těmito domy se opakovaně vyskytují domy postavené z kontaminovaného stavebního materiálu s vyšším obsahem <sup>226</sup>Ra. Ozáření obyvatel v takových domech může být zcela průměrné i extrémně vysoké. K tomu často dochází právě v případech zateplení objektu a instalaci těsných plastových oken.

V ČR stále existuje přibližně 3 000 typizovaných rodinných domů typu START a bytové domy se stovkami bytů postavených z rynholeckého škvárobetonu. Zatímco pro

některé obyvatele takových bytů se jedná o skutečnost zanedbatelnou, pro jiné je to důvod k extrémním obavám. Dlouhodobě existuje potřeba metody objektivního hodnocení úrovně ozáření v takových bytech a skutečného příspěvku stavebního materiálu k celkovému ozáření. Proto byli s tímto cílem osloveni majitelé rodinných domů typu START ve vybrané lokalitě s nabídkou měření a byla provedena měření v některých bytových domech postavených z rynholeckého škvárobetonu.

Obsahem prezentace je hodnocení výsledků měření úrovně ozáření a intenzity větrání v rodinných domech a bytech postavených z rynholeckého škvárobetonu. Analýza výsledků ukázala, že existují závislosti měřených parametrů, které umožňují hodnotit příspěvek stavebního materiálu k celkovému ozáření i takový příspěvek případně odhadnout. Taková možnost je velmi důležitá pro informování obyvatel těchto bytů i zájemce o jejich koupi.

# Dlhodobé hodnotenie celkovej objemovej aktivity alfa a beta a objemovej aktivity radónu v pitných vodách na Slovensku

Jana Merešová, Gabriela Wallová, Zuzana Kulichová

Oddelenie fyzikálno-chemickej, anorganickej a rádiochemie, Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, Bratislava, 811 02, SR

[j.meresova@gmail.com](mailto:j.meresova@gmail.com)

V príspevku sumarizujeme výsledky rozsiahleho monitorovania pitnej vody na Slovensku. Celková objemová aktivita alfa a beta a objemová aktivita  $^{222}\text{Rn}$  sú prezentované pre časové obdobie od roku 2010 do 2014. Dáta pochádzajú z národného informačného systému ZBERVAK a pokrývajú takmer celé územie Slovenska. Tento systém slúži na získavanie údajov z majetkovej a prevádzkovej evidencie o objektoch a zariadeniach verejného vodovodu a verejnej kanalizácie v rozsahu vyplývajúcom z vyhlášky Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 605/2005 Z. z. o podrobnostiach poskytovania údajov z majetkovej a prevádzkovej evidencie o objektoch a zariadeniach verejného vodovodu a verejnej kanalizácie. Jeho spravovaním bol poverený Výskumný ústav vodného hospodárstva v Bratislave na základe ustanovení § 15 ods. 6 a § 16 ods. 6 zákona č. 442/2002 Z. z. o verejných vodovodoch a kanalizáciách.

Od 1. januára 2016 je v platnosti Nariadenie vlády SR 8/2016, ktoré transponuje Smernicu rady 2013/51/Euratom. Hlavnou zmenou je nová indikačná hodnota pre celkovú objemovú aktivitu alfa 0,1 Bq/l (predtým 0,2 Bq/l). Indikačná hodnota je v tomto prípade rádiologický ukazovateľ

kvality pitnej vody, ktorého prekročenie si vyžaduje pokračovanie v optimalizácii radiačnej ochrany. Pre celkovú objemovú aktivitu beta a objemovú aktivitu radónu zostal tento parameter nezmenený (0,5 Bq/l a 100 Bq/l).

Sledovali sme vplyv tohto nového limitu na historické dáta. V priemere 0,4 % nameraných hodnôt celkovej objemovej aktivity alfa prekročilo indikačnú hodnotu 0,2 Bq/l za obdobie 2010 až 2014. Ale ak by sme retrospektívne aplikovali limit 0,1 Bq/l je to okolo 10 %. Ak je indikačná hodnota prekročená je potrebné odber a meranie opakovať. Ak je priemerná hodnota z dvoch stanovení prekračuje indikačnú hodnotu pokračuje sa bezodkladne v stanovení konkrétnych rádionuklidov v nasledovnom poradí:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{210}\text{Po}$  a ďalších prírodných alebo umelých rádionuklidov. Podľa predchádzajúcej legislatívy sa stanovovala hmotnostná koncentrácia  $U_{\text{nat}}$ .

Tieto nové kritériá kladú zvýšené nároky na laboratória. Napríklad väčšina laboratórií má vypracované pracovné postupy na meranie  $^{226}\text{Ra}$ , avšak stanovenie izotopov uránu si vyžaduje alfaspektrometriu alebo ICP-MS.



## Laboratorní a terénní porovnání kontinuálních monitorů radonu

Petra Vyletělová<sup>1,2</sup>, Vojtěch Stránský<sup>1,2</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

[vyletpe1@fjfi.cvut.cz](mailto:vyletpe1@fjfi.cvut.cz)

V laboratořích Státního ústavu radiační ochrany, v. v. i. proběhla série experimentů sloužící k porovnání detekčních vlastností kontinuálních monitorů radonu, které nacházejí uplatnění například při monitorování pracovišť s charakteristickým režimem provozu a jsou také jednou z hlavních složek radonové diagnostiky. Jednou z důležitých vlastností těchto přístrojů je rychlost odezvy na změnu objemové aktivity radonu, které byla věnována největší pozornost. Získané

výsledky byly porovnány s terénními měřeními, která probíhala na místech s různými expozičními podmínkami – rodinný dům, podzemní pracoviště, jeskyně. Na posledních dvou zmiňovaných místech byla využita radonová sonda TERA a kontinuální monitor Radim 3A. Kvůli vysoké vlhkosti v jeskynním prostředí bylo nutné oba typy detektorů umístit do boxu s vysoušečem.

# Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán Poskytování státních dotací na ozdravování školských zařízení

**Eva Pravdová, Marcela Berčíková, Jaroslav Slovák**

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

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

Na základě opakovaného měření úrovně objemové aktivity radonu v mateřských školách se ukázalo, že stále existují školky, kde je v době pobytu dětí vysoká koncentrace radonu ve vnitřním ovzduší. Proto je od roku 2011 nabízeno bezplatné měření objemové aktivity všem zřizovatelům mateřských škol. Pro ty, kde je zjištěna vysoká objemová aktivita radonu, je v rámci Radonového programu ČR dostupná metodická pomoc a při splnění stanovených podmínek i

státní dotace na provedení ozdravných opatření. Ukazuje se, že často se vysoká koncentrace radonu vyskytuje v objektech, které byly kompletně rekonstruovány, včetně zateplení a výměny oken. Přitom nebyl brán zřetel na ochranu proti radonu. Separátní řešení protiradonové ochrany je neekonomické a kromě finančních nároků přináší další administrativní a organizační zátěž. Je proto třeba přesvědčit stavaře, že radon nelze a nevyplatí se při rekonstrukci opominout.

# Stanovení meze saturace stopového detektoru při automatickém vyhodnocení

Josef Holeček, Petr Otáhal

Laboratoř dozimetrie a monitorování radioaktivity, SUJCHBO, Milín 71, Milín-Kamenná, 262 31, ČR

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

Při vyhodnocování exponovaných stopových detektorů je hlavním krokem zviditelnění poruch, vzniklých interakcí částic alfa s polymerním nitrátem celulozy, tvořícím citlivou vrstvu folie KODAK. Během leptání ve folii vznikají stopy, které se mohou překrývat a tím ovlivnit správnost stanovení měřené veličiny. O vhodnosti použití měřicího systému rozhoduje kromě dolní meze detekce i hodnota saturace citlivé vrstvy detektoru. Mezi saturace je míněna hustota, či počet stop, při které vyhodnocovací systém není schopen od sebe rozlišit jednotlivé stopy, vzniklé při interakci částice alfa a detekční vrstvy. Ze zahraničních zdrojů vyplývá, že hodnota saturace těchto stop je při automatickém vyhodnocování přibližně 7 000 stop na centimetr čtverečný, a to jak u detektorů na bázi KODAK LR 115 type II snímatelný typ, tak u detektorů na bázi CR 39. Při použití stopového detektoru v systému RAMARN tato hustota stop odpovídá hodnotě

průměrné roční objemové aktivity radonu  $350 \text{ Bq/m}^3$ , což je hodnota velmi nízká pro potřeby stanovení hodnoty roční průměrné objemové aktivity v ČR. Proto bylo provedeno opakované stanovení meze saturace u folie KODAK LR 115 type II, nesnímatelný typ, pomocí sady expozic, realizovaných etalonem  $^{241}\text{Am}$ , typ EA 15 při různých dlouhých dobách expozice. Bylo zjištěno, že hodnota saturace citlivé vrstvy folie, vyhodnocované v SÚJCHBO v. v. i., Kamenná, pomocí analyzátoru obrazu NIS3AR či dříve používaného systému LUCIA D, je výrazně vyšší. Odklon od lineární závislosti hustoty stop na časovém integrálu aktivity je patrný až při hodnotě hustoty stop 30 000 na centimetr čtverečný, což je přibližně čtyřikrát výše než uvádí zahraniční zdroje. Při použití stopových detektorů na bázi KODAK LR 115 jako součásti systému RAMARN tato hustota stop odpovídá hodnotě roční objemové aktivity radonu  $1\,350 \text{ Bq/m}^3$ .

# Nová právní úprava havarijní připravenosti

**Věra Starostová**

Odbor krizového řízení a informatiky, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[vera.starostova@sujb.cz](mailto:vera.starostova@sujb.cz)

Zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. 7. 2016, atomový zákon, mj. přináší novou právní úpravu havarijní připravenosti. Jedná se tzv. zvládání radiačních mimořádných událostí.

V prezentaci je provedeno základní seznámení jak s tímto novým pojmem, tak s celou novou úpravou této oblasti.

## Nová právní úprava v oblasti monitorování radiační situace na území ČR

Eva Šindelková

Regionální centrum SÚJB České Budějovice, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

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

Nový atomový zákon byl schválen, vyšel ve sbírce zákonů pod číslem 263/2016 Sb. a má účinnost od 1. ledna 2017. Kromě jiného je nově upravena také oblast monitorování radiační situace na území České republiky, mnohé povinnosti z prováděcích předpisů a nařízení vlády byly přesunuty do zákona. Byly zapracovány odpovídající evropské normy. Nově připravená prováděcí vyhláška o monitorování radiační situace bude ve sbírce zákonů vydána do konce letošního roku a nahradí původní vyhlášku o funkci a organizaci radiační monitorovací sítě (č. 319/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 27/2006 Sb.). Mezi zásadní novinky jistě patří příprava a schválení národního programu monitorování, který musí Státní úřad pro jadernou bezpečnost vydat do dvou let od

účinnosti nového atomového zákona. Další dva roky jsou určeny jako přechodná doba pro přizpůsobení se tomuto národnímu programu monitorování všech osob, které se na monitorování radiační situace na území ČR podílejí. V národním programu monitorování bude zahrnuta také nutnost používání jednotného evropského formátu pro předávání dat z monitorování a to nejen pro osoby, které se dnes na monitorování podílejí a se kterými jsou dohodnuty podrobnosti smluvně, ale také pro držitele povolení, kteří monitorují okolí a vypusti z jaderných zařízení nebo pracovišť IV. kategorie. Příprava národního programu monitorování již byla zahájena pracovním jednáním se všemi zúčastněnými osobami.

## Doplnění a rekonstrukce systémů radiační kontroly v EDU

**Vít Petránek**

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

[vit.petranek@vf.cz](mailto:vit.petranek@vf.cz)

Společnost VF, a. s. v roce 2013 podepsala s ČEZ, a. s. desetiletý kontrakt na údržbu a postupnou rekonstrukci systémů RK v EDU. Kontrakt obsahuje realizaci patnácti investičních akcí, ve kterých VF provádí výměnu klíčových částí stávajících systémů RK. Navíc jsou v reakci na současné požadavky doplňovány nové systémy monitorování radiační

situace za havarijní situace. Podrobněji budou rozebírána některá zajímavá řešení realizovaná v EDU, jako například rekonstrukce systému SEJVAL, rekonstrukce systému RK v meziskladu vyhořelého paliva nebo doplnění PAMS o monitorování radiační situace za havarijních podmínek. . .

## K otázkám zpřesnění odhadů radiologických důsledků mimořádných úniků radioaktivity v reálném čase

Petr Pecha<sup>1</sup>, Petr Kuča<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Informační systémy, Státní ústav radiační ochrany, Bartoškova 28, Praha, 140 00, ČR

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

Na pracovišti ÚTIA AV ČR probíhá několikaletý vývoj metod pro zpřesňování odhadů důsledků mimořádných úniků radioaktivity do životního prostředí. Byly vyvinuty pokročilé techniky korekce modelových odhadů na základě online měření přicházejících z terénu založené na pokročilých metodách bayesovské filtrace. Předmětem výzkumu byly techniky částicového filtru, kdy se ukázalo jejich současné omezení na některé aplikace způsobené enormními požadavky na objem výpočtů charakteristické pro tyto algoritmy z rodiny sekvenčních Monte-Carlo metod. V tomto příspěvku se zaměříme na speciální scénáře šíření radioaktivity v časné fázi nehody v bližším okolí zdroje znečištění. Pokud požadujeme provádět mapování šíření radioaktivního mraku s korekcí jeho parametrů online v reálném čase, je zde zavedena zjednodušená metodika založená na optimalizačním přiblížení. Jádrem je nelineární mnohorozměrná

metoda nejmenších čtverců užitá rekurzivně v jednotlivých časových krocích. Podrobný popis metodiky je v publikaci P. Pecha, V. Šmídl: Inverse modelling for real-time estimation of radiological consequences in the early stage of an accidental radioactivity release, *Journal of Environmental Radioactivity*, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.06.016. V tomto příspěvku ukazujeme výsledky aplikace metodiky na jednoduché scénáře úniku radioaktivity připravené ve spolupráci se SÚRO, které poskytlo nezbytná vstupní data zahrnující meteorologická měření a krátkodobé předpovědi, konfiguraci (a případně rekonfigurace) monitorovací sítě dávkových příkonů, zdrojový člen úniku a další lokální data. Na sérii snímků ukazujeme původní i asimilované dávkové příkony na terénu v jednotlivých časových krocích. Odtud lze demonstrovat i přínos k přesnější lokalizaci zasažené oblasti a k úrovním dávkových příkonů.

# Výpočet aktivit vybraných štěpných produktů ve složitých polích záření gama

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

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

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

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

Palivo umístěné do aktivní zóny reaktoru je vystaveno neutronovému toku, který vyvolá v palivu štěpnou řetězovou reakci, při kterém znikají štěpné produkty a aktinidy s různými poločasy rozpadu. Mezi těmito skupinami je značné množství radioaktivních izotopů, které při svém rozpadu generují záření gama i po vyjmutí paliva z reaktoru a zastavení štěpné reakce. Takto ozářené jaderné palivo vytváří složité spektrum záření gama. Příspěvek je zaměřen na identifikaci vybraných krátkodobých produktů štěpení, jejichž poločasy rozpadu jsou v řádu hodin až dnů a stanovení jejich aktivit ve složitých polích záření gama. Pro genero-

vání takovýchto polí různé intenzity a složení byly použity palivové elementy ozářené v aktivní zóně reaktoru VR-1. Byla použita peleta  $\text{UO}_2$  s obohacením přibližně 4 %  $^{235}\text{U}$  a zkrácený palivový proutek EK-10 s 10% obohacením  $^{235}\text{U}$ . Po ozáření a transportu do referenčních měřících pozic byly palivové elementy měřeny polovodičovým HPGe detektorem s relativní účinností 35 %. Aktivity vybraných štěpných produktů stanovených na základě spektrometrické analýzy byly následně porovnány s aktivitami stanovenými pomocí výpočetního kódu MCNPX.



## Zátěžová kapacitní cvičení 2016

Michal Sloboda, Petr Rulík, Helena Malá, Tereza Ježková

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

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

V roce 2016 proběhlo v šesti laboratořích RMS ČR (SÚRO Praha, SÚRO Hradec Králové, SÚRO Ostrava, SVÚ Praha, VÚV Praha a RC SÚJB České Budějovice) vybavených spektrometrií gama zátěžové kapacitní cvičení (ZKC 2016). Cílem cvičení bylo prověřit měřicí kapacitu jednotlivých laboratoří, odvozenou na základě předchozích cvičení, za současného technického vybavení a personálního obsazení pro případ radiační mimořádné události (RaMS) a vytypovat problematická místa celého procesu od příjmu vzorků až po zápis do databáze RMS „MonRaS“. Délka cvičení v každé laboratoři byla přibližně 12 hodin, neboť za RaMS, vzhledem k nedostatku personálu, se předpokládá práce v režimu 12 hodinových směn, který by byly schopny laboratoře zajišťovat po dobu 14 dnů. Cvičné vzorky pokrývaly širokou škálu komodit, které by za RaMS do laboratoří

přicházely (aerosolové filtry, sorbent plynných forem jódu, spady, pitná voda, složky potravního řetězce a půdy). Část vzorků byla předem kontaminována  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  (tyto nuklidy pouze zastupovaly skutečné nuklidy, které by se za RaMS vyskytly).

V laboratoři SÚRO Praha bylo pro měření při ZKC 2016 použito 9 spektrometrických tras a gama automat (2 HPGe trasy), který byl bez asistence obsluhy využit i pro noční směnu. Pro cvičení bylo připraveno 400 vzorků (z toho 115 vzorků s dotovanou aktivitou) a zúčastnilo se ho 18 lidí, včetně dvou studentů.

Výsledky dosažené při ZKC 2016 potvrdily, že je užitečné zátěžová kapacitní cvičení v 2 až 3 letých intervalech opakovat.

# Fukušima I poté aneb co se za pět let podařilo při likvidaci následků havárie a dopady na jadernou energetiku

Vladimír Wagner

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., Husinec-Řež 130, 250 68, ČR

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

Už více než pět let uplynulo od jednoho z největších známých zemětřesení a následné vlny cunami. Jejich důsledkem byla i druhá největší havárie jaderné elektrárny v téměř šedesátileté historii využívání jaderné energetiky. I když tato havárie, na rozdíl od zemětřesení a cunami, neměla žádné přímé oběti na životech, způsobené škody byly velmi vysoké. Obyvatelé se už sice mohou pomalu vracet do evakuovaných oblastí, ale kompletní likvidace dopadů havárie bude trvat řadu let. V současné době probíhá zlomové období, kdy se zrychluje cesta k likvidaci zničené elektrárny a také k rekonstrukci a revitalizaci zasažených území. Přednáška se pokusí rozebrat některé aspekty této události. Bude věnována příčinám a

průběhu havárie jaderné elektrárny Fukušima I. Podrobněji budou rozebrány práce na stabilizaci situace v elektrárně a likvidaci důsledků havárie i plánovaný budoucí postup. Budou analyzovány získané poznatky pro rozvoj bezpečnosti jaderných reaktorů. V tomto roce proběhne i třicáté výročí havárie v Černobyli. I zde se nastoupila cesta k likvidaci elektrárny a revitalizaci zakázané zóny. To umožňuje nejen srovnání obou událostí, ale i zhodnocení jejich dopadu nejen na jadernou energetiku. Během přednášky si všimneme i zkoumání dopadů radioaktivity a kontaminace na přírodu i lidi.

# Možnosti využití mezinárodní monitorovací sítě CTBTO – výstupy po havárii jaderné elektrárny Fukushima a po provedení podzemních jaderných testů v KLDŘ v letech 2006 až 2016

Aleš Froňka

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

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

V příspěvku budou na konkrétních případech a datových výstupech představeny základní funkce a provozní možnosti sítě měřících stanic mezinárodního monitorovacího systému (IMS) CTBTO pro potřeby verifikačního režimu Smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek. Součástí příspěvku bude prezentace výsledků měření ze sítě seismických, hydroakustických, infrazvukových a radionuklidových

stanic umožňujících detekci jaderných testů provedených v podzemí, v atmosféře případně pod vodní hladinou. Na závěr prezentace budou ukázány výsledky měření a analýz radioaktivních aerosolů a radioaktivních vzácných plynů v ovzduší po havárii jaderné elektrárny Fukushima a po provedení podzemních jaderných testů v Korejské lidové demokratické republice v letech 2006 až 2016.

# Detektor bGeigie Nano v rámci projektu RAMESIS – zkušenosti po roce používání v ČR

Jan Helebrant, Petr Kuča, Irena Češířová

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

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

Detektor bGeigie Nano (dále jen bGeigie) je malý mobilní přístroj navržený neziskovou organizací SAFecast krátce po havárii v JE Fukushima r. 2011. Detekční jednotkou je pancake GM počítač LND 7317, přístroj disponuje grafickým displejem, vestavěnou GPS a umožňuje automatické ukládání dat na microSD kartu pro předávání dat k dalšímu zpracování.

Přístroj bGeigie byl vybrán do v projektu vytvářeného systému monitorování radiační situace na úrovni tzv. občanských měřicích sítí na základě testování řady měřičů používaných ve světě pro tyto účely a byl vytvořen systém umožňující zapojení veřejnosti do monitorování radiační situace v souladu s aktuálními světovými trendy.

SÚRO má v pilotní fázi k dispozici 36 přístrojů bGeigie, které jsou zájemcům bezplatně zapůjčovány na bázi recipročního poskytování dat naměřených uživatelem, do systému se už zapojily např. FJFI ČVUT, ÚTEF ČVUT, VUT Brno, HZS ČR, několik škol a řada dalších dobrovolníků. Od února 2015 bylo získáno téměř 600 datových souborů, které byly následně předány do databáze Safecast.org.

V rámci projektu byly vyvinuty nástroje umožňující uživatelům kromě předávání dat do centrální databáze se zob-

razením těchto dat na webu i zcela nezávislé zpracování a zobrazení dat v mapě lokálně na PC/NB uživatele, při použití offline map i bez potřeby připojení k internetu.

Zvolené řešení využívá bezplatně dostupný open-source mapový software QGIS doplněný podle specifikací SÚRO vyvinutým pluginem pro zpracování dat z přístrojů bGeigie. QGIS tak umožňuje zobrazení a zpracování dat jak s využitím online podkladových map (OpenStreetMap, Bing, Google, ap.), tak i práci s v SÚRO připravenými offline mapami ČR. K dispozici jsou i pomůcky pro export dat pro načtení do tabulkových editorů typu MS Excel.

Velká pozornost je v projektu RAMESIS věnována i informovanosti veřejnosti – SÚRO připravilo informační letáky o monitorování radiační situace a správné interpretaci výsledků měření, návody na ovládání přístroje, provádění měření a zpracování výsledků. Systém je prezentován na webu SÚRO ([www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/safecast](http://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/safecast)) a byly vytvořeny stránky i na české a anglické Wikipedii.

Příspěvek byl vytvořen v projektu RAMESIS (ID: VI20152019028) financovaného Ministerstvem vnitra ČR v rámci tzv. bezpečnostního výzkumu.

## Radiační zátěž pracovníků NUVIA a. s. při některých činnostech v JE Dukovany

Vladimír Vrban, Pavel Hora

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

[vladimir.vrban@nuvia.cz](mailto:vladimir.vrban@nuvia.cz)

Z portfolia služeb a dodávek společnosti NUVIA realizovaných v EDU jsou prezentovány z hlediska obdržených osobních dávek nejvýznamnější činnosti prováděné opakovaně

(zpravidla několikrát do roka) i jednorázově v posledních letech a jsou diskutovány při nich obdržené dávky.

# Studium redistribuce a resuspenze umělých radionuklidů v lesním ekosystému vlivem požáru

Petr Rulík<sup>1</sup>, Tereza Ježková<sup>1</sup>, Radim Možnar<sup>1,2</sup>

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

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

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

V srpnu 2015 došlo u obce Olešná na Rakovnicku k rozsáhlému lesnímu požáru. Ze strany SÚRO, v. v. i. byla vyvinuta iniciativa k prozkoumání vlivu požáru na distribuci radionuklidů v lesním ekosystému a bezprostředně po uhašení požáru byly odebrány vzorky půd a rostlin. Další odběry pak byly uskutečněny téměř rok po požáru, na konci května 2016. Ve vzorcích je po příslušných úpravách stanovována hmotností aktivita radionuklidu <sup>137</sup>Cs metodou laboratorní polovodičové gamaspektrometrie. Sekundárně, především za účelem ověření případné korelace s výskytem cesia je

stanovována také hmotností aktivita přirozeně se vyskytujícího <sup>40</sup>K. Dále je stanovováno pH odebraných půd a budou provedeny i další chemické rozbory jako např. sekvenční loužitelnost. Uvažuje se i o použití atmosférických disperzních modelů pro odhad radiačních rizik vlivem resuspenze. Práce sleduje především následující cíle: vytvoření podrobné rešerše, porovnání dosažených výsledků s dostupnou literaturou a posouzení dalších možností výzkumu v dané oblasti. V době konání konference nebude ještě práce zcela dokončena, budou tak prezentovány pouze předběžné výsledky.

## Zabezpečení hromadného monitorování radiojodu u obyvatelstva po havárii JEZ

Pavel Fojtík<sup>1</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

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

Radioaktivní izotopy jodu uvolněné do životního prostředí po havárii jaderně energetického zařízení mají dominantní podíl na dávce, kterou při takové události obdrží obyvatelstvo v důsledku vnitřního ozáření. Velikost a distribuce dávek se odhaduje na základě měření aktivity radiojodu, zejména radioizotopu  $^{131}\text{I}$ , ve štítné žláze. Vzhledem k omezené době, po kterou je  $^{131}\text{I}$  po zastavení úniku měřitelný, musí být monitorování obyvatelstva, ale i zasahujících osob, účelně organizováno, aby poskytlo údaje pro odhad dávek ve štítné žláze u jednotlivců a s tím související případnou zdravotnickou pomoc nebo naopak pro uklidnění obav

obyvatelstva, dále údaje pro upřesnění předpovědí modelů šíření kontaminace a pro posouzení přijatých opatření pro ochranu obyvatelstva před vnitřní kontaminací, a pro další analýzu následků havárie. Pro zabezpečení těchto úkolů musí složky radiační ochrany použít kapacitní měřicí prostředky a předem vypracované a nacvičené postupy. Příspěvek popisuje organizaci nasazení prostředků hromadného monitorování štítné žlázy u obyvatelstva, cvičné ověření kapacity prostředku vyrobeného společností NUVIA a. s. a provozovaného Státním ústavem pro radiační ochranu, v. v. i. a možnost zpracování jeho dat.

# Jaderné havárie v Černobylu a Fukušimě: Srovnání radiologických dopadů

Jozef Sabol, Bedřich Šesták

Fakulta bezpečnostního managementu, PA ČR v Praze, Lhotecká 559/7, P.O.Box 54, Praha 4, 143 01, ČR

[jozef.sabol@gmail.com](mailto:jozef.sabol@gmail.com)

Tento rok uplynulo 30 let od havárie na 4. bloku jaderné elektrárny v Černobylu na území dnešní Ukrajiny a 5 let od havárie v komplexu jaderné elektrárny ve Fukušimě v Japonsku. Obě tyto mimořádné události představují největší katastrofy v oblasti mírového využívání jaderné energie. Jejich následky se, mimo jiné, projeví i v pozastavení provozu některých stávajících a podstatném přibrzdění staveb nových jaderných elektráren ve světě. Konkrétní dopady zmíněných havárií, jakkoli vážné a nebezpečné, jsou však posuzovány daleko přísněji než jiné průmyslové nehody nebo havárie, přičemž i laická veřejnost vnímá tyto situace mnohem citlivěji zejména pod vlivem ještě stále přetrvávajících reminiscencí na jaderné bombardování, k němuž došlo na konci 2. světové války v Japonsku. Je nesnadné vymýtit zakořeněnou představu: vše, co je jaderné, je nebezpečné.

Referát se zabývá hodnocením dopadů černobylské a fukušimské havárie na základě vědecky podložených odhadů a s přihlédnutím k výsledkům monitorování ozáření osob a radioaktivního zamoření životního prostředí. Je pochopitelné, že názory většiny obyvatel, čerpajících informace z vesměs nespolehlivých nebo neověřených zdrojů, a odborníků opírajících se o výsledky rozsáhlých epidemiologických studií a vycházejících z posledních poznatků z radiobiologie a radioekologie, se značně liší. Při hodnocení obou havárií je třeba vidět jejich důsledky v kontextu míry nebezpečí, s nimiž se setkáváme v průmyslu nebo dopravě, a nakonec i v běžném každodenním životě. To platí zejména pro oblasti, které jsou značně vzdálené od místa havárií. V příspěvku jsou dále diskutovány některé specifické odlišnosti obou jaderných havárií a jejich rozdílné účinky na zdraví obyvatelstva a na životní prostředí.



# Hodnotenie radiačnej záťaže pre operátora žerjavu počas demontáže tlakovej nádoby reaktora a jej presune do pásma rezania

**Martin Launer, Martin Hornáček, Vladimír Nečas**

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

[martin.launer@stuba.sk](mailto:martin.launer@stuba.sk)

Na Slovensku v súčasnosti prebieha vyradovanie dvoch jadrových elektrární, ktoré sa nachádzajú v oblasti Jaslovské Bohunice. Podľa prijatej stratégie vyradovania pre jadrovú elektrárňu V1 je plánovaná demontáž veľkých komponentov s ich následnou segmentáciou. Medzi najnáročnejšiu úlohu demontáže veľkých komponentov patrí demontáž tlakovej nádoby reaktora, vzhľadom na vysokú hodnotu indukovanej aktivity materiálov, rozmery a jej hmotnosť. Cieľom príspevku je určiť radiačné zaťaženie pre pracovníka počas presunu tlakovej nádoby reaktora z inštalovanej polohy do pásma rezania vo vybraných situáciách, v ktorých je uvažované odlišné umiestnenie diaľkového ovládania žerjavu reaktorovej sály. Na vytvorenie modelu a výpočet príkonu efektívnej dávky bol využitý výpočtový prostriedok VISIPLAN 3D

ALARA. Výsledkom výpočtov bolo stanovenie najvýhodnejšieho umiestnenia pracovníka ovládajúceho žerjav reaktorovej sály počas presunu tlakovej nádoby reaktora do pásma rezania z pohľadu dávkového zaťaženia. Výsledky simulácií dokázali, že najvyššie radiačné zaťaženie pre operátora žerjavu počas presunu tlakovej nádoby do pásma rezania sú na pozíciách, ktoré sa využívajú počas prevádzky reaktora. Na základe uvedeného bolo preukázané, že dané operácie je nutné vykonať na diaľku, pričom v najvýhodnejšej pozícii bol vypočítaný maximálny príkon efektívnej dávky rádovo  $10^{-2} \mu\text{Sv}$ . Výpočítané hodnoty príkonu efektívnej dávky v osi tlakovej nádoby reaktora boli validované s nameranými hodnotami, ktoré boli poskytnuté spoločnosťou JAVYS, a. s.

# Charakterizácia, dekontaminácia a uvoľňovanie podzemných šácht obj. 44/20 JE A1 – metódy a postupy

Pavol Pajerský, Martin Lištjak, Alojz Slaninka

VUJE, a. s., Okružná 5, Trnava, 918 64, SR

[pavol.pajersky@vuje.sk](mailto:pavol.pajersky@vuje.sk)

Obj. 44/20 je komplex 34 podzemných šácht s hĺbkou 7,2 m, ktoré slúžili ako zložisko pevných rádioaktívnych odpadov (RAO) a rádioaktívnych (RA) olejov vyprodukovaných počas prevádzky JE A1. Všetky podzemné šachty majú betónové steny a podlahu a tie, ktoré slúžili na ukladanie RA olejov boli vystužené ocelovou výstelkou do výšky 1,5 m od dna šachty.

RA oleje boli skladované v 1,3 m<sup>3</sup> ocelových kontajneroch. Po zistení, že ocelové výstelky v šachtách 1.1 až 1.18 sú značne skorodované, bolo rozhodnuté, že obj. 44/20 nemôže naďalej slúžiť ako zložisko RAO. Obj. 44/20 bol po obj. 41 druhý v poradí z hľadiska významnosti zdrojov kontaminácie podzemných vôd (insitu monitoring pôd v r. 1992).

Uvoľňovanie 6 podzemných šácht začalo podľa plánu II. etapy vyradovania JE A1 v novembri 2015 a obsahovalo z hľadiska in situ monitorovania 3 fázy: preddekontaminačné monitorovanie, dekontaminácia a podekontaminačné monitorovanie.

V rámci preddekontaminačného monitorovania bolo vykonané predbežné meranie príkonu dávky, kontrola hĺbky kon-

taminácie na základe odberu betónových jadrových odvrto v a kontrola nefixovanej kontaminácie liehovými otermi.

Dekontaminácia bola realizovaná brúsnym systémom v prípade hĺbky kontaminácie väčšej ako cca 1 cm. V opačnom prípade a v ťažko prístupných miestach bolo použité ručné brúsenie. Ocelové výstelky boli dekontaminované brúsením, iba v jednej šachte bola výstelka odstránená. Účinnosť dekontaminácie bola priebežne kontrolovaná meraním povrchovej kontaminácie (PK).

Po úspešnej dekontaminácii bolo vykonané podekontaminačné monitorovanie, ktoré zahŕňalo meranie PK a in situ gama spektrometriu s výsledkom, že úroveň PK a celkovej plošnej kontaminácie spĺňali limity pre uvoľňovanie do životného prostredia.

6 podzemných šácht bolo po dekontaminácii zasypávaných nekontaminovanými zeminami a následne nad nimi bola vybudovaná betónová plocha. Takto vzniknutá plocha bude v budúcnosti využívaná podľa potrieb spoločnosti JAVYS, a. s..

# Problematika stanovovania vonkajšieho ožiarenia pri ukladaní rádioaktívnych odpadov z demontáže parogenerátora

Martin Hornáček, Vladimír Nečas

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

[martin.hornacek@stuba.sk](mailto:martin.hornacek@stuba.sk)

Neoddeliteľnou súčasťou procesu demontáže akéhokoľvek aktivovaného, resp. kontaminovaného zariadenia jadrovej elektrárne je manažment vznikajúcich rádioaktívnych odpadov. Množstvo i triedu týchto odpadov je možné znížiť aplikáciou technológií dekontaminácie. Na druhej strane, dôsledkom dekontaminačných technológií je produkcia sekundárnych rádioaktívnych odpadov. Množstvá i druh týchto odpadov sú však silne závislé od viacerých faktorov, ako napríklad zloženie použitých dekontaminačných roztokov a charakter ich čistenia, chemické vlastnosti dekontaminovaného materiálu, počet opakovaní dekontaminačných cyklov a ďalšie. Z tohto dôvodu je predikcia sekundárnych odpadov problematická a líši sa prípad od prípadu. Stanovenie vonkajšieho ožiarenia pri ukladaní týchto odpadov je tak vzhľadom na veľké nepresnosti zdrojového člena problematické. Príspevok analyzuje tento problém na príklade

ukladania sekundárnych odpadov z dekontaminácie parogenerátora použitého v slovenskej jadrovej elektrárni V1 v Jaslovských Bohuniciach. Vytvorené výpočtové modely v prostriedku VISIPLAN 3D ALARA reflektujú reálnu situáciu pri ukladaní nízkoaktívnych odpadov v Republikovom úložisku rádioaktívnych odpadov v Mochovciach. Výsledky výpočtov pri uvažovaní odhadovaných parametrov ukazujú, že najvyššie celkové kolektívne efektívne dávky pracovníkov vykonávajúcich činnosti ukladania sú rádovo jednotky man mSv. Správnosť (presnosť) prezentovaných výsledkov výpočtov je silne závislá od presnosti vstupných parametrov. Prezentovaná metodika výpočtu vonkajšieho ožiarenia však umožňuje rýchly prepočet príkonu efektívnej dávky pri zmene množstva, aktivity i nuklidového zloženia sekundárnych rádioaktívnych odpadov.

# Vplyv projektu vyradovania JE A1 na vybrané zložky životného prostredia

Martin Lištjak<sup>1,2</sup>, Ondrej Slávik<sup>1</sup>, Alojz Slaninka<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Fakulta Elektrotechniky a Informatiky STU, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, Bratislava, 812 19, SR

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

Príspevok uvádza najdôležitejšie závery z výsledkov monitorovania radiačnej situácie v areáli JAVYS v lokalite JE A-1 za r. 2016. Doplnkové merania radiačnej situácie v tejto lokalite predstavujú: kontinuálny odber vzoriek aerosólov a spadov v prízemnej vrstve atmosféry a následné gamaspektrometrické a rádiochemické stanovenie umelých rádionuklidov, kontinuálne meranie dávkových príkonov externého gama žiarenia, in-situ meranie a odber vzoriek pôd, odber vzoriek bioindikátorov a ich gamaspektrometrická analýza.

Merania za rok 2016 sú nepretržite vykonávané od r. 1992. Merania predstavujú nezávislé hodnotenie radiačných dopadov činností vykonávaných v rámci projektu „realizácia II. etapy projektu vyradovania JE A1“. Výsledky meraní sú porovnávané s výsledkami meraní získanými na pozadovej lokalite RÚ RAO Mochovce.

Merania, resp. odbery vzoriek sú lokalizované v blízkosti nakladania so zdrojmi ionizujúceho žiarenia. V lokalite JE A1 sú sústredené činnosti v rámci realizácie II. etapy vyradovania JE A1, aktivity JAVYS zamerané na spracovanie RAO

a Laboratória II. kategórie VUJE, v ktorých sú vykonávané experimentálne práce (väčšinou analytického charakteru) s rádioaktívnymi materiálmi.

Lokalita sa vyznačuje tiež intenzívnym pohybom zdrojov ionizujúceho žiarenia – transport RAO na triedenie a spracovanie, premanipulovanie RAO v rámci areálu z areálu, transport spracovaných RAO v kontajneroch VBK na RÚ RAO v Mochovciach.

Príspevok sa zaoberá súvislosťami medzi jednotlivými meranými veličinami a koreláciou medzi nameranými údajmi a činnosťami realizovanými v danom období.

V príspevku sú výsledky týchto meraní hodnotené i z časového aspektu za časové obdobie posledných 24 rokov (roky 1992 až 2016) s poukázaním na trendy počas jednotlivých etáp projektu vyradovania JE A1. Ďalej budú v príspevku rozobrané faktory ovplyvňujúce variabilitu vybraných veličín (PPDE, plošná aktivita spadov, objemová aktivita aerosólov a pod.) v podmienkach vyradovania lokality JE A1.

# Vyradovanie jadrového zariadenia experimentálnej spaľovne VUJE a uvoľnenie budovy spod inštitucionálnej kontroly do životného prostredia

Alojz Slaninka, Martin Lištjak, Ľuboš Rau, Pavol Pajerský

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)

Experimentálna spaľovňa VUJE (ESV) s dvojkomorovou spaľovacou pecou sa nachádzala v budove 76B v areáli JE A1. Z prevádzky bola odstavená v roku 2004.

Vyradovanie jadrového zariadenia ESV bolo realizované v roku 2014. Cieľom vyradovania v prvej fáze bolo rozobratie a odstránenie aktívnych častí technológie jadrového zariadenia spaľovacej pece a dekontaminácia povrchov s cieľom znížiť povrchovú kontamináciu pod úroveň obslužných priestorov kontrolovaného pásma ( $< 3 \text{ Bq/cm}^2$ ). Po vyradení JZ ESV boli priestory budovy 76B vrátené do správy JAVYS, a. s. Cieľom druhej fázy vyradovania v roku 2015 bolo odstránenie samotnej budovy 76B, ktorá bola súčasťou kontrolovaného pásma.

Rádiologická charakterizácia budovy 76B potvrdila, že štruktúra stavebných materiálov nebola výrazne kontaminovaná a bola dekontamináciou odstrániteľná. Majoritná časť kontaminácie bola pritom deponovaná na povrchoch, hlavne vo forme usadeného prachu. Tieto výsledky spolu s analýzou realizovateľnosti posudzujúcou časovú náročnosť rozoberania, vynaložené náklady a dávkovú záťaž zúčastnených pracovníkov preukázali, že je výhodnejšie vykonať

dekontamináciu a následné uvoľňovacie monitorovanie vo forme stojacej budovy v porovnaní s postupným rozoberaním, transportom a monitorovaním vzniknutej sutiny na existujúcich monitorovacích pracoviskách licencovaných pre uvoľňovanie do ŽP, ktorých monitorovacia kapacita je všeobecne nízka.

Pre účely uvoľňovacieho monitorovania budovy 76B bola vyvinutá a schválená špeciálna metodika zahŕňajúca in situ merania na mieste ako aj odbery vzoriek a ich laboratórne analýzy. Dekontaminácia a uvoľňovacie monitorovanie budovy 76B s následným vyňatím budovy spod inštitucionálnej kontroly a zmenou hraníc kontrolovaného pásma bolo realizované v roku 2015. Demolácia samotnej budovy bola vykonaná v roku 2016. Budova bývalej experimentálnej spaľovne VUJE 76B bola prvou budovou v Slovenskej republike uvoľnenou do ŽP vo forme stojacej budov.

Príspevok obsahuje chronologickú postupnosť vyradovania ESV, vrátane požiadaviek a rozhodnutí dozorných orgánov (ÚJD SR a ÚVZ SR) ako metodiky a výsledkov uvoľňovacieho monitorovania.

## Optimalizácia metódy destilácie pre stanovenie $^{79}\text{Se}$

Silvia Dulanská, Bianka Horváthová, Boris Remenec, Lubomír Mátel

Universita Komenského v Bratislave, PF, KJCH, Mlynská dolina CH-1, Bratislava, 842 15, SR

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

Cieľom práce bolo vyvinúť, testovať a optimalizovať metódu destilácie pre separáciu  $^{79}\text{Se}$  v rádioaktívnych odpadoch. Pokusy boli realizované na modelových vzorkách. Výťažky selénu sa stanovili gama spektrometrickým meraním pri  $E_\gamma = 136$  keV a  $E_\gamma = 264,8$  keV. Sledovali sa podmienky pre účinnú destiláciu selénu v prostredí HCl s rôznou koncentráciou, vplyv objemu  $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  HBr a množstvo odoberaného destilátu. Najvyššie výťažky  $^{95}\text{Se}$  (90,6–91,5) % sa

pohybovali v prostredí  $(4-6,5) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  HCl spolu s prídavkom  $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  HBr s objemom (3–7) ml. Maximálne výťažky (86–91) % pri destilácii 50 ml roztoku sa dosiahli pri odoberanom destiláte s objemom 35 ml. Destiláciou sa stanovil vplyv množstva nosiča  $\text{Se}^{4+}$ . V súčasnosti sa separačný postup pre stanovenie  $^{79}\text{Se}$  aplikuje na reálne vzorky rádioaktívnych odpadov pochádzajúcich z jadrových elektrární na území SR.

# Zakonzentrovanie $^{137}\text{Cs}$ vo vodách pomocou impregnovaného biosorbentu

Lubomír Mátel, Silvia Dulanská, Sabina Petercová

Universita Komenského v Bratislave, PF, KJCH, Mlynská dolina CH-1, Bratislava, 842 15, SR

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

V práci bol modifikovaný biosorbent z drevokazných nelupe-  
natých a chorošovitých húb s cieľom využiť biosorbent pre  
separáciu významných rádionuklidov. Príprava povrchovo  
modifikovaného sorbentu sa realizovala v otvorenom systéme  
a bola modifikovaná za pomoci chloridu železitého, síranu  
mednatého a hexakvanoželeznatanu draselného. Modifiko-  
vaný biosorbent bol následne použitý na charakterizáciu  
sorpčných vlastností pre separáciu  $^{137}\text{Cs}$  z vodných rozto-  
kov. V práci bola testovaná kinetika sorpcie cézia. Vplyv  
koncentrácie roztokov kyseliny dusičnej a kyseliny chlorovo-

díkovej, a aj vplyv pH na sorpciu cézia. Ďalším dôležitým  
faktorom, ktoré môžu ovplyvňovať rádiochemické separá-  
cie a sorpciu rádionuklidov je vplyv konkurenčných iónov.  
V danom experimente bol sledovaný vplyv  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ . Pri  
výbere vhodného prostredia separácie je dôležité zohľadniť  
aj celkovú koncentráciu náboja v roztoku. Vplyv iónovej sily  
bol sledovaný pomocou roztoku dusičnanu sodného o rôznej  
koncentrácii a pH. Na záver bola metóda aplikovaná pre  
zakonzentrovania  $^{137}\text{Cs}$  na reálnych vzorkách povrchových  
vôd.

## Záchyty zdrojů ionizujícího záření neznámého původu v ČR

Josef Mudra

Měření a laboratoře, ÚJV Řež, a. s., Husinec-Řež č. 130, Řež, 250 68, ČR

[josef.mudra@ujv.cz](mailto:josef.mudra@ujv.cz)

ÚJV Řež, a. s. (ÚJV), kromě jaderného výzkumu a vývoje v ČR poskytuje také servis při záchytech zdrojů ionizujícího záření (ZIZ). Tímto záchytem se rozumí nález ZIZ mimo pracoviště oprávněnými pro nakládání se ZIZ. Tato služba je od roku 2003 zajišťována mobilní zásahovou skupinou ÚJV (skupina), která je pro řešení těchto situací adekvátně vybavena (přístrojově, personálně, technicky). Tato služba je smluvně poskytována pro dva subjekty v Praze a od září 2016 i pro jeden subjekt v Plzni. Jinak na vyžádání SÚJB je působnost skupiny celorepubliková. Činnosti skupiny po příjezdu na místo nálezu zahrnují provedení monitorování na lokalitě (proměření zachyceného vozidla či nákladu), vytyčení místa zásahu a dohledání ZIZ. Po dohledání ZIZ následuje finální proměření na místě nálezu, které vyloučí výskyt dalšího ZIZ nebo povrchové kontaminace v okolí nalezeného ZIZ. Dohledaný ZIZ je dle patných předpisů přepraven na specializované pracoviště ÚJV. Po rozhodnutí SÚJB je daný záchyt zpracován jako RAO a uložen do úložiště RAO v ČR. Za dobu poskytování této služby jsou ÚJV ročně řešeny řádově desítky případů záchytů ZIZ.

Počet záchytů ZIZ ÚJV tvoří až 45 % všech záchytů v ČR, které od roku 1997 eviduje SÚJB. Během této doby jsou registrovány záchyty ZIZ jak u společností nakládajícími s kovovým materiálem (např. hutě, kovošroty, šrotiště), tak i u společností nakládajícími s komunálním odpadem (např. spalovny, skládky komunálního odpadu). Tyto záchyty jsou především lokalizované a obsahující jak umělé tak i přírodní radionuklidy. Z přírodních radionuklidů jde nejčastěji o  $^{226}\text{Ra}$  z vojenských přístrojů a z umělých radionuklidů se jedná nejčastěji o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  z nemocničního odpadu oddělení nukleární medicíny. V roce 2011 došlo v Praze–Podolí k záchytu ZIZ s nejvyšším příkonem dávkového ekvivalentu (kontaktně max. 150 mSv/h). Jednalo se o radiovou tubu s  $^{226}\text{Ra}$ . Ukázané příklady o každoročních nálezech ZIZ poukazují na oprávněnost a opodstatněnost instalací detektorů ionizujícího záření u subjektů jako jsou kovošroty, spalovny, atd. Proto by instalace portálových systémů pro detekci ZIZ měla být nezbytnou součástí každého objektu, který nakládá s druhotnými surovinami nebo s komunálním odpadem.



# Kontajner pre dlhodobé suché skladovanie vyhoreného jadrového paliva typu CASTOR 440/84M a možnosti jeho využitia na Slovensku

Dorota Flamíková, Gabriel Farkas, Vladimír Nečas

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

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

Fáza skladovania je nevyhnutnou súčasťou každej stratégie nakladania s vyhoreným jadrovým palivom. Keďže prevádzkovanie hlbinného úložiska na Slovensku sa odhaduje približne od roku 2065, do tejto doby je nutné zaistiť bezpečné skladovanie vyhoreného jadrového paliva v príslušných skladovacích systémoch. Cieľom príspevku je pojednať o možnosti skladovania vyhoreného jadrového paliva v suchom type medziskladu, konkrétne v skladovacom kontajneri CASTOR 440/84M a zhodnotiť vhodnosť tohto typu kontajnera pre rôzne typy vyhoreného jadrového paliva používaného v slovenských jadrových elektrárnach z hľadiska zabezpečenia podkritickosti. Výpočty boli realizované prostredníctvom stochastického transportného kódu MCNP5 a účinnopriereznych knižníc na báze ENDF/B-VII. Na základe tohto kódu bola vykonaná analýza podkritickosti pre palivové kazety s rôznym počiatočným obohatením

a definovanou hĺbkou vyhorenia. Pri výpočtoch boli uvažované normálne, ako aj postulované mimoriadne prevádzkové podmienky skladovania vyhoreného jadrového paliva. Získané výsledky efektívnych multiplikačných koeficientov z hľadiska hodnotenia podkritickosti poukazujú na fakt, že kontajner CASTOR 440/84M spĺňa uvedenú požiadavku na skladovanie vyhoreného jadrového paliva na Slovensku. Vo všetkých uvažovaných prípadoch bola totiž na základe výpočtov dosiahnutá hodnota efektívneho multiplikačného koeficientu nižšia ako je legislatívne stanovený bezpečný limit. Napriek tomu, že zainteresované spoločnosti a inštitúcie na Slovensku už zvolili iný variant suchého skladovania v rámci dostavby skladovacích kapacít, komplexné štúdium využitia kontajnerov CASTOR 440/84M na dlhodobé skladovanie vyhoreného jadrového paliva zostáva naďalej v popredí záujmu odborníkov.

# The determination of the neutron source term for calculation of induced activity inventory in WWER-440/V230 by MCNP code

**Martin Oravkin, Gabriel Farkaš, Kristína Krištofová, Matúš Saro, Vladimír Slugeň**

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

[oravkin.martin1@gmail.com](mailto:oravkin.martin1@gmail.com)

Calculating codes have been significantly improved in recent years. It is also case of codes based on Monte Carlo method. The modeling of particle transport is important part of the implementation of radiological protection. The article deals

with neutron transport calculation, used for determination of the neutron source term. The calculation was applied on WWER-440/V230 situated in Jaslovské Bohunice V1 NPP. For calculations, the code MCNP5 was used.

# Výpočet dávkového zaťaženia pracovníkov v rámci vybraných typov medziskladov VJP

Martin Jesenič, Martin Hornáček, Vladimír Nečas

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

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

Príspevok sa zameriava na porovnanie dvoch typov suchých skladovacích technológií vyhoreného jadrového paliva (VJP) z hľadiska radiačného zaťaženia pracovníkov medziskladu prostredníctvom výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA. Pre modelové výpočty bolo potrebné stanoviť najskôr zdroj žiarenia. Tu boli použité kazety s VJP s počiatočným obohatením 1,6 %, 2,4 %, a 3,6 %  $^{235}\text{U}$ , s hĺbkou vyhorenia vypočítanou po 1, 2 a 3 rokoch strávených v aktívnej zóne reaktora VVER 440, pričom ich výsledná aktivita bola stanovená pre obdobie 30 rokov po dochladzovaní v mokrom medzisklade.

Pre modelové výpočty bolo zvolené skladovanie VJP v kontajneroch CASTOR 440/84M a skladovanie s využitím modulárneho kobkového skladovacieho systému (Modular Vault Dry Storage – MVDS). Pre stanovenie externého ožiarovania pracovníkov bola namodelovaná trajektória pohybu pracovníkov v okolí kontajnerov s VJP.

V rámci medziskladu s využitím OS CASTOR 440/84M bola hodnota individuálnej efektívnej dávky (IED) obdrža-

nej pracovníkom pri pohybe po namodelovanej trajektórii za celkovú dobu trvania 6 minút v najkonzervatívnejšom prípade  $0,27 \mu\text{Sv}$ . IED, ktorú obdrží pracovník počas jedného roka tvorí v najkonzervatívnejšom prípade 26,7 % z ročného limitu efektívnej dávky 20 mSv.

V rámci medziskladu s využitím systému MVDS boli tieto hodnoty v najkonzervatívnejšom prípade vyššie, a to  $3,52 \mu\text{Sv}$  pre IED obdržanú pri pohybe pracovníka v okolí kanistrov s VJP po dobu trvania 7 minút, pričom limitné hodnoty IED, ktorú môže obdržať pracovník za 1 rok, sú dosiahnuté už za obdobie približne 4 mesiacov.

Na záver bol analyzovaný vplyv hodnoty počiatočného obohatenia pri rovnakom vyhorení na radiačnú situáciu v okolí kontajnera CASTOR 440/84M. Z výsledkov bolo zistené, že IED, ktorú obdrží pracovník v blízkosti kontajnera, je najväčšia pri skladovaní VJP s počiatočným obohatením 1,6 %  $^{235}\text{U}$ .

## Změny u činností zvláště důležitých z hlediska RO a ZOZ

**Hana Podškubková**

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

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

Vzhledem k tomu, že současný Atomový zákon č.18/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů, bude od Nového roku nahrazen novým Atomovým zákonem č.263/2016 Sb. s účinností od 1.1.2017 je v příspěvku

prezentováno, jaké změny nastanou v oblasti činností zvláště důležitých z hlediska radiační ochrany a zvláštních odborných způsobilostí.

## Integrovaný bezpečnostní systém ELI Beamlines

Veronika Olšovcová<sup>1</sup>, Petr Procházka<sup>1</sup>, Roman Truneček<sup>1</sup>, Jiří Trdlička<sup>1</sup>, Hana Maňásková<sup>1</sup>, Zdeněk Mendl<sup>1</sup>, David Andert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ELI Beamlines, Fyzikální ústav, Akademie věd ČR, v. v. i., Dolní Břežany, ČR

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

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

Mezinárodní výzkumné centrum ELI Beamlines v Dolních Břežanech u Prahy bude používat vysokoenergetické lasery PW třídy především ke generování a urychlování svazků nabitých částic až do energií desítek GeV, které budou dále využívány převážně v základním i aplikovaném výzkumu mezioborových aplikací ve fyzice, medicíně, biologii a materiálových vědách.

Při pobytu v experimentálních a laserových prostorách budou pracovníci vystaveni mnoha rizikovým faktorům. Vedle pulsních směsných vysokoenergetických polí ionizujícího záření se jedná např. o lasery IV. kategorie, vysoké napětí, elektromagnetický puls, vakuum, hořlavé, toxické a dusivé plyny. Je tedy nezbytné věnovat náležitou péči vhodnému a účinnému zajištění bezpečného provozu, a to jak kvůli minimalizaci dávek ionizujícího záření, tak i pro ochranu před ostatními konvenčními rizikovými faktory.

Bezpečnost provozu centra ELI bude řízena dvěma hlavními bezpečnostními systémy – Monitorovacím systémem a Interlockovým systémem (Personnal safety interlock). Interlockový systém je hlavním integrátorem bezpečnostních funkcí nezbytných pro bezpečný provoz výzkumného centra

a zajišťuje tak bezpečný provoz pracovních prostor, včetně zamezení přítomnosti osob v oblastech, kde je v daném časovém období nejvyšší riziko.

Jedním z úkolů monitorovacího systému je detekce dávkových příkonů ionizujícího záření, výskytu technických plynů a kvality čistých prostor. Systém v reálném čase poskytuje informace o překročení limitních hodnot Interlockovému systému, který pak může včas rozpoznat nestandardní nebo nouzové stavy a umožnit včasný zásah a nápravu situace přímo u zdroje, tj. budícího laseru.

Provoz centra předpokládá vysokou mobilitu pracovníků, především hostujících vědců ze všech zemí světa. Monitorovací systém proto dále řídí vstupy do kontrolovaného pásma a také spravuje agendu osobní dozimetrie. Představuje tak komplexní nástroj k zajištění radiační ochrany v souladu s požadavky platné legislativy.

Příspěvek představuje funkční koncept integrovaného bezpečnostního systému ELI Beamlines a zaměřuje se především na složku zabezpečující radiační ochranu, Monitorovací systém.

# Výcvik inspektorů mezinárodní organizace Smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization)

Aleš Froňka

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

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

V příspěvku bude představena základní struktura verifikačního systému CTBT, se zvláštním důrazem na technické funkce a prostředky zajištění globálního dohledu nad dodržováním jednotlivých usnesení mezinárodní Smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek (mezinárodní monitorovací systém – IMS, mezinárodní datové centrum – IDC a provádění inspekcí v místě předpokládaného jaderného výbuchu – OSI). Samostatná část prezentace bude věnována plánování a provedení On-site inspekcí v místě podzemních jaderných testů a systematickému výcviku inspektorů CTBTO. Podrobněji bude popsán systém výcviku a použitá detekční zařízení a technické vybavení pro pozemní a letecký radiační průzkum a odběry vzorků životního prostředí pro následné analýzy na obsah OSI relevantních radionuklidů. V letošním roce byla v místech provádění

testů jaderných zbraní v Nevadě (Nevada National Security Site) uspořádána speciální výcviková akce pro stávající inspektory OSI. Hlavním cílem bylo seznámení inspektorů s pozůstatky přímých následků a pozorovatelných projevů podzemních jaderných testů prováděných v různém geologickém prostředí s různým způsobem umístění testovaných zařízení. V prezentaci budou shrnuty nejdůležitější zkušenosti a poznatky získané při přímé účasti ve výcvikovém programu CTBTO za posledních 10 let, který zahrnoval dva komplexní výcvikové cykly a další specializované terénní testy a cvičení, včetně dvou dlouhodobých integrovaných terénních cvičení uskutečněných na jaderné střelnici v Kazachstánu v roce 2008 a v lokalitě Mrtvého moře v Jordánsku v roce 2014.

## Aktuality z mezinárodního dění v oblasti radiační ochrany

**Karla Petrová**

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

[karla.petrova@sujb.cz](mailto:karla.petrova@sujb.cz)

Principy, postupy a zásady radiační ochrany jsou v současné době tvořeny a diskutovány na mnoha platformách. Zdá se, že zavedené a dlouhodobě fungující schéma vycházející ze sběru a hodnocení dat Vědeckým výborem spojených národů pro hodnocení účinků ionizujícího záření (UNSCEAR), následného přetavení těchto poznatků prostřednictvím Mezinárodní společnosti pro radiační ochranu (ICRP) do mezinárodních všeobecně akceptovaných doporučení a posléze jejich zakomponování do mezinárodních standardů a bezpečnostních návodů (IAEA, EU, ...), na

základě kterých byla posléze tvořena národní legislativa jednotlivých zemí, je již dnes překonáno.

V současné době vstupují do hry jiné organizace, které významně ovlivňují jak praktickou implementaci mezinárodních doporučení do praxe a národních legislativ (např. NEA/OECD, HERCA), tak i základní pravidla radiační ochrany (např. WHO). Referát si klade za cíl seznámit publikum se zásadnějšími událostmi, probíhajícími diskusemi, aktuálně diskutovanými problémy v oblasti radiační ochrany na mezinárodním poli.

## Významné změny v legislativě v oblasti radiační ochrany a jejich zavedení do praxe

**Karla Petrová, Jana Davidková**

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

[karla.petrova@sujb.cz](mailto:karla.petrova@sujb.cz)

Začátkem roku 2017 začne platit nový atomový zákon a jeho prováděcí předpisy. Nová legislativa přináší změny, které souvisí s novými mezinárodními doporučeními (ICRP 103, IAEA BSS), standardy a v neposlední řadě reflektuje novou evropskou legislativu (Euratom/Direktiva 59/2013). Sdělení popisuje významnější změny, které se dotknou činností souvisejících s využíváním jaderné energie a ionizujícího záření a seznámí s plánem Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) pro usnadnění jejich postupného zavádění do praxe. Nová legislativa nepřináší zásadní změny v postupech radiační ochrany, ty zůstávají zachovány, nicméně zavádí se nová terminologie v souladu s ICRP 103 (např. expoziční situace, referenční úroveň, nelékařské ozáření), některé oblasti regulace jsou pojednány mnohem explicitněji než doposud (např.

zabezpečení zdrojů, lékařské ozáření), jsou zaváděny nové regulace (např. vyhledávání opuštěných zdrojů, radon na pracovišti, pracoviště NORM), naopak některé regulace jsou zjednodušeny (zavedení registrace, platnost ZOZ, schvalování dokumentace), uplatňují se jiná kritéria pro hodnocení v rámci expozičních situací (např. referenční úroveň v nehozdových a existujících expozičních situacích). SÚJB zahájil postupné projednávání změn s vytipovanými skupinami držitelů povolení, kterých se změny dotknou nejvíce s cílem vysvětlit podstatu změn a pomoci efektivně k co nejméně problematickému přechodu k nové legislativě. Většina držitelů povolení musí své právní poměry upravit do souladu s novou legislativou do jednoho roku od její účinnosti – tedy do konce roku 2017.



## Pilotní studie nízkoradonové místnosti

Ivan Štekl<sup>1</sup>, Fadahat Mamedov<sup>1</sup>, Jiří Hůlka<sup>2</sup>, Pavel Fojtík<sup>2</sup>, Eva Čermáková<sup>2</sup>, Ekaterina Rukhadze<sup>1</sup>, Karel Smolek<sup>1</sup>,  
Karel Jílek<sup>2</sup>, Petr Rulík<sup>2</sup>, Miloš Jelínek<sup>3</sup>, Pavel Stoček<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT, Horská 3a/22, Praha 2, 128 00, ČR

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

<sup>3</sup> Ateko a. s., ČR

[eva.cermakova@suro.cz](mailto:eva.cermakova@suro.cz)

Cílem řešení projektu je výzkum a realizace technologie pro získání čistých nadzemních prostor s minimální aktivitou radonu. Výsledky projektu najdou uplatnění v elektronickém průmyslu při výrobě integrovaných obvodů s vysokou

hustotou, měření velmi nízké vnitřní kontaminace osob radionuklidy (in vivo) a dále v náročných fyzikálních aplikacích.

Projekt je podpořen Technologickou agenturou ČR – TAČR č. projektu TA04010842

## Timepix jako neutronový dozimetr – návrh a model

Peter Rubovič<sup>1</sup>, Daniela Ekendahl<sup>1</sup>, Zdeněk Vykydal<sup>2</sup>, Jiří Hůlka<sup>1</sup>

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

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

[peter.rubovic@suro.cz](mailto:peter.rubovic@suro.cz)

Pro účely neutronové dozimetrie je důležité mít zařízení, které dokáže spolehlivě měřit dávkový ekvivalent bez ohledu na energetické spektrum neutronů a určit tuto veličinu i ve směsných neutronových-gama polích. Detektor Timepix je hybridní polovodičový pixelový detektor záření s rozměry citlivé části detektoru  $1,54 \times 1,54$  cm, počtem pixelů  $256 \times 256$  a šířkou jednoho pixelu  $55 \mu\text{m}$ . Detektor se nyní vyrábí z několika různých materiálů jako Si, CdTe, nebo GaAs. Jeho předností je možnost rozlišení typu detekovaného záření na základě tvaru stopy, kterou ionizující záření zanechá v detektoru. Tyto vlastnosti činí detektor zajímavým pro výše uvedené měření. Neutrony je možno deteko-

vat pomocí konverzních vrstev, kde se v reakci s neutrony vytváří přímo detekovatelné částice (např. protony nebo alfa částice). Pro tento účel jsme opatřili detektor Timepix s křemíkovou citlivou vrstvou tlustou  $300 \mu\text{m}$  různými konverzními vrstvami na bázi  ${}^6\text{LiF}$  pro detekci termálních neutronů a polyetylénu (PE) pro detekci rychlých neutronů. Konkrétní rozvržení těchto vrstev jsme optimalizovali pomocí Monte-Carlo transportního kódu Fluka. Prezentovány budou simulace odezev detektoru pod jednotlivými konverzními vrstvami, návrh rekonstrukce dozimetrické veličiny  $H^*(10)$  a první experimentální výsledky z měření v neutronovém poli.

## Přehled výzkumu kosmického záření a radiačních jevů v atmosféře na ÚJF

Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>,  
Dagmar Kyselová<sup>1,2</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

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

Na Ústavu jaderné fyziky AV ČR v. v. i. jsou ve spolupráci s vysokými školami, dalšími vědeckými institucemi i soukromými společnostmi řešeny zajímavé činnosti spojené s výzkumem kosmického záření. Dlouhodobě se věnujeme dozimetrii kosmického záření na palubách letadel a kosmických lodích, nově také detekci radiace generované atmosférickými výboji, dále vývoji vlastních dozimetrů a kalibračním komerčně dostupných dozimetrů pro jejich použití ve směsných radiačních polích vysokých energií. Experimenty provádíme na urychlovacích těžkých nabitých částic (CERN v Ženevě, HIMAC v Japonsku, Dubna v Rusku, ...), na vysokohorských observatořích, na letadlech v běžných letových výškách dopravních letadel ale i ve vyšších nadmořských výškách business jetů, na stratosférickém balónu a na umělých družicích Země.

Cílem našeho výzkumu je objevení nových fyzikálních jevů (např. se snažíme prokázat/vyvrátit přímou souvislost mezi atmosférickým výbojem a ionizujícím zářením), ale výsledky naší práce má i své využití v praxi (zpřesnění stanovení radiační zátěže posádek letadel a kosmických

lodí). Aktivitu koordinujeme s mezinárodními vědeckými a normalizačními skupinami EURADOS a ISO.

V příspěvku budou uvedeny aktuální výzkumné projekty v této oblasti s přehledem našich dosavadních výsledků, plánů a cílů. Konkrétně se jedná např. o projekty CANDY, EDNA a CZENDA. CANDY je nový dozimetr s polovodičovou diodou, jehož veškerý vývoj a postupy kalibrace pro směsná pole záření necháváme plně otevřené pro veřejnost tak, že kdokoliv může přispět k jeho vylepšení. EDNA (European Dosimetry Network aboard Aircraft) je námi navržená veřejná databáze dozimetrických měření na palubách letadel, kterou řešíme ve spolupráci s pracovní skupinou EURADOS WG11 a kterou již dvakrát podpořila Evropská kosmická agentura (ESA). CZENDA (Czech Experimental Novel Dosimetry Assembly) je zařízení vyvíjené společně s dalšími českými výzkumnými skupinami pro třicetidenní pobyt v kosmu na oběžné dráze ve vzdálenosti 1 000 km v ruské družici BION M2. Navrženo je pro něj pět dozimetrických a tři radiobiologické experimenty.

## Srovnávací dozimetrická měření na palubách letadel

Dagmar Kyselová<sup>1,2</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Ján Kubančák<sup>1</sup>, Martina Lužová<sup>2</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Lucie Vítková<sup>2</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Antonín Kolros<sup>3</sup>, Ladislav Viererbl<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> Centrum výzkumu Řež s. r. o., Hlavní 130, Husinec-Řež, 250 68, ČR

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

Rutinní individuální dozimetrie posádek letadel se běžně realizuje pomocí speciálních počítačových programů, přičemž detektory kosmického záření slouží pro jejich verifikaci a vědeckou činnost. Mezi nejpoužívanější výpočetní programy patří EPCARD a CARI-6, pomocí druhého jmenovaného se uskutečňuje i výpočet dávek pro posádky letadel českých a slovenských leteckých společností na ODZ.

K ověření metody výpočtu pomocí CARI-6 bylo v letošním a minulém roce ve spolupráci s ČSA zrealizováno celkem šest experimentálních měření na palubě letadla Airbus A319. Pražová vertikální rigidita zvolených cílových letišť se pohybovala v rozmezí od 1,4 do 6,8 GV a let do nejvzdálenější destinace trval 4:09 h. Pro srovnávací dozimetrická měření byl použit tkáňově ekvivalentní proporcionální počítač Hawk FWAD-2, představující referenční měřicí systém pro ostatní přístroje používané v experimentální dozimet-

rii, několik typů polovodičových detektorů Liulin, prototyp polovodičového detektoru CANDY, bublinové detektory, měřič příkonu dávkového ekvivalentu fotonů HammerHead HH, měřič dávkového příkonu gama TESLA NB 3201 a měřič příkonu dávkového ekvivalentu neutronů s Bonnerovým spektrometrem Berthold LB 123 N. Pro automatizaci měření bylo na pracovišti ODZ vyvinuto záznamové zařízení, které uchovává data z měřičů NB 3201 a LB 123 N, snímá parametry vzduchu v kabině letadla (teplotu, vlhkost, tlak) a obsahuje GPS pro záznam polohy a výšky letadla.

Experimentální verifikace programu CARI-6 byla provedena na základě porovnání hodnot prostorového dávkového ekvivalentu  $H^*(10)$  vypočtených pro jednotlivé lety s hodnotami  $H^*(10)$  naměřenými pomocí vybraných detektorů. Výsledky byly také porovnány s výpočty programu EPCARD.

## LET FÍK: Stratosférický balón jako nástroj pro dozimetrii a popularizaci vědy

Václav Štěpán<sup>1</sup>, Martin Kákona<sup>1,2</sup>, Pavel Krist<sup>3</sup>, Pavel Kovář<sup>4</sup>, Jakub Kákona<sup>4,5</sup>, Jan Chroust<sup>5</sup>, Nikola Lipenská<sup>6</sup>, Klára Dostálková<sup>6</sup>, Jiří Hovorka<sup>6</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Lenka Thinová<sup>2</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>, Jean-Luc Picard<sup>7</sup>, pes Fík<sup>1,2,5</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

<sup>3</sup> Mikrotronová laboratoř, Centrum výzkumu Řež s. r. o., Hlavní 130, Husinec-Řež, 250 68, ČR

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

<sup>5</sup> Universal Scientific Technologies s. r. o., U Jatek 19, Soběslav, 392 01, ČR

<sup>6</sup> Základní škola Letohrad, Komenského 269, Letohrad, 561 51, ČR

<sup>7</sup> USS Enterprise-D, USS

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

Oddělení dozimetrie záření ÚJF AV ČR se dlouhodobě podílí na monitorování kosmického záření na palubách civilních letadel s letovými hladinami do 12 km nad hladinou moře i na Mezinárodní kosmické stanici s oběžnou drahou ve 400 km. Kosmické záření může být zdravotní hrozbou pro posádky, ale také představuje potenciální riziko pro elektronické přístroje. V říjnu minulého roku jsme se zájmem přijali výzvu ZŠ Letohrady účastnit se vypouštění stratosférického balonu – ideálního nástroje pro měření ve výškách 12 až 30 km.

V projektu jsme sledovali dva cíle – jednak popularizaci vědy a šíření povědomí o kosmickém záření a jednak ověření možnosti ve velmi omezeném čase sestavit a připravit k vypuštění řídicí a měřicí techniku s využitím modulárního elektronického systému MLAB (<http://wiki.mlab.cz>).

Řešení vyvinuté ve spolupráci s kolegy z Mikrotronové laboratoře, UST a studentkami ze ZŠ Letohrad zahrnuje centrální řídicí modul, GSM komunikační část, křemíkový spektrometr deponovaných energií „CANDY“, speciální GPS modul pro práci ve velkých výškách, radiomajak a další senzory.

Balón byl vypuštěn 20. prosince o desáté hodině dopolední z Číhošti, geografického středu republiky, vystoupal do výšky přes 33 km a po 150 km letu a přistání u česko-rakouských hranic byl úspěšně nalezen naším záchranným týmem. Seznámíme vás s technickým řešením projektu, s výsledky měření a s celkovým, velmi dobrodružným průběhem akce.

Výstupy vývoje jsou k dispozici jako open hardware/open software na <https://github.com/ODZ-UJF-AV-CR/balon>.

## Vývoj open source polovodičového detektoru CANDY

Martin Kákona<sup>1,4</sup>, Pavel Krist<sup>2</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Dagmar Kyselová<sup>1,4</sup>, Vladimír Havránek<sup>3</sup>, Bruno Sopko<sup>6</sup>, Petr Přidal<sup>6</sup>, Jakub Kákona<sup>5,7</sup>, Jan Chroust<sup>7</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> Oddělení urychlovačů, ÚJF AV ČR, v. v. i., čp. 130, Husinec-Řež, 250 68, ČR

<sup>3</sup> Laboratoř Tandetron, ÚJF AV ČR, v. v. i., čp. 130, Husinec-Řež, 250 68, ČR

<sup>4</sup> KDAIZ, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>5</sup> Katedra radioelektroniky, FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6, 166 27, ČR

<sup>6</sup> ÚTEF ČVUT v Praze, Horská 3a/22, Praha 2, 128 00, ČR

<sup>7</sup> Universal Scientific Technologies s. r. o. U Jatek 19, Soběslav III, 392 01, ČR

kakona@ujf.cas.cz

Na trhu detektorů ionizujícího záření je k dispozici celá škála zařízení založených na křemíkových diodách. Lze si pořídit měřicí přístroje s různými vlastnostmi a v různých cenových relacích. Otázkou je, do jaké míry jsou vlastnosti detektorů, které výrobce prezentuje, zaručeny. Většinou je k těmto zařízením k dispozici pouze strohá technická dokumentace, přičemž konstrukční detaily jsou výrobci tajeny. Prakticky tak dochází k tomu, že jsou stejné technické problémy řešeny různými výrobci opakovaně a o kvalitě řešení nám dokumentace nedává příliš podrobnou zprávu.

V příspěvku bude představena snaha o vývoj open source křemíkového detektoru ionizujícího záření. Tento detektor je vyvíjen jako open hardware a open software. Chceme tím dát k dispozici platformu, na které mohou spolupracovat odborníci z různých institucí. Prostřednictvím internetu

dáme k dispozici schémata zapojení a firmware zařízení. Současně je zveřejňována i výrobní dokumentace pro moduly open source stavebnice MLAB (<http://www.mlab.cz/>), ze které lze detektor sestavit.

Dále budou diskutovány některé technické problémy, se kterými se návrháři setkali v průběhu vývoje a některé zajímavé experimenty, které byly provedeny s prototypy zařízení. Budou ukázány výsledky měření například na palubách letadel, stratosferickém balónu nebo částicových urychlovačích.

Primárním zájmem naší skupiny je vyvinout detektor, který bude vhodný pro detekci ve směsných polích ionizujícího záření v letecké dopravě a na umělých družicích. Jeho použití však bude možné i v monoenergetických polích a tak se otevírá možnost široké spolupráce mezi různými skupinami zabývajícími se dozimetrií.

## Nový databázový systém pro evidenci dozimetrických dat

Mikuláš Peksa<sup>1,2,3</sup>, Martin Kákona<sup>1,4</sup>, Dagmar Kyselová<sup>1,4</sup>, Václav Štěpán<sup>1</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Matematicko-fyzikální fakulta – Univerzita Karlova, V Holešovičkách 3, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>3</sup> Abteilung Grenzflächenphysik, Universität Leipzig, Linnéstraße 5, Leipzig, 04315, Německo

<sup>4</sup> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[mikulas.peksa@centrum.cz](mailto:mikulas.peksa@centrum.cz)

Tématem příspěvku je představení systému EDNA (European Dosimetry Network aboard Aircraft). Program EDNA slouží ke shromažďování, zpracovávání a vizualizaci časově závislých dat z fyzikálních měření na palubách letadel. Program je určen pro provoz na serveru. Na klientské straně nevyžaduje kromě webového prohlížeče žádné další komponenty. EDNA byl vytvořen ve spolupráci s ESA v rámci projektu SOCIS a jako takový je volně šiřitelný včetně zdrojového kódu. Ačkoli byl systém vytvořen pro zpracování dozimetrických dat, díky možnosti přidávání zásuvných modulů ho lze upravit i pro meteorologická, geologická a další data. EDNA je optimální pro organizaci a zpracování dat v menších laboratořích popř. pro usnadnění spolupráce několika vědeckých skupin.

V současnosti jsou všechny knihovny systému EDNA vytvořené pomocí programovacího jazyka Python 2.7 a frameworku Django. Tyto knihovny zajišťují připojení k SQL

databázi, obsluhu webového serveru a správu dat na pevném disku. Framework Django propojuje systém ps různými SQL databázemi (PostgreSQL, MySQL, SQLite) a webovými servery (Apache, Nginx). Vzhledem k tomu, lze systém provozovat čistě za použití svobodných technologií.

EDNA rozlišuje dva základní typy zásuvných modulů – přístrojové a vizualizační. Přístrojové zásuvné moduly definují formát dat z měření a jejich kalibraci. Vizualizační umožňují předzpracování kalibrovaných dat a jejich uložení na serveru, aby maximálně urychlily dynamické generování webových stránek. Autorizovaní uživatelé mohou vkládat další zásuvné moduly naprogramované v jazyce Pythonu 2.7.

Zdrojový kód aplikace je volně dostupný na Githubu a její první instalace je dostupná na stránce [edna.ujf.cas.cz](http://edna.ujf.cas.cz). Projekt je udržován a dále rozvíjen na dobrovolnické bázi. Zapojení dalších přispěvatelů je možné a vítané.

## Elektrochemická detekce poškození DNA po ozáření jako nový nástroj biodozimetrie

Marcela Jeličová<sup>1</sup>, Anna Lierová<sup>1</sup>, Zuzana Šinkorová<sup>1</sup>, Lenka Zárybnická<sup>1</sup>, Radovan Metelka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra radiobiologie (K-303), Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 02, ČR

<sup>2</sup> Katedra analytické chemie, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Studentská 95, Pardubice, 532 10, ČR

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

Biodozimetrie se v současné době stává rychle se rozvíjejícím oborem radiobiologie, která nabývá na významu zejména při radiačních událostech či rozsáhlém užití jaderných zbraní. Biodozimetrie se tak stává důležitým prostředkem hodnotící rozsah události a tím umožňuje optimalizaci intervence integrovaného záchranného systému a predikci následků události. Ionizující záření mění strukturu, funkci a syntézu nukleových kyselin, čímž způsobuje nevratné změny a poškození. Ke kvantifikaci těchto poškození slouží základní biodozimetrické metody jako ukazatelé zpětného odečtu obdržené dávky. Práce je zaměřena nejen na standardní cytogenetické

testy, ale především na nové trendy a možnosti biodozimetrie hodnotící biologické parametry pro rekonstrukci obdržených dávek používaných v klinickém výzkumu i praxi se zaměřením na oblast vojenské medicíny. Metodou, která se jeví jako velmi perspektivní pro detekci poškození způsobené ionizujícím zářením a tím stanovení zpětného odečtu obdržené dávky, je elektrochemická analýza nukleových kyselin. Ta představuje novou, dosud méně používanou alternativu k dosavadním metodám a hlavním očekáváním je zpřesnění výsledků a zkrácení doby analýzy.



# Biodozimetrie – frekvence mikrojadern v buňkách po ozáření fotony, protony a alfa částicemi

Anna Michaelidesová<sup>1,2,3</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>, Jana Konířová<sup>1</sup>, Vladimír Havránek<sup>1</sup>, Jan Štursa<sup>1</sup>, Václav Zach<sup>1</sup>, Vladimír Vondráček<sup>2</sup>, Marie Davidková<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., Husinec-Řež 130, 250 68, ČR

<sup>2</sup> Proton Therapy Centre Czech, Budínova 2437/1a, Praha 8, 180 00, ČR

<sup>3</sup> Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

davidkova@ujf.cas.cz

Mikrojádra jsou malá mimojaderná tělíska obsahující fragmenty nebo i celé chromozomy uvolněná z jader dceřiných buněk během mitózy. Počet mikrojadern vzniklých v ozářených buňkách odráží úroveň poškození chromozomální DNA a závisí na absorbované dávce a kvalitě ionizujícího záření.

Normální lidské neonatální kožní fibroblasty byly ozářeny 1,1 MeV protony nebo 2,5 MeV  $\alpha$  částicemi na urychlovači Tandetron 4130MC. Ozařování protony o energii 30 MeV bylo provedeno rozptýleným širokým svazkem na cyklotronu U120-M a aktivním skenováním tužkovým svazkem v Proton Therapy Centre Czech. Buněčné kultury byly sklizeny trypsinizací bezprostředně po ozáření a opětně nasety do sterilních Petriho misek. 24 hodin po ozáření byl přidán Cytochalasin B a buňky byly kultivovány po dobu dalších 24 hodin. Poté byly vzorky fixovány roztokem 90% methanolu a 10% kyseliny octové, vysušeny a obarveny 5% roztokem Giemsa (pH 6,8). Vzorky byly analyzovány na mikroskopu Motic BA210 při 400 $\times$  zvětšení.

Byl detekován lineární nárůst binukleárních buněk obsahujících mikrojádra pro absorbované dávky 1–5 Gy pro  $\gamma$  záření a protony. Celkový počet mikrojadern v binukleárních buňkách ovšem vykazuje lineárně–kvadratickou závislost na absorbované dávce. V případě ozáření člověka ve směsných polích záření nebo zářením s vysokým LET je tedy podíl binukleárních buněk obsahujících mikrojádra k celkovému počtu binukleárních buněk dobrým biodozimetrickým parametrem.

V případě fibroblastů ozářených nízkoenergetickými  $\alpha$  částicemi byla při dávkách nad 1 Gy zjištěna saturace počtu mikrojadern a nárůst buněčné senescence s nadměrnou expresí genu p16. S věkem ve tkáních narůstá počet senescentních buněk a buněk nesoucí preneoplastické mutace. Pokud se tyto dva typy buněk nachází blízko sebe, mohou molekuly vylučované senescentními buňkami vytvořit mikroprostředí umožňující proliferaci preneoplastických buněk a podpořit tak rozvoj rakoviny.

## Dozimetr na bázi soli (NaCl)

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

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

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

Běžná kuchyňská sůl (NaCl) představuje krystalický materiál, který vykazuje termoluminiscenci (TL) i opticky stimulovanou luminiscenci (OSL) v důsledku předchozí expozice ionizujícím záření. Pro účely dozimetrie je vhodnější využít OSL. Mezi mechanismy generování OSL a TL signálu je poměrně úzký vztah a při vhodném nastavení parametrů měření lze pro rekonstrukci dávky využít analytický protokol SAR, který je založen na opakovaných ozářeních a měřeních vzorku. Dávka je takto stanovena přesněji než na základě specifické kalibrační křivky předem odvozené pro 1 mg daného druhu soli. Specifickou kalibrační křivku lze nicméně využít pro účely rychlého orientačního odhadu dávky.

Vzorky testovaných solí vykazovaly minimální detekovatelnou dávku 0.3–0.5 mGy pro 1 mg soli. Závislost OSL signálu na dávce je lineární – supralineární v rozsahu dávek do minimálně 5 Gy. Pozorovaná míra fadingu během 30 dnů po ozáření byla menší než 5 %. Sůl však vykazuje poměrně velkou závislost OSL signálu na energii záření, která musí být zohledněna.

Dozimetr byl připraven ve dvou variantách – jako osobní dozimetr a jako jednoduchý radiační indikátor. Dozimetry byly testovány v různých simulovaných expozičních situacích. Naměřené dávky byly porovnány s referenčními hodnotami. Pozorované odchylky dávky od referenční hodnoty byly do 13 % u protokolu SAR, do 45 % v případě rychlého odhadu.

Náklady na dozimetr ze soli jsou velmi nízké v porovnání s dozimetry běžně dostupnými na trhu. Dozimetr může být využit především v krizových radiačních situacích. V rámci složek integrovaného záchranného systému mohou být těmito dozimetry preventivně vybaveny zasahující osoby. Dozimetry by byly vyhodnocovány v případě potřeby. Podobný přístup lze uplatnit i pro dozimetrii prostředí za předpokladu, že radiační indikátory by byly umístěny na strategicky významných místech. Na základě těchto měření je pak možné odhadnout i dávky osob z řad obyvatel, které se vyskytovaly v okolí radiačního incidentu.

## Odišnosti radiačního pole na různých místech Mezinárodní kosmické stanice

Jakub Šlegl<sup>1,2</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Raisa V. Toloček<sup>3</sup>, Vyacheslav A. Shurshakov<sup>3</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> Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, Moskva, Rusko

[sleglja1@fjfi.cvut.cz](mailto:sleglja1@fjfi.cvut.cz)

Kosmické záření přináší v souvisejícím riziku rakoviny velké zdravotní ohrožení posádek vesmírných plavidel. Pro zpřesnění dat o kosmickém záření a jeho změně při průchodu stíněním byly na Mezinárodní kosmické stanici v letech 2012 až 2014 provedeny dvě série experimentů využívající integrující detektory stop v pevné fázi (DSPF). V těchto obdobích byla průměrná výška stanice 409, respektive 416 km. Detektory byly uloženy na šesti různých místech ve třech ruských modulech stanice. Experimenty proběhly jako součást pro-

jektu Matroshka-R, jehož cílem je odhad dávky v kritických orgánech posádky. K tomu projekt využívá různé typy detektorů umístěných buď v kulovém, tkáňově ekvivalentním fantomu, nebo ve speciálních držácích zvaných SPD (sborka pasivních detektorů).

Příspěvek představí spektra lineárního přenosu energie získaná pomocí DSPF s diskusí vlivu stínění v různých pozicích uvnitř stanice. Data budou také dána do souvislosti se staršími sériemi experimentů projektu Matroshka-R.

## Retrospektivní dozimetrie s využitím čipových karet

Zina Čemusová, Daniela Ekendahl

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

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

Retrospektivní dozimetrie spočívá v dozimetrickém využití různých předmětů a materiálů, které nejsou klasickými dozimetrii, jsou přitom citlivé na ionizující záření a poskytují měřitelný signál úměrný dávce. Obvykle se jedná o různé osobní předměty nebo předměty z okolí radiologického incidentu. Jednou z těchto možností jsou čipy, které lze najít na různých typech elektronických karet, nejčastěji platebních, telefonních nebo SIM. Tyto karty mají charakter osobních potřeb a jsou obvykle nošeny v blízkosti těla.

Čipový modul je v kartě zabudován ve skloepoxidovém pouzdře, které představuje zdroj radiačně indukovaného

luminiscenčního signálu. Tento signál lze vyvolat a měřit pomocí metody opticky stimulované luminescence (OSL). V naší laboratoři jsme provedli experimenty pro účely zjištění hlavních dozimetrických vlastností tohoto materiálu, tj. minimální detekovatelné dávky, závislosti luminiscenčního signálu na dávce, fadingu a závislosti odezvy na energii záření. Z výsledků vyplynulo, že v případě závažných radiologických událostí zahrnujících ozáření osob z řad obyvatel mohou být čipové karty použity pro účely odhadu osobních dávek.

# Spektra lineárního přenosu energie kosmického záření získaná detektory stop v pevné fázi metodou per partes

Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1</sup>, Iva Ambrožová<sup>1</sup>, Anna Červenková<sup>2</sup>, Yuma Nagasaki<sup>3</sup>, Marie Davidková<sup>1</sup>, Thomas Berger<sup>4</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> Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui, Kanawa 1-2-4, Tsuruga, Fukui 914-0055, Japan

<sup>4</sup> German Aerospace Center, Institute of Aerospace Medicine, Linder Höhe, Köln, 511 47, Německo

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

Vesmírné záření, a s ním související risk rakovinného bujení, představuje jeden z hlavních zdravotních problémů, kterým čelí případná meziplanetární mise s lidskou posádkou. Nejjistota odhadu rizika je závislá například na přesnosti dat o kosmickém záření a jeho změnách při průchodu pláštěm a součástmi lodi. Experimentální dozimetrická měření na Mezinárodní kosmické stanici (MKS) přispívají ke snížení této nejistoty.

Od roku 2012 se účastníme projektu DOSIS 3D (Dose distribution inside the International Space Station), který se zaměřuje na stanovení parametrů radiačního pole uvnitř MKS s použitím různých detektorů více než dvaceti účastníků. Srovnání výsledků je ovšem problematické, jelikož zařízení měří jiné části spektra vesmírného záření, jsou umístěny v různých pozicích, nebo jsou vyhodnocovány jiným způsobem. Proto jsme do našeho portfolia pasivních

detektorů stop v pevné fázi (DSPF) přidali v minulém roce také Tastrak, DSPF používaný několika dalšími účastníky projektu, a sjednotili s nimi i postup vyhodnocování. Ten zahrnuje dvojestupňové per partes leptání, které by mělo identifikovat i částice s krátkým dosahem. Kalibraci materiálu, tedy nalezení vztahu parametrů vyleptaných stop s lineárním přenosem energie, jsme provedli pomocí svazků nabitých částic na urychlovači HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba) v Japonsku.

Spektra lineárního přenosu energie získané s nově použitým, per partes leptaným materiálem Tastrak byly porovnány s výsledky námi tradičně používaného, jednostupňově leptaného materiálu Harzlas TD1. Materiály byly na MKS v průběhu tohoto roku umístěny ve stejné pozici. Toto srovnání umožní ohodnotit vliv různé metody vyhodnocení na výsledky získané DSPF.

## Fantom použitelný pro kalibraci a verifikaci při radiojodové terapii

Tereza Kráčmerová<sup>1,2</sup>, Lenka Jonášová<sup>1</sup>, Zdeněk Wolf<sup>1</sup>, Pavel Solný<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> KNME, Fakultní nemocnice Motol, V Úvalu 84, Praha 5, 150 00, ČR

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

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

**Cíl:** Cílem této práce bylo navrhnout, vytvořit a otestovat antropomorfní (hlava, krk a ramena), variabilní, reprodukovatelný a klinicky dosažitelný fantom pro simulování přítomnosti zbytků štítné žlázy, uzlin a případně i celé štítné žlázy. Získané výsledky je možné poté použít pro výpočet kalibračních koeficientů pro výpočet aktivity reálných zbytků štítné žlázy u pacienta. Základními požadavky na takovýto typ fantomu jsou: dostatečná tkáňová ekvivalence, dobrá dostupnost použitých materiálů, snadná manipulace a také vhodný poziční systém pro umístování zdrojů.

**Metoda:** Vytvořený fantom sestává ze siluety vyrobené z termoplastické masky běžně používané v externí radioterapii, sonografického gelu, který svými vlastnostmi odpovídá vodě s organickou příměsí, a dále dalšími komponentami,

terezakracmerova@gmail.com  
tami, které simulují krční páteř (uzpůsobená část páteře prasete divokého), hltan, hrtan, jícen a cévy v krční oblasti.

**Výsledky:** Pomocí low-dose CT byla provedena série snímků potvrzující tkáňovou ekvivalentnost vzniklého fantomu. Denzita sonografického gelu tvořícího výplň fantomu se pohybovala v rozmezí  $-10$  až  $10$  HU. Na vzniklém fantomu byla provedena série snímků na SPECT/CT za použití různých velikých zdrojů o známé aktivitě (kapalný  $^{131}\text{I}$  a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ve zkumavkách Eppendorf).

**Závěr:** Sestrojený fantom se s nainstalovaným pozičním systémem je vhodným prostředkem pro simulaci speciálních patientských případů a také umožní zpřesnění výsledků dozimetrie při radiojodové terapii.

## Ozáření personálu na lůžkových odděleních nukleární medicíny

Tomáš Čechák<sup>1</sup>, Jiří Martinčík<sup>1</sup>, Pavel Solný<sup>2</sup>, Miluše Budayová<sup>3</sup>, Tomáš Urban<sup>1</sup>, Petr Papírník<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Oddělení radiologické fyziky, Fakultní nemocnice Motol, V Úvalu 84, Praha 5, 150 06, ČR

<sup>3</sup> SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[jiri.martincik@fjfi.cvut.cz](mailto:jiri.martincik@fjfi.cvut.cz)

Organizace poskytující služby osobní dozimetrie v ČR se každoročně účastní srovnávacího měření, jehož cílem je otestovat jednotlivé dozimetrické systémy, které jsou v praxi používány. V letošním roce byly testovány dozimetry ozářeny v podmínkách simulujících provoz na pracovišti nukleární medicíny.

Geometrie ozáření zahrnovala celkem dva fantomy lidského těla. Do prvního fantomu simulujícího pacienta byl vpraven radionuklid, zatímco osobní dozimetry byly umístěny referenčním místě na druhém fantomu simulujícím ošetřovatele v určité vzdálenosti od „pacienta“. Toto uspo-

řádání bylo provedeno pro  $^{131}\text{I}$  a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  simulující použití na oddělení nukleární medicíny. Dozimetry byly takto ozářeny různými dávkami korespondujícími s klinickou praxí. Následně byly dozimetry zaslány příslušným dozimetrickým službám k vyhodnocení. Celý experiment byl simulován metodou Monte Carlo, kódem MCNP a výsledky výpočtu byly srovnány s naměřenými hodnotami.

V práci je podrobněji rozebrána metodika experimentu, geometrie ozáření a volba cílových dávek a hodnoty získané jednotlivými typy použitých dozimetrů.

# Připravované rozšíření funkcí WebSOD – webového rozhraní osobní dozimetrie VF

Jiří Studený

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

[jiri.studený@vf.cz](mailto:jiri.studený@vf.cz)

Příspěvek si klade za cíl seznámit posluchače s připravovaným rozšířením funkcí WebSOD – webového rozhraní pro zákazníky Služby Osobní Dozimetrie VF.

WebSOD ve své poslední verzi je nasazen od září 2015, má moderní grafickou podobu a intuitivní ovládání.

Poskytuje komplexní podporu dohlížejících pracovníků:

Přehledné tabulkové i grafické zobrazení dávek jednotlivých monitorovaných osob.

Administraci monitorovaných osob – zavedení, zrušení osoby, změny osobních údajů, snadné vyplnění a tisk registrační karty, doplnění dávek z jiných pracovišť, tzv. donesené dávky.

Tisk protokolů ročních hodnot dávek (osobní + prstové, neutronové) pro potřeby inspekcí a prezentací a jejich export.

Elektronické výpisy dávek v csv formátu pro další zpracování nebo pro import do informačních a databázových systémů.

Přehledné grafy naměřených dávek pro všechny veličiny.

Zpracování kolektivních dávek a jejich grafické zobrazení.

Nastavení referenčních úrovní pro snadnou kontrolu dodržování limitů.

Připravované nové funkce WebSOD na základě průzkumu požadavků zákazníků: Zpracování naměřených hodnot ze dvou dozimetrů (pod a nad stínící zástěrou), přiřazení doplňkových dozimetrů jednotlivým osobám, výpis nevrácených dozimetrů, zasílání informačního e-mailu při překročení jedné ze tří nastavitelných úrovní.



## Osobní dozimetrie v novém atomovém zákoně

**Miluše Budayová**

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

[miluse.budayova@sujb.cz](mailto:miluse.budayova@sujb.cz)

Od 1.1.2017 nabývá účinnosti nový atomový zákon č. 263/2016 Sb. Spolu s prováděcím předpisem, novou vyhláškou o radiační ochraně, na jejímž dokončení Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) usilovně pracuje, implementují požadavky směrnice Rady EU. Díky tomuto kroku a novým

poznatkům v oblasti osobní dozimetrie došlo k několika změnám v přístupu stanovení a hodnocení dávek radiačních pracovníků, změnám v limitech a evidencích osobních dávek. V této oblasti poster shrnuje zásadní změny oproti dosavadní právní úpravě.

## Radiační ochrana na o. z. GEAM podle nové legislativy

Oldřich Tomášek<sup>1</sup>, Zdeněk Gregor<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> DIAMO, státní podnik, odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka, Dolní Rožínka, ČR

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

Poster bude zaměřen na hodnocení efektivní dávky radiačních pracovníků kategorie A a radiačních pracovníků kategorie B dle stávající legislativy. Porovnání efektivní dávky hodnocené podle odvozených limitů na základě nového Atomo-

vého zákona a jeho prováděcích předpisů. Porovnání (srovnání) efektivních dávek bude za posledních 5 let u vybraných profesí v podzemí a na povrchu, kteří obdrželi nejvyšší efektivní dávky.

# Trendy ve vývoji počtu radiačních pracovníků a v rozložení jejich dávek a ve vývoji počtu zdrojů ionizujícího záření sestavené na základě dat z Registrů SÚJB

Jan Vinklář, Miluše Budayová

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

[miluse.budayova@sujb.cz](mailto:miluse.budayova@sujb.cz)

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) od roku 1997 vyvíjí a stravuje elektronický systém státních evidencí, tzv. Registry, který slouží k podpoře výkonu státní správy v oblasti využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Systém funguje jako nástroj pro kontrolu plnění právními

předpisy uložených povinností u konkrétních subjektů, ale také jako zdroj dat pro statistické výstupy, které umožňují sledování různých trendů ve zvolených oblastech. Některé z těchto výstupů jsou prezentovány na posteru.

# Legální metrologie 25 let poté

Tomáš Soukup

OI Praha pracoviště IZ, Český metrologický institut, Radiová 1, Praha 10, 102 00, ČR

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

Povinnost správně měřit je dávná, od Chamurapiho zákoníku přes středověk dodnes. „Dodnes“ u nás začíná zákonem č. 505/1990 Sb. „O metrologii“. Historická regulace se týkala měřidel obchodních, dnes přibývají další významy. Jmenovitě §3, odst. 3 c) až f): ochrana zdraví, životního prostředí, veřejných zájmů, bezpečnost při práci. Zákon platí, nezna-lost neomlouvá.

Krátký průvodce:

1) Zákon č. 505/1990 Sb. O metrologii (verze č. 85/2016 Sb.). Obsahuje definice „stanovených měřidel“, „ověření“ jako periodický prvek státní dohledu (veřejno-právní úkon), „schválení typu“ jako povinná součást uvádění do oběhu. Určuje povinnosti uživatelů, výrobců, dovozců, i kalibrace měřidel jako soukromo-právní úkon. Postihy za nedodržování zákona.

2) Vyhl. 345/2002 Sb. MPO (verze č. 120/2015 Sb.). Obsahuje seznam stanovených měřidel (příloha 8: Měřidla veličin atomové a jaderné fyziky).

3) Vyhl. 262/2000 Sb. MPO (verze č. 125/2015 Sb.). Popisuje formální náležitosti metrologické regulace, postupy pro

ověřování, schvalování typu, registraci opravců a autorizaci metrologických středisek atd.

4) Vyhl. č. 307/2002 Sb. SÚJB nepatří do metrologie, přesto určením limitních hodnot radiační ochrany řadí měřidla mezi stanovená podle zákona o metrologii.

Nejčastější pojmy. Ověření potvrzuje, že měřidlo má požadované metrologické vlastnosti, výstup „ano/ne“. Kalibrace porovná měřidlo s etalonem, výstup je soubor čísel „etalon-odezva“ (jiná definice než v Metrologickém slovníku). Etalon slouží k realizaci dané jednotky. ČMI uchovává státní etalony a vykonává odborné aktivity, úřední dohled má Úřad pro normalizaci, měření a státní zkušebnictví (ÚNMZ), který řídí ČMI.

Postupy při ověřování musí odpovídat způsobu použití.

Základ legislativy je čtvrtstoletí starý a je připravována nová. Nelze očekávat radikální změny, připomenutí je tedy namístě. Uchovávání etalonů na stěnách radnic (loket) a postih nepoctivých pekařů máčením ve Vltavě je již ztracená tradice, je vhodné připomenout si současnost.

# Kontinuální monitorování emise 14 MeV neutronů při provozu D-T neutronového generátoru pomocí $^{10}\text{BF}_3$ ionizační komory

Antonín Kolros, Michal Košťál, Evžen Novák, Martin Schulc, Jiří Malý, Ján Milčák

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

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

Pro realizaci experimentů z oblasti neutronové fyziky a jaderné fúze je Laboratoř neutronového generátoru, Centrum výzkumu Řež, vybavena D-T neutronovým generátorem typu NSD-350-24-DT (NG), výrobce GRADEL, Lucembursko. Neutrony o energii 14,1 MeV jsou emitovány z reakční komory s fúzní emisní zónou o délce 350 mm a objemu cca 5 litrů. Plynné deuterium a tritium (o celkové aktivitě 800 GBq) jsou získávány vyhříváním „getteru“ reakční komory na teplotu 460 až 650 °C. Emise 14,1 MeV neutronů je regulovatelná kombinací změny vysokého napětí, teploty vyhřívání getru a míry chlazení v rozsahu od  $10^8$  do  $10^{10} \text{ s}^{-1}$ . NG lze provozovat v kontinuálním nebo pulzním režimu. Při provozu s max. emisí neutronů je tepelný ztrátový výkon 24 kW a udávaná životnost D-T náplně min. 10 000 hod. NG byl pořízen v rámci řešení projektu SUSEN.

Pro monitorování emise 14,1 MeV neutronů byl otestován neutronový detekční systém s rychlou odezvou pracující v proudovém režimu, tj. bez mrtvé doby. Systém se skládal z měřiče malých proudů TEMA LCM310 s  $^{10}\text{BF}_3$  kompen-

zovanou ionizační komorou (IK) typu KNK-56. Vzorkovací interval měření byl volen od 1 ms do 1 s. IK měla citlivost na tepelné neutrony  $4 \cdot 10^{-13} \text{ A/nv}$ , průměr 50 mm, délka aktivního objemu 525 mm. IK byla umístěna ve středu dutého PE válce o tloušťce stěny 80 mm, který byl použit pro moderaci rychlých 14,1 MeV neutronů na tepelné. Optimální tloušťka stěny PE válce a vzdálenost IK od emisní zóny NG byla stanovena výpočtem pomocí transportního kódu MCNP6. Doprovodná emise fotonů z NG byla potlačena umístěním olověných prstenců vně reakční komory NG.

Při testování byly získány poznatky nejenom o dynamické odezvě detekčního systému pro různé emise neutronů a různé polohy IK vzhledem k NG, ale i o míře aktivace konstrukčních materiálů a možném elektromagnetickém rušení. Testy prokázaly, že proudovým neutronovým detekčním systémem LCM310 s IK typu KNK-56 doplněnou o PE moderátor lze kontinuálně měřit relativní emisi 14,1 MeV neutronů v širokém rozsahu provozních stavů NG.

# Rychlý dvouparametrický spektrometrický systém pro měření ve směsných polích n/g

Zdeněk Matěj<sup>1,4</sup>, Michal Košťál<sup>2</sup>, František Cvachovec<sup>3</sup>, Václav Přenosil<sup>1</sup>, Ondřej Herman<sup>1</sup>, Filip Mravec<sup>1</sup>, Martin Pavelek<sup>1</sup>, Martin Veškrna<sup>1</sup>, Aleš Jančář<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Masarykova univerzita, Brno, ČR

<sup>2</sup> Centrum výzkumu Řež s. r. o., Hlavní 130, Husinec-Řež, 250 68, ČR

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

<sup>4</sup> VF, a. s., Svitavská 588, Černá Hora, 679 21, ČR

[xmatejz@mail.muni.cz](mailto:xmatejz@mail.muni.cz)

V rámci projektu TAČR ALFA TA01011383 spolufinancovaného Technologickou agenturou České republiky vznikl za spolupráce s firmou VF, a. s. produkt dvouparametrického spektrometrického systému. Společně s CVŘ Řež byl tento systém testován i v prostředí experimentálního reaktoru LR-0.

Nově vyvinutý dvouparametrický spektrometrický systém umožňuje měřit ve směsném poli záření gama a neutronů energetická spektra jak pro gama záření, tak i pro neutrony v režimu online i offline. Při měření je využito několik různých zesílení výstupního signálu z detektoru, což umožňuje dosahovat většího dynamického rozsahu měření. Díky použití rychlých převodníků signálu z analogového na digitální (> 1 GS/s) v kombinaci s programovatelným hradlovým polem (FPGA) je možné zpracovávat data v online módu až do četností 105 imp./s. Při měření je možné k zařízení při-

stupovat vzdáleně a kontrolovat nebo upravovat parametry pro měření či zpracování.

Několik experimentů provedených ve speciální aktivní zóně v reaktoru LR-0 ověřilo funkčnost navrženého systému. Vedle toho bylo dosaženo i poměrně dobré shody mezi experimentem a vypočteným spektrem, které bylo v tomto případě blízké štěpnému spektru <sup>235</sup>U. Jednalo se o speciální zónu, s dobře popsáním spektrem používanou i k ověřování vybraných účinných průřezů.

Tento dvouparametrický systém pro směsné pole záření gama a neutronů přináší mnoho výhod oproti analogovému systému. Měření neutronových energetických spekter je možné využít nejen pro experimentální reaktory, ale i pro mnoho dalších aplikací. Například pro cyklotrony, bezpečnostní detekční rámy nebo pro měření ve skladech vyhořelého paliva.

## Odezva pasivních detektorů k vysokoenergetickým neutronům

Iva Ambrožová, Kateřina Pachnerová Brabcová, Marie Davidková

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

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

Při interakcích vysokoenergetických částic s látkou, jako tomu je například během hadronové terapie, za stíněním urychlovačů vysokých energií či při interakci kosmického záření, mohou vznikat neutrony s energií až několik stovek MeV. Spektrum neutronů má zpravidla, zejména po průchodu velmi silným stíněním, dvě hlavní energetické oblasti – kolem 1 a 100 MeV. Pro detektory používané pro měření v takovýchto polích je nejprve třeba stanovit jejich odezvu v referenčních neutronových polích. To bylo cílem i kampaně Euradosu organizované v roce 2011 v laboratoři iThemba v Jihoafrické republice.

Příspěvek se zabývá studiem odezvy detektorů stop v pevné fázi (Harzlas TD-1) a několika druhů termoluminiscenčních detektorů ( $\text{CaSO}_4\cdot\text{Dy}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{C}$ ,  $\text{LiF}\cdot\text{Mg,Cu,P}$  obo-

haceného o  ${}^6\text{Li}$  a  ${}^7\text{Li}$ ) k neutronům o energii 60 a 100 MeV. Kombinace těchto detektorů se často používá ke stanovení dozimetrických charakteristic v různých směsných polích záření, např. i na Mezinárodní kosmické stanici, kde lze očekávat vysokoenergetické neutrony.

Odezva všech TLD byla velmi nízká, často jen na úrovni pozadí. Při měření ve směsných polích záření je možné TLD signál k neutronům s energií několik desítek až stovek MeV považovat za zanedbatelný. Pro detektory stop nebyl pozorován významný rozdíl mezi 60 a 100 MeV neutrony. Příspěvek k dávce a dávkovému ekvivalentu od částic s lineárním přenosem energie menším než  $100\text{ keV}/\mu\text{m}$ , které odpovídají převážně odraženým protonům, tvoří zhruba polovinu celkového.

## Rádionuklidy v atmosfére Bratislavy – meranie, variácie a ich aplikácie

Karol Holý, Ivan Sýkora, Alexander Šivo, Pavel P. Povinec, Miroslav Ješkovský, Monika Müllerová, Martin Bulko, Marta Richtáriková

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

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

V prízemnej vrstve atmosféry Bratislavy boli dlhodobo monitorované koncentrácie  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  a  $^{222}\text{Rn}$ . Objemové aktivity  $^7\text{Be}$  vykazovali maximá koncom jari až začiatkom leta s priemernou hodnotou  $2,4 \text{ mBq/m}^3$ . V ostatných rokoch bol zistený pokles výšky letných maxim  $^7\text{Be}$ . Pomer objemových aktivít  $^7\text{Be}$  a  $^{210}\text{Pb}$  bol najvyšší počas teplejších mesiacov v dôsledku vertikálnej konvekcie vzdušných mäs z väčších výšok. Ročné priebehy objemových aktivít  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{210}\text{Pb}$  vykazovali maximá v zimných mesiacoch. V rokoch 2003–2010 klesali objemové aktivity  $^{137}\text{Cs}$  s efektívnym polčasom 1,9 roka. Počas rokov 2009–2014 bola priemerná ročná objemová aktivita  $^{137}\text{Cs}$  v atmosfére prakticky konštantná ( $0,25 \mu\text{Bq/m}^3$ ) a tento trend bol narušený len haváriou Fukušimskej jadrovej elektrárne v roku 2011. Zvýšené objemové aktivity  $^{40}\text{K}$  a  $^{137}\text{Cs}$  v zim-

ných mesiacoch môžu byť spôsobené ich resuspenziou zo zemského povrchu a spaľovaním biomasy. Koncentrácie  $^{14}\text{C}$  v atmosfére Bratislavy sú monitorované od roku 1984. Po roku 1993 vykazujú sezónnu variáciu s minimum v zimných mesiacoch a maximum začiatkom leta. V súčasnosti sú  $^{14}\text{C}$  koncentrácie v atmosfére približne 3 % nad prírodnou úrovňou. Ročné priebehy objemovej aktivity  $^{222}\text{Rn}$  vykazovali minimum na jar a maximum na jeseň až v zimných mesiacoch. Pomer objemových aktivít  $^{210}\text{Pb}$  a  $^{222}\text{Rn}$  bol najvyšší na konci zimy až na jar, pričom od júna do decembra bol prakticky konštantný. To môže byť spôsobené rozdielmi v riadení plynov a aerosólov v atmosfére počas roka. Na základe pomeru  $^{210}\text{Pb}/^{222}\text{Rn}$  bol určený priemerný rezidenčný čas zotrvania aerosólov v atmosfére na úrovni 4,5 dňa.



# Termoluminiscenční vlastnosti Mg kodopovaných scintilátorů na bázi epitaxních filmů multikomponentních granátů

Petr Průša<sup>1,2</sup>, Miroslav Kučera<sup>3</sup>, Federico Moretti<sup>4</sup>, Anna Vedda<sup>4</sup>, Martin Hanuš<sup>3</sup>, Zuzana Lučeničová<sup>3</sup>, Martin Nikl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fyzikální ústav AVČR, Cukrovarnická 10, Praha 6, 160 00, ČR

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

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

<sup>4</sup> Dipartimento di Scienza dei Materiali dell' Università di Milano "Bicocca", Via Cozzi 53, Milano, 20 125, Itálie

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

Před přibližně pěti lety se díky strategii tzv. „band-gap engineeringu“ zrodil nový typ scintilátoru na bázi granátů,  $(\text{Lu}, \text{Y}, \text{Gd})_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ . Oproti původnímu  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  (YAG:Ce) vykazuje vyšší světelný výtěžek, lepší energetickou rozlišovací schopnost i vyšší detekční účinnost pro fotony. Ve srovnání s  $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  (LuAG:Ce) má vyšší světelný výtěžek, lepší energetickou rozlišovací schopnost a rychlejší odezvu se sníženou intenzitou pomalých složek dosvitu.

Paralelní strategií zlepšování parametrů scintilátorů je „defect engineering“. Ve výzkumech posledních dvou let se u granátů významně uplatňuje v podobě kodopování hořčíkem. Mg kodopace vede u všech granátů k dalšímu potlačení pomalých složek dosvitu, u LuAG:Ce a YAG:Ce i ke zvýšení světelného výtěžku.

Vlastnosti defektů nejsou závislé jen na chemickém složení scintilátoru, ale též technologii výroby. Známým faktem je nižší koncentrace pastí u granátů vyrobených epitaxi z kapalně fáze oproti monokrystalům. Nižší koncentrace

pastí se též projevuje potlačáním pomalých složek scintilačního signálu.

Metoda výroby, Mg kodopace i „band-gap engineering“ ovlivňují vlastnosti pastí zasahujících do fáze transportu scintilačního procesu. Může se jednat o hloubku pastí, jejich koncentraci či schopnost účinně zachytávat nosiče náboje.

K nejpoužívanějším metodám měření vlastnosti pastí patří termoluminiscence. Ve studii prezentujeme měření spektrálně rozlišená i nerozlišená, nad i pod pokojovou teplotou. Sledována je hlavně závislost výsledků na koncentraci Mg.

Byl pozorován výrazný pokles s rostoucí koncentrací Mg, a to takřka k hranici experimentálních možností. U materiálů, které představují jedinečnou kombinaci tří uvedených přístupů, s nejnižším afterglow mezi granátovým scintilátory, jde o výsledek v souladu s očekáváním.

Práce byla podpořena z GA CR, projekt 16-15569S a EC, H2020-TWINN-2015, no. 690599(ASCIMAT).

# Moderní radiační technologie NUVIA pro monitorování situace při radiačních nehodách

**Petr Sládek, Jan Surý**

Radiační ochrana a monitoring, Výzkum a vývoj, NUVIA a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

[jan.sury@nuvia.cz](mailto:jan.sury@nuvia.cz)

NUVIA a. s. has focused on development of technologies for radiation monitoring following a nuclear accidents and radiation emergencies over recent years. Such products extend the portfolio of new trademark NUVIATECH Instruments. This technology has been introduced on exhibition RAD-TECH 3000. The live demonstration of different airborne, mobile and stationary monitoring systems was prepared within cooperation of NUVIA a. s., NBC Defence institute (University of Defence), National Radiation Protection Institute, Air Force and Air Defence Military Technical Institute and other subjects. The concept of this exhibition was prepared as a model emergency situation with a loss of control over a source of ionizing radiation. The show was intended mainly to specialist of CBRN, members of emergency response services and units of the National Integrated Rescue System.

The current State-Of-The-Art Technology of NUVIA-TECH Instruments demonstrated within the frame of exhibition includes:

NuHLS IRIS Airborne (Integrated Radiation Information System), NuEM DRONES-G (Drone Gamma Spectroscopy Module), NuHLS IRIS Mobile, NuHLS PORTAL D, NuEM RAMS and RAMSAT, NuLAB MORA VAN and Field laboratory AL-2R and NuHLS PGIS-2 and PDOSE.

Research and development activities within the NUVIATECH Instruments are focused on topical areas of radiation monitoring and measurements such as implementation of new detectors with high sensitivity and energy resolution, real-time spectrum processing, analyses and radionuclide identification, field and mobile application of gamma spectroscopy systems and many others.

## Nové možnosti v monitorování starých zátěží po uranovém průmyslu

Miriam Slezáková<sup>1</sup>, Karel Jílek<sup>1</sup>, Jaromír Neubauer<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> DIAMO s. p., o. z. TÚÚ, Pod Vinicí 84, Stráž pod Ralskem, 471 27, ČR

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

Doposud nedořešenou otázkou spojenou s existencí starých zátěží po těžbě v uranovém průmyslu je problematika zajištění vhodného venkovního monitoringu, jak relevantních venkovních pracovišť, tak populace v jejich blízkém okolí.

V prezentaci bude nejprve krátce představena venkovní měřicí stanice, umožňující kontinuální měření mj. také atmosférických hodnot radonu, jeho krátkodobých produktů pře-

měny a příkonu fotonového dávkového ekvivalentu. Poté budou ilustrovány a diskutovány výsledky z víceletého venkovního měření stanicí, umístěné v areálu SÚRO, ročního venkovních měření v blízkosti odkališť v areálu Diamo s. p. – TÚÚ Stráž p. Ralskem a měsíčního měření v okolí „haldy“ ve vesnici Brod u Příbrami.

# Měření radiačních veličin s užitím nízkoletící multikoptéry (dronu) v oblastech postižených hornickou činností spojenou s dobýváním a úpravou uranových rud

Radek Černý, Ladislav Němeček, Petr Otáhal, Josef Vošahlík, Ivo Burian

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

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

Využití bezpilotního létajícího prostředku – multikoptéry (dronu) pro proměření prostorového dávkového ekvivalentu v zájmové oblasti má řadu výhod. Mezi tyto výhody patří zejména možnost využití měření v tzv. automatickém módu s předem nastavenými parametry letové trasy. Tímto je umožněno provádět měření v pravidelné měřicí síti umožňující dostatečné navzorkování zájmové oblasti. Využití automatického módu zajišťuje též výbornou reprodukovatelnost prováděných měření. Další výhodou leteckého měření je možnost měřit i v místech, která jsou pro pozemní pochůzkové měření dostupná pouze s obtížemi, či přímo nedostupná (např.: nestabilní terén, špatná prostupnost atd.). Z těchto důvodů se pracovníci Odboru jaderné ochrany SÚJ-CHBO v. v. i. v současné době intenzivně věnují praktickému zavedení postupů měření s využitím bezpilotního létajícího

prostředku pro postsanační monitoring oblastní postižených dobýváním a úpravou uranových rud. Tento výzkum je prováděn v rámci projektu: TB05SUJB001: Mapování a kontrola radiačních veličin (s využitím multikoptéry – DRON) v rámci kontroly provedené sanace po těžbě a úpravě uranové rudy v o. z. TÚÚ, s. p. DIAMO Stráž pod Ralskem. V rámci řešení tohoto projektu jsou zaváděny postupy proměření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu v zájmové oblasti, postupy pro případnou lokalizaci zdroje záření a jeho identifikaci s využitím spektrometrického měření záření gama. V příspěvku bude prezentována používaná technika pro měření, první výsledky provedeního monitoringu na sanovaných plochách v o. z. TÚÚ, s. p. DIAMO Stráž pod Ralskem společně s diskuzí postupů použitých ke zpracování a vizualizaci výsledků.

## Robotický systém pro CBRN mise

Luděk Žalud, Tomáš Lázna

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, Brno, 601 90, ČR

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

Príspevek predstavuje autonómne teleprezenční robotický systém ATEROS vyvíjený na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií na VUT v Brně. Jedná se o multirobotický systém pro autonomní nebo supervizovaný průzkum člověku nedostupných nebo nebezpečných oblastí. Mezi jeho možná využití patří tvorba 3D mapových podkladů, vyhledávání a zachraňování osob, ale také zjišťování kontaminace v prostředí – chemické a biologické znečištění, radiace (CBRN).

ATEROS je složen z řídicí stanice s jedním či více operátory a skupiny heterogenních robotů – malý i velký průzkumný robot, mapovací robot, dron. Pro imersivní a intuitivní ovládání systému bylo vyvinuto pokročilé uživatelské rozhraní používající rozšířenou realitu a teleprezenci.

Novým přírůstkem do systému ATEROS je robot Morphus, který byl konstruován s ohledem na potřeby detekce, plošného měření a vyhledávání zdrojů CBRN hrozeb. Díky použití speciálních motorů v discích kol má robot značný volný prostor v prostřední části, který je možné využít pro

umístění snímačů. Výhodou tohoto uspořádání je nižší míra stínění konstrukcí robotu.

Systém ATEROS umožňuje mimo jiné i plně autonomní mapování intenzity záření gama v předem definované oblasti. V realizovaných experimentech byl robot vybaven citlivým třípalcovým NaI(Tl) detektorem a vysoce přesnými vektorovými RTK-GNSS přijímači. Zadáání mise spočívá v definici mapované oblasti, přičemž s využitím více polygonů je možné pokrýt oblast obecného tvaru. Z naměřených dat je možné interpolovat plošnou radiální mapu a odhadnout pozici zdrojů s přesností na jednotky centimetrů.

Výhodou je provázanost systému, který pracuje ve dvou režimech – autonomním a teleprezenčním, přičemž data naměřená v autonomním režimu mohou být zobrazena formou rozšířené reality do brýlí virtuální reality. Operátor tak může vidět např. pozici zdroje radiace a jeho spektrum. V současné době se náš tým zabývá optimalizací algoritmů pro autonomní vyhledání zdrojů radiace.

## Matematická korekce neúplného sběru náboje při měření spekter

Dana Kurková, Libor Judas

Odbor lékařských expozic, rentgenová laboratoř, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

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

The energy spectra measured with semiconductor detectors suffer from various distortions, one of them is tailing caused by the incomplete charge collection.

The analytically built matrix was constructed for the correction of incomplete charge collection in x ray energetic tube spectra using the model of Hecht equation. Spectra of “narrow spectrum series” beams, N120 and N150 realized with the tube voltages 120 kV and 150 kV measured with the CdTe detector were corrected. The correction matrix was constructed to be applied separately from other possible spectral corrections but the correction of incomplete charge collection can be incorporated into the response matrix of the detector with the same effect.

Parameters of Hecht equation are trapping lengths of charge carriers (electrons and holes mean drift paths) in the semiconductor type detector which depend on the quality of the crystal, especially the presence of defects in the crystal

lattice and impurities. The literary search was done with respect to the values of trapping lengths of charge carriers in CdTe crystal.

Correction was tested and optimized on the line spectra of  $^{57}\text{Co}$ , where the best results were obtained by setting the mean free paths of holes in the range of 0.4–0.9 cm with its individual contribution weighted by Gauss function. These parameters were then used for x ray spectra correction.

Unfavourable factor accompanying application of correction of incomplete charge collection on the x ray spectra is the increase of noise-like oscillations in corrected spectra. Reduction of oscillations can be done by smoothing the spectra using the Gauss filter.

N120 and N150 spectra after correction qualitatively and quantitatively better correspond with the available reference data.

## Analysis of signal drifts at Co Self-powered neutron detectors

Matúš Saro, Róbert Hinca, Martin Oravkin, Vladimír Slugeň

Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave, Ilkovičova 3, Bratislava, 034 81, SR

[matus.saro@stuba.sk](mailto:matus.saro@stuba.sk)

Self-powered neutron detectors (SPND) are important part of in-core measurements in majority of nuclear power plants (NPP), where radial fluctuation of neutron flux is common. Usually, measurement chains with SPND provide input for safety related systems in NPP such as protection system or reactor control surveillance and limitation system. This means that output from these chains has to be as accurate as possible. From operation data could be seen that some of Co SPNDs showed unexpected behavior at begin-

ning of their life cycle in reactor. Analysis of operational data and laboratory tests of Co SPND showed presence of water in insulation of detector. This paper is devoted to determination of water presence effect on signal drift using simulation tool Geant4. The simulation results showed connection between Co SPND signal drift and water presence effect, however this effect has only minor contribution to this phenomena.

## Digitální spektrometr pro neutronovou dozimetrii

Aleš Jančář<sup>1</sup>, Zdeněk Kopecký<sup>1</sup>, Zdeněk Matěj<sup>1,2</sup>, Martin Veškrna<sup>1,2</sup>, František Cvachovec<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Masarykova univerzita, Brno, ČR

<sup>3</sup> Univerzita obrany, Brno, ČR

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

V tomto příspěvku se zabýváme neutronovou dozimetrií s využitím nově vyvinutého dvouparametrického digitálního spektrometru NGA-01. Kvalita pulsní tvarové diskriminace (PSD) spektrometru byla ověřena v rámci dvou experimentálních měření s různými neutronovými energiemi. Spektrometr NGA-01 je konstruován modulárně což umožňuje jeho široké využití při měření směsných polí fotonů a neutronů. Výstupní signál z detektoru je připojen na analogový vstup zesilovače a rozdělené do dvou měřících kanálů s různým zesílením. Signály z měřících kanálů jsou digitalizovány rychlým analog-digitálním převodníkem. Digitalizované signály

z měřících kanálů jsou sloučeny do jednoho kompozitního kanálu s vysokým digitálním rozlišením v širokém dynamickém rozsahu energií.

Experimentální měření sekundárních neutronů byla provedena se scintilačním detektorem NE-213 a to v laboratoři s Van de Graaff urychlovačem, kde byl využit experimentální měřící kanál s maximální kinetickou energií sekundárních neutronů 17 MeV. Další měření byla provedena na protonovém centru, kde sekundární neutrony vznikající při interakci primárního svazku protonů s plastovým fantomem v energetickém rozsahu od 100 do 200 MeV.



## Perspektivní scintilátory pro detekci a spektrometrii neutronů

František Cvachovec<sup>1</sup>, Daniel Sas<sup>1</sup>, Václav Přenosil<sup>2</sup>, Zdeněk Matěj<sup>2</sup>, Filip Mravec<sup>2</sup>, Martin Veškra<sup>2</sup>, Václav Vacek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UOPZHN, Univerzita obrany, Kounicova 65, Brno, 662 10, ČR

<sup>2</sup> Fakulta informatiky, Masarykova univerzita, Botanická 12, Brno, 612 00, ČR

[frantisek.cvachovec@unob.cz](mailto:frantisek.cvachovec@unob.cz)

Příspěvek přináší výsledky výzkumu některých vlastností kapalného scintilátoru AquaLight AB a plastického scintilátoru EJ 299-33A. Zkoumala se zejména schopnost scintilátorů odlišit neutronovou a fotonovou složku směsného pole. Zmíněná vlastnost byla nalezena u obou scintilátorů pro rychlé neutrony a fotony. Zdrojem směsného pole bylo <sup>252</sup>Cf. Dále se prokázaly spektrometrické vlastnosti pro obě složky směsného pole, i když energetické rozlišení je horší než např. u krystalického stilbenu a spíše je srovnatelné s kapalným

NE-213 (resp. BC-501). V případě kapalného AquaLight AB lze přidáním vhodné sloučeniny obsahující např. <sup>10</sup>B nebo <sup>6</sup>Li navíc získat detektor tepelných/pomalých neutronů. Detektor tohoto typu lze upravit pro zaznamenání celkové energie detekovaného neutronu (černý detektor), pokud neutron skončí svoji historii reakcí na <sup>10</sup>B resp. <sup>6</sup>Li ploidí nabitou částicí. Výsledky byly získány dvouparametrickým digitálním spektrometrem FD-11 ŠOHAJ realizovaným v rámci projektu TAČR SPEKTRUM.

## Dozimetrie radionuklidů pomocí radiochromních gelů

Jaroslav Šolc, Ludmila Burianová, Martin Kačur, Vladimír Sochor

OI Praha, pracoviště IZ, Český metrologický institut, Okružní 31, Brno, 638 00, ČR

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

Projekt „Metrology for molecular radiotherapy“, který probíhal v letech 2012–2015 v rámci programu „European Metrology Research Programme“, se zabýval metrologií dozimetrie radionuklidů v molekulární radioterapii (MRT). Úkolem jedné části projektu bylo studium možnosti využití radiochromních gelových dozimetrů pro stanovení absorbované dávky od radionuklidů s cílem validovat Monte Carlo modely a postupy používané v MRT. Testovány byly Frickeho gelový dozimetr s xylenolovou oranží (FX gel) a dozimetr na bázi Turnbullovy modře (TB gel), do nichž byly přimíchány sloučeniny, které slouží jako nosiče radionuklidů  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{90}\text{Y}$  a  $^{131}\text{I}$  používaných v MRT. Bylo zjištěno, že ze 3 testovaných nosičů (bez radionuklidu) nezmění optické, chemické a dozimetrické vlastnosti FX gelu pouze

nosič  $^{177}\text{Lu}$ . S TB gelem nelze použít nosič žádný, protože všechny testované nosiče způsobují významné zvýšení spontánního pozadí gelu anebo sražení gelu. Následné experimenty s radionuklidem  $^{177}\text{Lu}$  přimíchaným do FX gelu ukázaly na rozdíl v hodnotě absorbované dávky v gelu od  $^{177}\text{Lu}$  mezi Monte Carlo simulací a experimentem na úrovni 10 %. Nejistota měření však byla vyčíslena na 11 %. Největším příspěvkem do celkové nejistoty měření byla nejistota stanovení absorbované dávky (10 %). Monte Carlo postupy používané v MRT proto nebylo možné pomocí provedených měření s radiochromními gely validovat z důvodu významného zvyšování spontánního pozadí FX gelu v průběhu ozařování, které nebylo možné snížit ani při opakovaných měřeních.

## Dozimetrické vlastnosti sond NuDET

Tomáš Grísa, Ján Kubančák

Divize radiometrických systémů, NUVIA a. s., Modřínová 1094, Třebíč, 674 01, ČR

[jan.kubancak@nuvia.cz](mailto:jan.kubancak@nuvia.cz)

V příspěvku bude prezentován souhrnný přehled výsledků srovnávacích měření různých typů sond NuDET. Kromě porovnání odezev jednotlivých detektorů ve standardně dostupných polích ionizujícího záření je prezentováno i srovnání jejich odezev v nestandardních polích – nulovém radi-ačním poli nebo v poli s eliminovanou terestriální kompo-nentou.

V experimentech jsme použili tři typy sond NuDET, konkrétně: a) sondu EMG-02E (GM sonda založená na trubi-cích LND 71210 a LND 7149; použitelná v rozsahu příkonu  $H^*(10)$  50 nSv/h až 20 mSv/h); b) sondu EGM-104 (GM

sonda založená na trubicích LND 7807 + LND71210 + LND 71632; použitelná v rozsahu příkonu  $H^*(10)$  10 nSv/h až 20 mSv/h); a c) sondu ENA-03 (NaI(Tl) sonda s 3" kry-stalem; otestovaná v rozsahu příkonu  $H^*(10)$  50 nSv/h až 20 mSv/h).

Experiment ukázal, že hlavně v oblasti příkonů  $H^*(10)$  pod 50 nSv/h pozorujeme u měřených hodnot značné odchylky. Přirozeně, tyto odchylky byly očekávané a jejich detailní rozbor spolu s rozbohem dalších měření je součástí konferenčního příspěvku.

# Použití scintilačního krystalu YAP:Ce pro spektrometrii alfa za standardních atmosférických podmínek

Tomáš Urban

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

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

Díky vysoké mechanické i chemické odolnosti scintilačního materiálu YAP:Ce ( $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ ) je možné jeho použití i v těžkých provozních podmínkách (např. in-situ měření v uranových dolech). V rámci příspěvku jsou prezentována pilotní měření spekter alfa částic emitovaných dceřinými produkty vzdušného  $^{222}\text{Rn}$  naměřená scintilačním krystalem průměru 25 mm a tloušťky 0,1 mm ve spojení s fotonásobičem Hamamatsu R111, HV/AMP, resp. MCA 1 024 kanálů. Dceřiné produkty radonu byly zachytávány na Milipore filtru typu AA (efektivní průměr 19 mm, tloušťka 0,8  $\mu\text{m}$ ). Energetická kalibrace sestaveného spektrometru byla provedena s využi-

tím naměřených spekter alfa částic emitovaných při přeměně  $^{241}\text{Am}$  a  $^{230}\text{Th}$  v různých vzdálenostech zdroje od detektoru. Výsledky naměřených spekter jsou porovnány s energetickými distribucemi odhadnutými na základě Monte Carlo simulací. Využití experimentálních i teoretických výsledků pro spektrometrii alfa za atmosférických podmínek – např. v provozních podmínkách uranového hornictví – je v příspěvku dále diskutováno.

Příspěvek vznikl za podpory Jiřího Kvasničky ze společnosti RDS (Adelaide, Austrálie) a společnosti CRYTUR spol. s r.o. (Turnov, Česká republika).

# Měření spekter v širokém energetickém rozsahu na výzkumném reaktoru LVR-15

Ladislav Viererbl, Vít Klupák, Zdena Lahodová, Antonín Kolros

Centrum výzkumu Řež s. r. o., ČR

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

Výzkumný reaktor LVR-15 v Řeži je významný zdroj neutronů, který slouží jako multifunkční zařízení k vědeckým a komerčním aplikacím. Jedním ze sledovaných aspektů je radiační situace v okolí reaktoru. V budově reaktoru ve třetím patře v místnosti 302b bylo provedeno měření amplitudových spekter impulzů s pomocí dvou typů scintilačních detektorů. Jednalo se o scintilátory NaI(Tl) (rozměry  $\phi$  40 mm  $\times$  50 mm) a plastický scintilátor ( $\phi$  76 mm  $\times$  76 mm). K detekci světelných impulzů byl použit fotonásobič s průměrem fotokatody 40 mm a mnohokanálový amplitudový analyzátor. Detektor byl umístěn u okna, ve vzdálenosti cca 30 m od aktivní zóny reaktoru, a oddělen vodou primárního okruhu v reaktorovém bazénu, biologickým stíněním, stěnou budovy a dalším konstrukčním a stavebním materiálem.

Spektrum bylo energeticky kalibrováno zářením gama s energií 662 keV emitovaným radionuklidem  $^{137}\text{Cs}$ . Spek-

trum bylo měřeno v rozsahu 30 keV až 1000 MeV. Vzhledem k takto širokému rozsahu energií bylo nutné spektrum měřit při několika zesíleních spektrometrického řetězce, což bylo provedeno změnou VN na fotonásobiči. Výsledné spektrum pak bylo složeno z takto získaných dílčích spekter. Měření byla provedena jak při odstaveném reaktoru LVR-15, tak za jeho provozu. Relativním srovnáním těchto dvou naměřených amplitudových spekter impulzů lze rozlišit tři oblasti: 1) 30 keV až 2.5 MeV – spektrum za provozu reaktoru je zde zhruba o 10 % vyšší, převládá terestriální záření gama. 2) 3 MeV až 8 MeV – spektrum za provozu reaktoru je o více než 50 % vyšší, výrazně se uplatňuje promptní záření gama a záření gama z krátkodobých neutrony aktivovaných radionuklidů. 3) 10 MeV až 1000 MeV – v mezích statistické chyby nebyl pozorován rozdíl mezi naměřenými spektry, tato část spektra souvisí s impulsy vznikajícími interakcemi převážně s kosmickým zářením.

# Letecké monitorování $^{137}\text{Cs}$ z havárie černobylské elektrárny v oblasti Šumavy

Irena Češířová, Lubomir Gryc, Jan Helebrant, Marcel Ohera

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

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

Již řadu let probíhá letecké monitorování oblasti Šumavy, kde díky vyššímu počernobylskému spadu je aktivita  $^{137}\text{Cs}$  v půdě stále měřitelná. Tato měření slouží jednak k udržování havarijní připravenosti leteckých a pozemních skupin a zároveň ke sledování stavu kontaminace  $^{137}\text{Cs}$  v této oblasti.

K měření se využívá letecký gamaspektrometr IRIS, výrobce Pico Envirotec, Inc. Canada, se  $4 \times 4$  litry NaI(Tl) krystaly. Měření probíhá ve spolupráci s Armádou České republiky, 314. centrem výstrahy ZHN, které zajišťuje leteckou techniku a je rovněž vybaveno identickým leteckým gamaspektrometrem. Obě letecké skupiny (SÚRO, AČR) jsou součástí Radiační monitorovací sítě ČR.

Vyhodnocení dat z leteckého spektrometru je provedeno gamaspektrometrickým softwarem PRAGA4 dodaným rovněž firmou Pico Envirotec, Inc. Software umožňuje vyhodnotit data několika různými metodami – metodou oken, metodou nejmenších čtverců, NASVD, MNF a současně provést korekci na kosmické záření a příspěvek pozadí od

vrtulníku. V posteru jsou prezentovány výsledky měření za období 2012 až 2016. Je zde předveden vliv vyhodnocovacích metod a korekce na kosmické záření na výsledné aktivity.

V roce 2016 proběhla dvě měření, první v zimním období při sněhové pokrývce (cca 5 cm) a v září probíhalo společné měření s německou leteckou skupinou z Bundesamt für Strahlenschutz, kdy byly vyčleněny dva polygony v oblasti Šumavy.

Součástí leteckého monitorování je i měření pomocí polovodičového gamaspektrometrického systému, který je neodmyslitelnou součástí v případě komplikovaného radionuklidového složení. Všechna letecká měření jsou porovnávána s pozemními měřeními v uvedené oblasti.

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu Technologické agentury ČR: TE01020445 – Centrum rozvoje technologií pro jadernou a radiační bezpečnost: RANUS-TD.

# Metody zpracování gama spektrometrických dat z monitorování pomocí malých bezpilotních prostředků

Jaroslav Kluson<sup>1</sup>, Lenka Thinová<sup>1</sup>, Tomáš Brunclík<sup>2</sup>, Tomáš Svoboda<sup>1</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)

Letecká monitorování umožňuje rychlé mapování rozložení dávkových příkonů na rozsáhlých plochách a v případě letecké gama spektrometrie i mapování koncentrací radionuklidů na takových plochách. Ke stanovení dávkových příkonů a/nebo koncentrací radionuklidů z dat ze scintilační spektrometrie gama byla vyvinuta dekonvoluční metoda, využívající modelové matice odezvy použitého detekčního systému, vypočtené metodou Monte Carlo. Metoda byla testována a aplikována na pozemní statická měření s detektorem 3" × 3" NaI(Tl), kdy lze vhodnou dobou měření zajistit dobrou statistiku a na letecké monitorování, 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 kritickým parametrem hmotnost neseného zařízení a není proto možno využít velkoobjemové detektory. Druhý rozhodující parametr – dobu skenu – přitom nelze s ohledem na požadavky prostorového rozlišení prodlužovat.

Cílem práce bylo testovat možnosti dekonvoluční techniky vyhodnocení scintilačních spekter v podmínkách dat s velmi špatnou statistikou. Testování proběhlo na souboru celkem 3183 spekter z monitorování vybraných ploch odka-liště ve Stráži pod Ralskem pomocí leteckého spektrometru D230A (Georadis s. r. o.) vybaveného dvojicí detektorů 2" × 2" NaI(Tl) zavěšeného na dronu. Výška letu byla cca 10 m nad terénem, doba skenu byla 1 s. Příspěvek diskutuje výsledky provedených testů, které prokázaly použitelnost testované metodiky i pro spektra s velmi špatnou statistikou. Vzhledem k tomu, že pro první testování byl vybrán soubor spekter z lokality s vyššími dávkovými příkony, lze zatím konstatovat, že metodika je vhodná přinejmenším pro oblast havarijního monitorování.

Vlastní měření, jejichž výsledky byly v práci využity, byla provedena ve spolupráci se SÚRO, v. v. i. a s podporou státního podniku DIAMO, Stráž pod Ralskem.

# Porovnání různých metod stanovení účinnosti kalibrace polovodičového detektoru HPGe po rychlém nasazení ve vojenské mobilní laboratoři AL-2R

Marcel Ohera<sup>1</sup>, Libor Švec<sup>2</sup>, Daniel Sas<sup>3</sup>, Markéta Němcová<sup>4</sup>

<sup>1</sup> EnviMO, Vlčnovská 16, Brno, 628 00, ČR

<sup>2</sup> J CBRNCOE, Víta Nejedlého 1, Vyškov, 682 01, ČR

<sup>3</sup> Universita obrany, Ústav ochrany proti zbraním hromadného ničení, Víta Nejedlého 1, Vyškov, 682 01, ČR

<sup>4</sup> 31. pluk radiační, chemické a biologické ochrany, Liberec, ČR

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

31. pluk radiační, chemické a biologické ochrany v Liberci je vybaven mobilní laboratoří AL-2R pro radiační monitorování. Součástí je gamaspektrometrický systém s polovodičovým detektorem HPGe firmy Canberra s účinností 20 % pro in-situ měření. Pro rychlé nasazení a získání větší citlivosti byl zapůjčen z Ústavu OPZHN detektor GEM100P4 firmy ORTEC se 100% účinností. U tohoto detektoru byla provedena jen rychlá účinnostní kalibrace s využitím metody Helfer-Miller v energetickém rozsahu od 200 keV do 2500 keV, která byla vesměs používána u detektorů s nižší účinností (< 40%). Ověření přesnými metodami kalibrace bylo provedeno dodatečně.

U detektoru HPGe GEM100P4-95 firmy ORTEC byla provedena dodatečně účinnostní kalibrace třemi způsoby: a) využitím zdrojů EG3, b) použitím transportního kódu MCNP6 Monte Carlo s využitím popisu detektoru z datasheetu a c) použitím transportního kódu MCNP6 Monte Carlo

s použitím rtg analýzy detektoru a prozařováním silným <sup>60</sup>Co zdrojem. Získané výsledky byly využity jednak pro vzájemné porovnání různých metod stanovení účinnosti kalibrace a budou rovněž využity pro porovnání naměřených hodnot s detektorem GEM100P4 z Ústavu OPZHN a detektorem Canberra BEGe s účinností 20 %, který je ve vybavení mobilní laboratoře.

Z porovnání výsledků je zřejmé, že použitím Helfer-Millerovy metody nebyly zásadně překročeny odchylky stanovené autory této metody i pro HPGe se 100% účinností v energetickém rozsahu 200 keV až 2500 keV. Rovněž tak pro měření in-situ je dostačující stanovení modelu pro výpočet Monte Carlo z dodaného datasheetu firmy ORTEC. Tyto informace budou využity pro probíhající porovnání naměřených hodnot těchto různých armádních gamaspektrometrických systémů.



# Stanovení účinnosti HPGe detektoru pro měření vnitřní kontaminace čistými zářiči beta pomocí Monte Carlo simulací s využitím fantomů UPh-02T a LLNL

Karin Fantínová, Pavel Fojtík

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

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

Běžné metody stanovení čistých zářičů beta přítomných v lidském těle vyžadují radiochemickou analýzu biologických vzorků a následné měření in vitro částic beta pomocí kapalného scintilátoru nebo proporcionálního počítače. V případě havarijního monitorování osob je nezbytné zavedení rychlých měřicích metod. Proto byla zkoumána možnost stanovení aktivity čistého zářiče beta  $^{90}\text{Sr}$  v lidském těle měřením in vivo pomocí celotělového počítače (CTP). Přestože je tato metoda známa již několik dekad, není v současnosti běžně v praxi používána.

Práce je zaměřena na stanovení účinnosti HPGe detektoru (Ortec GEM-FX), který je součástí systému 4 detektorů CTP, s využitím geometrického fantomu lidského těla UPh-02T a pomocí voxelového modelu torsa antropomorfního fantomu LLNL. Žádný z těchto fyzikálních fantomů není určen pro použití ke kalibracím CTP pro měření čistých zářičů beta, proto byly vyrobeny speciální zdroje  $^{90}\text{Sr}$ , které bylo možné použít s fantomem UPh-02T. Účinnosti detekce brzdného záření pomocí LLNL fantomu byly stanoveny pouze pomocí MC simulací.

Bylo uvažováno několik scénářů distribuce  $^{90}\text{Sr}$  v lidském těle – případ čerstvé kontaminace, kdy je radionuklid distribuován převážně v měkkých tkáních, případ přetrvávající kontaminace, kdy se radionuklid nachází převážně v kostní tkáni a jejich kombinace.

Kostní tkáň je cílové místo depozice Sr v těle po jeho příjmu a postupném přechodu z měkkých tkání. Vzhledem k tomu, že se Sr ukládá v kostech, může vnitřní kontaminace  $^{90}\text{Sr}$  představovat významné zdravotní riziko.

Kromě stanovení účinnosti detekce brzdného záření  $^{90}\text{Sr}$  v měkké a kostní tkáni byly stanoveny účinnosti detekce brzdného záření dalších čistých, resp. téměř čistých zářičů beta  $^{32}\text{P}$  a  $^{89}\text{Sr}$ .

MC stanovení účinností detekce brzdného záření pomocí voxelového modelu LLNL fantomu potvrdilo použitelnost geometrického fantomu UPh-02T a speciálně vyrobených etalonů  $^{90}\text{Sr}$  pro experimentální kalibrace CTP pro měření obsahu  $^{90}\text{Sr}$  v lidském těle in vivo.

# Vylepšenie poloempirickej účinnostnej kalibrácie HPGe detektorov typu BEGe

Andrej Slimák, Martin Lištjak

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

[andrej.slimak@gmail.com](mailto:andrej.slimak@gmail.com)

Gamaspektrometria ako nedeštruktívna analytická metóda ma v súčasnej dobe široké praktické využitie. Jedným zo základných predpokladov dosahovania kvalitných výsledkov meraní je správna účinnostná kalibrácia. V gamaspektrometrickom laboratóriu dozimetrie žiarenia (LDŽ) VUJE, a. s., S-219 sú v súčasnosti využívané najmä poloempirické metódy stanovenia účinností pre merané vzorky.

Skúšobné akreditované LDŽ prevádzkované oddelením Osobnej dozimetrie a dozimetrie životného prostredia je určené pre stanovenie aktivity rádionuklidov emitujúcich žiarenie gama v energetickom rozsahu 50–2000 keV. Súčasťou laboratória sú dve gamaspektrometrické trasy pozostávajúce z tienených polovodičových HPGe detektorov typu BE5030 a BE2820. Pre výpočet účinnosti detekcie pre požadované energetické čiary a tlač výstupných protokolov slúži program SEMEF. Pre výpočet účinnosti detekcie pre individuálnu vzorku cylindrického tvaru je použitý poloempirický model založený na univerzálnej kalibračnej konštante s vyu-

žitím numerického integrovania cez objem vzorky s výškou  $h$  a polomerom  $R$  nachádzajúcej sa v osi detektora.

Uvedený poloempirický model bol v minulosti vytvorený pre stanovenie účinnosti vzoriek meraných na koaxiálnom HPGe detektore (typ ICG 30 od firmy PGT), kde sa správnosť takejto kalibrácie pohybovala v rozmedzí  $\pm 5\%$  pre rôzne vzorky a geometrie merania. Neskôr bol uvedený typ detektora nahradený novším typu BEGe. Pre takýto typ detektora je účinnostný model menej presný. Príspevok popisuje spresnenie poloempirického modelu účinnostnej kalibrácie HPGe detektorov typu Broad Energy. Po prvej úprave modelu sa znížil rozptyl nameraných aktivít od referenčnej úrovne pre rôzne geometrie a detektor typu BE2820 z 13 % na 10 % pre nízke energie (50–200 keV) a zo 7 % na 6 % pre energie nad 200 keV. Rozptyl hodnôt pre typ BE5030 sa znížil z 17 % na 13 % pre nízke energie (50–200 keV) a z 9 % na 7 % pre energie nad 200 keV. Ďalším cieľom je upraviť model tak, aby rozptyl nameraných údajov bol na úrovni cca 5 %.

# Testování multikanálových analyzátorů pro scintilační spektrometrii

Karolína Jurášková<sup>1</sup>, Vojtěch Bednář<sup>2</sup>, Petr Průša<sup>1</sup>

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

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

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

Podle způsobu zpracování signálu lze spektrometrické detekční systémy rozdělit na dva základní druhy, analogové a digitální. Nedílnou součástí spektrometrických tras jsou multikanálové analyzátoři (MCA), jejichž výstupem je požadované energetické spektrum. Speciální odvětví tvoří digitální MCA vyvinuté pouze pro scintilační detektory. Takové analyzátoři se přímo nasouvají na patici fotonásobiče, takže tvoří se scintilační jednotkou kompaktní měřicí systém. Na trhu je v současné době k dispozici několik MCA tohoto typu.

Tato studie byla provedena na popud výrobce analyzátoru NuNA MCB3, který se již v současné době používá ve spektrometrii, ale jehož vývoj dosud neskončil a dále se pracuje na zlepšení jeho vlastností. Analyzátor NuNA MCB3 a

referenční analyzátoři GBS Elektronik base527 a ORTEC digiBASE prošly sérií testů. Jmenovitě byly proměřeny a určeny následující charakteristiky: energetická kalibrační křivka, FWHM, přesnost stanovení mrtvé doby, dlouhodobá stabilita a integrální nelinearita, včetně jejich závislosti na relevantních parametrech, např. časových konstantách, zesílení, četnosti interakcí či teplotě.

I přes nepochybnou praktickou použitelnost všech testovaných MCA pro scintilační spektrometrii, vykazují některé parametry signifikantní rozdíly, jež pramení z rozdílnosti konstrukce MCA a metod zpracování signálu. Výsledky testů přinášejí podněty pro další vývoj hardwaru analyzátoru MCB3.

# Posouzení samoabsorpce záření ve vzorku při laboratorní gama spektrometrii

**Kamila Johnová**

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

[kamila.johnova@fjfi.cvut.cz](mailto:kamila.johnova@fjfi.cvut.cz)

V laboratoři pro spektrometrii záření gama na Katedře dozimetrie a aplikace ionizujícího záření provádíme stanovení koncentrace radionuklidů (přírodních i umělých) v mnoha typech vzorků (stavební materiál, horniny, biomasa atd.). Měření je realizováno ve standardní, tzv. Marinelliho, geometrii pomocí HPGe detektorů. Abychom získávali co nejpřesnější výsledky, pracujeme, mimo jiné, na vylepšení metody stanovení korekčních koeficientů pro samoabsorpci záření ve vzorku a to za využití simulací metodou Monte Carlo, konkrétně kódu MCNP.

Základem tohoto stanovení je relativně přesný model HPGe detektoru získaný na základě technické informace od

výrobce, rentgenových snímků a pokusných měření a simulací. Korekční faktor je funkcí složení materiálu vzorku, jeho hustoty a energie záření. Presentovaný příspěvek odpoví na to, do jaké míry a jakým způsobem je korekce na jmenovaných parametrech závislá pro konkrétní uspořádání v naší laboratoři.

Presentované korekční křivky jsou v naší laboratoři využívány při běžném vyhodnocení vzorků. Vyžaduje-li měření vyšší přesnost, nebo jedná-li se o vzorek nestandardního složení či hustoty, je možné využít hotový model detektoru a spočítat kalibrační křivku přímo pro tento konkrétní vzorek.

# Postupy při zajišťování kvality výsledků zkoušek a kalibrací v laboratoři dozimetrie rentgenového a gama záření SÚRO

**Libor Judas, Martina Vtelenská, Dana Kurková**

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

[libor.judas@suro.cz](mailto:libor.judas@suro.cz)

Laboratoř dozimetrie rentgenového a gama záření Státního ústavu radiační ochrany, v. v. i., trvale zavádí a zdokonaluje postupy řízení kvality, které jsou nezbytné pro zajištění kvality výsledků prováděných zkoušek a kalibrací.

Tyto postupy řízení kvality jsou jednou z klíčových součástí systému managementu kvality SÚRO a vycházejí ze zásad a požadavků uvedených v normě ČSN EN ISO/IEC 17025, v Zákoně o metrologii, v Atomovém zákoně a jeho

navazujících vyhláškách, v metodických pokynech a publikacích Českého institutu pro akreditaci, o.p.s., a v dalších relevantních dokumentech.

V tomto sdělení je stručně představen soubor postupů pro zajišťování kvality výsledků zkoušek a kalibrací v laboratoři dozimetrie rentgenového a gama záření SÚRO a některé vybrané postupy jsou zde detailněji popsány.

# Příprava metodiky pro kalibraci kVp metrů: stanovení praktického špičkového napětí (PPV) pomocí přístroje DYNALYZER IIIU

Denis Dudáš<sup>1</sup>, Libor Judas<sup>2</sup>, Dana Kurková<sup>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

dudasden@fjfi.cvut.cz

Neinvazivní měřiče napětí na rentgence (kVp metry) jsou nezbytnou součástí klinické dozimetrie v radiodiagnostice. Podle české legislativy však nejsou stanovenými měřidly a nepodléhají tak nutnosti periodického ověřování či kalibrace. V České republice tak ani neexistuje jednotná metodika na jejich kalibraci. U řady kVp metrů navíc není zcela jasné, jaký druh veličiny měří. Veličina kVp totiž není přesně definována a má řadu interpretací. Kromě toho nevyovídá nic o kvalitě obrazu. Na začátku tohoto tisíciletí tak vznikla veličina praktické špičkové napětí (z anglického practical peak voltage – PPV), která je definována ve vztahu k výsledné kvalitě obrazu. Je definována analyticky, takže je možné její hodnotu vypočítat z průběhu napětí, ale také fyzikálně, takže ji lze stanovit měřením dozimetrických charakteristik svazku. Tato veličina se stala standardem pro normu ČSN EN 61676, která stanovuje požadavky na funkční charakteristiky neinvazivních měřičů napětí na rentgence.

Přístroj DYNALYZER IIIU představuje vysokonapěťový dělič, který umožňuje zaznamenání průběhu napětí na rentgence a tím i jeho další využití. Součástí přístroje je také vyhodnocovací jednotka, která signál z děliče zpracovává a jednoduchým způsobem vyhodnocuje. V první části práce jsme se zaměřili na studium charakteru hodnot indikovaných vyhodnocovací jednotkou přístroje DYNALYZER IIIU. Dále byla navržena metodika stanovení PPV, kde jsme se snažili najít metodu co nejvíce přímočarou a přesnou. Poslední část práce je pak zaměřena na verifikaci navržené metodiky. Ta se odehrávala ve dvou krocích. V první části jsme srovnávali naše naměřené výsledky s výsledky simulace v programu MCNPX. V kroku druhém byly hodnoty PPV stanovené pomocí námi navržené metodiky srovnávány s hodnotami indikovanými pomocí kalibrovaného neinvazivního měřiče napětí.

# Chromatografická separácia samária a jeho stanovenie pomocou kvapalinovej scintilačnej spektrometrie

Dušan Galanda, Jana Strišovská

Katedra jadrovej chémie, Universita Komenského v Bratislave, PF, KJCH, Mlynská dolina CH-1, Bratislava, 842 15, SR

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

Samárium ako prvok je zaradený do skupiny lantanoidov, ktoré sa vyskytujú v prírode v relatívne nízkych množstvách. Z hľadiska charakterizácie jeho chemických vlastností je známe, že v zlúčeninách sa väčšinou vyskytuje ako trojmocný ión  $\text{Sm}^{3+}$ , ale taktiež je potvrdená existencia vo forme dvojmocného iónu, čím sa podstatne odlišuje od iných vzácnych prvkov. Pri charakterizácii jednotlivých kontaminantov v odpadoch z jadrových elektrární najčastejšie vyskytujúcimi izotopmi samária sú  $^{151}\text{Sm}$  a  $^{149}\text{Sm}$ , známe hlavne ako produkty jadrového štiepenia z čoho je samozrejmé, že sú súčasťou vyhoreného paliva jadrových reaktorov.

V prezentovanej práci predstavujeme modifikovanú metódu na stanovenie samária vo vzorkách rádioaktívnych odpadov. V experimentoch bol použitý izotop samária  $^{147}\text{Sm}$ , ktorý pri rádioaktívnej premene emituje alfa žiarenie s energiou 2 MeV. Principiálne bola rádiochemická separácia samária realizovaná za použitia sorbentov DGA Resin a Ln Resin. Pre kvantifikáciu efektivity separácie boli pri experimentoch použité štandardizované roztoky s aktivitou  $^{147}\text{Sm}$   $1 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Spektrometrická analýza bola prevedená na kvapalnom scintilačnom spektrometri Tri-Carb 2900 TR.

# Projekt „Metrologie pro zavedení dozimetrie radionuklidů do klinické praxe v nukleární medicíně“

Jaroslav Šolc<sup>1</sup>, Ludmila Burianová<sup>1</sup>, Tomáš Vrba<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Český metrologický institut, Okružní 31, Brno, 638 00, ČR

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

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

Nový výzkumný projekt „Metrology for clinical implementation of dosimetry in molecular radiotherapy“ (MRTDosimetry) si klade za cíl vytvořit metrologickou základnu, která umožní aplikovat protokol pro dozimetrii radionuklidů v nukleární medicíně. Projekt probíhající v letech 2016–2019 navazuje na výsledky skončeného projektu „Metrology for Molecular Radiotherapy“ (MetroMRT). Projekt MRTDosimetry je rozdělen na části zabývající se jednotlivými aspekty budoucího protokolu: standardizace aktivity vybraných radionuklidů; využití 3D tisku k vytvoření antro-

pomorfních fantomů s možností vložení standardizovaných radionuklidových zdrojů; příprava volně dostupné webové databáze referenčních snímků ze SPECT a PET-CT; Monte Carlo výpočty a měření absorbované dávky od radionuklidů; analýza nejistot celého řetězce stanovení absorbované dávky. Práce Českého metrologického institutu je zaměřena na standardizaci radionuklidů, výrobu standardních zdrojů a vývoj fantomu vytvořeného pomocí 3D tisku. Výzkumný projekt by měl přispět k lepší a efektivnější cílené léčbě pacientů a k nižším výdajům za léčbu.



# Stripové křemíkové senzory pro měření ve směsných neutron-gama radiačních polích

Tomáš Urban<sup>1</sup>, Tomáš Slavíček<sup>2</sup>, Jiří Hůlka<sup>3</sup>, Angela Kok<sup>4</sup>, Dirk Meier<sup>5</sup>, Petr Mašek<sup>2</sup>, Stanislav Pospíšil<sup>2</sup>, Ozban Koybasi<sup>4</sup>, Tomáš Trojek<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ÚTEF ČVUT v Praze, Horská 3a/22, Praha 2, 128 00, ČR

<sup>3</sup> SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

<sup>4</sup> Stiftelsen SINTEF, Strindvegen 4, Trondheim, 7034, Norsko

<sup>5</sup> Integrated Detector Electronics AS (IDEAS), Gjerdrums Vei 19, Oslo, NO-0484, Norsko

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

V příspěvku je představena vyvíjená detekční jednotka určená pro měření ve směsných neutron-gama radiačních polích. Tato detekční jednotka využívá nové technologie mikro-obrábění křemíku ve spojení s nejnovějším elektronikou pro čtení dat ze stripových křemíkových senzorů.

Na začátku řešení projektu partneři připravili specifikaci parametrů detekčního zařízení podle jeho uplatnění (radiační ochrana, lékařské využití ionizujícího záření, včetně hadronové terapie se zvýšenou citlivostí na neutrony a zobrazování). Na základě této specifikace byly první prototypy detekčního zařízení vyrobeny a testovány v ÚTEF ČVUT v Praze. Partneři ze SINTEF současně s tím vyvíjí sadu

vhodných křemíkových senzorů, jejichž parametry odráží výsledky simulačních výpočtů provedených na KDAIZ FJFI ČVUT v Praze. O obdobnou formu součinnosti šlo i v případě vývoje elektroniky pro čtení signálů ze stripových detektorů společnosti IDEAS, která do projektu vnesla své ASIC čipy VATAGP7.1 a započala s vývojem další generace čipů VATAGP8 vhodnějších pro tento projekt. Paralelně s tím provádí SÚRO, v. v. i. komplexní průzkum specifik prostředí, pro která jsou zařízení vyvíjena.

Tato práce byla podpořena grantem z Norského finančního mechanismu 2009-2014 podle rozhodnutí č.j. MSMT-28477/2014.

# Osobná dozimetria – požiadavky na určenie meradlá a praktické skúsenosti

Norman Durný

Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, 842 55, SR

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

Zostavy na meranie dozimetrických veličín používané v osobnej dozimetrii, a osobné hlásiče vopred nastavenej úrovne dozimetrických veličín a priamo odčítacie osobné dozimetre patria v zmysle zákona o metrologii 142/2000 Z. z. a vyhlášky Úradu pre normalizáciu metrologiu a skúšobníctvo (UNMS) 210/2000 Z. z. medzi určené meradlá pri ochrane zdravia.

Legislatívne požiadavky na tieto druhy meradiel bližšie špecifikuje príloha č. 41 k vyhláške č. 210/2000 Z. z., ktorá pri technických požiadavkách na dané druhy meradiel odkazuje na slovenské technické normy a ostatné technické normy.

Tieto technické normy prešli v poslednom období vývojom a zlúčením viacerých čiastkových do jednej určenej pre všetky pasívne systémy osobnej dozimetrie pre všetky merané veličiny a jednej pre elektronické osobné dozimetre.

Prezentácia sumarizuje najdôležitejšie súčasné technické požiadavky na systémy osobnej dozimetrie a elektronické osobné dozimetre s prihliadnutím na možnosti používateľov týchto meradiel a porovnaním rozdielov pre jednotlivé typy meradiel vychádzajúcich z overovaní meradiel používaných v SR.

# Referenčné radiačné polia Národného etalónu dozimetrických veličín žiarenia gama

**Norman Durný**

Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, 842 55, SR

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

Referenčné radiačné polia realizované ožarovačmi Tema IM6/M a IM4/P a Chizobalt75 ako súčasťou Národného etalónu dozimetrických veličín žiarenia gama tvoria základ pre odovzdávanie dozimetrických veličín na etalóny a meradlá nižších rádov v SR.

Referenčné radiačné polia Národného etalónu dozimetrických veličín žiarenia gama sú realizované v súlade s medzinárodnými odporúčaniami technických noriem STN ISO 4037-1:2004, STN ISO 4037-2:2004, ISO4037-3:2002 a ISO 29661:2012. Sú kalibrované a nadviazané na primárny etalón kermu vo vzduchu SMU a primárny etalón absorbovanej dávky vo vode BIPM. Pokrývajú

potrebné veličiny a rozsahy pre oblasti radiačnej ochrany, radiačnej onkológie a oblasť životného prostredia.

Počas roku 2015 a v roku 2016 bola vykonaná oprava ožarovačov Tema IM6/M a IM4/P s nadväzujúcou rekalibráciou referenčných radiačných polí a príslušných ionizačných komôr v kvalite S-Cs. V roku 2016 bolo realizované nadviazanie sekundárnych etalónových ionizačných komôr pre veličinu absorbovanú dávku vo vode na primárny etalón BIPM.

Dosiahnuté výsledky a ich porovnanie s výsledkami z predošlých rokov, najmä od vyhlásenia v roku 2002, sú predmetom posterovej prezentácie.

## Vplyv geometrie medicínskych rádionuklidov na odozvu ionizačnej komory

Andrej Javorník<sup>1,2</sup>, Jarmila Ometáková<sup>1</sup>, Michaela Zálešáková<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Slovenská technická univerzita SĽF, Námestie slobody 17, Bratislava 1, 812 31, SR

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

Slovenský metrologický ústav (SMU) ako národná metrologická inštitúcia zabezpečuje v zmysle zákona o metrologii 142/2000 Z. z. a vyhlášky Úradu pre normalizáciu metrologiu a skúšobníctvo (UNMS) 210/2000 Z. z. overovanie určených meradiel. Jedným druhom určených meradiel sú meradlá aktivity diagnostických a terapeutických preparátov aplikovaných pacientom in vivo, ide hlavne o tlakové studnicové ionizačné komory.

V súčasnosti je na Slovensku 13 pracovísk nukleárnej medicíny, na ktorých sa vykonáva overovanie takýchto meradiel. V praxi sa stretávame s rôznym prístupom užívateľov k meraniu aktivity pred aplikáciou. Najčastejším spôsobom merania aktivity je meranie v 2 ml a 5 ml striekačkách, ale aj vo vialkách rôznych objemov.

Ionizačné komory sú kalibrované na konkrétnu geometriu a rádionuklid, prípadne niektoré majú možnosť prepnúť

kalibračný koeficient, najčastejšie medzi injekčnou striekačkou a vialkou. V praxi sa však stáva že tieto kalibračné koeficienty sú nastavené na rovnakú hodnotu a túto možnosť zmeny koeficientov užívateľa nevyužívajú.

SMU v rámci zlepšovania kvality poskytovania referencie pri overeniach ionizačných komôr týchto pracovísk vykonal sériu experimentov niektorých medicínskych rádionuklidov na vplyv geometrie k odozve ionizačnej komory. Ukázalo sa, že niektoré rádionuklidy, s väčším podielom nízkych energií vykazujú nezanedbateľnú zmenu odozvy v závislosti od použitej meranej geometrie.

Úlohou tohto posterového príspevku je poukázať na dôležitosť zohľadnenia fyzikálnych aspektov rádionuklidov, ako sú energetická charakteristika, jadrové a chemické vlastnosti.

# Změny podle zákona č. 263/2016 Sb. (atomový zákon) u hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření a zvláštní odborná způsobilost k hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření

Barbora Havránková, Petr Papírník

Oddělení evidencí a hodnocení ozáření, SÚJB, Senovážné nám. 9, Praha 1, 110 00, ČR

[barbora.havrankova@sujb.cz](mailto:barbora.havrankova@sujb.cz)

V návaznosti na přijetí zákona č. 263/2016 Sb. a jeho prováděcích předpisů dojde od 1. 1. 2017 ke změnám i v oblasti vykonávání činností v rámci expozičních situací způsobem hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření.

Příspěvek sumarizuje především hlavní změny v hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření, v tomto případě,

při přijímacích zkouškách a zkouškách dlouhodobé stability, oproti dosavadní právní úpravě a vysvětlení přechodných ustanovení týkajících se výše uvedeného způsobu vykonávání činností v rámci expozičních situací.

## Externí klinické audity ve zdravotnictví – zkušenosti po roce

**Petr Borek, Radim Kříž, Jiří Hlavička**

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

[petr.borek@vf.cz](mailto:petr.borek@vf.cz)

Prezentace shrnuje roční zkušenosti z externích klinických auditů. Popisuje nejen nejčastější zjištění, ale zamýšlí se i nad potřebou sladit metodiky hodnocení jednotlivých subjektů, které audity provádějí.

# Praktické zkušenosti ČSFM, z. s. s prováděním externích klinických auditů v nukleární medicíně

Petra Dostálová<sup>1</sup>, Jaroslav Ptáček<sup>2</sup>, Vít Richter<sup>3</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 Olomouc, ČR

<sup>3</sup> Krajská nemocnice Liberec, ČR

[Petruska.Mihy@seznam.cz](mailto:Petruska.Mihy@seznam.cz)

Česká společnost fyziků v medicíně získala dne 12. 8. 2015 oprávnění k provádění externích klinických auditů pro oblast nukleární medicíny a radioterapie. Od té doby byla provedena řada auditů na pracovištích po celé republice. V oblasti nukleární medicíny provedenou jednalo o celkem 14 auditů, v rámci kterých byla dána řada doporučení a identifikováno několik neshod.

Audit v nukleární medicíně byl vždy prováděn lékařem se specializací v nukleární medicíně, klinickým radiologickým fyzikem pro nukleární medicínu a radiologickým asistentem se specializací v nukleární medicíně. Od auditovaného pracoviště byla požadována přítomnost pracovníků těchto odborností a dohlížející osoby daného pracoviště. Každý audit začínal důkladným studiem dokumentace zasláné pracovištěm. Na místě se pak audit věnoval hlavně praktickému provádění lékařského ozáření. Audit byl vždy zakončen výstupním pohovorem, jehož cílem bylo seznámit pracoviště s předběžnými výsledky. Vždy byl ponechán prostor

k diskusi nad navrženými opatřeními a identifikovanými problémy. Výstupní pohovor je pro auditory i auditované důležitou částí auditu.

Vzhledem k tomu, že dle platné legislativy jsou auditoři odborníci z praxe, nikoli profesionální auditoři, absolvovali všichni auditoři ČSFM, z. s. školení z metodiky provádění auditů dle normy ISO 19011, na kterém získali potřebné znalosti v principech a provádění auditů a v jejich hodnocení.

Protože externí klinický audit má mimo jiné sloužit pro zkvalitnění praxe na pracovištích, odstranění „provozní slepoty“ a k výměně zkušeností mezi pracovišti, byla pracoviště dotazníkem požádána o zpětnou vazbu a zhodnocení přínosnosti auditu provedeného ČSFM, z. s.. Zkušenost ukazuje, že audit prováděný pouze pro naplnění litery zákona pracovišti žádnou přidanou hodnotu nepřináší a tudíž ani nezvyšuje kvalitu postupů při lékařském ozáření na pracovištích v ČR.

## Výsledky pilotní studie on-site nezávislé prověrky radioterapie v oblasti hlavy a krku

Irena Koniarová, Vladimír Dufek, Ivana Horáková

Oddělení radioterapie a rtg laboratoře, SÚRO, v. v. i., Bartoškova 28, Praha 4, 140 00, ČR

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

V roce 2016 proběhla v České republice pilotní studie on-site nezávislé prověrky radioterapie hlavy a krku. Součástí studie bylo provedení průzkumu stavu radioterapie hlavy a krku v České republice formou dotazníkové akce, přičemž oslovena byla všechna pracoviště, která používají pro realizaci léčby modulované fotonové nebo protonové svazky.

Informace z dotazníků byly zohledněny při tvorbě metodiky pro provedení on-site nezávislé prověrky s použitím antropomorfního RANDO fantomu hlavy. Ten byl pro účely prověrky upraven. Byly v něm vytvořeny dva cílové objemy – jeden pro nádor nazofaryngu, druhý pro glioblastom. Obrysy objemů jsou zřetelně viditelné na snímcích z CT zobrazení. Obdobně byl vyznačen i mozkový kmen. Polohu ostatních kritických orgánů lze vyvodit z geometrie fantomu (chiasma opticum, parotidy, mícha, mozek, oči, dutina ústní, atp.). Do fantomu se při nezávislé prověrce umísťují dvě ionizační komory, kterými se stanovuje dávka v cílovém objemu a příslušném kritickém orgánu (mozkovém kmeni či chiasma opticu). Kromě ověření dávky v bodě se provádí pro každý

z cílových objemů ověření plošné dávkové distribuce pomocí radiochromických filmů EBT3. Fantom není opatřen žádnými značkami, je proto nutné pro něj provést lokalizaci stejným způsobem, jako by se jednalo o pacienta. Tím je zajištěno, že se jedná skutečně o end-to-end nezávislou prověrku.

Kromě dozimetrické přesnosti realizace léčby je součástí prověrky zhodnocení procesu plánování léčby a jsou stanoveny vybrané ukazatele radioterapeutického plánu, včetně radiobiologických parametrů.

Metodika byla ověřena na šesti pracovištích a celkem bylo ověřeno 17 plánů (8× nazofaryng, 9× glioblastom) na sedmi různých ozařovačích poskytujících léčbu fotonovými či protonovými modulovanými svazky. V příspěvku budou prezentovány výsledky pilotní studie a bude upozorněno na zjištěná slabá místa v radioterapeutickém řetězci.

Práce byla řešena s finanční podporou TAČR (TB04SUJB001) a MV ČR (MV-25972-53/OBVV-2010).



## Stanovení populační dávky pacienta z nenádorové radioterapie v ČR

Vladimír Dufek<sup>1,2</sup>, Lukáš Kotík<sup>1</sup>, Ladislav Tomášek<sup>1</sup>, Helena Žáčková<sup>1</sup>, Ivana Horáková<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Radiofyzikální odbor, Nemocnice Na Bulovce, Budínova 67/2, Praha 8, 180 00, ČR

[vladimir.dufek@suro.cz](mailto:vladimir.dufek@suro.cz)

Příspěvek prezentuje metodiku, výsledky a nejistoty stanovení populační dávky pacienta z nenádorové radioterapie v ČR. Stanovením populační dávky se rozumí stanovení kolektivní efektivní dávky se znalostí počtu a věkové distribuce ozářených pacientů, počtu ozařovacích polí, frakcí ozáření a ozařovacích sérií pro jednotlivé diagnózy nenádorové radioterapie.

Kolektivní efektivní dávka se stanoví jako součet součinů typické efektivní dávky na jednu frakci ozáření a počtu frakcí ozáření pro vybrané diagnózy. Sčítání se provádí pro významné diagnózy, jež se v ČR léčí pomocí nenádorové radioterapie. Typické efektivní dávky pro vybrané diagnózy se získaly na základě měření SÚRO, v. v. i. a na základě publikované literatury. Počty frakcí ozáření pro jednotlivé diagnózy se získají z dat Všeobecné zdravotní pojišťovny (VZP). Odhad celkového počtu frakcí ozáření pro populaci

obyvatel České republiky se provede s využitím porovnání dat VZP, dat Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS) a dat z dotazníků, jež pro SÚRO, v. v. i. vyplnila zdravotnická zařízení.

Cílem stanovování kolektivní efektivní dávky z lékařského ozáření při nenádorové radioterapii je porovnat tuto dávku s dávkou spojenou s jinými způsoby ozáření člověka (jinými zdroji nebo jinými cestami), určit její příspěvek k celkové kolektivní efektivní dávce a také určit příspěvek jednotlivých diagnóz ke kolektivní efektivní dávce z nenádorové terapie. Získaná data je možné použít také pro hodnocení a porovnávání různých ozařovacích technik a schémat používaných v rámci nenádorové radioterapie, a to nejen v rámci ČR, ale také v mezinárodním měřítku.

Práce byla řešena s finanční podporou TA ČR (TB02SUJB037).

## Požadavky na radiační ochranu v nukleární medicíně

**Jozef Sabol**

Fakulta bezpečnostního managementu, PA ČR v Praze, Lhotecká 559/7, P.O.Box 54, Praha 4, 143 01, ČR

[jozef.sabol@gmail.com](mailto:jozef.sabol@gmail.com)

V současné době neustále roste počet pacientů podrobujících se různým diagnostickým vyšetřením a léčebným procedurám využívajících zdroje ionizujícího záření. To se promítá i do průměrné roční efektivní dávky obyvatel, kteří v některých vyspělých zemích obdrží ozáření převyšující dávku z přírodního pozadí. Tento trend je zapotřebí zastavit nebo alespoň zpomalit důslednější kontrolou a optimalizací zejména lékařských diagnostických aplikací ionizujícího záření včetně použití otevřených radioaktivních látek v nukleární medicíně.

Referát shrnuje některé důležité požadavky na radiační ochranu v nukleární medicíně s přihlédnutím k posledním doporučením Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu, přičemž přihlíží i k příslušným směrnici Evropské unie a k bezpečnostním standardům Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Zvláštní pozornost je přitom věnována problematice kvantifikace ozáření osob pro potřeby kontroly a dodržování platných referenčních úrovní a dávkových limitů.

## Srovnání EBT2 a EBT3 filmů s detektorem PTW 2D-ARRAY seven29 pro verifikaci IMRT plánů

Tereza Hanušová<sup>1</sup>, Ivana Horáková<sup>2</sup>, Irena Koniarová<sup>1,2</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

[tereza.hanusova@fjfi.cvut.cz](mailto:tereza.hanusova@fjfi.cvut.cz)

Cílem studie je srovnat radiochromické filmy EBT2 a EBT3 s maticí ionizačních komor PTW 2D-ARRAY seven29 pro měření klinických IMRT plánů. Nejdříve byla vytvořena metodika pro zpracování filmů a stanoveny nejdůležitější charakteristiky použitých filmů a skeneru (EPSON Perfection V700 Photo). Kalibrační křivky pro filmovou dozimetrii byly získány v programech MATLAB a FilmQA Pro jako polynomy 4. stupně i racionální funkce. Nejlepší kalibrační křivka byla následně použita pro kalibraci EBT2 a EBT3 filmových dozimetrů pro klinická měření.

Plátky filmů byly vloženy do několika koronálních rovin do RW3 deskového fantomu a ozářeny klinickým IMRT plánem pro oblast prostaty a lymfatických uzlin s použitím fotonové energie 18 MV na urychlovači Siemens Artiste v Thomayerově nemocnici. Pole byla měřena jednotlivě s gantry v úhlu 0°. Následně proběhlo vyhodnocení gama analýzou s kritériem 3%/3 mm v programu OmniPro I'mRT verze 1.7.

Stejná měření byla provedena s detektorem PTW 2D-ARRAY seven29 v RW3 deskovém fantomu (v různých

hloubkách) a ve fantomu OCTAVIUS II (pouze v izocentru, jak s původními úhly, tak s gantry v 0°). Výsledky byly vyhodnoceny gama analýzou v programu PTW VeriSoft verze 3.1 s použitím stejných kritérií.

Filmové dozimetrie vykazují odlišné výsledky ve srovnání s maticí ionizačních komor. S detektorem PTW 2D-ARRAY seven29 je dosahováno nižších hodnot gama skóre, pokud je umístěn ve fantomu OCTAVIUS, než při umístění v RW3 fantomu. Nejnižší gama skóre pak vychází u fantomu OCTAVIUS a rotačního měření. EBT2 filmy vykazují nesourodé výsledky a mohou se výrazně lišit pro totéž pole v různých hloubkách. Nejvyšších hodnot gama skóre ze všech testovaných konfigurací bylo dosaženo s EBT3 filmy. Výsledky měření maticí detektorů jsou systematicky nižší než u EBT3 filmů vzhledem ke špatnému rozlišení matice. EBT3 film může být skvělým nástrojem pro verifikaci IMRT a VMAT techniky, pokud je s ním správně zacházeno a uživatel si dá záležet na jeho kalibraci.

# Dozimetrická verifikace patientských plánů pro ozařovač TomoTherapy HD

Kateřina Jelénková, Ondřej Pejchal, Jitka Končecová, Jan Štika

Oddělení radiální ochrany, Všeobecná fakultní nemocnice v Praze, U Nemocnice 499/2, Praha 2, 128 08, ČR

[katerina.jelenkova@vfn.cz](mailto:katerina.jelenkova@vfn.cz)

Od dubna 2015 je ve Všeobecné fakultní nemocnici v Praze (VFN) v klinickém provozu nový radioterapeutický ozařovač TomoTherapy HD (Accuray, USA). Ozařovací plány jsou na ozařovači realizovány výlučně metodou IMRT (Intensity Modulated RadioTherapy). Dle ICRU Report 83 a ESTRO booklet No. 9 mají všechny IMRT plány (před ozářením pacienta) projít dozimetrickou verifikací. Verifikace má ověřit přesnost a správnost výpočtu ozařovacího plánu a jeho doručitelnost na příslušném ozařovači. Pro dozimetrickou verifikaci plánů je na pracovišti VFN používán systém ArcCHECK™ (Sun Nuclear, USA), který je tvořen dutým válcovým PMMA fantomem, po jehož obvodu jsou umístěné diody. Do dutiny uvnitř se zasouvá variabilní PMMA vložka, do které se umísťuje ionizační komora. Systém je dodáván s vyhodnocovacím softwarem SNC Patient. Verifikace zahrnuje stanovení dávkové distribuce ve válcové

rovině diod a dávky v bodě v místě ionizační komory a porovnání naměřených hodnot s vypočteným ozařovacím plánem. Příspěvek se zabývá stanovením místních tolerančních limitů (action levels) pro vyhodnocení plošné dávkové distribuce globální gama analýzou. Zpracováno bylo více jak 150 ozařovacích plánů, které byly pro vyhodnocení rozděleny čtyř skupin podle anatomické příslušnosti: 1) Hlava, krk, 2) Mediastinum, 3) Prostata a 4) Pánev. Při vyhodnocení gama analýzy byla použita následující toleranční kritéria: odchylka dávky (DD) 3 % (z maximální dávky v rovině diod) a vzdálenostní limit (DTA) 3 mm. Z analýzy byly vyloučeny diody s odezvou dávky menší než 10 % z maximální dávky (TH). Výpočet action levels byl proveden metodu popsanou v AAPM TG-119. Bylo provedeno porovnání místně stanovených action levels gama analýzy s limity z jiných pracovišť.

## Využívanie termoluminiscenčnej dozimetrie v CT koronarografii

Zuzana Bárdyová<sup>1</sup>, Martina Horváthová<sup>1</sup>, Denisa Nikodemová<sup>2</sup>

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

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

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

Monitorovanie radiačnej záťaže pacientov predstavuje základný prvok vďaka, ktorému je možné optimalizovanie vyšetrovacích metód, využívajúcich sa v diagnostickej rádiológii alebo rádioterapii. V klinickej praxi existuje mnoho metód, ktorými je možné hodnotiť veľkosť ožiarenia pacienta. Medzi základné metódy radíme termoluminiscenčnú dozimetriu. V súčasnosti patrí medzi celosvetovo uplatňované metódy a predstavuje v oblasti zdravotníctva a výskumu neopísateľný prínos. Vďaka malým fyzickým rozmerom a vysokej citlivosti na ionizujúce žiarenie, je možné stanovenie vstupnej povrchovej dávky pacienta, bez akéhokoľvek vplyvu na kvalitu snímok pri ich vyhodnocovaní. V našej štúdiu sme sa zaoberali využívaním TLD v CT koronarografií. Pomocou TLD bola uskutočnená prospektívna štúdia, ktorej cieľom bolo zhodnotenie radiačnej záťaže pacientov, podstupujúcich vyšetrenie CT koronaro-

grafiu. CT koronarografia je vyšetrenie, pomocou ktorého je možné snímkovanie oblasti srdca, so zameraním na koronárne artérie. V dôsledku vyšetrenia srdca a koronárnych artérií boli TLD umiestnené na povrchu dermy v anatomickej oblasti sternum. Každému pacientovi, ktorý bol zaradený do výskumného súboru, bola do oblasti sterna umiestnená kapsula s tromi kusmi TLD-700, ktoré boli následne vyhodnotené na prístroji Harshaw TLD 3500. Nami namerané hodnoty boli taktiež porovnané s hodnotami, nachádzajúcimi sa v nemocničnom archivačnom systéme, ktoré boli automaticky zaznamenávané samotným CT. V príspevku sa budeme zaoberať hodnotením radiačnej záťaže pacientov, podstupujúcich CT koronarografiu, prostredníctvom TLD ako aj vzájomným porovnaním hodnôt, získaných priamym meraním, s hodnotami vypočítanými pomocou softvéru pre odhad efektívnych a organových dávok.

## Dozimetrie s fantomy simulující dětské pacienty

Kateřina Chytrá<sup>1,2</sup>, Leoš Novák<sup>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

[chytrkat@jfifi.cvut.cz](mailto:chytrkat@jfifi.cvut.cz)

V laboratoři SÚRO byly provedeny experimenty zaměřené na skiagrafickou modalitu.

Sledovaným parametrem byl poměr vstupní povrchové kerry a výstupní kerry pro různé tloušťky PMMA fantomu odpovídající dětským pacientům a závislost tohoto poměru zejména na napětí a filtraci svazku. Dále byly stanoveny faktory zpětného rozptylu pro různé tloušťky PMMA.

Byly porovnány výsledky ze dvou ionizačních komor a TLD dvou různých materiálů.

Výsledky měření s PMMA fantomem byly ověřeny Monte Carlo simulací.

Antropomorfní fantom jednoletého dítěte byl využit ke sledování zeslabení rentgenového svazku v různých anatomických oblastech a ke stanovení ekvivalentní tloušťky PMMA fantomu pro tyto anatomické oblasti antropomorfního fantomu.

## Vliv repopulace a opožděného příjmu radionuklidu na buněčnou populaci

Martin Šefl<sup>1,2</sup>, Ioanna Kyriakou<sup>3</sup>, Dimitris Emfietzoglou<sup>3</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> KDAIZ, FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

<sup>3</sup> Medical Physics Laboratory, University of Ioannina, Ioannina, 45110, Řecko

[martin.sefl@gmail.com](mailto:martin.sefl@gmail.com)

Cílená léčba radionuklidy je dobře zavedený způsob léčby rakoviny, zejména v případě mikrometastáz a rozšířené nemoci. Důvodem lepší terapeutické účinnosti je doručení dávky záření do nádorových buněk, čímž se zvyšuje poměr dávky do nádoru oproti normální tkáni.

Je dobře známo, že pro všechna delší ozařovací schémata, jejichž cílem je zvýšit rozdíl mezi šetřícím účinkem na normální tkáň a nádory, buněčná repopulace může snížit terapeutickou účinnost dodané dávky záření. Rychlost příjmu radiofarmaka má významný vliv na změny dávkové rychlosti v čase, která je pro proliferující buněčné populace rozhodující pro určení příspěvku buněčné smrti a buněčného dělení na tvar křivky přežití buněk. Výsledky modelu publikované O'Donoghuem v článku [„The impact of tumor cell proliferation in radio-immunotherapy“, *Cancer* 73, 974–980 (1994)] pro proliferující buněčnou populaci s exponenciálně klesajícím dávkovým příkonem nezahrnovaly vliv zpoždě-

ného příjmu radionuklidu. V prezentovaném příspěvku je popsáno rozšíření tohoto modelu o exponenciální nárůst dávkového příkonu. Byl zkoumán časový průběh přežívající frakce buněk a odvozen vztah pro minimum této křivky. Přežívající frakce buněk byla vypočtena pro relevantní sadu parametrů. Konkrétní výsledky jsou představeny pro <sup>90</sup>Y, <sup>131</sup>I, <sup>32</sup>P, poločasy příjmu 1 až 24 h, extrapolované počáteční dávkové příkony 0,5 až 1 Gy/h a biologický poločas 7 dní. Zahrnutí příjmu radionuklidu do výpočtu může mít velký vliv na vypočtená minima přežívající frakce, a proto je lépe tento efekt v modelu nezanedbávat. Rozdíly oproti modelu s okamžitým příjmem jsou větší pro vyšší extrapolovaný počáteční dávkový příkon (tj. vyšší aplikovanou aktivitu) a radiosenzitivnější buňky. Rozdíly mezi modely také rostou s pomalejším příjmem a rostoucím efektivním poločasem přeměny radionuklidu.

## Neutronová kontaminace klinického PBS protonového svazku

Matěj Navrátil<sup>1</sup>, Vladimír Vondráček<sup>1</sup>, Miloslav Králík<sup>2</sup>, Zdeněk Vykydal<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oddělení klinické fyziky, Proton Therapy Center Czech s.r.o, ČR

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

[matej.navratil@ptc.cz](mailto:matej.navratil@ptc.cz)

Ozařování skenovaným tužkovým protonovým svazkem (PBS) zvyšuje pravděpodobnost optimálního ozáření cílového objemu a zároveň umožňuje velmi dobře chránit okolní zdravé tkáně. Generování PBS svazku, kdy energie svazku je přesně nastavena pomocí degraderu a Energy Selection Systému (ESS) mimo ozařovnu spolu s tím, že směr svazku je dále upravován pouze elektromagneticky vede k tomu, že primární protonový svazek dopadající na pacienta by neměl být kontaminován sekundárními neutrony. Možným zdrojem neutronové kontaminace je pak pouze RangeShifter (RS) a samotný pacient.

Vzhledem k možnému nechtěnému a nežádoucímu zatížení pacienta je neutronová kontaminace samotného PBS

svazku spolu s neutrony generovanými při průchodu svazku tkáněmi pacienta na našem pracovišti ve spolupráci s ČMI podrobně zkoumána. Proběhlo několik experimentálních měření spekter kontaminačních neutronů a neutronů vzniklých při průchodu protonového svazku pacientem pomocí rozšířeného Bonnerova spektrometru (EBS).

Z těchto měření mimo jiné plyne:

Neutronová kontaminace vstupního protonového PBS svazku je bez použití RS použitými metodami neměřitelná.

Nechtěná neutronová zátěž pacienta vztážená na 1 Gy dodané dávky je při použití PBS ozařovací techniky výrazně menší i než při použití 18 MeV fotonového svazku.



## Použití radioaktivního uhlíku $^{9}\text{C}$ v radioterapii

Jakub Šlegl<sup>1,2,3</sup>, Monika Puchalska<sup>3</sup>, Lembit Sihver<sup>3</sup>, Ondřej Ploc<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Atominstitut TU Wien, Rakousko

[sleglja1@fjfi.cvut.cz](mailto:sleglja1@fjfi.cvut.cz)

U radioaktivních svazků těžkých nabitých částic se dnes v radioterapii využívá hlavně možnost sledování samotného svazku přímo pomocí PET kamery. Při použití uhlíku  $^{9}\text{C}$  by se rozpad mohl využít i pro zvýšení ozáření v místě Braggova píku.  $^{9}\text{C}$  se rozpadá s poločasem 126.5 ms na proton a dvě alfa částice s vysokým LET, a tedy s vysokým účinkem omezeným na velmi malé okolí Braggova píku. Dosavadní experimenty ukázaly vyšší relativní biologickou účinnost než u  $^{12}\text{C}$ , avšak teoretické studie toto navýšení neprokázaly.

V příspěvku bude prezentován výpočet přidané dávky od částic z rozpadu k celkové dávce a návrh zdroje svazku  $^{9}\text{C}$  využitelný v radioterapii. Dále bude představen model ozařovací místnosti pro  $^{9}\text{C}$  aplikovatelný v zařízeních urychlujících svazky  $^{12}\text{C}$ .

Výpočty byly prováděny metodou Monte Carlo v programu PHITS.

## Zaťaženie pracovníkov pri použití laserov fy LAP laser

Gabriel Králik<sup>1</sup>, Ľudmila Juchová<sup>2</sup>, Miroslava Chrenková<sup>2</sup>, Žaneta Kantová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddelenie klinickej fyziky, Onkologický ústav sv. Alžbety (OÚSA), Heydukova 10, Bratislava, 812 50, SR

<sup>2</sup> Úrad verejného zdravotníctva SR, Trnavská ulica 52, P.O.BOX 45, Bratislava, 826 45, SR

[gkralik@ousa.sk](mailto:gkralik@ousa.sk)

Pre správne nastavenie pacienta pre aplikáciu rádioterapie sa využíva sada optických zariadení s neionizujúcim žiarením. Najčastejšie sa využívajú 2 bočné krížové laserové zameriavače a jeden pozdĺžny čiarový laserový zameriavač so zeleným (vlnová dĺžka 532 nm) alebo červeným (vlnová dĺžka 635 nm) lúčom. V praxi je dodávaná výrobcom ožarovacieho zariadenia ako príloha a skúsenosť ukazuje, že sa jej nevenuje veľká pozornosť ani v zahraničí na popredných pracoviskách. Zariadenia sú však podľa výkonu (< 1 mW) zaradené do triedy 2 a vzťahuje sa na ne Nariadenie vlády 407/2007. Vzhľadom na možné poškodenie zraku pracovníkov, požiadali sme Úrad verejného zdravotníctva SR o previerku našich pracovísk, kde sa využívajú lasery. Podľa nariadenia vlády SR d. 41012007 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou umelému optickému žiareniu je limitná hodnota expozície oka laseru

pre dlhú dobu expozície v rozsahu 400 až 700 nm 384 pW v prepočte na priemer zrenice oka 7 mm.

Stanovený pracovný postup pri práci s laserom nevyklučuje pohľad technika alebo pacienta do priameho zväzku laserového lúča, preto sa meralo priame žiarenie na výstupe zdroja ako i na mieste pracovníka pri nastavovaní pacienta. Vykonalo sa aj meranie priameho lúča prechádzajúceho cez okuliare, aby sa zistil ochranný účinok okuliarov.

Súlad alebo nesúlad so špecifikáciami podľa nariadenia vlády SR č. 41012007 Z. z. sa posudzoval podľa metodickéj smernice MSA-L/04 (SNAS, Bratislava 2009).

Z výsledných hodnôt je zrejmé, že namerané hodnoty priameho lúča a prechádzajúceho cez okuliare sú v súlade s limitnou hodnotou expozície oka laserovým žiarením pre dlhú dobu expozície. Podrobné výsledky budú interpretované v prezentácii.

# Porovnání radiační zátěže pracovníků KNME FN Motol při přechodu od roztoku $^{131}\text{I}$ ke kapslím $^{131}\text{I}$

Lenka Jonášová<sup>1</sup>, Jakub Suchánek<sup>1</sup>, Tereza Kráčmerová<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> KNME, Fakultní nemocnice Motol, V Úvalu 84, Praha 5, 150 00, ČR

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

[lenka.jonasova@fmmotol.cz](mailto:lenka.jonasova@fmmotol.cz)

Cílem této práce je porovnat radiační zátěž pracovníků přicházejících nejčastěji do styku s  $^{131}\text{I}$  během čtyř let (od září 2012 do konce srpna 2016). V prvních dvou letech byl pacientům tohoto oddělení podáván roztok  $^{131}\text{I}$ . V následujících dvou letech jim byly podávány kapsle s  $^{131}\text{I}$ . Sledovali jsme vliv změny lékové formy radiofarmaka a také množství podaného radiofarmaka na radiační zátěž obsluhujícího personálu.

Porovnání jsme prováděli jednak na základě výsledků měření kontaminace štítné žlázy prováděných na scintilační sondě, jednak na základě osobní dozimetrie (celotělové OSL dozimetrie a TLD prstové dozimetrie) prováděné ve VF, a. s. Černá Hora. Množství podané aktivity v celém období bylo dohledáno v archivu kliniky a následně byly hledány souvislosti s daty z monitorování pracovníků.

Porovnání výsledků kontaminace štítné žlázy odhalilo fakt, že při používání kapslí s radiojodem se snížila radi-

ační zátěž vybraných pracovníků KNME (personál, který přichází do přímého kontaktu s farmakem – radiologičti asistenti a radiologický technik) o několik desítek procent. Výsledky osobní dozimetrie odhalily výrazné snížení dávkového ekvivalentu  $H_p(10)$  vybraných zaměstnanců o více než 60 %, u prstových TLD dozimetrů došlo ke snížení dávkového ekvivalentu  $H(T)$  o více než 70 %.

U ostatního zdravotnického personálu (zdravotních sester, sanitářů a pracovníků úklidu) však ke změně v radiační zátěži nedošlo. Vyhodnocení osobních dozimetrů ani měření kontaminace štítné žlázy u nich nevykazují významnější odchylky od průměrných hodnot.

Ušetřená radiační zátěž vybraných pracovníků činí přibližně 0,01 man Sv/rok. Výsledky této práce poukazují na to, že lze za použití jiné lékové formy radiofarmaka výrazně snížit radiační zátěž vybraných pracovníků.

## Kontaminace $^{131}\text{I}$ z oddělení nukleární medicíny

Eva Zemanová

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

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

Podmínky a povinnosti dodržování radiační ochrany na pracovištích nukleární medicíny, stejně tak jako na ostatních pracovištích provádějících lékařské ozáření, je důsledně a pravidelně kontrolováno inspektory SÚJB. Z výsledků kontrol vyplývá, že na pracovištích nukleární medicíny je radiační ochrana na požadované úrovni stanovené právními předpisy, průběžně bez zjišťování závažných nedostatků. Není však od věci připomenout výjimečný případ, kdy k porušení podmínek radiační ochrany při léčbě pacienta aplikací  $^{131}\text{I}$  došlo jak na straně držitele povolení, tak z důvodu nekázně pacienta propuštěného domů po hospitalizaci. Tato skutečnost byla zjištěna na základě detekce vnitřní i povrchové kontaminace pracovníka vstupujícího do jaderné elek-

trárny, jehož příbuzný týden před tím ukončil hospitalizaci na oddělení nukleární medicíny, kde mu byla aplikována terapeutická dávka 4300 MBq  $^{131}\text{I}$ . Operativním šetřením jak na straně jaderné elektrárny, tak na straně SÚJB, bylo zjištěno, že kontaminace jednoznačně pochází z oddělení nukleární medicíny. SÚJB neprodleně provedlo neplánovanou inspekci, která tuto skutečnost potvrdila. Přednáška poukazuje na pochybení v systému ONM, která mohou nastat, zároveň na důležitost důsledného poučení propuštěného pacienta, resp. dodržení předepsaného režimu po propuštění do domácí léčby. Prezentace přijatých nápravných opatření stanovených SÚJB mohou být přínosem pro prevenci a důslednost i na ostatní pracovištích ONM.

# Praktické zkušenosti ČSFM, z. s. s prováděním externích klinických auditů v radiační onkologii

Lenka Petýrková Janečková

radiační onkologie, Krajská nemocnice Liberec, a. s., Husova 10, 460 63, ČR

[lenka.janeckova@nemlib.cz](mailto:lenka.janeckova@nemlib.cz)

Česká společnost fyziků v medicíně požádala ministerstvo zdravotnictví o udělení oprávnění k provádění externího klinického auditu z následujících důvodů: vytvoření konkurenčního prostředí, provádění auditů nejen dle litery zákona, ale i v souladu s doporučením Radiation Protection č. 159 a sbírání informací a poznatků o úrovni klinické praxe na pracovištích poskytujících lékařské ozáření. Oprávnění k provádění externích klinických auditů získala dne 12. 8. 2015 a to pro oblast nukleární medicíny a radioterapie.

Od té doby bylo provedeno v oblasti radiační onkologie ke dni 19. 9. 2016 celkem 6 auditů, v rámci kterých byla dána řada doporučení. Neshody byly identifikovány výjimečně. Nasmlouvány jsou další 4 audity, z toho jeden na pracovišti, které má pouze terapeutický rentgen. Nabízí se otázka, zda pracoviště vybavená výhradně terapeutickými rentgeny, o audit požádala.

Audit byl personálně zabezpečen v souladu s vyhláškou č. 410/2012 Sb. o stanovení pravidel a postupů při lékařském ozáření. Vzhledem k tomu, že dle platné legislativy jsou auditoři odborníci z praxe, nikoli profesionální auditoři,

absolvovali všichni auditoři ČSFM, z. s. školení z metodiky provádění auditů dle normy ISO 19011, na kterém získali potřebné znalosti v principech a provádění auditů a v jejich hodnocení.

Před auditem byly pracovištím zaslány informace týkající se termínu auditu, seznamu pracovníků nemocnice, kteří jsou povinni auditu se zúčastnit, a seznamu dokladů, jejichž zaslání auditoři požadovali k prostudování před zahájením auditu. Spolu s informacemi byl zasílán dotazník týkající se vybavení pracoviště.

Audit začal vstupním pohovorem. Obvykle v jeho průběhu bylo podepsáno prohlášení o důvěrnosti, ve které se kontrolor se zavázal, že všechna zjištění porušená při auditu jsou důvěrná a prezentovat je smí pouze v anonymizované formě, nebo se souhlasem objednatele. Na místě se audit věnoval hlavně praktickému provádění lékařského ozáření. Zakončen byl výstupním pohovorem, během kterého byli zaměstnanci pracoviště seznámeni se zjištěními auditu. Ke všem námětům ke zlepšení případně neshodám se namíste měli možnost vyjádřit.

## Statistické hodnocení lékařského ozáření

Ivanka Zachariášová<sup>1</sup>, Karla Petrová<sup>1</sup>, Hynek Novák<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> United design, spol. s r. o., Fr. Brzáka 690, Libušín, 273 06, ČR

[ivanka.zachariasova@sujb.cz](mailto:ivanka.zachariasova@sujb.cz)

Pro účely posouzení velikosti lékařského ozáření sumari-  
zuje UNSCEAR za určené časové období data týkající se  
lékařského ozáření. Zde jsou presentovány výsledky šetření  
provedená pro UNSCEAR v rentgenové diagnostice, nukle-  
ární medicíně a v radioterapii. Pro sběr dat byla využita  
zejména data VZP, UZIS, SÚRO a vlastního šetření. Zpracov-  
vané údaje se týkají i personálního a přístrojového vybavení  
v ČR. Pro frekvenční studie byla zpracována data VZP  
(62 % obyvatel), jsou uvedeny frekvence výkonů v závislosti  
na věku a pohlaví. Pro rentgenovou diagnostiku jsou zpra-  
cované informace o počtu provedených vyšetření pro věkové  
kategorie < 5 let, 5-14, 15-39 a > 39 let. U 70 % populace  
nebylo rentgenové vyšetření provedeno, ale 9 % populace  
bylo vyšetřeno více než 2×, 0,6 % pak více než 10×. Jsou  
uvedeny absolutní počty vyšetření pro věkové skupiny po  
intervalech 5 let a poměrný počet pacientů vztažený na

celkový počet obyvatel. Nejčtenější počet vyšetření je pro  
skupinu pacientů mezi 55 a 75 lety, i když relativní počet  
rentgenových vyšetření s věkem stoupá. Počty vyšetření  
jsou členěny dle základních zobrazovacích modalit a to pro  
skiografii bez kontrastní látky, skiografii a skiaskopii s kon-  
trastní látkou, CT a pro intervenční výkony. Je presentováno  
jejich vzájemné procentové zastoupení. Nejvyšší zastoupení  
85,6 % mají vyšetření skiagrafická, následuje CT s 9 %, vyšetření  
skiaskopická 4 % a intervenčních 1,5 % (zubní  
vyšetření nejsou zahrnuty). Stručněji byla zpracována data  
pro nukleární medicínu a radioterapii. Analyzované údaje  
lze využít pro stanovení zátěže populace z lékařského ozáření  
a srovnání s jinými typy expozice obyvatelstva. Poskytují  
informace o zastoupení různých vyšetřovaných modalit a  
umožní snadnější srovnání s úrovní lékařské péče v různých  
zemích.

## „End-To-End“ audit – kontrola dávek a dávkové distribuce pro IMRT

Michaela Kapucianová, Daniela Ekendahl, Irena Koniarová, Vladimír Dufek

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

[michaela.kapucianova@suro.cz](mailto:michaela.kapucianova@suro.cz)

„End-To-End“ audit je nová metodika v rámci korespondenčního auditu v radioterapii, která byla vyvinuta v rámci výzkumného projektu podporovaného Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA). Tato metodika je zaměřena na kontrolu dávek a dávkové distribuce vypočtené plánovacím systémem pro ozařovací techniku IMRT. „End-To-End“ audit umožňuje simulovat podstatnou část celého procesu radioterapie, kterou prochází pacient, tedy od CT zobrazení ozařovaného objemu, vytvoření ozařovacího plánu, nastavení ozáření až po samotnou aplikaci plánované dávky.

Metoda je realizována pomocí speciálního fantomu, který se skládá z několika do sebe zapadajících částí, z nichž některé jsou uzpůsobeny pro vložení TL dozimetrů a gafchromického filmu. TL dozimetry mají formu plastových kapslí, jež jsou naplněny práškem LiF:Mg,Ti. Dozimetry se vklá-

dají do částí fantomu představujících cílový objem (PTV) a rizikové orgány nacházející se v okolí (OAR). Gafchromický film se vkládá mezi tyto dvě části s dozimetry. Plánovaná dávka do PTV je 4 Gy pro dvě ozařovací frakce.

Výsledky získané z měření a vyhodnocení TL dozimetrů a filmu jsou porovnány s dozimetrickými daty udanými RT pracovištěm. Vzájemné rozdíly by neměly překročit stanovená toleranční rozmezí.

V ČR byla tato nová metodika auditu testována ve spolupráci s pěti zkušenými radioterapeutickými pracovišti. Všechna pracoviště splnila požadovaná kritéria hodnocení. Metodika „End-To-End“ auditu rozšiřuje možnosti stávajícího korespondenčního auditu v radioterapii s ohledem na stále větší uplatnění moderních ozařovacích technik jako IMRT v praxi.

# Robustnost ozařovacích plánů s využitím respiratory gatingu v protonové radioterapii

Helena Valouchová<sup>1,2</sup>, Jitka Lerachová<sup>2</sup>, Darina Trojková<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Proton Therapy Center Czech s. r. o., Budínova 2437/1a, Praha 8, 180 00, ČR

[helena.valouchova@gmail.com](mailto:helena.valouchova@gmail.com)

Protonová radioterapie patří mezi moderní ozařovací metody. Protonovým svazkem jsme schopni velmi přesně ozářit tumor a zároveň chránit okolní tkáně před zbytečnou zátěží ionizujícím zářením. Pro ochranu zdravých tkání je nutné co možná nejpřesněji lokalizovat cílový objem, aby bezpečnostní lemy zahrnující zdravou tkáň bylo možné zvolit co nejmenší bez rizika, že by došlo k podzáření tumoru.

Jedním ze zdrojů nepřesností při lokalizaci cílového objemu jsou dýchací pohyby. Metod, kterými se dají dýchací pohyby sledovat či eliminovat je mnoho. V pražském protonovém centru, kde byla práce prováděna, je používána metoda respiratory gatingu pomocí spirometrického systému SDX s využitím fáze hlubokého nádechu. Ten pacientovi během ozařování umožňuje sledovat ve speciálních brýlích jeho dechovou křivku (závislost objemu vzduchu v plicích na čase) a reprodukovatelně se nadechnout na stejnou úroveň

(s jistou tolerancí), která je nadefinována individuálně před začátkem léčby. Na této nádechové hladině jsou nabrána CT data pro plánování i následně probíhá ozařování, které je automaticky zastavováno při opuštění této hladiny.

Cílem této práce bylo ověřit robustnost této metody při ozařování pacientů s nádorem v oblasti mediastina (lymfomem). Pro potřeby studie byli pacienti požádáni o zadržení dechu v obou hraničních hodnotách tolerančního pásu (nádech  $\pm 100$  ml) a v každé byly provedeny CT snímky oblasti výskytu tumoru. Vlastní porovnání probíhalo spočítáním hodnoty vodě-ekvivalentní tloušťky po dráze svazku (WET – Water Equivalent Thickness) pro bod o daných souřadnicích v obou sadách CT snímků a porovnáním těchto hodnot. Body byly voleny tak, aby pokryly celý cílový objem a jeho okolí. Pro každého pacienta takto bylo porovnáno několik tisíc bodů.



## Využití range-shifteru v protonové radioterapii

Jan Štika, Tomáš Urban

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

[jan.stika@post.cz](mailto:jan.stika@post.cz)

Energetická modulace svazku umístěná za cyklotronem umožňuje měnit energii primárního svazku od cca 230 MeV do cca 110 MeV. V případě, že je alespoň část cílového objemu v měkké tkáni uložena v hloubce menší než 9 cm (dosah odpovídající cca 110 MeV), přidává se po celé ozařování na konec trysky blok, který ještě sníží energii primárních protonů – range-shifter. Současně s žádoucím snížením energie svazku se však svazek také kontaminuje sekundárními částicemi, a dochází tak k větší variabilitě směrů primárních částic opouštějících range-shifter oproti vstupujícím částicím – roste rozptyl, přesněji šířka svazku. Pro správné použití takového modifikátoru svazku je třeba znát vlastnosti svazku, který jím prošel – rozbíhavost, energetická a LET spektra primárních i sekundárních částic,

dávkovou hloubkovou křivku, profily apod. Některé z těchto vlastností lze změřit, jiné se přesně měří obtížně, a je proto výhodné k jejich odhadu využít simulaci Monte Carlo. Pro zhodnocení vlivu range-shifteru na svazek byly vypracovány tři sady simulací, které se zaměřily na efekty způsobené různou tloušťkou range-shifteru při stejné primární energii protonů a dále při různé primární energii protonů, ale stejné pozici/hloubce maxima Braggova píku. Změny vlastností protonového svazku i produkovaných sekundárních částic jsou v příspěvku dále diskutovány. Provedené výpočty umožňují hlubší pochopení chování svazku při použití range-shifteru a v důsledku mohou přispět k lepšímu stanovení terapeutického plánu.

# Hodnotenie ekvivalentných dávok IŽ na očné šošovky u rizikových skupín populácie

Veronika Trečková, Denisa Nikodemová

Oddelenie radiačnej hygieny, SZU Bratislava, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

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

Na základe zistenia, že očné šošovky sú citlivejšie na expozíciu ionizujúcemu žiareniu ako sa doteraz predpokladalo, medzinárodné organizácie (ICRP – Medzinárodná agentúra pre radiologickú ochranu, IAEA – Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu, WHO – Svetová zdravotnícka organizácia), ako aj Európska komisia upravili limit ekvivalentnej dávky na očnú šošovku z hodnoty 150 mSv/rok na hodnotu 20 mSv/rok. Cieľom predloženej práce bolo sledovanie a hodnotenie radiačnej záťaže očných šošoviek zdravotníckych pracovníkov pri vybraných intervenčných rádiologických postupoch, ako aj pri vyšetreniach pri aplikácii ionizujúceho žiarenia v nukleárnej medicíne, kde najmä práca rádiofarmaceutov predstavuje potenciálne riziko vzniku radiačne podmienenej katarakty. Zvýšené hodnoty ekvivalentných

dávok očných šošoviek sa môžu vyskytnúť aj pri priemyselnom využití ionizujúceho žiarenia, ako to je napríklad pri údržbárskych prácach v reaktorovej sále. Z tohto dôvodu boli stanovené ekvivalentné dávky očných šošoviek u pracovníkov Atómovej elektrárne Bohunice počas dvoch plánovaných generálnych opráv. V práci bola aplikovaná nová veličina – osobný dávkový ekvivalent pre očnú šošovku  $H_p(3)$  a merania boli realizované pomocou dozimetrov EYE-D™, špeciálne navrhnutých pre očné šošovky, s TLD čipmi MCP-N vyhodnocovanými v Laboratóriu termoluminiscenčnej dozimetrie Oddelenia radiačnej hygieny FVZ SZU. Analýza predbežných výsledkov bude použitá pri optimalizácii veľkosti ožiarenia očných šošoviek.

# Optimalizace vlastností Frickeho dozimetru s xylenolovou oranží při jeho použití v 3D gelovém dozimetru

Václav Spěváček, Hana Bártová

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

[vaclav.spevacek@fjfi.cvut.cz](mailto:vaclav.spevacek@fjfi.cvut.cz)

Gelový 3D dozimetr je chemický dozimetr ve kterém je aktivní složka (složka podléhající změně působením ionizujícího záření) fixována v hydrofilním gelu, nejčastěji želatině. Jednou z oblíbených variant tohoto dozimetru je Frickeho dozimetr s xylenolovou oranží (FXG). Působením ionizujícího záření dochází k oxidaci železnatých iontů ( $\text{Fe}^{2+}$ ) na železité ( $\text{Fe}^{3+}$ ), které utvoří s přítomnou xylenolovou oranží fialový komplex, jehož množství je (do určité míry) funkcí dávky v daném místě dozimetru a jeho množství je možno určit např. optickou tomografií.

Tento dozimetr má několik předností: jeho příprava je velice snadná (zvládne i radiologický fyzik), citlivost k ionizujícímu záření optimální (pro použití v radioterapii), kom-

ponenty jsou levné a netoxické a má výhodné optické vlastnosti. Kromě toho má ale i některé nevýhody: vlivem difuze iontů  $\text{Fe}^{3+}$  dochází po ozáření k „rozmazání“ prostorové dávkové distribuce a je zapotřebí je vyhodnotit do 60 až 90 minut po ozáření (v závislosti na velikosti dávkových gradientů v dozimetru), stabilita dozimetru před ozářením i po něm není velká, při uložení v  $7^\circ\text{C}$  (v lednici) je interval použitelnosti mezi jeho přípravou a vyhodnocením asi 4 dny a dávková závislost (závislost absorbance na dávce) vykazuje u nízkých dávek (pod 1 Gy) nelineární průběh.

V naší práci jsme se pokusili úpravou složení FXG dozimetru a modifikací způsobu jeho vyhodnocení některé tyto negativní vlastnosti odstranit, nebo alespoň potlačit.

## Amifostine in new light

**Martin Falk<sup>1</sup>, Michal Hofer<sup>1</sup>, Denisa Komůrková<sup>1</sup>, Iva Falková<sup>1,2</sup>, Alena Bačíková<sup>1</sup>, Bořivoj Klejdus<sup>3,4</sup>, Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Lenka Štefančíková<sup>1</sup>, Lenka Weiterová<sup>1</sup>, Karel Angelis<sup>5</sup>, Stanislav Kozubek<sup>1</sup>, Ladislav Dušek<sup>6</sup>, Štefan Galbavý<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Cell Biology and Radiobiology, Institute of Biophysics, v. v. i., Czech Academy of Sciences, Královopolská 135, Brno, 612 65, ČR

<sup>2</sup> Department of Medical Technology, St. Elisabeth University of Health and Social Sciences, Palackého 1, Bratislava, 810 00, SR

<sup>3</sup> Institute of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, Brno, 613 00, ČR

<sup>4</sup> CEITEC-Central European Institute of Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, Brno, 613 00, ČR

<sup>5</sup> Institute of Experimental Botany, v. v. i., Czech Academy of Sciences, Na Karlovce 1, Praha 6, 160 00, ČR

<sup>6</sup> Institute of Biostatistics and Analyses, Masaryk University, Kamenice 126/3, Brno, 625 00, ČR

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

Amifostine protects normal cells from DNA damage induction by ionizing radiation or chemotherapeutics, whereas cancer cells typically remain uninfluenced. While confirming this phenomenon, we have revealed by comet assay and currently the most sensitive method of DNA double strand break (DSB) quantification (immunofluorescence microscopy) that amifostine treatment supports DSB repair in  $\gamma$ -irradiated normal NHDF fibroblasts but alters it in MCF7 carcinoma cells. These effects follow from the lower activity of ALP measured in MCF7 cells as compared with fibroblasts. Due to common differences between normal and cancer cells in their abilities to convert amifostine to its

active metabolite WR-1065, amifostine may not only protect in multiple ways normal cells from radiation-induced DNA damage but also make cancer cells suffer from DSB repair alteration. Our results thus put the old drug into new light. Please see also Hofer M. et al. *J Med Chem.* 2016;59(7):3003–17.

This work was supported by GACR (16-12454S, P302/12/G157 and 16-01137S), MZCR (16-29835A), MSMT (Project of Czech Plenipotentiary and 3+3 Project with JINR Dubna, 2015-2018), and CEITEC (CZ.1.05./1.1.00/02.0068).

## Poškození plasmidové DNA svazky těžkých nabitých částic

Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>1,2</sup>, Lembit Sihver<sup>2</sup>, Egor Ukrainsev<sup>3</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> Atominstitut, TU Wien, Stadionallee 2, Wien, 1020, Rakousko

<sup>3</sup> Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur, Fyzikální ústav AV ČR v. v. i., Cukrovarnická 10/112, Praha, 162 00, ČR

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

Velká nejistota stávajícího odhadu stochastických účinků záření na lidskou posádku případné meziplanetární mise je způsobena především omezenými znalostmi biologických účinků těžkých nabitých částic na člověka. Ty jsou vzácnou, nicméně velmi nebezpečnou součástí spektra vesmírného záření. Působení těžkých nabitých částic na buněčné úrovni je specifické v prostorové lokalizaci ukládání energie podél stopy částice. Pokud se v cestě náhodou nachází buněčná DNA, vznikají komplexní poškození DNA a chromozomální aberace, dva základní ukazatele možného riziku rakovinného bujení.

Náš projekt, podpořený Evropskou vesmírnou agenturou, se zabývá studiem komplexních DNA poškození vyvolaných těžkými nabitými částicemi vysokých energií. K tomu využíváme plasmidovou DNA jako zjednodušený modelový in vitro systém, který umožňuje, na rozdíl od živých buněk

a organismů, sledovat výtěžek poškození bez vlivu reparačních mechanismů. Plasmid byl rozpuštěn v roztocích pufrů s různou schopností vychytávání hydroxylových radikálů, čímž byla simulována prostředí s převažujícím přímým, nebo nepřímým účinkem záření. Vzorky s vysokou kapacitou vychytávání, tedy potlačeným nepřímým účinkem záření, napodobovaly savčí buněčné prostředí. K ozáření byly použity různé svazky urychlených nabitých částic, pokrývající spektrum lineárního přenosu energie (LPE) od 10 do 300 keV/ $\mu\text{m}$ . DNA poškození bylo detekováno tradiční elektroforetickou metodou, nebo s použitím progresivního mikroskopu atomárních sil.

Srovnání výsledků obou metod ukazuje zkreslení závislosti výtěžku poškození na LPE při použití výhradně tradiční elektroforézy a užitečnost mikroskopie atomárních sil při detekci jinak zanedbávaných krátkých DNA fragmentů.

## Formování a automatizace detekce mikrojadер v ozářených buněčných kulturách

Stanislav Kaczor<sup>1,2</sup>, Anna Michaelidesová<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

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

V momentální době je dostupných několik metod pro posuzování poškození buněk zářením. Jedna z nejjednodušších a nejrychlejších je rozbor mikrojadер. Mikrojádra v buňkách vznikají počas mitózy, nacházejí se v okolí jader a jsou velice podobná jádru buňky avšak jsou menší. Technika blokování cytokinézy udělala z rozboru mikrojadер důvěryhodnou proceduru pro analýzu poškození chromozomů způsobených ozářením lidských buněk protony a jinými druhy záření. Z důvodu podpory výzkumu této metody se tato práce snaží o zautomatizování detekce a počítání mikrojadер v blízkosti binukleárních buněk, dle metodiky pro počítání mikrojadер v okolí binukleárních buněk uvedené v projektu Human Micronucleus (HUMN). Pro tenhle účel jsem napsal pro-

gram v programovacím jazyku Python, který automaticky vyhodnocuje snímky z mikroskopu, dokáže spočítat nejen počet binukleárních buněk a mikrojadер na sérii snímků, ale také ke každé binukleární buňce přiřadit počet mikrojadер. Dalším cílem výzkumu je podpořit důkazy o závislosti mezi počtem binukleárních buněk s mikrojádry a absorbovanou dávkou a taky závislost frekvence výskytu mikrojadер na absorbované dávce. Jednoduchost a spolehlivost této metody spolu s pokrokem metod v rozeznávání radiačního poškození a automatizací počítání poškozených buněk z téhle metody dělají jednu z nejlepších metod pro identifikaci poškození ozářených buněk.

# Stanovenie zmien indukovaných ionizujúcim žiarením na bunkové populácie a cytokínový profil v periférnej krvi a pľúcach

Anna Lierová, Marcela Jeličová, Lenka Zárybnická, Zuzana Šinkorová

Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotníctví, Univerzita obrany, Hradec Králové, Třebešská 1575, Hradec Králové, 500 01, ČR

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

Medzi biologické účinky ionizujúceho žiarenia (IR) patrí nevratné poškodenie jednotlivých bunkových typov, čo sa môže prejaviť s dôsledkami na úrovni celého tkaniva. Poškodenie je spôsobené buď priamo, interakcie IR s DNA a bielkovinami, alebo nepriamo radikálmi vytvorenými rádiolýzou vody. Naším cieľom bolo stanoviť účinky IZ v periférnej krvi a pľúcach po celotelovom ožiarení (TBI) myšieho kmeňa C57Bl/6 dávkou 8 Gy. Sledované intervaly boli: 4, 8 a 24 h po ožiarení, ako aj 7, 21 a 30 dní po ožiarení, v porovnaní s kontrolnou, neožiarenou skupinou. Pomocou metódy prietokovej cytometrie boli stanovované hlavné populácie buniek v periférnej krvi a v pľúcach (lymfocyty, monocyty a granulocyty), subpopulácia lymfocytov (T, B a NK bunky) a v krvi aj subsetsy CD4+ T-lymfocytov (Th1,

Th2 a Th17). Taktiež boli sledované aj absolútne počty leukocytov. Hladiny cytokínov boli určené pomocou BD cytometric bead array – Mouse Inflammation kit (IL-6, IL-10, IL-12p70, INF $\gamma$ , TNF $\alpha$  a MCP-1). Výsledky tohto experimentu jasne demonštrujú časovo – závislú reakciu organizmu na gama ionizujúce žiarenie zmenou v relatívnom zastúpení leukocytárnych a lymfocytárnych populáciách v oboch tkanivách (periférna krv aj pľúca). Najväčšiu rádiosenzitivitu vykazovali lymfocyty, hlavne populácia B-lymfocytov. Najviac radiorezistentná je populácia makrofágov v pľúcnom tkanive. Výsledky zo stanovenia cytokínov preukázali významné zmeny v koncentráciách MCP-1 (periférna krv aj pľúca), IL-6 (periférna krv) a TNF (pľúca) v určitých časových intervaloch.

# Účinky gama záření na vodíkem zakončené nanokrystalické diamantové bio-tranzistory

Jana Vachelová<sup>1</sup>, Roman Hříbal<sup>2</sup>, Marie Krátká<sup>2</sup>, Egor Ukraintsev<sup>2</sup>, Marie Davídková<sup>1</sup>, Marta Vandrovcová<sup>3</sup>, Alexander Kromka<sup>2</sup>, Bohuslav Rezek<sup>2,4</sup>

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

<sup>2</sup> Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur, Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., ČR

<sup>3</sup> Biomateriály a tkáňové inženýrství, Fyziologický ústav AV ČR, v. v. i., ČR

<sup>4</sup> Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, ČR

[jana.vachelova@odz.ujf.cas.cz](mailto:jana.vachelova@odz.ujf.cas.cz)

Diamant je díky svým jedinečným vlastnostem považován za slibný, tkáni ekvivalentní materiál, který by mohl najít uplatnění jako bio-elektronický senzor zejména v radioterapii. Vykazuje jedinečnou kombinaci vnitřních vlastností (např. elektrických, optických, mechanických, chemických a biokompatibilitu), které z něho dělají perspektivní materiál pro bioelektroniku zahrnující elektrický a optický monitoring buněčných procesů.

V příspěvku budou představeny experimenty, které jsou zaměřeny na funkci a stabilitu mikroskopického ( $60 \times 20 \mu\text{m}^2$ ), vodíkem zakončeného, diamantového SG-FETs

(solution-gated field effect transistors) po gama ozáření při interakci s proteiny a adherentními buňkami. SG-FETs jsou připravovány na 300 nm tenké nanokrystalické diamantové vrstvě, která se mikrovlnou plazmatickou metodou CVD (chemical vapor deposition) deponuje na skleněné substráty. Před ozařováním ( $^{60}\text{Co}$ ) byla na SG-FETy adsorbována vrstva média s FBS a buňky (SAOS2- human sarcoma osteogenic cell line, NHDF-Neo – normal human dermal fibroblast neonatal). Před a po ozáření byly změřeny elektrické charakteristiky pomocí měřící jednotky Keithley 237 a morfologie proteinů a buněk na povrchu.



## Biofyzikální analýza některých účinků malých dávek záření

Antonín Sedlák

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

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

Biologické účinky velmi malých dávek ionizujícího záření jsou ze známých důvodů velmi obtížně pozorovatelné. Křivka dávka účinek často konstruovaná jen z malého počtu skutečně zjištěných dat může mít různý průběh. Její tvar může být lineární, prahový, konvexní či konkávní. Neuspokojivý počet dat mohou do jisté míry pomoci doplnit některé poznatky o možném mechanismu radiačního poškození v daném případě. Změnu konvexního tvaru křivky na lineární s rostoucí hustotou ionizací lze objasnit pomocí mikrodozimetrie, tutéž proměnu křivky, ale s klesajícím dávkovým příkonem, se mnohdy podaří interpretovat s využitím poznatků o mechanismech tvorby chromozómových aberací. Naproti tomu konkávní tvar této křivky u experimentů s izolovanými buněčnými kulturami je vykládán bystander-efektem nebo vlivem indukované radiorezistence. Až donedávna se mělo za to, že se obě tyto alternativy

vzájemně vylučují. V současné době je však naopak považován za více pravděpodobný předpoklad o jejich případné koexistenci. To ovšem ztěžuje možnost dopátrat se adekvátního závěru pro daný konkrétní případ. Obě z uvedených příčin se totiž na konečném výsledku mohou podílet velmi různou měrou. Úkolem sdělení je proto ukázat, že tento problém je možné překlenout využitím poznatků o rozdílných mechanismech obou těchto jevů. Analyzováno je několik konkrétních případů, které vycházejí z publikovaných křivek přežití pro různé buněčné linie a různé podmínky ozařování. Výsledky jsou porovnávány se závěry autorů příslušných experimentů. Konkávní tvar křivky dávka – účinek zobrazuje vyšší účinek při nízkých dávkách, než jaký by vyplýval z předpokladu přímkového průběhu této křivky. Proto je zapotřebí právě v tomto případě podrobněji zkoumat, zda nedochází k podhodnocení rizika radiačního poškození.

## Role epigenetiky v radiační biologii

Jana Konířová

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

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

Epigenetika se zabývá studiem reverzibilních změn ve funkci genů, které nastávají bez ohledu na změny v sekvenci jaderné DNA. Epigenetika může být také definována jako chromatinová dědičnost, epigenetické mechanismy jsou totiž způsobeny strukturními i chemickými modifikacemi chromatinu především DNA a histonů. Změny epigenetické informace mohou být indukovány jak genetickými faktory tak i faktory prostředí. Stále více se ukazuje, že epigenetika neboli změny epigenomu buňky hraje velice důležitou roli ve velkém množství buněčných procesů, především v regulaci genové exprese.

Počet lidí, kteří z důvodu výkonu svého povolání, z diagnostických nebo terapeutických důvodů byli exponováni ionizujícím záření postupně narůstá. Změny epigenetické informace v důsledku užití chemoterapeutik byly studovány po řadu let, ale změny epigenomu způsobené ionizujícím zářením byly na molekulární úrovni dosud jen velmi málo popsány. Výsledky studií zatím naznačují velký vliv radiace na epigenom buněk. Bylo pozorováno, že expozice ionizujícím záření způsobuje úpravy epigenetické informace,

což má dále vliv na osud buněk a jejich případnou odpověď na další expozici. Vliv radiace ale nemusí být izolován jen na exponovaného jedince. Někteří badatelé naznačují možnost přenosu změn epigenetické informace vzniklých v důsledku ozáření zárodečných buněk daného jedince i do dalších generací. Jiné studie se pak také zaměřily na vliv epigenetické informace na odpověď buněk na ionizující záření. Byly pozorovány rozdíly v epigenetické informaci u buněk z nádorů rezistentních k radioterapii oproti buňkám z nádorů na ozařování citlivých. V budoucnu by tak tyto výsledky mohly vést k objevení epigenetických biomarkerů pro predikci výsledků radioterapie a vývoj nových terapeutik ovlivňujících specificky epigenom nádorových buněk by mohl mít výrazný klinický význam.

Význam epigenetiky v radiobiologii a dalších oborech stále narůstá a čím dál tím více se ukazuje, že při sledování důsledků ozáření živých buněk a organismů se nemůžeme zaměřovat pouze na sledování vzniku mutací a poškození DNA neboli na genom, ale že musíme také velice pozorně sledovat změny na úrovni chromatinu, neboli epigenom.

# Study of fully automated analyzing system for the study of low-dose radiation effects on cellular radiobiology

Yuma Nagasaki<sup>1</sup>, Youichirou Matuo<sup>1</sup>, Kateřina Pachnerová Brabcová<sup>2</sup>, Nakahiro Yasuda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui, Kanawa 1-2-4, Tsuruga, Fukui 914-0055, Japan

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

[nyasuda@u-fukui.ac.jp](mailto:nyasuda@u-fukui.ac.jp)

In Fukushima, huge quantities of contaminated soil and waste are generating from decontamination activities after the Fukushima Daiichi nuclear disaster. There are some difficulties on final disposals since many procedures need to establish, such as acquisition of land by agreement formation in between residents, necessity of investigation for geological feature, producing of “value” on the area itself. Thus, Japanese government decided to establish an Interim Storage Facility to manage those safely.

Since experimental signal changes are extremely rare on DNA strand breaks and/or cell survivals at low-dose region, in the current situation, experimental data in this region with statistical significance are difficult to obtain because of necessity of the large number of samples. To achieve higher statistics, we have been developed a fully automated cell analysis system to verify radiation damage on cellular radiobiology. In radiation biology, we focus on functions for, Irradiation, Cell seeding, Colony staining and Colony

counting. We introduce two trials, a cell-growth monitoring system and an colony counting system. The cell growth monitoring system can realize to follow a cell growth individually, and enable to follow every single cell proliferation with cell generations. Automated colony counting system, cell colonies on dishes flow on the belt conveyor and can be imaged continuously. Images cell colonies can be analyzed using a system from track detection algorithms. Finally we combine all the function into the fully automated cell analysis system, and install the system into the underground of the Interim Storage Facility. A laboratory in the facility will be a low-dose exposure field. The system could continuously analyze changes on the signal from cells during culturing by cell survival, appearance of foci as DNA strand break signal and so on. The facility could be used not only the storage, but also experimental facility to produce “value” on the area.

## Krok kupředu ke kombinované personalizované terapii: Jak odpovídají různé typy buněk izolované z nádorů hlavy a krku na ozáření?

Olga Kopečná<sup>1</sup>, Michal Masařík<sup>2</sup>, Zuzana Horáková<sup>3</sup>, Martin Falk<sup>1</sup>, Iva Falková<sup>1</sup>, Alena Bačíková<sup>1</sup>, Daniel Depes<sup>1</sup>, Stanislav Kozubek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Biofyzikální ústav AV ČR, Brno, ČR

<sup>2</sup> Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, Brno, ČR

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

[olga.kop@centrum.cz](mailto:olga.kop@centrum.cz)

Nádory hlavy a krku představují agresivní novotvary lokalizované v blízkosti životně důležitých orgánů a částí těla. 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. Prvotní volba správné terapie je proto zásadní. Bohužel dosud nebyly nalezeny spolehlivé prediktivní klinické nebo molekulární markery, které by tuto volbu usnadnily.

Na tomto místě bychom rádi představili náš nový projekt týkající se studia molekulární odpovědi jednotlivých nádorů krku a hlavy a stanovení jejich radiosensitivity. Projekt by měl přispět ke spolehlivému odhalení pacientů hypersensitivních/rezistentních k záření a k optimalizaci jejich terapie. Cílem projektu je srovnání množství dvouřetězcových zlomů (DSB) indukovaných ionizujícím zářením a jejich reparace u a) buněk stejného typu izolovaných z různých

nádorů, b) různých typů buněk izolovaných z jednoho nádoru, c) buněčných kultur, kde různé typy buněk izolované z nádoru jsou kultivovány odděleně nebo společně. Výsledky těchto in vitro experimentů budou korelovány s klinickými výstupy po radioterapii jednotlivých pacientů.

Při současných experimentech monitorujeme indukci a reparaci DSB u různých typů buněk izolovaných z nádorů v různých časech po ozáření paprsky  $\gamma$  ( $^{60}\text{Co}$ , 2 Gy) pomocí kvantifikace  $\gamma\text{H2AX}/53\text{BP1}$  ohnisek za použití imunofluorescenční konfokální mikroskopie. Výsledky několika analyzovaných nádorů zatím neukazují žádné výrazné rozdíly v kinetice reparace DSB. Malé rozdíly byly také nalezeny při srovnání linií nádorových buněk a linií fibroblastů asociovaných s nádorem (TAFs) kultivovaných odděleně. Linie nádorových buněk + TAFs kultivované společně vykazovaly nižší indukci a rychlejší reparaci DSB než stejné linie kultivované odděleně. Projekt je podporován GAČR GA16-12454S a AZV 16-29835A.

## Vplyv morfometrických a fyziologických zmien fajčenia na pľúcnu dávku

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

<sup>1</sup> FMFI UK, Mlynská dolina, Bratislava, 842 48, SR

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

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

Fajčenie a radónová expozícia patria medzi najvýznamnejšie činitele ovplyvňujúce riziko vzniku rakoviny pľúc. Cigaretový dym obsahuje viac ako 3000 chemikálií toxického charakteru, ktoré dráždením pľúcnej sliznice vyvolávajú zvýšenú produkciu hlienovej vrstvy chrániacej terčové bunky pred žiarením. Pri dlhodobom fajčení vzniká závažné ochorenie dýchacieho systému (chronická pľúcna obštrukcia), ktoré je charakterizované zhoršovaním priechodnosti dýchacích ciest a postupnou deštrukciou pľúcneho tkaniva. Fajčenie mení morfologické aj fyziologické parametre pľúc, ktoré majú významný vplyv na dávku. Bronchiálna dávka závisí od stupňa ich poškodenia a preto ju možno využiť ako vhodný prostriedok na odhalenie účinkov fajčenia na pľúcny epitel. Stupeň týchto zmien sme kvantifikovali obštrukčným faktorom  $\varepsilon(S)$ , ktorý určuje, koľkokrát je za daných podmienok dávka fajčiara vyššia v porovnaní s dávkou nefaj-

čiara. Fajčiarov sme rozdelili podľa ich fajčiarskych návykov do štyroch fajčiarskych kategórii. Pre tieto skupiny bol známy počet vyfajčených cigariet a hodnota obštrukčného faktora. Mikrodozimetrickým modelom sme odvodili závislosť hraničnej mernej energie od počtu vyfajčených cigariet. Následne bola z epidemiologického modelu vypočítaná prírodná frekvencia výskytu rakoviny pľúc  $R$ . Mikrodozimetrickým modelom s nakalibrovanou mernou hraničnou energiou sme hľadali takú hodnotu obštrukčného faktora, aby pre dané expozičné a fajčiarske podmienky bol pomer glancing buniek u fajčiarov a nefajčiarov identický s hodnotou  $R$ . Zo získaných údajov sme určili závislosť obštrukčného faktora  $\varepsilon(S)$  ako funkciu intenzity a dĺžky fajčenia. Odvodená závislosť obštrukčného faktora má pre dozimetriu pľúc praktický význam, umožňuje u fajčiarov korektnšie vyhodnotiť absorbovanú dávku v pľúcnom tkanive.

## Nový pohled na radiosenzitizační efekt kovových nanočástic

**Lenka Štefančíková<sup>1,2</sup>, Martin Falk<sup>1</sup>, Sandrine Lacombe<sup>2</sup>, Daniel Depeš<sup>1</sup>, Erika Porcel<sup>2</sup>, Eva Pagáčová<sup>1</sup>, Daniela Salado<sup>2</sup>, Oliver Tillement<sup>3</sup>, François Lux<sup>3</sup>, Stanislav Kozubek<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Oddělení buněčné biologie a radiobiologie, Biofyzikální ústav, Akademie věd České republiky, v. v. i., Královopolská 135, Brno, 612 65, ČR

<sup>2</sup> Institut Sciences Moléculaires d'Orsay, Université Paris Sud 11, Paříž, 91 400, Francie

<sup>3</sup> Institut Lumière Matière, Université Claude Bernard, Lyon 1, Francie

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

Použití nanočástic (NP) v radioterapii slibuje zvýšení účinku ionizujícího záření na nádorové buňky, snížení nežádoucích účinků léčby, a tedy zlepšení prognózy pacienta. NP tvořené těžkými atomy (s vysokým  $Z$ ) se akumulují v nádorových buňkách a po absorpci záření emitují spršky elektronů, které poškozují okolní buněčné struktury a vedou ke zvýšené smrti ozářených buněk. Literární zdroje dobře popisují fyzikální mechanismus aktivace NP, biologický mechanismus jejich účinku však zůstává nejasný. DNA představuje z hlediska radiačního poškození buněk kritickou strukturu, a lze tedy předpokládat, že radiosenzitizační efekt NP souvisí se zvýšeným poškozením této molekuly.

Cílem výzkumu bylo ověřit tuto hypotézu pro Gd, Au a Pt nanočástice o průměru 2 nm a různé typy nádorových buněk ozářených zářením gama. Studované nanočástice nepronikaly do jádra a zůstávaly lokalizovány v cytoplazmě.

NP v ozářených buňkách nestimulovaly radiační poškození DNA, přesto však zvyšovaly jejich umírání. Předpokládáme, že studované NP mohou radiosensitivizovat (nádorové) buňky poškozením lyzozomů, jak naznačuje jejich kolokalizace s těmito organelami a nikoli např. s mitochondriemi. Důležitost lyzozomů v buněčných procesech je podporována různými novými objevy.

Viz také: Štefančíková L. et al. *J. Nanobiotechnology* 2016;14(1).

Projekt byl podpořen MŠMT (Projekt 3+3 a Projekt vládního zmocněnce pro spolupráci s JINR Dubna 2015-2018), MZČR (16-29835A), MŠMT (OPVK CZ.1.07/2.3.00/30.0030), GAČR (P302/12/G157 a 16-12454S), EU COST MP1002, The People Programme (Marie Curie Actions, FP7/2007-2013, REA grant 624370).

## Předléčebné stanovení radiosensitivity nádorů hlavy a krku, cesta k individualizované terapii?

Zuzana Horáková<sup>1</sup>, Martin Falk<sup>2</sup>, Iva Falková<sup>2</sup>, Olga Kopečná<sup>2</sup>, Alena Bačíková<sup>2</sup>, Stanislav Kozubek<sup>2</sup>, Daniel Depeš<sup>2</sup>, Hana Binková<sup>1</sup>, Břetislav Gál<sup>1</sup>, Marketa Svobodová<sup>3,4</sup>, Jaromír Gumulec<sup>3,4</sup>, Martina Raudenská<sup>3,4</sup>, Hana Polanská<sup>3,4</sup>, Michal Masařík<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> KOCHHK FN U sv. Anny v Brně, Brno, ČR

<sup>2</sup> Biofyzikální ústav Akademie věd, Královopolská 135, Brno, 612 65, ČR

<sup>3</sup> Ústav patologické fyziologie, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, Univerzitní Kampus Bohunice A18, Brno, 625 00, ČR

<sup>4</sup> Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické, Purkyňova 123, Brno, 612 00, ČR

[zuzana.horakova@fnusa.cz](mailto:zuzana.horakova@fnusa.cz)

Nádory hlavy a krku poškozují pacienta nejen agresivním růstem, ale i v důsledku radikální chirurgické léčby. Vyšší poléčebnou kvalitu života (QOL) nabízí neinvazivní (chemo)radioterapie. Efektivní je však její aplikace pouze u sensitivních nádorů; u rezistentních typů (až 50–60 %) naopak čelíme riziku progresu v průběhu léčby, zhoršení QOL i prognózy pacienta. Efektivní primární léčebná modalita je naprosto sěžejní. Radiosensitivita nádoru je podmíněna především genetickými parametry nádorových buněk, ale dosud neexistuje žádná známá souvislost s běžně stanovovanými charakteristikami tumoru. Naše studie je zaměřena na hledání potenciálního (dosud chybějícího) klinického markeru k předléčebnému stanovení radiosensitivity nádoru in vitro.

Metodou 3D imunofluorescenční mikroskopii hodnotíme ozáření indukované DNA zlomy (DSB) detekcí  $\gamma$ H2AX/53BP1 foků a jejich reparaci. DSB jsme kvantifikovali na skutečných nádorových buňkách (CD90+), tumo-

rem asociovaných fibroblastech (CD90-) (TAF), a směsných primokulturách (separovaných ze vzorků nádorové tkáně odebraných před léčbou) před, ihned po (5 min) ozáření  $\gamma$  (<sup>60</sup>Co, 2 Gy), a následně v dalších časech až do 24 h. Předběžné výsledky nepotvrdily významné rozdíly mezi nádory navzájem, ani mezi nádorovými buňkami a TAF téhož nádoru. Naopak, ve srovnání s normálními kožními fibroblasty, vykazovaly oba typy genomovou nestabilitu i pozdější reparaci. Zajímavé je, že směsné primokultury jevíly významně nižší indukci DSB a rychlejší reparaci ve srovnání s oběma typy buněk kultivovaných separovaně.

Do budoucna považujeme za klíčové především korelaci výsledků získaných in vitro s in vivo odpovědí pacienta na léčbu, hledání souvislostí s klinickými a histopatologickými parametry nádoru.

Projekt je podporován GAČR GA16-12454S a AZV 16-29835A.

## Radiační poškození proteinu p53

Marek Sommer<sup>1,2</sup>, Marie Davidková<sup>1,2</sup>

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

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

[sommema4@gmail.com](mailto:sommema4@gmail.com)

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.

Pomocí série experimentů byl zjištěn vliv záření na schopnost proteinu p53 vázat se na specifickou sekvenci DNA. Protein byl ozařován gama zářením <sup>60</sup>Co a následně byl inkubován s DNA plazmidem pPGM1, jenž obsahuje vazebnou sekvenci 5'~AGACATGCCTAGACATGCCT~3'. Množství proteinu, které bylo specificky navázáno na DNA bylo

určeno pomocí agaróзовé gelové elektroforézy. Tyto experimenty byly doplněny o teoretický model poškození Warlock, který byl vytvořen na základě simulace softwaru RADACK.

Teoretické modelování je v radiobiologii užitečný nástroj na simulování primárních procesů poškození zářením pro řadu biomolekul i buněk, s jehož pomocí lze i predikovat výtěžky a typ poškození. Software RADACK umožňuje předpovídat poškození biomolekul OH radikály, které ve velkých množstvích vznikají při radiolýze vody pomocí ionizujícího záření s nízkým LPE. Porovnáním výsledků simulací a experimentálních dat lze ověřit informaci o důležitosti jednotlivých aminokyselin pro funkčnost proteinů.



# Porovnání biologické účinnosti pasivního módu Double Scattering a aktivního módu Pencil Beam Scanning v protonové terapii

Anna Michaelidesová<sup>1,2,4</sup>, Jana Koniřová<sup>1,3</sup>, Jana Vachelová<sup>1</sup>, Vladimír Vondráček<sup>2</sup>, Marie Davidková<sup>1,4</sup>

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

<sup>2</sup> Proton Therapy Center Czech s. r. o., ČR

<sup>3</sup> Ústav molekulární genetiky, AV ČR, ČR

<sup>4</sup> FJFI ČVUT, Břehová 7, Praha 1, 115 19, ČR

[anna.michaelidesova@odz.ujf.cas.cz](mailto:anna.michaelidesova@odz.ujf.cas.cz)

Přestože se mód skenování tužkovým svazkem (Pencil Beam Scanning, PBS) stává v protonové terapii stále více populární, dosud nebyly detailně studovány jeho biologické účinky oproti pasivnímu ozařování dvojným rozptylem (Double Scattering, DS). Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma módy je ve velikosti dávkového příkonu, který může být v případě PBS módu lokálně i o čtyři řády vyšší než v případě DS módu. Buněčná populace je citlivý systém, u kterého tento rozdíl hraje důležitou roli.

Ionizující záření způsobuje v buňkách řadu poškození, jako jsou jednoduché (SSB) a dvojně zlomy (DSB) na dvoušroubovici DNA, poškození bází, kovalentní vazby DNA s proteiny atd. U nízkého dávkového příkonu se v buňkách mohou aktivovat procesy reparace a repopulace již během ozařování, díky tomu může být efekt ozařování značně redukován. U vysokého dávkového příkonu může naopak docházet k rekombinaci produktů radiolýzy vody vzniklých interakcí různých protonů ve svazku. Tím může docházet ke snížení podílu nepřímého účinku na primárním poškození

v buňkách. Proto ozařování módy DS a PBS nemusí vést ke stejnému biologickému účinku.

Prezentovaná studie je zaměřená na in vitro porovnání biologických efektů po ozáření buněčných vzorků za téměř stejných podmínek módy DS a PBS. Buňky byly ozářeny v kultivačních lahvích (TK25, TPP) stejnými dávkami od obou módů.

Po ozáření byly sledovány dva základní parametry a to buněčné přežití a úroveň apoptózy v různých časech po ozáření. Dále jsme pomocí imunofluorescenčních metod zjišťovaly počet mikrojader při prvním buněčném dělení po ozáření, počet dvojných zlomů a kinetiku reparace buněk.

Z našich výsledků je patrná lehce vyšší biologická účinnost aktivního módu oproti módu pasivnímu. Několik publikací z posledních let ukazuje, že rozdíl patrný není. Tyto publikace se ovšem věnovaly pouze buněčnému přežití, což je metoda s velkými směrodatnými odchylkami. Není tedy vhodné usuzovat pouze na základě této metody, ale je nutné provést komplexnější studie, které budou sledovat více buněčných parametrů.

## Rejstřík

Ambrožová Iva, 73, 74, 81, 83, 93  
Andert David, 67  
Angelis Karel, 146

Bačíková Alena, 146, 154, 157  
Bárdyová Zuzana, 131  
Bártová Hana, 145  
Bednář Vojtěch, 113  
Berčíková Marcela, 40  
Berger Thomas, 83  
Bican Radek, 29  
Binková Hana, 157  
Bláha Lukáš, 35  
Böhm Radoslav, 155  
Borecký Zdeněk, 35  
Borek Petr, 124  
Brunclík Tomáš, 109  
Budayová Miluše, 85, 87, 89  
Bulko Martin, 94  
Burian Ivo, 98  
Burianová Ludmila, 104, 118

Cabáneková Helena, 30  
Cvachovec František, 92, 102, 103

Čechák Tomáš, 85  
Čemusová Zina, 35, 80, 82  
Čermák Martin, 23  
Čermáková Eva, 71

Černý Radek, 29, 98  
Červenková Anna, 83  
Češpírová Irena, 50, 108

Davidková Jana, 70  
Davidková Marie, 73, 79, 83, 93, 133, 147, 148, 150, 158,  
159  
Depeš Daniel, 154, 156, 157  
Dostálková Klára, 75  
Dostálová Petra, 125  
Dudáš Denis, 116  
Dudáš Rostislav, 24  
Dufek Vladimír, 126, 127, 141  
Dulanská Silvia, 60, 61

Řurčík Matej, 30

Durný Norman, 120, 121  
Dušek Ladislav, 146

Ekendahl Daniela, 72, 80, 82, 141  
Emfietzoglou Dimitris, 133

Falk Martin, 146, 154, 156, 157  
Falková Iva, 146, 154, 157  
Fantínová Karin, 111  
Farkas Gabriel, 63  
Farkaš Gabriel, 64  
Fík pes, 75  
Flamíková Dorota, 63

Fojtík Pavel, 53, 71, 111  
Fojtíková Ivana, 33, 35–37  
Froňka Aleš, 29, 35–37, 49, 68

Gál Břetislav, 157  
Galanda Dušan, 117  
Galbavý Štefan, 146  
Gregor Zdeněk, 88  
Grísa Tomáš, 105  
Gryc Lubomir, 108  
Gumulec Jaromir, 157

Hanuš Martin, 95  
Hanušová Tereza, 129  
Havránek Vladimír, 76, 79  
Havránková Barbora, 123  
Helebrant Jan, 50, 108  
Herman Ondřej, 92  
Hinca Róbert, 101  
Hladíková Dana, 35  
Hlavička Jiří, 124  
Hofer Michal, 146  
Holeček Josef, 41  
Holý Karol, 94, 155  
Hora Pavel, 51  
Horáková Ivana, 126, 127, 129  
Horáková Zuzana, 154, 157  
Hornáček Martin, 55, 57, 65  
Horváthová Bianka, 60  
Horváthová Martina, 131  
Hovorka Jiří, 75  
Hradecký Jan, 35

Hříbal Roman, 150  
Hůlka Jiří, 71, 72, 119  
Huml Ondřej, 46

Chrenková Miroslava, 136  
Chroust Jan, 75, 76  
Chytrá Kateřina, 132

Jančář Aleš, 92, 102  
Jankovec Michal, 36  
Javorník Andrej, 122  
Jelénková Kateřina, 130  
Jeličová Marcela, 78, 149  
Jelínek Miloš, 71  
Jelínek Petr, 25  
Jesenič Martin, 65  
Ješkovský Miroslav, 94  
Jež Jiří, 22  
Ježková Tereza, 47, 52  
Jílek Karel, 35, 71, 97  
Johnová Kamila, 114  
Jonášová Lenka, 84, 137  
Judas Libor, 80, 100, 115, 116  
Juchová Ludmila, 136  
Jurášková Karolína, 113  
Jurda Miroslav, 27, 29

Kaczor Stanislav, 148  
Kačur Martin, 104  
Kákona Jakub, 75, 76  
Kákona Martin, 73–77  
Kantová Žaneta, 136

Kapuciánová Michaela, 80, 141  
Klejdus Bořivoj, 146  
Klupák Vít, 107  
Klusoň Jaroslav, 109  
Kok Angela, 119  
Kolros Antonín, 74, 91, 107  
Komůrková Denisa, 146  
Končeková Jitka, 130  
Koniarová Irena, 126, 129, 141  
Konířová Jana, 79, 152, 159  
Kopecký Zdeněk, 102  
Kopečná Olga, 154, 157  
Košťál Michal, 91, 92  
Kotík Lukáš, 127  
Kovář Pavel, 75  
Koybasi Ozban, 119  
Kozubek Stanislav, 146, 154, 156, 157  
Kráčmerová Tereza, 84, 137  
Králík Gabriel, 136  
Králík Miloslav, 134  
Krátká Marie, 150  
Krist Pavel, 75, 76  
Křištofová Kristína, 64  
Kromka Alexander, 150  
Kříž Radim, 124  
Kubančák Ján, 74, 105  
Kuča Petr, 45, 50  
Kučera Miroslav, 95  
Kulichová Zuzana, 38  
Kurková Dana, 100, 115, 116  
Kyriakou Ioanna, 133

Kyselová Dagmar, 73, 74, 76, 77  
Lacombe Sandrine, 156  
Lahodová Zdena, 107  
Launer Martin, 55  
Lázna Tomáš, 99  
Lenk Jan, 35  
Lerachová Jitka, 142  
Lierová Anna, 78, 149  
Lipenská Nikola, 75  
Lištjak Martin, 56, 58, 59, 112  
Lučeničová Zuzana, 95  
Lustyková Stanislava, 26  
Lux François, 156  
Lužová Martina, 74  
Malá Helena, 47  
Malý Jiří, 91  
Mamedov Fadahat, 71  
Maňásková Hana, 67  
Martinčík Jiří, 85  
Masařík Michal, 154, 157  
Mašek Petr, 119  
Matěj Zdeněk, 92, 102, 103  
Mátel Lubomír, 60, 61  
Matolín Milan, 21  
Matuo Youichirou, 153  
Meier Dirk, 119  
Mendl Zdeněk, 67  
Merešová Jana, 38  
Metelka Radovan, 78  
Michaelidesová Anna, 79, 148, 159

- Milčák Ján, 91  
Moretti Federico, 95  
Moučka Ladislav, 35, 37  
Možnar Radim, 52  
Mravec Filip, 92, 103  
Mudra Josef, 62  
Müller Tomáš, 28  
Müllerová Monika, 94
- Nagasaki Yuma, 83, 153  
Navrátil Matěj, 134  
Nečas Vladimír, 55, 57, 63, 65  
Němcová Markéta, 110  
Němec Miloslav, 26  
Němeček Ladislav, 98  
Neubauer Jaromír, 97  
Nezvalová Hana, 26  
Nikl Martin, 95  
Nikodemová Denisa, 131, 144  
Novák Evžen, 91  
Novák Hynek, 140  
Novák Leoš, 132
- Ohera Marcel, 108, 110  
Olšovcová Veronika, 67  
Ometáková Jarmila, 122  
Oravkin Martin, 64, 101  
Otáhal Petr, 41, 98
- Pagáčová Eva, 146, 156  
Pachnerová Brabcová Kateřina, 73–75, 81, 83, 93, 147, 153  
Pajerský Pavol, 56, 59
- Papírník Petr, 85, 123  
Pavelek Martin, 92  
Pecha Petr, 45  
Pejchal Ondřej, 130  
Peksa Mikuláš, 77  
Petercová Sabina, 61  
Petráněk Vít, 44  
Petrová Karla, 69, 70, 140  
Petýrková Janečková Lenka, 125, 139  
Picard Jean-Luc, 75  
Ploc Ondřej, 73–77, 135  
Podškubková Hana, 66  
Polanská Hana, 157  
Porcel Erika, 156  
Pospíšil Stanislav, 119  
Povinec Pavel P., 94  
Pravdová Eva, 34, 37, 40  
Procházka Petr, 67  
Průša Petr, 95, 113  
Přenosil Václav, 92, 103  
Přidal Petr, 76  
Ptáček Jaroslav, 125  
Puchalska Monika, 135
- Rau Luboš, 59  
Raudenská Martina, 157  
Remenec Boris, 60  
Rezek Bohuslav, 150  
Richtáriková Marta, 94  
Richter Vít, 125  
Rubovič Peter, 72  
Rukhadze Ekaterina, 71

- Rulík Petr, 47, 52, 71  
Rychtařík Tomáš, 20
- Sabol Jozef, 54, 128  
Salado Daniela, 156  
Saro Matúš, 64, 101  
Sas Daniel, 103, 110  
Sedlák Antonín, 151, 155  
Shurshakov Vyacheslav A., 81  
Schulc Martin, 91  
Sihver Lembit, 135, 147  
Sládek Petr, 96  
Slaninka Alojz, 56, 58, 59  
Slavíček Tomáš, 119  
Slavíčková Michaela, 35  
Slávik Ondrej, 58  
Slezáková Miriam, 97  
Slimák Andrej, 112  
Sloboda Michal, 47  
Slovák Jaroslav, 34, 40  
Slugeň Vladimír, 64, 101  
Smolek Karel, 71  
Sochor Vladimír, 104  
Solný Pavel, 84, 85  
Sommer Marek, 158  
Sopko Bruno, 76  
Soukup Tomáš, 90  
Spěváček Václav, 145  
Starostová Věra, 42  
Stoček Pavel, 71  
Stránský Vojtěch, 39  
Strišovská Jana, 117
- Studený Jiří, 86  
Suchánek Jakub, 137  
Sury Jan, 53, 96  
Svoboda Tomáš, 109  
Svobodová Marketa, 157  
Sýkora Ivan, 94
- Šefl Martin, 133  
Šesták Bedřich, 54  
Šindelková Eva, 43  
Šinkorová Zuzana, 78, 149  
Šivo Alexander, 94  
Šlegl Jakub, 81, 135  
Šolc Jaroslav, 29, 104, 118  
Štefančíková Lenka, 146, 156  
Štekl Ivan, 71  
Štěpán Václav, 73–77, 147  
Štika Jan, 130, 143  
Štursa Jan, 79  
Švec Libor, 110
- Thinová Lenka, 29, 75, 109  
Tillement Oliver, 156  
Timková Jana, 33  
Tolochek Raisa V., 81  
Tomášek Ladislav, 32, 127  
Tomášek Oldřich, 88  
Trdlička Jiří, 67  
Trečková Veronika, 144  
Trojek Tomáš, 119  
Trojková Darina, 142  
Truneček Roman, 67

Ukrajntsev Egor, 147, 150  
Urban Tomáš, 85, 106, 119, 143

Vacek Václav, 103  
Vachelová Jana, 79, 150, 159  
Valouchová Helena, 142  
Vandrovcová Marta, 150  
Vedda Anna, 95  
Velkoborská Marcela, 27  
Veškrna Martin, 92, 102, 103  
Viererbl Ladislav, 74, 107  
Vinklář Jan, 89  
Vítková Lucie, 74  
Vokál Vojtěch, 24  
Vondráček Vladimír, 79, 134, 159  
Vošahlík Josef, 29, 98  
Vrba Tomáš, 118  
Vrban Vladimír, 51  
Vtelenská Martina, 115

Vykydal Zdeněk, 72, 134  
Vyletělová Petra, 39

Wagner Vladimír, 48  
Wallová Gabriela, 38  
Weiterová Lenka, 146  
Wolf Zdeněk, 84

Yasuda Nakahiro, 153

Zach Václav, 79  
Zachariášová Ivanka, 140  
Zálešáková Michaela, 122  
Zárybnická Lenka, 78, 149  
Zemanová Eva, 138

Žáčková Helena, 127  
Žalud Luděk, 99  
Ženatá Ivana, 31, 33  
Žlebčík Pavel, 46