



XLIV. Dny radiační ochrany

sborník abstraktů

6.–10. 11. 2023, Tábor



**FAKULTA
JADERNÁ
A FYZIKÁLNĚ
INŽENÝRSKÁ
ČVUT V PRAZE**



Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

Česká společnost ochrany před zářením, z. s.

Programový výbor:

Marie Davídková

Tomáš Čechák
Silvia Dulanská
Igor Gomola
Karol Holý
Ivana Horáková
Irena Koniarová
Robert Hinca
Jiří Hůlka

Blanka Marinová
Jitka Mikšová
Kateřina Navrátilová Rovenská
Ondřej Ploc
Petr Průša
Iveta Smetanová
Adriana Sokolíková
Magdaléna Vičanová

Organizační výbor:

Lenka Thinová

Kateřina Pachnerová Brabcová
Tomáš Čechák
Marie Davídková
Aneta Dušková
Eva Fialová
Jiří Hájek
Eliška Jelínková
Martin Kaschner
Ondřej Kořistka

Monika Kotyková
Andrea Krouparová
Pavel Novotný
Kateřina Pilařová
Martin Procházka
Václav Štěpán
Dagmar Štěpánová
Eliška Trojáková
Tomáš Trojek

XLIV. Dny radiální ochrany sborník abstraktů

Editor	Václav Štěpán
Vydalo	České vysoké učení technické v Praze
Kontaktní adresa	Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Břehová 7, 115 19 Praha 1
Kontaktní osoba	Lenka Thinová, +420 607 729 178
Sazba	Václav Štěpán a Vít Zýka
Vydáno	Praha, listopad 2023, první vydání
Počet stran	129
ISBN	978-80-01-07245-5
DOI	https://doi.org/10.14311/DRO.2023.XLIV
Licence	Poskytnuto pod Creative Commons BY-NC-ND 4.0
Verze	2023-12-12 11:44:50 (e4ee00d)

Vážené kolegyně, vážení kolegové,

otevíráte sborník abstraktů konference, která má před svým názvem již číslovku 44. Po složitém covidovém období se vloni konference konala na Slovensku ve Staré Lesné a letos Vás zveme již v tradičním listopadovém termínu do husitského města Tábor. Věříme, že se Vám nové místo konání bude líbit. Organizační výbor konference připravil pro účastníky řadu doprovodných akcí, které připomenou historii města.

V letošním roce se sešlo 106 příspěvků přihlášených do osmi tradičních sekcí.

Konferenci zahájíme v pondělí 6. listopadu odpoledne sekcí Všeobecné aspekty radiační ochrany a vzdělávání, kterou začneme výletem do historie radiační ochrany.

Pro mladé kolegyně a kolegy bude jistě zajímavé poslechnout si zvanou přednášku Ireny Malátové, která je v oboru uznávaným odborníkem. Hned poté se dozvíme o aktuálních mezinárodních aktivitách v oblasti RO, novele atomového zákona a novinkách ve vzdělávání.

V úterý ráno začne odborný program zvanou přednáškou věnovanou RO při lékařských ozářeních, kterou přednese naše dlouholetá kolegyně Denisa Nikodémová ze Slovenska. Úterní program věnovaný lékařskému ozáření a biologickým účinkům záření zakončíme členskou schůzí České společnosti pro ochranu před zářením, z. s., na kterou zveme nejen členy společnosti, ale i všechny účastníky konference.

Středěční program zahrnuje prezentace k tématům RO v jaderně-palivovém cyklu, havarijní připravenost, nakládání s radioaktivními odpady, a dozimetrie zevního a vnitřního ozáření. Odpoledne si přijďte poslechnout prezentace firem a prohlédnout plakátová sdělení. Den bude zakončen společenským večerem, který začíná v 19 hodin. O úvodní slovo požádáme naše tradiční sponzory a vyhlásíme vítěze soutěže ČSOZ o nejlepší práci v oboru radiační ochrany.

Jedním z doprovodných programů konference je umělecká soutěž na téma „Historie Tábora: Husitství“. Pomozte nám potvrdit, že fyzikové jsou nadaní v mnoha odvětvích, nejenom ve vědě. Jak se můžete zúčastnit? Vytvořením uměleckého dílka souvisejícího s husitskou historií. Umělecké výtvořiny vystavíme na konferenci, abychom mohli obdivovat nové talenty. Co se považuje za „umění“? Kreativitě se meze nekladou. Vítané jsou obrázky, modely, písně či básně, origami, ruční práce všeho druhu, komiksy a mnoho dalšího, čím se rozhodnete své kolegy pobavit či potěšit. Pro ty, kdo stále nestíhají, bude i během konference možnost popustit uzdu fantazii a humoru v našem výtvarném koutku, a to až do čtvrtka.

Program čtvrtěčního večera pod taktovkou pana prof. Tomáše Čecháka Vám nabídne poutavé povídání, interaktivní kvíz s cenami pro vítěze a o hudební doprovod se postará kapela, hrající dobové skladby. Celý večer se ponese ve znamení historie, nových pod-

nětných zajímavostí a neformální zábavy s ostatními účastníky naší konference. Během večera vyhlásíme také vítěze výtvarné soutěže. Těšíme se na setkání s Vámi na této výjimečné události!

V rámci letošní konference pro vás organizátoři připravili také soutěž ve městě Tábor. Účastí v soutěži se můžete dozvědět o zajímavostech města, nadechnout se historie a aktivně si odpočinout vyhledáváním odpovědí na připravené úkoly. Pojdme spolu hravě a zábavně zažít krásy Tábora v tajupl-

ném listopadovém smrákání. Vyluštěním úkolů, které naleznete ve své konferenční tašce, získáte souřadnice pokladu, který na Vás čeká ukryt na tajném místě.

Na závěr bychom vám chtěly jménem svým i jménem programového a organizačního výboru popřát, aby se vám letošní 44. Dny radiační ochrany líbily, abyste se dozvěděli zajímavosti z historie radiační ochrany i poslední 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



VF, a. s. www.vf.cz



Sponzoři

ČEZ, a. s. www.cez.cz



GEORADIS s. r. o. www.georadis.com



Ing. Petr Šimeček – RDS www.rdsys.cz



M. G. P., spol. s r. o. www.mgp.cz



NUVIA a. s. www.nuvia.cz



Konferenci dále podpořili

CRYTUR, spol. s r. o.

www.crytur.com



Obsah

Úvodní slovo	1
Sponzoři	3

Pondělí

Všeobecné aspekty radiační ochrany a vzdělávání – 1

Radiační ochrana od 19. do 21. století <i>Irena Malátová</i>	17
Aktuální mezinárodní aktivity v oblasti radiační ochrany <i>Karla Petrová</i>	18
Novela atomového zákona <i>Jana Povolná</i>	19
První rok PIANOFORTE – Evropského partnerství pro výzkum v radiační ochraně <i>Marie Davídková</i>	20
Zajištění lidských zdrojů v návaznosti na plánovaný rozvoj jaderné energetiky v ČR <i>Josef Kaňkowský, Martin Máca</i>	21
Innovative method of CR-39 radon detector analysis for didactic purposes <i>Miroslav Vanek</i>	22
Zajištění radiační ochrany v ELI Beamlines <i>Anna Cimmino, Benoît Lefebvre, David Horváth, Michal Šesták, Roberto Versaci, Roman Truneček, Veronika Olšovcová, Zuzana Trunečková</i>	23
Skutočné nebezpečenstvo v dôsledku vypúšťania odpadových vôd z Fukušimy do oceánu <i>Marko Fülöp, Igor Gomola, Jana Hudzietzová, Pavol Ragan, Jozef Sabol</i>	24
Mimořádné případy nálezů a záchytů radioaktivních látek <i>Veronika Štědrová, Andrea Svobodová, Michaela Vostřáková</i>	25

Proč (ne)zrušit přijímací zkoušky a zkoušky dlouhodobé stability zdrojů ionizujícího záření ve zdravotnictví <i>Pavel Dvořák</i>	26
Blended learning – vzdělávací kurzy pro studenty evropských universit skupiny Cherne, zaměřené na radiační a radiologickou fyziku <i>Lenka Thinová, Pavel Novotný, Ondřej Kořistka, Václav Štěpán</i> .	27

Rentgenová diagnostika, radioterapie a nukleární medicína – 2

Meranie profilov radiačného poľa lineárnych urýchlovačov <i>Andrej Babič, Dušan Kamas, Erik Vanko, Dušan Šalát</i>	28
Aktualizace doporučení pro vyjadřování nejistot v klinické dozimetrii <i>Ivana Horáková, Lukáš Kotík</i>	29

Postery

Metrologický projekt TraMeXI: Návaznost v dozimetrii rentgenového zobrazování v medicíně <i>Jaroslav Šolc, Jana Šmoldasová, Vladimír Sochor</i>	30
--	----

Rentgenová diagnostika, radioterapie a nukleární medicína – 2

Súčasný trendy v radiačnej ochrane pri lekárskejších ožiareníach <i>Denisa Nikodemová</i>	31
Prehľad počtu vykonaných vyšetrení v jednotlivých rádiologických modalitách na Slovensku, v rokoch 2019–2022 <i>Anita Zubáková, Denisa Nikodemová, Martina Horváthová, Igor Gomola</i>	33
Radiačný preukaz pacienta – máme sa radovať, alebo plakať? <i>Dušan Šalát, Michal Lacko, Anna Šalátová</i>	35
Možnosti znižovania radiačnej záťaže intervenčných rádiológov prostredníctvom Zero-Gravity <i>Martina Horváthová, Zuzana Bárdyová, Igor Gomola, Tibor Balázs, Juraj Mikuláš, Darina Budošová</i>	36
Problematika stanovení přepočtových koeficientů v oční dozimetrii <i>Jana Tamášová, Lenka Borovičková, Zdenka Balogová</i>	38
Problematika monitorování rodinných příslušníků pacientů po podané terapii Lu-177 <i>Jana Hudzietzová, Marko Fülöp, Igor Gomola, Peter Nemček, Milan Mráz, Jozef Sabol, Pavol Ragan</i>	39

Biologické účinky a zdravotní hlediska – 3

Implementace metod biologické dozimetrie a ověření jejich aplikovatelnosti pro různá radiační pole <i>Jakub Vávra, Artur Sergunin, Daniela Ekendahl, Johana Alaverdyan</i>	40
Ověřování podmínek vzniku nemoci z povolání – Nový metodický postup <i>Pavlna Čiháková, Ladislav Tomášek, Lukáš Kotík, Petr Papírník, Tomáš Müller, Hana Podškubková</i>	41
Absolute and relative risk models in cohort studies of uranium miners <i>Ladislav Tomášek</i>	42
Interakce kouření a expozice radonu <i>Ladislav Tomášek, Robert Řeřicha, Tomáš Müller</i>	43
Součinnost inhalace radonu a působení virů při indukcii karcinomu plic <i>Antonín Sedlák</i>	44
Rádiobiologická analýza BRCA pacientov <i>Dušan Šalát, Ivana Gulašová, Karol Martinka, Vladimír Bella</i>	45
Sledovanie možného vzniku tkanivových reakcií pri výkonoch intervenčnej rádiológie <i>Radoslava Berdisová, Martina Horváthová, Zuzana Bárdyová</i>	46

Reakce buněčných linií derivovaných z glioblastomů na protonové a fotonové ozáření v přítomnosti sloučenin bóru <i>Oldřich Zahradníček, Irina Danilova, Kateřina Pachnerová Brabcová, Jana Vachelová, Zuzana Jamborová, Pavel Kandrát, Pavel Bláha, Miroslav David, Matěj Navrátil, Vladimír Vondráček, Anna Jelínek Michaelidesová, Marie Davidková</i>	47
Zvýšení účinnosti protonové terapie s použitím velmi vysokých dávkových příkonů a metody proton-borové fúze <i>Pavel Bláha, Ludovic De Marzi, Valerio Cosimo Elia, Frederique Mégnin-Chanet, Katarína Michaličková, Amelia Maia Leite, Annalisa Patriarca, Frederique Pouzoulet, Valerio Ricciardi, Christophe Roulin, Lorenzo Manti</i>	48
Nové možnosti monitoringu nanopartikulí kyseliny hyaluronové v radiobiologii <i>Zuzana Šinkorová, Jiří Šinkora, Lenka Jandová, Jana Čížková, Zuzana Bílková, Lucie Korecká, Nikola Matějková, Anna Carrillo</i>	50
Predikce odpovědi nádorové tkáně na radioterapii na základě hladiny proteinu p53 v ozářených buňkách <i>Irina Danilova, Martina Zíková, Jana Klementová, Marie Davidková</i>	51
Postery	
Aplikace a optimalizace vybraných metod biologické dozimetrie se zaměřením na analýzu dicentrických chromozomů <i>Johana Alaverdyan, Artur Sergunin, Daniela Ekendahl, Jakub Vávra</i>	52
Rádiologické aspekty kontaminácie ochudobněným uránom <i>Róbert Hincá, Branislav Stríbrnský, Vladimír Slugeň</i>	53
Simulácia interakcie kozmického žiarenia s jednoduchým modelom ľudského oka v Geant4 a FLUKA <i>Blahoslav Pastířčák, Dominika Švecová, Pavol Bobík</i>	54

Středa

Nakládání s radioaktivními odpady, vyřazování jaderných zařízení z provozu – 4

Koncepční otázky nakládání s RAO v ČR <i>Radek Trtálek</i>	55
Problematika přijatelnosti radioaktivního odpadu do úložiště RAO <i>Hana Vojtěchová, Jitka Mikšová, Soňa Konopásková</i>	56
Současný stav a perspektivy využívání úložišť nízko a středněaktivních odpadů v České republice <i>Jaromír Sud, Josef Kaštánek</i>	57

Postery

Uvolnění cyklotronu PET do životního prostředí <i>Karel Prchal, Alena Rosáková, Jakub Záruba</i>	58
---	----

Radiační ochrana v jaderně-palivovém cyklu, havarijní připravenost – 5

Národní radiační havarijní plán a jeho ověřování <i>Karla Petrová</i>	59
Připravenost HZS ČR na radiační události <i>Michal Setnička</i>	61
Vliv K a Ca na přestup radionuklidů Cs-134 a Sr-85 do vybraných zemědělských plodin <i>Jan Škrkal, Věra Záhorová</i>	62

Postery

Modelování dopadů havarijních úniků z jaderné elektrárny <i>Petr Kuča, Anna Selivanova, Barbora Marešová</i>	64
Výběr a kalibrace detektorů pro letecké monitorování v časně fázi havárie <i>Marcel Ohera, Irena Češpírová, Lubomír Gryc</i>	65
Možnosti SÚRO při dohledávání zdrojů ionizujícího záření <i>Irena Češpírová, Martina Nováková, Marcel Ohera, Lubomír Gryc, Jan Helebrant</i>	66
Monitorování radionuklidů v okolí JE Temelín v letech 2000–2022 <i>Lenka Thínová, Jaroslav Klusoň, Kamila Johnová, Ondřej Kořistka, Radim Možnar</i>	67

Dozimetrie zevního a vnitřního ozáření – 6

Tkáňově ekvivalentní LET spektrometr SPRM – testování různými ionty na zařízení HIMAC <i>Martina Lužová, Hisashi Kitamura, Marek Sommer, Martin Kákona, Michal Marčíšovský, Ondřej Ploc, Pavel Brož, Petr Suchánek, Satoshi Kodaira</i>	68
Upgrade solného detektoru <i>Zina Čemusová, Daniela Ekendahl, Zdeněk Sofer</i>	69
Dozimetrie radiačního pole v okolí svářečky elektronovým svazkem ES3X <i>David Zoul, Kateřina Daníčková, Ludvík Horalík, Robert Visinger, Tomáš Falter</i>	70

Postery

Analýza dat z centrálního registru profesních ozáření <i>Miluše Budayová</i>	71
Vliv nových dokumentů ICRP Occupational Intake of Radionuclides na stanovení dávky z vnitřní kontaminace <i>Vendula Rovenská, Pavel Fojtík</i>	72
Systémy luminiscenční dozimetrie pro monitorování externího ozáření v prostředí <i>Michaela Kapuciánová, Daniela Ekendahl, Zina Čemusová, Martina Vtelenská</i>	73
Rizika a nejistoty detekce gamma-H2AX pro účely biodozimetrie <i>Kateřina Uttendorfská, Lenka Andrejsová, Anna Lierová, Jana Čížková, Karolína Bacílková, Zuzana Šinkorová</i>	75

Metrologie, měření, přístrojová technika a její aplikace – 7

Radiouhlíkové datování v boji proti kriminalitě páchané na chráněných živočišných druzích <i>Kateřina Pachnerová Brabcová, Jitka Kufnerová, Markéta Petrová, David John, Vojtěch Valášek, Ivo Světlík</i>	77
Radiačně odolné scintilátory s vysokou hustotou v kombinaci se SiPM pro nové aplikační možnosti <i>Tomáš Marek, Jan Touš, Karel Blažek, Tomáš Brunclík, Tomáš Vaněk</i>	78
Spektrální a scintilační vlastnosti nového scintilátoru (Gd,Y)AlO ₃ :Ce <i>Monika Kotyková, Martin Nikl, Alena Beitlerová, Romana Kučerková, Tomáš Marek, Jan Polák, Karel Bartoš, Karel Blažek, Jan Touš</i>	80
Měření funkce světelného výtěžku pro kapalné organické scintilátory PYR5/DIPN a THIO5/DIPN <i>Jaroslav Jánský, Jiří Janda, Michal Košťál, Zdeněk Matěj, Tomáš Bílý, Věra Mazánková, Filip Mravec, František Cvachovec</i>	81
Neutronový detektor pro měření kosmického záření a radiačních jevů v bouřích <i>Marek Sommer, Iva Ambrožová, Jakub Šlegl, Ondřej Ploc</i>	82
Validation and development of the G4SEE radiation effect simulation toolkit <i>Eva Fialová, Dávid Lucsányi</i>	83
Development of two reference materials within project MetroPOEM <i>Monika Mazánková</i>	84
Realizace kalibračních svazků řady „Narrow-spectra series“ podle norem ISO 4037:1-3 s hodnotami příkonu kermy ve vzduchu méně než 200 µGy/hod v Kalibrační laboratoři SÚRO. <i>Libor Judas, Dana Kurková, Martina Vtelenská, Vladimír Dufek</i>	85
Nový postup při ověřování bránových měřidel radioaktivity <i>Tomáš Soukup</i>	86
CzechRad – nový detektor s GPS pro občanské mapování radiace <i>Jan Helebrant, Marek Helebrant, Jiří Hůlka</i>	87
In situ testování prototypu laserové dozimetrické sondy s bezdrátovým přenosem dat, pracující na principu radiochromického jevu v organickém detekčním elementu <i>David Zoul, Hana Vodičková, Jakub Beinstein, Luděk Kiňovič</i>	88

Nedestruktivní testování alternativních materiálů pro ukládání radioaktivních odpadů, pomocí výpočetní 3D gama tomografie <i>David Zoul, Pavel Zháňal, Halodová Patricie, Ladislav Viererbl, Antonín Kolros, David Dobrev, Petr Večerník</i>	89
Spektrometer rychlých neutronů založený na reakci (n,p) <i>Marko Fülöp, Andrea Šagátová, Ivan Benkovský, Pavol Ragan, Igor Gomola, L. Foltínová</i>	90
Kalibrace sekundárního Time-over-Threshold spektra detektorů Georadis RT-56 <i>Jakub Šlegl, Iva Ambrožová, Ondřej Ploc</i>	91

Postery

Využití strojového učení při rychlé screeningové analýze atmosférických radioaktivních aerosolů <i>Miroslav Hýža, Lenka Dragounová, Mahulena Kořistková</i>	92
Teplotní závislosti a radiační stabilita nových kapalných organických scintilátorů pro n- γ diskriminaci <i>Věra Mazánková, Jiří Janda, Jaroslav Jánský, Tomáš Rozsypal, Lenka Andrejsová</i>	93
Měření fluence neutronů ve vertikálních kanálech výzkumného reaktoru LVR-15 <i>Ladislav Viererbl, Hana Assmann Vratislavská, Jaroslav Šoltés, Miroslav Vinš, Vít Klupák</i>	94
Rozšíření národního etalónu dozimetrických veličin gama žiření o beta dozimetrii <i>Stanislav Sandtner, Jarmila Slučiak, Katarína Buzinkayová</i>	95
Aproximácia transmisnej krivky žiarenia beta v rovinatej geometrii <i>Andrej Javorník</i>	96
Pokračovanie projektu APVV-21-0170 v oblasti rozšírenia národného etalónu dozimetrických veličín neutrónov <i>Pavol Blahušiak, Jarmila Slučiak, Andrej Javorník, Matej Krivošík, Jakub Luley, Branislav Vrban, Vendula Filová, Štefan Čerba</i>	97
Aparatura pro měření kinetiky scintilační odezvy s ps rozlišením <i>Petr Průša, Martin Nikl, Monika Kotyková, Vladimír Babín</i>	98
Referenční etalon veličiny emise <i>Karolína Grexová, Dominika Sosnová</i>	99
Metrologický projekt GuideRadPROS: Implementace norem pro dozimetrii pro radiační ochranu <i>Jana Šmoldasová, Jaroslav Šolc, Vladimír Sochor</i>	100
Aktivace detektorů v klinickém protonovém svazku <i>Andrea Krouparová</i>	101

Spectrophotometric evaluation of turbidity of N-vinylpyrrolidone-containing 3D polymer gel dosimeters <i>Marija Despotović, Kateřina Pilařová</i>	102
Zpětné trasování radioaktivních atmosférických aerosolů s vysokým časovým rozlišením <i>Lucie Švamberová, Miroslav Hýža</i>	103
Graded array for the measurements of radioactive aerosol size distribution <i>Vladislav Semiannikov</i>	104

Radon a další přírodní zdroje ionizujícího záření – 8

Důsledky kosmického záření a slunečního UV záření pro zemskou biosféru <i>Iva Ambrožová</i>	105
Rozšířené měření elektrického pole a ionizujícího záření během bouřek v letní sezóně 2023 na Lomnickém štítu <i>Martin Kákona, Igor Strharsky, Iva Ambrožová, Jakub Šlegl, Jaroslav Chum, Marek Sommer, Martina Lužová, Olena Velychko, Ondřej Ploc, Roman Dvořák, Ronald Langer, Samuel Štefánik, Vít Hanousek</i>	106
Některé matematické metody pro zpracování dat z detektorů při detekci vysokoenergetických jevů <i>Olena Velychko, Martin Kákona, Iva Ambrožová, Jakub Šlegl, Ondřej Ploc</i>	107
Metody zpracování a analýzy dat z letecké spektrometrie s využitím BLP <i>Jaroslav Klusoň</i>	108
Problematika stanovení Pb-210 v pevných NORM <i>Tereza Doksanská, Lenka Dragounová</i>	109
Chemické metody pre upresnenie radiačnej záťaže spôsobenej inhaláciou členov urán-rádiového rozpadového radu <i>Ivan Hupka, Lukáš Kotík, Karel Jílek, Jan Lenk</i>	110
Exhalace radonu z odvalu: Paralela s prouděním vzduchu v přírodních suťových polích <i>Martin Kaschner, Lenka Thinová, Václav Štěpán</i>	111
Štúdium možnosti využitia exhalačnej rýchlosti radónu z pôdy pre predikciu tzv. „radon-prone areas“ na území Slovenska <i>Alžbeta Brandýsová, Karol Holý, Martin Bulko, Monika Müllerová, Terézia Eckertová</i>	112
Harmonická analýza objemovej aktivity radónu vo vnútornom ovzduší <i>Monika Müllerová, Viktoria Benkova, Karol Holý</i>	113
Optimalizace při snižování koncentrace radonu ve školách – případové studie <i>Ivana Fojtíková, Aleš Froňka, Jan Hradecký, Jan Lenk, Karel Jílek, Ondřej Pařízek, Radim Možnar, Štěpán Froňka</i>	114
Národní radonová databáze ČR <i>Jaroslav Slovák</i>	115

Postery

Testování radiačně odolných materiálů na bázi organických polymerů pro zdravotnické a kosmické aplikace <i>Ondřej Ploc, Iva Ambrožová, Jakub Šlegl, Jiří Pánek, Martin Hrubý</i>	116
Radiochemické stanovení hmotnostních aktivit vybraných přírodních radionuklidů v pevných NORM <i>Alena Kelnarová, Ivan Hupka</i>	117
Rozklad pevných vzorků pro radiochemickou separaci pomocí automatické tavičky Katanax <i>Ondřej Pařízek, Michal Fejgl</i>	118
Přehled vybraných vlastností souboru vzorků potrubních usazenin se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů <i>Jaromír Sud, Vladimír Bittner, Roman Gabor</i>	119
Zpřesnění odhadu míry zeslabení při průchodu záření gama podvozkem vozidla <i>Kateřina Navrátilová Rovenská, Martina Nováková, Kamila Johnová</i>	121
Radonová stezka <i>Marcela Adamová, Marcela Berčíková, Jaroslav Slovák, Hynek Novák, Ivana Fojtíková</i>	122
Efektivní dávky na pracovišti se zvýšeným ozářením z přírodního zdroje záření <i>Oldřich Tomášek</i>	123
Stanovení efektivní dávky od radonu a jeho produktů přeměny na podzemních pracovištích – poznatky z praxe <i>Kateřina Navrátilová Rovenská, Jan Hradecký, Karel Jílek, Radim Možnar, Štěpán Fronka</i>	124
Modeling the impact of thunderstorm radiation on soil with Monte Carlo transport simulation <i>Juliia Ruban, Ondřej Ploc, Jakub Šlegl, Lembit Sihver</i>	125
Rejstřík	126

Stránky sponzorů

Radiační ochrana od 19. do 21. století

Irena Malátová

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

irena.malatova@suro.cz

Radiační ochrana se vyvíjela v závislosti na objevech a vynálezech, které lidstvu přinesly pokrok, ale které také způsobily lidem vážné poškození zdraví. Koncem 19. a začátkem 20. století šlo zejména o rentgen, kdy se velmi záhy objevila radiační dermatitida a další poškození zejména prstů. Záhy po objevu radia byla objevena možnost ozářování nádorů, ale objevily se též příznaky akutního poškození, zejména při nadměrném a někdy nezdůvodněném použití. Typickým a tragickým příkladem jsou ženy, které malovaly číselníky přístrojů luminiscenčními barvami. Tyto případy vedly již od samotných začátků k určitým regulacím, které již před 2. světovou válkou byly předmětem jednání a vydávaných doporučení nevládních organizací jako ICRP a předchůdců ICRU. S objevem štěpení a později s vývojem jaderných

zbraní se radiační ochrana musela zaměřovat na mnohem širší oblast jak pracovníků, tak obyvatelstva, zatímco dříve se týkala převážně pracovníků ve zdravotnictví. Významnou změnou v šedesátých a sedmdesátých letech byl objev stochastických účinků. Do této doby šlo o ochranu před akutními účinky, ochrana před stochastickými účinky sebou přinesla zcela novou filosofii – principy jako ALARA. Postupně pak došlo k základním principům, používaným dodnes – zdůvodnění každé praxe (justification), optimalizace a limitování. Významné role ve vývoji přístupů k ochraně před zářením má kromě ICRP (Mezinárodní výbor pro radiační ochranu) UNSCEAR (Vědecký výbor pro účinky atomového záření při OSN) a Mezinárodní atomová agentura.

Aktuální mezinárodní aktivity v oblasti radiační ochrany

Karla Petrová

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

karla.petrova@sujb.cz

Příspěvek navazuje na obdobné příspěvky z předchozích let a je jeho cílem informovat o aktuálním dění v oblasti radiační ochrany na mezinárodním poli se zaměřením na činnost UNSCEAR, NEA/OECD, IAEA, ICRP, HERCA, IRPA na jejichž činnosti se autorka podílí.

Prezentace se bude zabývat také připravovaným novým doporučením ICRP, které by mělo nahradit stávající doporučení č. 103 – tedy základní doporučení v oblasti radiační ochrany. V roce 2020 proběhl k tématu speciální seminář organizovaný IAEA ve spolupráci s ICRP, kterému autorka předsedala, v roce 2022 ICRP organizovalo konferenci ve Vancouveru, kde byly na-

značeny hlavní oblasti a směry, kterými se budou změny obecných doporučení ubírat. Závěry těchto akcí budou prezentovány.

Zmíněny budou také mezinárodní aktivity v oblasti radiační ochrany, které iniciovala válka na Ukrajině. V souvislosti s touto událostí se objevila nová témata jako je vojenský útok na jaderné zařízení nebo použití jaderných zbraní a hodnocení radiačních důsledků takových aktů, nebo se oživila témata, která takové události pravidelně vracejí – jako je např. efektivita a vůbec smysl jódové profylaxe v případě takové nebo více či méně distanční události od hranic ČR.

Novela atomového zákona

Jana Povolná

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

jana.povolna@sujb.cz

V roce 2017 nabyl účinnosti zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, který nově upravil režim mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Zákon zohledňuje mezinárodní doporučení (v oblasti radiační ochrany zejména doporučení ICRP č. 103) a implementuje evropské předpisy (především směrnici EURATOM/29/2013 stanovující základní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření). Po více než pěti letech platnosti tohoto zákona začal Státní úřad pro jadernou bezpečnost na základě zkušeností s jeho aplikací připravovat novelu, která zároveň reaguje na

aktuální trendy ve všech zákonem upravených oblastech. Především očekávaný vývoj v oblasti jaderné energetiky, využívání nových zdrojů – malých modulárních reaktorů, a také velmi rychlý rozvoj zdravotnických prostředků využívajících záření (radioterapeutické ozařovače a radiofarmaka). Očekávané přijetí novely je plánováno v příštím roce (2024) s účinností od 1. 1. 2025, včetně prováděcích předpisů, jejichž příprava bezprostředně navazuje na přípravu textu novely zákona. V prezentaci jsou shrnuty hlavní body novely důležité z hlediska radiační ochrany.

První rok PIANOFORTE – Evropského partnerství pro výzkum v radiační ochraně

Marie Davidková

Státní ústav radiační ochrany

marie.davidkova@suro.cz

PIANOFORTE je 5letý projekt EU sdružující 58 partnerů zastupujících 22 zemí EU, Spojené království a Norsko (<https://pianoforte-partnership.eu>). Projekt koordinuje francouzský Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety (IRSN, Fontenay aux Roses). Aktivity projektu PIANOFORTE začaly v červnu 2022 s cílem zlepšit ochranu veřejnosti, pracovníků, pacientů a životního prostředí před environmentální, pracovní a lékařskou expozicí ionizujícím zářením. Za tímto účelem PIANOFORTE organizuje otevřené výzvy k předkládání výzkumných projektů na témata určená šesti evropskými odbornými platformami (www.meenas.eu) a konzultovanými s možnými zainteresovanými stranami. Celkový rozpočet na tři výzvy je 34 milionů EUR, přičemž míra spolufinancování EU činí 63 %.

PIANOFORTE má zvláštní rozpočet (0,9 milionu EUR) na vzdělávací a školicí aktivity zaměřené na vědce a odborníky na počátku kariéry. Ročně jsou vypsané čtyři výzvy na cestovní granty s maximální podporou 1000 EUR na grant a celkovým rozpočtem 20 tisíc EUR na rok. Podporovány jsou týdenní a dvoutýdenní školení na témata související s výzkumnými prioritami PIANOFORTE. K dispozici je také podpora pro rozvoj programu profesního rozvoje a vytváření nových kontaktů mezi mladými profesionály v oboru radiační ochrany.

Budou prezentovány aktivity projektu během prvního roku řešení a detailně popsán postup výběru témat do otevřených výzev na výzkumné projekty. Toto partnerství získalo finanční prostředky z výzkumného a inovačního programu Evropské unie „EURATOM“ v rámci grantové dohody 101061037.

Zajištění lidských zdrojů v návaznosti na plánovaný rozvoj jaderné energetiky v ČR

Josef Kaňkovský, Martin Máca

ČEZ, a. s.

josef.kankovsky@cez.cz

ČEZ výrazně zrychluje přechod k budoucí bezemisní energetice. Akcelerovaná strategie „VIZE 2030 – Čistá Energie Zítřka“ definuje strategické cíle Skupiny ČEZ do roku 2030 zohledňující dekarbonizační vizi Evropské unie a stanovuje konkrétní postupy v oblasti společenské odpovědnosti a udržitelného rozvoje. Intenzivní rozvoj jaderné energetiky patří mezi důležité nástroje k naplnění těchto ambiciózních snah. Skupina ČEZ v této souvislosti plánuje realizaci řady konkrétních projektů obsahující dostavbu nového jaderného bloku v Dukovanech, výstavbu malých modulárních reaktorů (SMR), nebo navýšení bezpečné výroby ze stávajících jaderných zdrojů, průměrně nad 32 TWh a dosažení šedesátileté životnosti.

Klíčovým předpokladem rozvoje bezpečné a udržitelné jaderné energetiky

je i zajištění dostatečných lidských zdrojů, zahrnující vysoce kvalifikované odborníky nejrůznějších technických oborů, včetně expertů jaderné bezpečnosti nebo radiační ochrany. Společnost ČEZ si je této podmínky velice dobře vědoma a prostřednictvím svých strategických náborových aktivit i vzdělávacích akcí se výchově odborníků věnuje dlouhodobě. Nicméně, k dosažení výše definovaných cílů v oblasti lidských zdrojů bude, vedle dosavadních dobrých praxí, nadále velmi důležité hledat další nová inovativní řešení. Při hledání těchto řešení bude nezbytné rozvíjet a prohlubovat dosavadní úspěšnou spolupráci všech klíčových aktérů, a to nejen z oblasti školství a energetického průmyslu, ale i například z pohledu státní energetické koncepce nebo národního jaderného regulátora.

Innovative method of CR-39 radon detector analysis for didactic purposes

Miroslav Vanek

Technická Univerzita vo Zvolene

vanek@tuzvo.sk

Radon measurement as part of an educational process has proven to be a valuable experience for students. Large citizen-science educational projects have successfully used solid state nuclear track detectors (SSNTD) to measure radon in schools and homes. Radon concentration measurement with SSNTD is well established and widely used measurement technique. Automated turn-key systems are available with high level of automation required for routine analysis. On the contrary, in a didactic experiment, personal involvement in the entire analytical procedure is highly desirable.

This paper presents an innovative method of SSNTD detector analysis, to be used in education process, in order to maximise the didactic effect. The main innovation is the implementation of new digital microscope technology, which allows to create a composed digital image of the entire SSNTD detector element of standard 1 cm^2 size, with the $200\times$ optical magnification, by digitally combining separate overlapping

images. Final digital resolution of the image is approx. 34,000 dpi. Image is overlaid by calibrated square grid with 1 mm cell size, to allow area determination. Track density is determined by students by two methods. Firstly, by manually counting number of tracks in each 1 mm^2 grid cell. Secondly, using free ImageJ software, consisting of as few as possible steps. Calculation of radon concentration from track density is performed in standard way.

Main pedagogical advantage of this method is the hands-on experience with the track density analysis both by manually counting tracks and by software analysis. The image of the whole detector element in such a large resolution allows to get an idea of the actual scale of the tracks. Last but not least, students get their own results of the radon concentration analysis from their home.

Acknowledgement: The paper is based on work performed under research contract KEGA 009TU Z-4/2022.

Zajištění radiační ochrany v ELI Beamlines

**Anna Cimmino¹, Benoit Lefebvre², David Horváth¹, Michal Šesták²,
Roberto Versaci¹, Roman Truneček¹, Veronika Olšovcová²,
Zuzana Trunečková¹**

¹ ELI Beamlines, ELI ERIC

² ELI Beamlines, Institute of Physics, CAS, Czech Republic

veronika.olsovcova@eli-beams.eu

V mezinárodním výzkumném centru ELI Beamlines v Dolních Břežanech jsou využívány vysokoenergetické lasery mimo jiné ke generování a urychlování svazků fotonů a nabitých částic, do stovek MeV až desítek GeV. Tyto svazky se pak využívají v základním i aplikovaném výzkumu mezioborových aplikací ve fyzice, medicíně, biologii a materiálových vědách.

V posledním desetiletí probíhala výstavba centra a postupné uvádění do provozu jednotlivých technologických systémů a pracovních stanic. Příspěvek seznamuje s aktuálním stavem technologie, dosažených parametrů a dále představuje realizovaná bezpečnostní opatření a provozované bezpečnostní systémy zajišťující bezpečný provoz tohoto unikátního pracoviště III. kategorie.

Skutočné nebezpečenstvo v dôsledku vypúšťania odpadových vôd z Fukušimy do oceánu

Marko Fülöp¹, Igor Gomola², Jana Hudzietzová³, Pavol Ragan²,
Jozef Sabol⁴

¹ ABRS s. r. o.

² Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava

³ FBMI ČVUT v Praze

⁴ Policejní akademie ČR v Praze

pavolragan@gmail.com

K riadenému vypúšťaniu odpadových vôd s malým množstvom rádioaktívneho trícia dochádza pravidelne v jadrových lokalitách po celom svete. Odpadová voda vo Fukušime bola upravená, aby sa znížili ďalšie nebezpečnejšie rádioaktívne prvky na takmer nezistiteľne nízku úroveň. Ale trícium vo forme „tritiovanej vody“ je extrémne ťažké a nákladné oddeliť od bežnej nerádioaktívnej vody. Takže jadrové zariadenia po celom svete – vrátane Veľkej Británie, Číny a Južnej Kórey, vypúšťajú zriadenú odpadovú vodu do morí, riek a jazier. To sa deje desiatky rokov bez výraznejších vplyvov. Napríklad prepracovacie zariadenie v La Hague uvoľňuje do Lamanšského prielivu ročne asi 10 000 TBq trícia. Dávky žiarenia z toho sú veľmi nízke a neexistujú žiadne dôkazy o významných dopadoch na ekosystém. Plánované vypúšťanie z Fukušimy 22 TBq ročne do Tichého oceánu je asi 450-krát nižšie ako vypúšťanie z La Haagu a 50-krát nižšie ako vypúšťanie z britského jadrového komplexu v Sellafield. Boli vznesené tvrdenia o významných rizikách pre ekosystém Tichého oceánu z plánovaného vypustenia z Fukušimy. Tie však nie sú

založené na vedeckých dôkazoch. Koncentrácia trícia v odpadovej vode bude okolo 1500 Bq/l, čo je asi 7-krát menej, než je odporúčaný limit pre trícium v pitnej vode Svetovou zdravotníckou organizáciou.

V referáte sú diskutované potenciálne dopady triciovej vody do oceánu v súvislosti s názormi, ktoré bez príslušných analýz varujú pred nebezpečím a dosledkami takéhoto riešenia likvidácie odpadových vod z poškodených jadrových elektrární vo Fukušime. Na tomto mieste je na mieste zdorazniť dopad ďalších zdrojov ožiarovania obyvateľstva, proti ktorým je príspevok z „fukušimskej“ vody kontaminovanej triciom v zásade zanedbateľný a nepredstavuje žiadne nebezpečenstvo. Tieto závery však niektorí spochybňujú hlavne preto, že neuvažujú skutočné príslušné procesy, ktoré sa musia brať v úvahu pri odhade reálnej koncentrácie zriedenej vody trícia v oceáne a jeho zložitej cesty do organizmu človeka, kde sa nakoniec realizuje ožiarovanie kvantifikované úvazkom efektívnej dávky. Jej hodnota je smerodajným parametrom určenia miery poškodenia ľudského organizmu v dôsledku ožiarovania.

Mimořádné případy nálezů a záchytů radioaktivních látek

Veronika Štědrová, Andrea Svobodová, Michaela Vostřáková

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

veronika.stedrova@sujb.cz

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) řeší a eviduje ročně několik desítek případů nálezů nebo záchytů radioaktivních látek.

SÚJB zajišťuje tuto činnost od doby svého vzniku, nicméně přístup k těmto situacím se časem vyvíjel a měnil. V návaznosti na legislativní požadavky jsou nastaveny interní postupy pro příjem a zpracování prvotní informace, rozhodovací proces pro řešení situace a případné vyžádání součinnosti složek

integrovaného záchranného systému, SÚRO, v. v. i. nebo dalších odborných společností.

Příspěvek uvádí dlouhodobý statistický přehled mimořádných případů, jejich rozdělení podle místa vzniku a předmětného nálezu. Dále budou uvedeny a komentovány poslední případy spojené s nálezy a záchyty radioaktivních látek pocházející z činností v rámci lékařského ozáření.

Proč (ne)zrušit přijímací zkoušky a zkoušky dlouhodobé stability zdrojů ionizujícího záření ve zdravotnictví

Pavel Dvořák

KDAIZ, ČVUT FJFI

dvorapa4@cvut.cz

“Acceptance”, “commissioning” a periodické kontroly kvality jsou normálně jednou z hlavních odpovědností radiologických fyziků (RF) a tedy kvalifikovaný (klinický) RF by neměl mít vůbec problém tyto činnosti zvládnout. Kvalifikaci získává “atestací”. Aktuální systém, minimálně v případě zkoušek dlouhodobé stability (ZDS), dubluje tento “standardní” koncept “odpovědnosti RF”, což m.j. vede minimálně ke složitostem jako např., že “ZDS se doporučuje provádět v polovině času mezi ročními zkouškami provozní stálosti (ZPS)”. Trendem (dílčích změn) relevantní legislativy posledních let je určitě posilování role lokálních RF a to i v rámci systému PZ a ZDS, což dále zpochybňuje smysl udržování paralelní kvalifikace (zvláštní odborná způsobilost – ZOZ) a tří kategorií zkoušek zdrojů ionizujícího záření (ZIZ) ve zdravotnictví. Toto jsou základní argumenty pro revizi celého systému včetně zvážení kompletního zrušení PZ, ZDS a příslušné ZOZ. V případě pochybností (zejména SÚJB jako gestora legislativy) o dostatečné úrovni “atestace” lze určitě zvážit a prosadit revizi

specializačního vzdělávání (vedoucího k “atestaci”) včetně (zavedení praktické) zkoušky jako efektivnější systém – bez duplicitní kvalifikace (ZOZ). Navíc stávající systém kontrol/inspekce včetně povinnosti předkládat dokumentaci k ZPS dává víc než dostatečné možnosti ohlídat kvalitu pracoviště včetně reálné kompetence pracovníků i provedených ZPS. Související systém kategorizace odbornosti pro ZOZ resp. zkoušky ZIZ, definovaný nad rámec právních předpisů, vykazující snahu o hlubokou diferenciaci, navíc s častými změnami, které přirozeně mohou zpochybňovat odbornosti dosavadních osvědčení, také nepřispívá k robustnosti a důvěryhodnosti celého systému. Pokud má být systém ZOZ zachován, tak jednodušší a robustnější systém kategorizace odborností by byl přínosem. Motivací tohoto příspěvku je otevření širší diskuze se zvážením revize systému, která by mohla/měla vést k vyšší efektivitě, jednoduchosti, robustnosti a důvěryhodnosti a to bez újmy na šířce i hloubce pokrytí kontrol kvality ZIZ ve zdravotnictví.

Blended learning – vzdělávací kurzy pro studenty evropských universit skupiny Cherne, zaměřené na radiační a radiologickou fyziku

Lenka Thinová, Pavel Novotný, Ondřej Kořistka, Václav Štěpán

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

thinova@fjfi.cvut.cz

FJFI ČVUT v Praze je od roku 2003 členem skupiny evropských univerzit Cherne. Spolu s kolegy z Itálie, Belgie, Španělska, Portugalska a Německa jsou každé dva až tři roky připravovány projekty ERASMUS+, které nám umožňují pokrýt náklady na přípravu a realizaci intenzivních vzdělávacích kurzů. Kurzy byly historicky zaměřené převážně na částicovou fyziku, přírodní radioaktivitu, radiologickou fyziku a vyřazování. KDAIZ ve spolupráci s DIAMO, s. p., ČEZ, a. s., ÚJV Řež, a. s., SÚRO, v. v. i. a SUJ-CHBO v. v. i. pořádá nyní kurzy NIRM (hlavní zaměření na vyřazování) a ECU-MIA (hlavní zaměření na řešení starých ekologických zátěží). Díky finanční podpoře ERASMUS+ a KDAIZ vyjelo do zahraničí každoročně 5–10 studentů katedry dozimetrie, kterým je umožněno

získat první mezinárodní kontakty a zkušenosti. Zároveň jsme mohli uspořádat ročně až dva kurzy pro 15–20 zahraničních studentů. Posledním řešeným projektem je BRAVER (Blended and Remote teaching Activities supported by Virtual rEality for Radiation sciences), jehož cílem bylo kromě kurzů vytvořit vzdělávací programy pro studenty středních škol s využitím moderních vzdělávacích prostředků. Skupina Cherne nyní zvažuje podání projektu se zaměřením na vyřazování, neboť každá ze spolupracujících univerzit pokrývá část této problematiky a vytvořením souboru kurzů by studenti mohli poznat komplexně řadu aspektů tohoto oboru s velkou budoucností. Účast a spolupráce se subjekty v oblasti vyřazování v ČR je vítaná.

Meranie profilov radiačného poľa lineárnych urýchľovačov

Andrej Babič, Dušan Kamas, Erik Vanko, Dušan Šalát

Ústav radiačnej ochrany, s. r. o.

babic@uro.sk

Ústav radiačnej ochrany, s. r. o., je organizáciou pre zabezpečovanie radiačnej ochrany a kontroly kvality v zdravotníckych zariadeniach Slovenskej republiky. Jednou z najdôležitejších činností v rámci širokého spektra ponúkaných služieb je vykonávanie preberacích skúšok (PS) a pravidelných skúšok dlhodobej stability (SDS) zdrojov ionizujúceho žiarenia v súlade s povolením Úradu verejného zdravotníctva SR a platnou legislatívou (zákon č. 87/2018 Z. z. a vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 101/2018 Z. z.). Základným predpokladom vykonávania skúšok zdrojov ionizujúceho žiarenia je dostupnosť špecializovaného vybavenia (meracie prístroje, fantómy a príslušenstvo), ktoré zodpovedá národným aj európskym normám a štandardom. V oblasti rádioterapie tvorí podstatnú časť skúšok zariadení na lekárske ožiarenie meranie profilov a hĺbkových kriviek radiačného poľa pomocou vodného fantómu, ktoré je spravidla časovo náročné. V súčasnosti sa na trhu vyskytujú de-

tektory na kontrolu kvality lineárnych urýchľovačov vo forme dvojrozmerných platní a tzv. umelej vody, ktoré predstavujú možnosť efektívneho alternatívneho riešenia bez použitia vodného fantómu. Cieľom našej práce je porovnanie merania profilov radiačného poľa lineárnych urýchľovačov pomocou vodného fantómu a detektorov IC PROFILER™ a SRS MapCHECK® od spoločnosti Sun Nuclear na základe relatívnych dávkových profilov nameraných na lineárnom urýchľovači Elekta Harmony Pro v Nemocnici Bory, a. s. (Bratislava, 8. 3. 2023). Definujeme a vyhodnotíme najdôležitejšie parametre radiačného poľa získané pomocou uvedených troch metód: stred zväzku, veľkosť poľa, polotieň, homogenita a symetria, a diskutujeme o presnosti, rýchlosti, výhodách aj obmedzeniach merania v kontexte skúšok zdrojov ionizujúceho žiarenia. Na záver uvedieme prehľad a porovnanie ďalších relevantných meracích zariadení od firmy Sun Nuclear, PTW a IBA Dosimetry.

Aktualizace doporučení pro vyjadřování nejistot v klinické dozimetrii

Ivana Horáková, Lukáš Kotík

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

ivana.horakova@suro.cz

Výsledek měření má zahrnovat odhad měřené veličiny, jemu příslušející rozšířenou nejistotu a koeficient rozšíření. V případě hodnocení vlastností zdrojů ionizujícího záření používaných v radioterapii (přijímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability) to požaduje i Atomový zákon. SÚJB vydal v roce 2016 Doporučení pro vyjadřování nejistot v klinické dozimetrii a Vyjádření k požadavku stanovení nejistot dozimetrických veličin důležitých z hlediska účelu použití ZIZ v radioterapii. Přesto se v praxi lze setkat s nejasnostmi a s chybami ve vyjadřování nejistot. V aktualizaci tohoto doporučení je definována a sjednocena terminologie a symboly, jsou upraveny uvedené příklady se zohledněním všech veličin vstupujících do modelů uvedených v TRS 398

a TRS 483 pro radioterapii a v TRS 457 pro radiodiagnostiku. Je doplněna kapitola pro srovnání výsledků měření dvou subjektů na základě statistické interference, SPC analýza a příloha podávající přehled o matematickém aparátu, který stojí za vztahy použitými v doporučení. Tento přehled by měl napomoci hlubšímu porozumění a správnému vyjadřování nejistot v klinické dozimetrii. Cílem tohoto sdělení je seznámit s aktualizací doporučení a stručně uvést postup stanovení hodnoty výstupní měřené veličiny a její nejistoty, včetně základních vztahů, a způsoby posouzení shody výsledku měření se specifikací/požadavkem (tolerance, statistická interference, statisticky řízená kontrola procesu, ILAC).

Metrologický projekt TraMeXI: Návaznost v dozimetrii rentgenového zobrazování v medicíně

Jaroslav Šolc, Jana Šmoldasová, Vladimír Sochor

Český metrologický institut

jsmoldasova@cmi.cz

Rentgenové zobrazování v medicíně tvoří největší složku ozáření z umělých zdrojů ionizujícího záření. Důsledná kvantifikace dávky pomocí kalibrovaného dozimetrického zařízení je nezbytná pro zajištění bezpečnosti pacientů. Současné postupy používané kalibračními laboratořemi, založené na příslušných standardech a mezinárodních protokolech, plně nezohledňují nejnovější technický vývoj v oblasti rentgenového zobrazování.

Český metrologický institut (ČMI) se účastní evropského metrologického výzkumného projektu TraMeXI (Traceability in medical X-ray imaging dosimetry; 2023-2026), který se zabývá

posouzením stávajících podmínek pro kalibraci dozimetrů a návrhem aktualizovaných měřicích postupů. Hlavními cíli projektu jsou a) řešení polí rentgenového záření v současnosti používaných v lékařském zobrazování a návrh aktualizace referenčních kvalit rentgenového záření pro budoucí revizi relevantních norem, např. IAEA TRS-457, a b) testování několika vybraných rentgenových multimetrů a návrh harmonizovaného postupu jejich kalibrace. ČMI se v projektu zabývá zejména měřením a Monte Carlo výpočty rentgenových spekter a přípravou normativních dokumentů.

Súčasn \acute{e} trendy v radiačnej ochrane pri lekárskych ožiareniah

Denisa Nikodemov \acute{a}

Komisia MZ SR pre zabezpečenie kvality v rádiológii, radiačnej onkológii a v nukleárnej medicíne

denisa.nikodemova@gmail.com

System radiačnej ochrany zakotven \acute{y} v odporúčaniach ICRP, IAEA, a v Direktívach EU je založen \acute{y} predovšetkým na vylúčení deterministických účinkov ožiarenia a udržiavani stochastických účinkov na čo najnižšej dosiahnuteľnej úrovni, ale súčasne sa extrémne usiluje o vývoj stratégie zohľadňujúcej ďalšie aspekty zlepšenia bezpečnosti zdravotnej starostlivosti o pacienta. V tejto stratégii je jednou z kľúčových úloh aj zapojenie pacienta a jeho rodiny do diskusie o výhodách a rizikách lekárskeho ožiarenia a poskytnúť im informácie o podstate potenciálneho poškodenia, ako aj ich možností podporiť efektívnejšie riešenia radiačnej ochrany. V prednáške bude prezentovaný Globálny akčný plán pre bezpečnosť pacientov, iniciovaný Svetovou Zdravotníckou Organizáciou v roku 2021 a podporený šiestimi mimovládnyimi organizáciami, ktoré sa zaviazali posilniť úsilie o zvýšenie bezpečnosti ožiareného pacienta. Ďalším aktuálnym trendom v radiačnej ochrane je povinnosť zabezpečiť, aby pacienti mali prístup k informáciám o veľkosti nimi obdržanej dávky žiarenia a tiež aby sa im umožnilo pochopiť čo znamená údaj o ožiarení v ich zdravotnom zázname, podobne ako majú prístup k popisu

predpísaných liekov, vyšetrovacím postupom a informáciám o zdravotnej starostlivosti (ICRP TG 109 Ethics in Radiological Protection for Medical Diagnosis and Treatment).

Pacienti sa stávajú súčasťou rozhodovacieho procesu o svojej starostlivosti tým, že sú im poskytnuté jasné informácie, ktoré im umožnia participovať a zapojiť sa do skutočných rozhodnutí. Poskytovanie včasných a vhodných informácií je tiež prostriedok k vytvoreniu primeraného vzťahu dôvery medzi pacientom a personálom rádiologického oddelenia. V prezentácii poukážeme na nedávno publikovaný materiál (IAEA Safety Report Series No.112 Patient Radiation Exposure Monitoring in Medical Imaging), ktorý pomáha získať jednotný odhad celkového rizika v rámci procesu vychádzajúceho z diagnostického alebo intervenčného cieľa. Pri riešení radiačného rizika aj klinického rizika je optimalizácia charakterizovaná spôsobom zameraným na pacienta. Monitorovanie radiačnej expozície pacienta zahŕňa komponenty, mechanizmy a prevádzkové procesy súvisiace so zaznamenávaním, zhromažďovaním a analýzou údajov o radiačnej záťaži pacienta spojených s operáciou klinického zobrazovania. Na slo-

venských rádiologických pracoviskách je potrebné vyzdvihnúť, že informácie o veľkosti ožiarenia pacientov sa zaznamenávajú v elektronickom systéme, ktorý eviduje vek, pohlavie a hmotnosť pacienta, ako aj potrebné expozičné údaje z každého vyšetrenia, realizuje výpočet dávky ožiarenia pacienta a ok-

rem zabezpečenia možnosti ustanovenia DRÚ a ich dodržiavanie, ako aj dlhodobej histórie ožiarenia pacienta, čo môže významne prispieť k jeho rýchlejšiemu zapojeniu do spoluúčasti na zvýšení bezpečnosti zdravotnej starostlivosti o pacienta.

Prehľad počtu vykonaných vyšetrení v jednotlivých rádiologických modalitách na Slovensku, v rokoch 2019–2022

Anita Zubáková¹, Denisa Nikodemová², Martina Horváthová³, Igor Gomola⁴

¹ Odbor zdravotnej starostlivosti, Sekcia zdravia, Ministerstvo zdravotníctva Slovenskej republiky Limbová 2, P.O. BOX 52, 837 52 Bratislava, SR

² Komisia pre zabezpečenie kvality v rádiodiagnostike, radiačnej onkológii a v nukleárnej medicíne Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, Ministerstvo zdravotníctva Slovenskej republiky Limbová 2, P.O. BOX 52, 837 52 Bratislava, SR

³ Fakulta zdravotníctva a sociálnej práce, Trnavská univerzita v Trnave, Univerzitné námestie 1, 918 43 Trnava, SR

⁴ Fakulta verejného zdravotníctva, Oddelenie radiačnej hygieny, Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, Limbová 12, Bratislava, 833 03, SR

denisa.nikodemova@gmail.com

Lekárske ožiarenie najvýznamnejšie prispieva k ožiareniu obyvateľstva. V súlade so základnými princípmi radiačnej ochrany je nevyhnutné lekárske ožiarenia obmedzovať prostredníctvom dôslednejšieho odôvodnenia vyšetrení a radiačnú záťaž znižovať pomocou optimalizácie ožiarenia. Tento účel je možné splniť iba na základe štatisticky spracovaných údajov o počte výkonov, preto v príspevku poskytujeme prehľad spracovaných dát zhromaždených zo všetkých dostupných zdrojov na území SR so zvláštnym dôrazom na narastajúci počet vyšetrení výpočtovou tomografiou. V našom príspevku budeme ako najvýznamnejšie hodnotiť počítačovú tomografiu a mamografiu vrátane skrínigovej mamografie za obdobie 2015 – 2022. Dáta boli publikované v UNCSEAR.

Počítačová tomografia je neodmysliteľnou súčasťou moderných diagnostických metód. Z údajov vyplýva, že

aplikácia počítačovej tomografie v oblasti diagnostiky má stúpajúcu tendenciu. V roku **2022** sa vykonalo **724 976** oproti roku 2015 kedy sa vykonalo o **133 035** menej vyšetrení. Podľa najnovších údajov OECD sa vo svete využíva cca. 30 CT prístrojov na 1 milión obyvateľov, čo predstavuje v priebehu posledných 10 rokov nárast, o viac ako 43%. Od roku **2015** do **2022** stúpol v SR počet využívaných CT prístrojov z 90 na 114. Dôležité údaje sú aj z oblasti mamografického skríningu, kde sa môžu vyšetrenia uskutočniť iba na pracoviskách overených klinickým auditom. V roku **2022** podstúpilo mamografické vyšetrenie **255 954** pacientov čo je oproti roku **2015** pokles o **10 641** pacientov. Napriek tejto skutočnosti v oblasti mamografického skríningu nastal skoro dvojnásobný nárast. V roku **2021** podstúpilo vyšetrenie mamografického skríningu iba **13 948** pacientiek a v roku **2022** s **26 964**. Podľa

dostupných údajov v roku 2022 podstúpilo vyšetrenie pomocou metód využívaných v rádiológii **3 613 486** pacientov. Z pohľadu stúpajúcej tendencie v počte aplikácií rádiologických modálít a požiadaviek radiačnej ochrany pre tieto aplikácie je veľmi dôležité, aby indikujúci lekár dôsledne zvažil indikáciu daného vyšetrenia, najmä ak ide o ženu vo fertílno m veku. Dôležité je aj

optimalizovať vyšetrenia a dodržiavať diagnostické referenčné úrovne. Údaje o počte vyšetrení s využitím počítačovej tomografie poukazujú na nevyhnutnosť významného obmedzovania prípadných neodôvodnených indikácií. Z daných skutočností vyplýva aj dôležitosť sústavného vzdelávania zdravotníckeho personálu v oblasti radiačnej ochrany.

Radiačný preukaz pacienta – máme sa radovať, alebo plakať?

Dušan Šalát, Michal Lacko, Anna Šalátová

Ústav radiačnej ochrany s. r. o.

salat@uro.sk

Úvod: Uplynulo už takmer 10 rokov od doby kedy bola publikovaná Smernica rady Európy 59/2013, ktorá stanovila základné bezpečnostné normy ochrany pred nebezpečenstvami vznikajúcimi v dôsledku ionizujúceho žiarenia, vrátane lekárskeho ožiarenia. Smernica zdôrazňuje, že je potrebné posilniť požiadavky týkajúce sa zaznamenávania dávok pacientov a používania diagnostických referenčných úrovní.

Metóda: Aplikovať tieto požiadavky do praxe si vyžiadalo dlhý čas a veľké úsilie, ktoré umožnilo vytvoriť automatizovaný systém na sledovanie ožiarenia pacientov v SR a v niektorých zdravotníckych zariadeniach v ČR. Tento systém je centralizovaný a jeho veľkou výhodou je sledovať ožiarenie pacientov v ktoromkoľvek zdravotníckom zariadení a hodnotiť jeho kumulatívne ožiarenie prostredníctvom tzv. radiačného preukazu pacienta. Radiačný preukaz umožňuje hodnotiť nielen veľkosť ožiarenia pacienta, dodržiavanie diagnostických referenčných úrovní, ale môže slúžiť aj ako vhodný nástroj pri odôvodnení lekárskeho ožiarenia.

Výsledky: Analýza dát z radiačných preukazov pacientov deteguje tisíce pacientov u ktorých kumulatívne efek-

tívne dávky z diagnostického lekárskeho ožiarenia prevyšujú 100 mSv, čo vyvoláva znepokojenie z dôvodu možného pôsobenia nežiadúcich, najmä stochastických účinkov ionizujúceho žiarenia.

Ukazuje sa, že najväčším zdrojom ožiarenia pacientov sú najmä viacfázové (kontrastné) CT vyšetrenia u onkologických pacientov a pacientov pri diagnostikovaní pankreatitídy. Mnohé zdravotnícke zariadenia používajú všetky štyri CT fázy (natív, arteriálna fáza, venózna fáza a fáza s oneskorením), čo nemusí byť vždy optimálne z hľadiska veľkosti ožiarenia pacienta.

Záver: Využívanie informácií z radiačných preukazov umožňuje odborníkom v oblasti radiačnej ochrany, indikujúcim lekárom, alebo pracovníkom vykonávajúcim lekárske ožiarenie odhaľovať mnohé nedostatky pri odôvodnení a optimalizácii radiačnej ochrany. Naše poznatky potvrdzujú to, čo je uvedené v Smernici 59/2013, že významný technologický a vedecký pokrok v lekárskej oblasti vedie za posledné desaťročia k významnému zvýšeniu ožiarenia pacientov.

Možnosti znižovania radiačnej záťaže intervenčných rádiológov prostredníctvom Zero-Gravity

Martina Horváthová¹, Zuzana Bárdyová¹, Igor Gomola², Tibor Balázs³,
Juraj Mikuláš³, Darina Budošová¹

¹ Trnavská univerzita v Trnave, FZaSP

² Slovenská zdravotnícka univerzita

³ CINRE, Bratislava

martina.horvathova@truni.sk

Výkony intervenčnej rádiológie postupne vytlačujú konvenčné chirurgické postupy. Pre pacienta, ale aj pre zdravotnícke zariadenie, prinášajú benefit kratšej rekonvalescencie a menšie množstvo komplikácií. Nevýhodou týchto postupov je, že sú realizované pod skiaskopickým vedením, čo predstavuje zvýšenú radiačnú záťaž pre pacienta, ako aj pre personál.

Pozornosť je potrebné upriamiť najmä na výskyt očnej katarakty indukovanej ionizujúcim žiarením (IŽ), pričom nemožno zabúdať aj na ďalšie zdravotné riziká, ako sú nádory mozgu, neurodegeneratívne ochorenia, či kardiovaskulárne ochorenia. Účinnou metódou predchádzania vzniku nepriaznivých účinkov IŽ na personál je používanie osobných ochranných pomôcok (OOPP), medzi ktoré štandardne patrí zástera a golier s ekvivalentom olova (Pbekv). Štandardná hmotnosť zástery s Pbekv 0,5 mm dosahuje častokrát 7 kg a viac. Napriek tomu, že tieto OOPP poskytujú ochranu pred IŽ, ich nadmerná hmotnosť je spojená s ergonomickým diskomfortom. Za účelom zvýšenia komfortu intervenčného rádiológa boli navrhnuté mnohé

ochranné materiály a systémy. Jedným z nich je závesný ochranný systém Zero-Gravity (Zero-Gravity, TIDI Products, MI, USA) (ZG).

Cieľom príspevku je posúdiť rozdiel efektivity zoslabenia IŽ prostredníctvom štandardných OOPP oproti ochrannému závesnému systému ZG na pracovisku intervenčnej rádiológie v Slovenskej republike a poukázať na možnosti optimalizácie radiačnej záťaže intervenčných rádiológov.

Monitorovanie radiačnej záťaže bolo realizované prostredníctvom TLD, ktoré boli umiestnené v oblasti rádiosenzitívnych orgánov a na anatomických miestach, ktoré sú počas výkonu exponované najvyššou dávkou IŽ, vrátane očnej šošovky. Počet TLD pripadajúcich na jedného intervenčného rádiológa počas jednej série merania bol 48 kusov v prípade použitia ZG a 36 kusov v prípade použitia štandardných OOPP. TLD boli vyhodnotené prostredníctvom zariadenia Harshaw 3500 TLD reader.

Výsledky štúdie poukazujú na skutočnosť, že využívanie inovatívneho ochranného závesného systému ZG vedie k výraznému zníženiu dávky IŽ

v jednotlivých anatomických oblastiach intervenčného rádiológa v porovnaní so štandardne používanými zásterami s Pbekv. ZG má veľký potenciál najmä pri zoslabení IŽ v oblasti očnej šošovky (> 95%), krku (98%), prednej časti

hrudníka (99%) a ľavého ramena (90%). Zároveň, zariadenie ZG nezaťažuje muskuloskeletálny systém, čo vedie k zvýšenému komfortu lekára počas realizácie intervenčného výkonu.

Problematika stanovení přepočtových koeficientů v oční dozimetrii

Jana Tamášová, Lenka Borovičková, Zdenka Balogová

Nemocnice Na Homolce

zdenka.balogova@homolka.cz

Dosavadní konzervativní odhad dávky na oční čočku z celotělového dozimetru je pro vybrané radiační pracovníky již vnímán jako nedostatečný a tak jsou dovybavováni očními dozimetry. Primárně se jedná o lékaře účastnící se delších operací s využitím ZIZ (intervenční radiolog, intervenční kardiolog). Nošení dalšího dozimetru se ukazuje pro řadu lékařů jako nekomfortní a na základě již provedených měření je zřejmé, že nemusí být zaručen ani přesnější odhad dávky na oční čočku a proto jsme se v rámci této studie zaměřily na hledání metody, jak získat takový odhad, který by lépe korespondoval se skutečnou radiační zátěží oční čočky uvažovaných radiačních pracovníků. K měření byly použity termoluminiscenční dozimetry umístěné přímo

v místě oční čočky v antropomorfním fantomu (ATOM typ 701-D). Současně s měřením dávky na oční čočku byl fantom vybaven i standardním celotělovým dozimetrem umístěným na referenčním místě. Zpřesnění odhadu by mělo být realizováno tím, že hodnoty dávky byly měřeny pro 7 klinicky nejpoužívanějších geometrií, které se skutečně využívají při intervenčních výkonech. Pak z poměru změřených hodnot dávky na oční čočku a celotělového dozimetru a uvážením zastoupení jednotlivých geometrií by mělo být možné v klinické praxi stanovit dávku na oční čočku přepočtem z osobního dávkového ekvivalentu $H_p(10)$ z celotělového dozimetru.

Financováno z IG204701 Nemocnice Na Homolce.

Problematika monitorování rodinných příslušníků pacientů po podané terapii Lu-177

Jana Hudzietzová¹, Marko Fülöp², Igor Gomola³, Peter Nemček⁴,
Milan Mráz¹, Jozef Sabol⁵, Pavol Ragan³

¹ FBMI ČVUT v Praze

² ABRs, s.r.o

³ Slovenská zdravotnícka univerzita

⁴ Izotopcestrum.s.r.o

⁵ PAČR

hudzietzova@gmail.com

Pro stanovení osobních dávek z hleďiska veličiny $H_p(10)$ slouží osobní dozimetry, které jsou rutinně nošeny na referenčním místě (levá horní část hrudníku). Při určitých geometriích pacienta po luteciové terapii a jeho ošetřující osoby může být však maximální ozáření této ošetřující osoby i na jiných částech těla. Z tohoto důvodu je vhodná optimalizace radiační ochrany ozáření osob, které přijdou do kontaktu s naaplikovaným pacientem, a to na základě dozimetrického monitorování ozáření nejen celého těla, u něhož se zohlední dominantní směr ozáření, ale také rukou.

V pilotních experimentech byly proto použity laboratorní pláště, na kterých byly ve 29 pozicích (hrud, břicho, rukávy, záda) našity dvojice ter-

moluminiscenčních dozimetrů (TLD) typu MCP-7 a MCP-Ns. Těmito pláštěmi spolu s elektronickými dozimetry byli vybaveni rodinní příslušníci, kteří doprovázeli pacienta na terapii pomocí radiofarmaka značeného Lu-177 či byli jeho ošetřující osobou po dobu 1 týdne, která se zdržovala ve vzdálenosti menší než 1–2 metry od pacienta.

Na základě monitorování pomocí pláště s TLD lze detailněji zjistit, které části ošetřující osoby pacienta jsou vystaveny větší expozici. Díky této znalosti je případně možné navrhnout vhodnější kroky, které by mohly vést ke snížené expozice ošetřující osoby.

Poděkování: Příspěvek byl částečně podpořen z grantu SGS23/086/OHK4/1T/17.

Implementace metod biologické dozimetrie a ověření jejich aplikovatelnosti pro různá radiační pole

Jakub Vávra, Artur Sergunin, Daniela Ekendahl, Johana Alaverdyan

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

jakub.vavra@suro.cz

Metody biologické dozimetrie umožňují prostřednictvím analýzy biologického materiálu (především krve) stanovit dávku ionizujícího záření či ověřit její hodnotu v případě suspektně ozářeného organismu. Analýza dicentrických chromosomů představuje tzv. zlatý standard biologické dozimetrie. Princip této metody spočívá ve stanovení četnosti výskytu specifických chromosomových aberací (tzv. dicentrických chromosomů) indukovaných v lymfocytech periferní krve v důsledku jejich ozáření. Hodnotu dávky lze poté kvantifikovat na základě předchozího odvození kalibrační křivky pro příslušné radiační pole. I přes možnou aplikovatelnost této metody pro většinu expozičních situací je příprava vzorků a jejich následná analýza časově náročná. Tyto nevýhody lze částečně kompenzovat využitím dalších metod biologické dozimetrie. Analýza mikrojadern se zaměřuje na stanovení četnosti výskytu patologických jaderných struktur (tzv. mikrojadern), které vznikly v důsledku tvorby chromosomových aberací v lymfocytech periferní krve po ozáření. Vyšší časovou náročnost přípravy vzorků kompenzuje relativně snadnější analýza dat získaných touto metodou. Analýza četnosti výskytu fosforylované formy his-

tonového proteinu H2AX (γ H2AX) namísto toho umožňuje rychlejší přípravu vzorků. Tvorba této formy proteinu je indukována v místě dvojnásobného zlomu DNA, který vznikl v důsledku expozice lymfocytů periferní krve ionizujícím zářením.

V rámci implementace analýzy dicentrických chromosomů byla v laboratoři biologické dozimetrie Státního ústavu radiační ochrany, v. v. i. odvozena kalibrační křivka pro vysokoenergetické záření X o střední energii 1.4 MeV a následně ověřena její aplikovatelnost pro případ akutního ozáření ve vybraných radiačních polích vysokoenergetických fotonů. V současnosti probíhá intenzivní zpracování dat za účelem odvození kalibrační křivky rovněž pro smíšené pole záření gama a neutronů. Paralelně byly provedeny pilotní experimenty zaměřené na další vybrané metody biologické dozimetrie (analýza mikrojadern, analýza γ H2AX). V rámci tohoto příspěvku budou diskutovány principy zmíněných metod biologické dozimetrie s následným zaměřením na praktické aspekty jejich implementace.

Výzkum byl podpořen projektem Ministerstva vnitra ČR (VK01020052 „Komplex metod biologické a fyzikální retrospektivní dozimetrie pro radiační mimořádné události“).

Ověřování podmínek vzniku nemoci z povolání – Nový metodický postup

**Pavlna Čiháková¹, Ladislav Tomášek², Lukáš Kotík², Petr Papírník¹,
Tomáš Müller², Hana Podšubková¹**

¹ Státní úřad pro jadernou bezpečnost

² Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

pavlna.cihakova@sujb.cz

Vystavení zaměstnanců na pracovišti ionizujícímu záření je považováno za rizikový faktor dle § 61, odst. 5, zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon. Dle zákona č. 373/2011 Sb., o specifických zdravotních službách, spadá ověřování podmínek při podezření na vznik nemoci z povolání do kompetencí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (dále jen „SÚJB“). Posuzování je v případě stochastických účinků založeno na stanovení podílu příčinné souvislosti (dále jen „PPS“) ozáření na vzniku onemocnění. SÚJB spolu se Státním ústavem radiační ochrany (dále jen „SÚRO“) v nynější době pro daného pracovníka spočítá hodnotu PPS, podle které pak rozhodne o tom, zda byly podmínky splněny či ne. Platný metodický postup Ministerstva zdravotnictví České republiky, který popisuje postup při uznávání vzniku nemoci z povolání v souvislosti s prací v podmínkách

ionizujícího záření, byl naposledy aktualizován v roce 1998. V tomto postupu nejsou ale jednoznačně vymezeni pracovníci, u kterých by se měl tento způsob používat. Metoda stanovení PPS je popsána pouze pro onemocnění rakovinou plic u pracovníků uranových dolů a ostatní zhoubné nádory ani profese nejsou ve věstníku zmiňovány. V poslední době přibývá atypických případů žádostí o uznání nemoci z povolání, které odhalily nedostatky současného systému. SÚJB proto ve spolupráci se SÚRO v současné době dokončuje nový metodický postup pro ověřování podmínek vzniku nemoci z povolání v souvislosti s prací v podmínkách ionizujícího záření, který mimo jiné jednoznačně vymezí, kterých pracovníků se tento rutinní postup bude týkat, a stanoví postup pro všechna potenciální onemocnění způsobená IZ a zjednoduší celý proces.

Absolute and relative risk models in cohort studies of uranium miners

Ladislav Tomášek

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

ladislav.tomasek@suro.cz

The risk of lung cancer from radon exposure is studied in occupational studies by cohort studies. Such studies allow to express the risk from exposure (X) by additive (EAR) risk model

$$R = R_0 + aX$$

or by relative (ERR) risk model

$$R = R_0(1 + bX)$$

In both the models R_0 is the background risk in hypothetical non-exposed population per person-year.

The term a in the first model represents the excess absolute risk (EAR) per unit exposure and person-year, whereas the term b is the excess relative risk (ERR) per unit exposure. Both terms depend on modifying factors like attained age (AA), time since exposure (TSE), age at exposure (AE) or exposure rate (XR).

The presentation will include results from cohort studies of uranium miners with modifying effects as they were reported in BEIR IV (four cohort studies, 1988, modifying AA, TSE), ICRP Publ 65 (7 cohort studies, 1994, modifying TSE, AE), NIH Publ 94-3644 (11 cohort studies, 1994, modifying AA, TSE, XR), and BEIR VI (11 cohort studies, 1999, modifying AA, TSE, XR).

The reported models included modifying effect of attained age, time since exposure, age at exposure, and exposure rate. The corresponding results in terms of lifetime risk will also be derived. The EAR models in the above studies were not reported, but could be obtained if the background rates (R_0) are reported.

The presentation will include results in terms of ERR and EAR. The two models are important for lung cancer lifetime risk calculations as mentioned in ICRP Publ 115 (2007).

Interakce kouření a expozice radonu

Ladislav Tomášek, Robert Řeřicha, Tomáš Müller

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

ladislav.tomasek@suro.cz

Cílem prezentace je hodnocení interakcí účinků expozice radonu a kouření v epidemiologických studiích rakoviny plic, a to jak ve studiích horníků, tak ve studiích rezidenčních. Prezentace zahrnuje původní rezidenční case-control studie v ČR, Francii a Itálii (celkem 1240 případů ca plic). Hornické studie zahrnují původní kohortové studie Dr Josefa Ševce (1029 případů ca plic) a studii Dr Vladimíra Řeřichy horníků

z Příbramské oblasti (826 případů ca plic). Hodnocení interakcí bylo založeno na vnořených studiích.

V současné studii jsou separátní modely relativního rizika pro expozici radonu a kouření kombinovány jako aditivní nebo multiplikativní. Výsledky potvrzují spíše aditivní model, zejména ve spojených studiích, které mají větší statistickou sílu potřebnou k rozlišení aditivního a multiplikativního modelu.

Součinnost inhalace radonu a působení virů při indukci karcinomu plic

Antonín Sedlák

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

antonin.sedlak@suro.cz

Inhalace radonu a jeho dceřiných produktů je považována za jednu z příčin vzniku karcinomů plic u člověka. Není to ovšem příčina jediná. Kromě podstatného vlivu kouření, kterému jsme se podrobně věnovali dříve, přichází v úvahu též možný vliv některých virů, který zkoušíme analyzovat nyní. K onkogenním virům, které jsou považovány za odpovědné pro vyvolání karcinomů plic u lidí, patří zejména viry označované zkratkami HPV, BKV, JCV, HCMV a SV40. Hlavní pozornost je věnována poslednímu z nich, viru SV40. Množení nádorových buněk v důsledku přítomnosti viru probíhá až do období,

kteří je v zahraniční literatuře označováno jako „crisis“. Předcházející období je logicky pre-crisis, konečné období je pak post-crisis. Microdozimetrický model, který byl k analýze těchto dat použit, je model hraniční měrné energie. Jeho výsledkem je stanovení hodnoty parametru, který je úměrný počáteční směrnici dávkové závislosti frekvence výskytu karcinomů plic. Jeho číselná hodnota vyšla 0,35 (bez přítomnosti viru), 0,46 (v období pre-crisis) a 0,78 (pro post-crisis). Z nárůstu těchto hodnot lze tedy soudit, že se přítomností viru SV40 riziko výskytu rakovin plic zvyšuje.

Rádiobiologická analýza BRCA pacientov

Dušan Šalát¹, Ivana Guľašová¹, Karol Martinka², Vladimír Bella³

¹ Ústav radiačnej ochrany s. r. o.

² FN Trenčín

³ OUSA s. r. o. Bratislava

salat@uro.sk

Cieľ: Cieľom našej štúdie je analyzovať výskyt chromozómových aberácií u vysokorizikovej populácie pacientov s geneticky potvrdeným potenciálne patogénnym variantom v génoch BRCA. U týchto pacientov je riziko vzniku niektorých onkologických ochorení (napr. karcinóm prsníka) výrazne zvýšené v porovnaní s bežnou populáciou a vyžaduje si špecifický prístup pri ich diagnostike (mamografia, NM, CT) a liečbe (chemoterapia, rádioterapia) s využitím ionizujúceho žiarenia (IŽ).

Metóda: Je všeobecne známe, že ionizujúce žiarenie spôsobuje poškodenie DNA a môže vyvolať smrť bunky (deterministický účinok IŽ), čo využívame aj pri liečbe takýchto pacientov (rádioterapia). Zároveň však IŽ môže spôsobiť aj vznik genetických mutácií (stochastický účinok IŽ), ktoré môžu iniciovať vznik nádorových ochorení, leukémiu, alebo dedičné ochorenia. Aby sme mohli analyzovať mieru takýchto poškodení vyvolaných IŽ, využívame najmodernejšiu metódu cytogenetickej analýzy poškodenia buniek v periférnej krvi pacienta. Pomocou fluorescenčných metód (FISH) mikroskopického

zobrazenia poškodených chromozómov dokážeme nájsť nielen známe poškodenia, ktoré IŽ vyvoláva (dicentrické a prstencové chromozómy), ale aj trvalé zmeny genetickej informácie tzv. translokácie génov, ktoré môžu naštartovať mutagénne procesy v organizme.

Výsledky: Predbežné analýzy ukazujú zvýšený výskyt translokácií u BRCA pacientov v porovnaní s bežnou populáciou (kontrolná skupina), čo sme aj očakávali, pretože sa práve BRCA gény podieľajú na oprave dvojvláknových zlomov v štruktúre DNA. Skúmanie miery týchto genetických poškodení a získané vedecké poznatky môžu napomôcť pri optimalizácii diagnostiky a liečby týchto pacientov.

Záver: Ukazuje sa, že analýza translokácií v génoch pomocou FISH metódy je optimálnym indikátorom genetických poškodení. Rozšírenie štúdie o analýzu ďalších BRCA pacientov nám umožní získať vedecké poznatky, ktoré môžu napomôcť pri optimalizácii diagnostiky (skrining) a liečby pacientov s vysokým rizikom vzniku onkologických ochorení.

Sledovanie možného vzniku tkanivových reakcií pri výkonoch intervenčnej rádiológie

Radoslava Berdisová, Martina Horváthová¹, Zuzana Bárdyová²

¹ Trnavská univerzita FZaSP

² Trnavská univerzita v Trnave

berdisova.r@gmail.com

Neustály nárast počtu čoraz zložitejších a časovo náročnejších výkonov intervenčnej rádiológie (IR) so sebou prináša aj vzrastajúce riziko vzniku nežiadúcich tkanivových reakcií pacientov. Medzi ťažko rozpoznateľné tkanivové reakcie patrí radiačná dermatitída, ktorá zároveň predstavuje pomerne závažnú komplikáciu v rámci výkonov IR. Napriek technickému pokroku a modernizácii rádiologických modalít, dochádza počas výkonov IR k prekročeniu prahových hodnôt pre vznik potenciálnych tkanivových reakcií. Práve kvôli tejto skutočnosti je nevyhnutné monitorovať radiačnú záťaž pacientov počas výkonov IR a taktiež udržiavať expozície na čo najnižšej možnej úrovni. Ná-

sledne, v snahe identifikovať tkanivové reakcie sa všeobecne odporúča odborné sledovanie pacientov, u ktorých došlo k prekročeniu stanovených prahových hodnôt.

Cieľom príspevku je poukávanie na problematiku vzniku nežiadúcich tkanivových reakcií (najmä radiačnej dermatitídy) u pacientov podstupujúcich vybrané výkony IR. Druhým cieľom je priblíženie doteraz zistených skutočností na základe doterajších výsledkov prospektívnej štúdie, realizovanej na dvoch pracoviskách Slovenskej republiky. Nami zistené výsledky sú konfrontované so štúdiami, ktoré sa zaoberali tkanivovými reakciami vyskytujúcimi sa po vybraných výkonoch IR.

Reakce buněčných linií derivovaných z glioblastomů na protonové a fotonové ozáření v přítomnosti sloučenin bóru

Oldřich Zahradníček¹, Irina Danilova¹, Kateřina Pachnerová Brabcová¹,
Jana Vachelová¹, Zuzana Jamborová¹, Pavel Kundrát¹, Pavel Bláha¹,
Miroslav David², Matěj Navrátil³, Vladimír Vondráček³, Anna Jelínek
Michaelidesová¹, Marie Davidková¹

¹ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

² Fakultní Thomayerova nemocnice v Praze

³ Protonové centrum Praha

zahradnicek@ujf.cas.cz

U rakovinných buněk kultivovaných *in vitro* byla již dříve pozorována zvýšená účinnost jejich zabíjení díky přítomnosti bóru při ozařování protony. Mechanismus tohoto pozorovaného účinku však není doteď jasný. Vhled a pochopení toho, co se děje s buňkami dopovanými sloučeninami boru po ozáření protonovým svazkem by mohlo přinést zefektivnění radioterapie agresivních nádorů. V této studii jsme použili buněčné linie derivované z glioblastomů a to U-251 MG, U-87 MG, A172 a T98G. Buňky jsme pěstovali v monovrstvě v přítomnosti merkaptododekaborátu sodného (BSH) buď s přírodním zastoupením bóru (80 % ¹¹B a 20 % ¹⁰B) nebo čistě jen s izotopem ¹⁰B (100 %). BSH bylo k buňkám přidáváno 24 ho-

din před ozářeními a konečná koncentrace bóru byla 40 ppm. Vzorky buněk byly ozařovány na urychlovači IBA Proteus Plus tužkovým svazkem protonů o energii 190,6 MeV v polohách plató a Braggově vrcholu a fotonovým zářením o energiích 6 a 18 MV na urychlovači Linac. Jako základní metody pro sledování radiačního poškození buněk v přítomnosti/nepřítomnosti bóru byl použit klonogenní test přežití buněk, metoda kvantifikace dvojných zlomů DNA za použití imunodetekce proteinů gama H2AX a 53BP1, a sledování množství lysozómů v buňkách. Dosavadní výsledky experimentů nejsou jednoznačné a jsou nadále předmětem dalšího zkoumání.

Zvýšení účinnosti protonové terapie s použitím velmi vysokých dávkových příkonů a metody proton-borové fúze

Pavel Bláha¹, Ludovic De Marzi², Valerio Cosimo Elia³,
Frederique Mégnin-Chanet⁴, Katarína Michaličková³, Amelia Maia Leite⁵,
Annalisa Patriarca⁵, Frederique Pouzoulet⁶, Valerio Ricciardi⁷,
Christophe Roulin⁶, Lorenzo Manti³

¹ Nuclear Physics Institute, Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic; National Institute for Nuclear Physics (INFN) – Naples section, Naples, Italy

² Institut Curie, Radiation Oncology Department, Orsay Proton Therapy Center, Orsay, France; Institut Curie, PSL Research University, University Paris Saclay, Inserm LITO, Orsay, France

³ National Institute for Nuclear Physics (INFN) – Naples section, Naples, Italy; University of Naples Federico II, Department of Physics, Naples, Italy

⁴ Institut Curie-Recherche, CNRS UMR9187/INSERM U1196, CMBC, Orsay, France

⁵ Institut Curie, Radiation Oncology Department, Orsay Proton Therapy Center, Orsay, France

⁶ Institut Curie, Translational Research Department, Experimental Radiotherapy Platform, University Paris Saclay, Orsay, France

⁷ National Institute for Nuclear Physics (INFN) – Naples section, Naples, Italy

blaha@ujf.cas.cz

Použití velmi vysokých dávkových příkonů (FLASH) se ukazuje jako slibný nástroj ke zvýšení ochrany zdravé tkáně nacházející se před nádorem při zachování stejné účinnosti zabití rakovinných buněk. Vzhledem k technickým problémům se získáním urychlených iontů o požadovaném dávkovém příkonu byla většina současného výzkumu provedena na urychlených elektronech. Použití FLASH protonů je však zajímavou možností, jak zkombinovat balistickou přesnost protonů s ochranou buněk díky vysokým dávkovým příkonům. Z důvodu zvýšení nízké biologické účinnosti protonů vůči radiorezistentním nádorům byla studována metoda zá-

chytu protonu na boru (Proton Boron Capture Therapy, PBCT). Během binární PBCT reakce dochází k fúzi protonu s jádrem boru-11 za takřka okamžitého uvolnění tří vysoce poškozujících alfa částic v oblasti nádoru.

Pro studium kombinace těchto přístupů byly v Orsay Proton Therapy Center (Institut Curie, Francie) ozářeny buněčné kultury plic jak v SOBP (Spread Out Bragg Peak) tak i v plató před SOBP – v přítomnosti i bez ¹¹B ve formě sloučeniny BSH (merkaptododekaborát sodný). Pro výzkum vlivu PBCT na klonogenní přežití rakovinných buněk po ozáření byla použita buněčná linie A549 derivovaná z ná-

doru plic, častého cíle protonové terapie. Ke studiu snížení poškození zdravých buněk díky FLASH protonům (> 100 Gy/s) byly použity plicní fibroblasty MRC-5 a radiačně vyvolaná předčasná senescence jako zkoumaný dlouhodobý efekt záření.

Předběžná zjištění naznačují srovnatelný nárůst účinnosti zabíjení A549 buněk v přítomnosti 80 ppm ^{11}B po ozáření FLASH i konvenčními (~ 1 Gy/s) dávkovými příkony při ozáření v SOBP. Zdravé fibroblasty MRC-5 ozářené v plató vykazují nižší procento buněk v senescenci při FLASH ozáření dávkami 8 Gy a vyššími a přibližně od 14 dní po expozici. To poukazuje na zvýšení ochrany normálních buněk při

použití urychlených FLASH protonů ve srovnání s konvenčními.

Dalším krokem výzkumu by mělo být použití laserem urychlených protonů, u kterých lze dosáhnout dávkových příkonů až $\sim 10^9$ Gy/s – řádově vyšších než u konvenčních protonových urychlovačů. To by mohlo přinést nové poznatky ohledně radiačně-biologických účinků extrémně vysokých dávkových příkonů. Pokud by tento probíhající, inovativní, výzkum potvrdil výhody propojení PBCT se snížením poškození zdravé tkáně díky FLASH dávkovým příkonům, mohlo by to vést k rozšíření terapeutického okna protonové terapie s významnými benefity pro pacienty.

Nové možnosti monitoringu nanopartikulí kyseliny hyaluronové v radiobiologii

Zuzana Šinkorová¹, Jiří Šinkora², Lenka Jandová³, Jana Čížková¹,
Zuzana Bílková⁴, Lucie Korecká⁴, Nikola Matějková⁴, Anna Carrillo⁴

¹ Univerzita obrany

² Becton Dickinson Czechia, s. r. o.

³ Lékařská fakulta UK, Hradec Králové

⁴ Univerzita Pardubice

zuzana.sinkorova@unob.cz

Cílem naší práce je objasnit mechanismy interakce modifikovaných nanočástic vyrobených z kyseliny hyalurové v organismu a popsat jejich účinnost při radiačně indukovaném poškození. Cílenější zaměření naší práce je především na radiační poškození plic, protože expozice plic ionizujícímu záření vede k nevratné fibrotizaci plicní tkáně – radiační fibróze, která je často vedlejší komplikací po radioterapii v oblasti hrudníku.

Kyselina hyaluronová je polysacharid, který je hlavní složkou extracelulární matrix. V organismu se účastní regulací různých biologických buněčných a reparačních procesů. Jedním z jejich možných uplatnění v biomedicině je oblast radioprotekce, kdy využíváme aplikace čistých nebo funkcionalizovaných nanočástic (např. s mitigátory nebo radioprotektivními látkami) pro zmírnění/eliminaci radiačního poškození.

Byla provedena rozsáhlá in vitro studie odpovídající na otázky bezpečnosti nanopartikulí kyseliny hyaluronové a jejich stability po interakci s ionizujícím zářením. Po slibných výsledcích jsme přešli na studie na experimentálním myším modelu, kde byly ustanoveny jednotlivé techniky pro monitoring interakce nanopartikulí kyseliny hyaluronové se savčím organismem.

Kromě změn v hlavních lymfocytárních populacích jsme se zaměřili na vizualizaci vazby nanopartikulí s buňkou pomocí fluorescenční mikroskopie, dále jejich detekci pomocí metody průtokové cytometrie a v neposlední řadě na optické zobrazení pomocí in vivo celotělového imaging přístroje IVIS® Spectrum System. Sdělení se zaměří na ukázky detekce nanopartikulí výše uvedenými metodami.

Predikce odpovědi nádorové tkáně na radioterapii na základě hladiny proteinu p53 v ozářených buňkách

Irina Danilova¹, Martina Zíková², Jana Klementová¹, Marie Davidková¹

¹ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

² Ústav molekulární genetiky AV ČR, Praha, Česká Republika

danilova@ujf.cas.cz

Protein p53 je významným supresorem nádorů a hraje roli jako transkripční faktor, který řídí expresi asi 60 genů. Mutace genu tohoto proteinu jsou přítomny u více než poloviny nádorů a vedou ke změně normálních buněčných procesů, ovlivňují pohyblivost a invazi buněk. Tento důležitý protein reguluje v živých buňkách řadu klíčových procesů, jako například zastavení buněčného cyklu, opravy poškození DNA, indukci apoptózy, stárnutí a nebo přežití buněk. Mnoho, ale ne všechny buněčné linie vykazují po ozáření oscilační dynamiku proteinu p53.

V této studii jsme zkoumali vliv nízkých dávek záření na oscilační dyna-

miku proteinu p53. Buněčná linie rakoviny prsu MCF7 byla ozářena Co-60 gama zářením. Hladiny proteinu v ozářených buňkách byly detekovány Western blot analýzou. Rovněž byly stanoveny hladiny exprese vybraných genů citlivých na p53 pomocí metody kvantitativní polymerázové řetězové reakce.

Oscilační dynamiku proteinu p53 po ozáření lze pozorovat ještě při dávce 250 mGy. Výsledky byly potvrzeny měřením změn v expresi p53-regulovaných genů p21, GADD45A a MDM2. V budoucnu se budou experimenty zaměřovat na možné využití oscilací p53 pro predikci úspěšnosti radioterapie.

Aplikace a optimalizace vybraných metod biologické dozimetrie se zaměřením na analýzu dicentrických chromozomů

Johana Alaverdyan, Artur Sergunin, Daniela Ekendahl, Jakub Vávra

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

johana.alaverdyan@suro.cz

Biologická retrospektivní dozimetrie je obor zaměřující se na problematiku stanovení nebo upřesnění dávky osob, u nichž existuje podezření na závažnou expozici ionizujícímu záření. Jedná se o alternativu, případně doplněk k metodám fyzikální retrospektivní dozimetrie. V krizových situacích může biologická dozimetrie sama o sobě nebo v kombinaci s jinými metodami poskytnout důležité informace pro účely triáže. Nejvyužívanější metodou a zároveň „zlatým standardem“ biologické dozimetrie je analýza dicentrických chromozomů v lymfocytech periferní krve. Tato metoda je založená na principu stanovení četnosti výskytu chromozomových aberací (tzv. dicentrických chromozomů), v jádrech lymfocytů. Za účelem implementace analýzy dicentrických chromozomů ve Státním ústavu radiační ochrany, v. v. i. je prováděna optimalizace postupů zahrnutých v rámci této metody včetně sestavení vlastních kalibračních křivek pro vybraná radiační pole. K sestavení kalibračních křivek pro záření X o střední energii 1,4 MeV bylo využito vzorků krve odebraných celkem 13 dobrovolným dárčům. Tyto vzorky byly následně ozářeny in vitro dávkami v intervalu 0,1–5 Gy. Získaná data byla analyzována na principu automatického, po-

loautomatického a manuálního vyhodnocení pomocí automatického skenovacího mikroskopického systému Metafer a programu Ikaros. Statistické zpracování dat a následné sestavení kalibračních křivek pro každý jednotlivý způsob vyhodnocení (automatický, poloautomatický a manuální) bylo provedeno v programu Biodose Tools (viz Hernández et al. 2023, Int. J. Radiat. Biol. 99, 1378–1390). Aplikovatelnost navržené metodiky byla ověřena prostřednictvím pilotního srovnávacího experimentu, kdy byly vzorky krve ozářeny vybranými zdroji vysoenergetických fotonů (^{60}Co , záření X), přičemž byly za referenčních podmínek aplikovány neznámé hodnoty dávky. Hodnoty dávek stanovené pomocí vypracované metodiky byly v dobrém souladu s referenčními aplikovanými hodnotami. Zároveň byla tímto ověřena použitelnost odvozené kalibrační křivky ve studovaném intervalu dávek. V současnosti probíhají navazující experimenty, sběr a analýza dat za účelem odvození a zpřesnění kalibračních křivek i pro jiná radiační pole.

Výzkum byl podpořen projektem Ministerstva vnitra ČR (VK01020052 „Komplex metod biologické a fyzikální retrospektivní dozimetrie pro radiační mimořádné události“).

Rádiologické aspekty kontaminácie ochudobneným uránom

Róbert Hinca¹, Branislav Stríbrnský², Vladimír Slugeň²

¹ Slovenská technická univerzita v Bratislave

² Ústav Jadrového a Fyzikálneho Inžinierstva FEI STUBA

robert.hinca@stuba.sk

V súvislosti s používaním munície s ochudobneným uránom sa vedú spoločenské diskusie ohľadne dopadu na zdravie ľudí a následkov kontaminácie prostredia. V mediálnom prostredí sa objavuje celé spektrum názorov, ktoré na jednej strane neberú rádiologické následky vôbec do úvahy a na druhej strane s použitím tejto munície spájajú zdravotné komplikácie a zvýšený výskyt rakoviny u vojakov a civilistov z krajín, kde došlo k použitiu uránovej munície v minulosti. Média sa snažia vysvetlovať, či sa jedná o jadrovú zbraň, špinavú nálož (dirty bomb), alebo o konvenčnú vysokopriernu muníciu, porovnateľnú s nábojmi s obsahom volfrámu, bez akýchkoľvek prida-

ných rizík. V príspevku sa uvádzajú informácie o prístupe k hodnoteniu rizika vydaných medzinárodnými organizáciami WHO (World Health Organization) a UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) doplnenú o názory a hodnotenia z odborných publikácií. Sú uvedené rozdiely medzi ochudobneným uránom a prírodným uránom ako zdrojov ožiarenia. Sú analyzované možné situácie ožiarenia s následnou vnútornou kontamináciou vdychovaním aerosólov vytvorených následkom výbuchu.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu EU DELISA-LTO (No.101061201).

Simulácia interakcie kozmického žiarenia s jednoduchým modelom ľudského oka v Geant4 a FLUKA

Blahoslav Pastirčák¹, Dominika Švecová², Pavol Bobík¹

¹ Ústav experimentálnej fyziky Slovenskej Akadémie Vied

² Univerzita Pavla Jozefa Šafárika

dominika.svecova1@student.upjs.sk

V posledných desiatročiach astronauti na vesmírnych misiách pozorovali jav nazývaný Light flashes. Výsledky experimentov vykonaných Apollo misiami ako aj posádkami MIR a ISS ukázali, že jav je spôsobený interakciami kozmického žiarenia s ľudským okom.

Prezentované výsledky boli získané pomocou simulácii interakcií vysokoenergetických protónov kozmického žiarenia s jednoduchým modelom ľudského oka. Na simulácie boli použité dva Monte Carlo simulačné balíky – konkrétne FLUKA a GEANT4.

Koncepční otázky nakládání s RAO v ČR

Radek Trtílek

ÚJV

radek.trtilek@ujv.cz

Přednáška shrnuje aktuální koncepční otázky nakládání s RAO v ČR v kontextu předpokládané výstavby nových jaderných zdrojů včetně malých modulárních reaktorů (SMR), urychleného vývoje hlubinného úložiště (HÚ) a evropských zkušeností s vyřazováním jaderných elektráren. Jednou z nich je dispozice ukládacích kapacit úložišť RAO a jejich dostupnost v čase včetně vazby na zahájení provozu HÚ. S tím souvisí otázka, zda rozšiřovat kapacitu stávajících přípovrchových úložišť a zda

řešit ukládání velmi nízkou aktivních odpadů (VLLW) z vyřazování samostatně. Související zamyšlení se týká změny přístupu k vyřazování: jaké jsou argumenty pro upřednostnění okamžitého vyřazování před postupným. Společně pak všechna tato témata mají klíčový vliv na délku provozování HÚ jako jaderného zařízení. Samostatnou záležitostí k posouzení je volba a uplatnění pokročilých technologií pro zpracování provozních RAO z nových bloků. Cílem přednášky není dát na tyto otázky odpovědi, ale ukázat souvislosti jejich řešení.

Problematika přijatelnosti radioaktivního odpadu do úložiště RAO

Hana Vojtěchová, Jitka Mikšová, Soňa Konopásková

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

hana.vojtechova@suro.cz

Důležitou oblastí řešenou v rámci programu nakládání s radioaktivním odpadem (RAO) je zavedení podmínek jejich přijímání k ukládání do úložišť RAO. Systém těchto podmínek je vytvořen z (i) procesu kvalifikace formy odpadu, který je chápán jako důkaz, že forma RAO k ukládání je kompatibilní s daným/plánovaným úložným systémem, a z (ii) podmínek přijatelnosti, což je soubor požadavků stanovených na základě podmínek bezpečnosti příslušného úložiště RAO (ÚRAO). Proces kvalifikace RAO ověřuje vhodnost způsobu zpracování a úpravy RAO, aby splňoval limity a podmínky bezpečného provozu úložiště a požadavky na jeho bezpečnost i po ukončení provozu ÚRAO a jeho uzavření. Rámec systému přijímání odpadů k uložení zahrnuje charakterizaci vznikajících odpadů (druh, hmotnost, aktivita a forma odpadu), stanovení vhodné technologie zpracování a úpravy RAO a podmínky

systému zneškodnění odpadů včetně naplnění legislativních požadavků. Systém ukládání je pak reprezentován úložištěm (konečná forma RAO, inženýrské bariéry a provozní systémy) přírodní bariérou (hostitelská hornina) a okolním životním prostředím (biosféra). V povolovacím řízení se stanoví limitní podmínky, které zajišťují, že budou naplněny podmínky radiační ochrany a jaderné bezpečnosti během provozu a po uzavření ÚRAO, jakož i podmínky technické bezpečnosti, havarijní připravenosti, monitorování a zabezpečení. Vývoj a zavedení procesu přijímání odpadů vede k definici podmínek přijatelnosti RAO a dalších podmínek bezpečného provozu.

Príspevek predstavuje výsledky aktivit realizovaných v rámci mezinárodních EC projektů EURAD (HORIZON 2020, ID: 84759) a PREDIS (HORIZON 2020, ID: 945098).

Současný stav a perspektivy využívání úložišť nízko a středněaktivních odpadů v České republice

Jaromír Sud, Josef Kašánek

Správa úložišť radioaktivních odpadů

jaromir.sud@seznam.cz

Systém nakládání s nízko a středně aktivními radioaktivními odpady je v České republice dobře zavedený a fungující, a to včetně finální fáze, tj. ukládání. Ukládáním radioaktivních odpadů podle terminologie dle zákona č. 263/2016 Sb. atomový zákon rozumíme trvalé umístění radioaktivního odpadu do prostoru, objektu nebo zařízení bez úmyslu jej vyjmout. K ukládání uvedených druhů radioaktivních odpadů jsou v České republice v současnosti využívána tři úložiště radioaktivních odpadů (ÚRAO) – ÚRAO Richard v Litoměřicích, ÚRAO Bratrství v Jáchymově a ÚRAO Dukovany, umístěné uvnitř areálu jaderné elektrárny Dukovany. Čtvrté úložiště – ÚRAO Hostim již bylo v 90. letech minulého

století uzavřeno a v současnosti probíhá monitorování jeho okolí v rámci tzv. institucionální kontroly.

V příspěvku je stručně popsán systém nakládání s radioaktivními odpady v České republice, legislativní rámec a role Správy úložišť radioaktivních odpadů. Dále jsou podrobněji popsána jednotlivá provozovaná úložiště nízko a středně aktivních odpadů, jejich umístění, určení, režimy jejich provozu a další specifika. Závěrem je popsána perspektiva jejich dalšího využívání v souladu s platnou Koncepcí nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem a v návaznosti na plánovanou výstavbu hlubinného úložiště v ČR.

Uvolnění cyklotronu PET do životního prostředí

Karel Prchal, Alena Rosáková, Jakub Záruba

jakub.zaruba@ujv.cz

V květnu 2022 proběhla v PET Centru ÚJV Řež v areálu Nemocnice Na Homolce unikátní modernizace zázemí pro výrobu radiofarmak – cyklotron IBA, který si tu odsloužil 23 let, nahradil nejnovější Cyclone KIUBE. Vyřazený cyklotron byl převezen do Řeže a ulo-

žen ve skladu Centra nakládání s radioaktivními odpady, kde byl ovzorkován. Výsledky měření byly porovnány s relevantními studiemi, a došlo ke kvalifikovanému odhadu doby nutného skladování cyklotronu před uvolněním do životního prostředí.

Národní radiační havarijní plán a jeho ověřování

Karla Petrová

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

karla.petrova@sujb.cz

Národní radiační havarijní plán (NRHP) byl zpracován Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) a Ministerstvem vnitra ČR (MV ČR), dle požadavku § 234 odst. 2 zákona č. 263/2016 Sb. (atomový zákon). Garantem plánu je podle § 209 písm. d) atomového zákona SÚJB. NRHP byl vládou ČR schválen dne 7. 12. 2020, a to Usnesením vlády ČR č. 1276 a je k dispozici na webových stránkách SÚJB: www.sujb.cz/nrhp. Implementace NRHP byla požadována do 2 let od jeho vydání, tj. do konce roku 2022. Ověřování NRHP bude probíhat v rámci havarijních cvičení, a to minimálně jednou za čtyři roky (dle ustanovení § 18 vyhlášky č. 359/2016 Sb.).

Úvodní část NRHP popisuje vymezené zóny havarijního plánování (ZHP) v ČR a oblasti v zahraničí, které mohou mít vliv na území ČR. Pro tyto oblasti jsou řešena ochranná opatření, která lze aplikovat jak na území s vymezenou ZHP, tak i mimo ni. NRHP v této části dále popisuje organizaci krizového řízení ústředních správních úřadů a dalších orgánů veřejné správy, včetně jejich stanovených kompetencí v oblasti zvládnutí RH.

Druhá část NRHP je věnována následným ochranným opatřením – způsobu vymezení kontaminovaných ob-

lastí, stanovení strategie optimalizované radiační ochrany pro správu kontaminované oblasti, stanovení referenčních úrovní, regulaci ozáření zasahujících osob, podmínkám režimových opatření, příznakům přechodu z neohodnotěné expoziční situace (NES) do existující expoziční situace (EES).

Přílohou část pak obsahuje zejména diagramy důležité pro upřesnění předávání informací v rámci systému krizového řízení a osob podílejících se na odezvě.

V roce 2023 byla poprvé procvičena opatření s dopadem do ZHP, mimo ZHP a na území vedlejšího kraje národním havarijním cvičením ZÓNA 2023. Cvičení bylo zaměřeno jak na zavádění neodkladných ochranných opatření, tak i těch následných. Jedním z cílů cvičení bylo i vydávání tzv. opatření obecné povahy, projednání situace v rámci ústředního krizového štábu a navrhování zavedení opatření vládě ČR. V roce 2024 proběhne národní cvičení INEX-6, které bude zaměřeno čistě na následná ochranná opatření. V rámci cvičení se počítá se širokým zastoupením dotčených ústředních správních úřadů. Z pohledu řešení situace se bude jednat o období 1 rok po ukončení RH a cílem bude bezpečnost potravin a

ověření způsobu a provádění dekontaminace a obnovy území.

Příspěvek se bude věnovat vybraným aspektům ověřování NRHP.

Připravenost HZS ČR na radiační události

Michal Setnička

MV – GŘ HZS ČR – Institut ochrany obyvatelstva

michal.setnicka@hzscr.cz

Hasičský záchranný sbor České republiky (HZS ČR) je jedinou složkou Integrovaného záchranného systému, která je plošně vybavena prostředky pro rozpoznání a řešení událostí s přítomností zdrojů ionizujícího záření nebo kontaminace radioaktivními látkami. Ročně pak HZS ČR na území České republiky řeší přibližně 2–4 události tohoto typu. K řešení těchto událostí je HZS ČR adekvátně materiálně i personálně vybaven.

Podle předurčenosti můžeme jednotky HZS rozdělit do čtyř základních skupin. Základní jednotky jsou schopné „pouze“ rozpoznat radiační událost a v případě nutnosti si na místo povolají vyšší jednotku. Ta je schopna měřit kontaminaci u lidí a věcných prostředků a v případě nutnosti provést jejich dekontaminaci. Při událostech velkého rozsahu jako, např. ne-

hoda jaderné elektrárny jsou k dispozici ještě jednotky speciálně vybavené pro tyto události portálovými monitory gama záření a prostředky pro dekontaminaci většího množství osob a techniky, včetně zachytávání a možnosti bezpečného transportu odpadní vody po dekontaminaci. Při všech událostech s výskytem zdrojů ionizujícího záření či kontaminace radioaktivními látkami je na místě také vždy přítomna i jednotka chemické laboratoře, která je schopna detekovat všechny druhy záření i radioaktivní kontaminace, provádět spektrometrická měření, odebírat a analyzovat vzorky životního prostředí či stěrů nebo bezpečně transportovat zdroje IZ s aktivitou odpovídající až 1 TBq ^{137}Cs . V neposlední řadě se odborníci z řad chemických laboratoří podílí na výcviku a přípravě nižších jednotek HZS ČR.

Vliv K a Ca na přestup radionuklidů Cs-134 a Sr-85 do vybraných zemědělských plodin

Jan Škrkal, Věra Záhorová

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

vera.zahorova@suro.cz

V roce 2020–22 byla uskutečněna řada experimentů zaměřených na studium vlivu draslíku a vápníku na transferový koeficient půda-rostlina (TK) radionuklidů Cs-134 a Sr-85.

Rostliny byly pěstovány v podmínkách simulujících polní pěstování v květináčích o objemu 25 l. V prvním roce byly vytvořeny tři skupiny vzorků – kontrolní, kontaminované Cs-134 a Sr-85 a kontaminované Cs a Sr s přídávkem roztoku K_2SO_4 . V dalším roce byly nádoby z kontrolní skupiny rovněž kontaminovány Cs a Sr a ošetřeny buď roztokem K_2SO_4 , nebo dolomitickým vápencem. Do nádob kontaminovaných radionuklidy v předchozím roce bylo doplněno Sr-85, do těch dříve ošetřených K_2SO_4 byl přidán dolomitický vápeneček. V roce 2022 byl do všech nádob doplněn roztok Sr-85. Nádoby byly zalévány běžným způsobem. Vypěstované plodiny byly po sklizni důkladně omyty a usušeny v sušárně při 40 °C do stálé hmotnosti. Aktivita radionuklidů v plodinách byla stanovena pomocí polovodičové (HPGe) spektrometrie gama.

Průměrné hodnoty TK Cs-134 skupině bez treatmentu resp. s treatmentem K, v uvedeném pořadí, jsou pro salát 3,7E-4 resp. 2,9E-4, ředkvičku 1,9E-3 resp. 1,5E-3, cibuli 3,4E-3 resp. 4,0E-3, rozdíly nejsou statisticky významné.

Průměrné hodnoty TK Sr-85 jsou pro salát 1,9E-2 resp. 1,5E-2, ředkvičku 8,1E-2 resp. 6,9E-2, cibuli 3,2E-2 resp. 3,8E-2. Rozdíl u salátu a ředkvičky je statisticky významný, $p < 0.0005$.

Průměrné hodnoty TK Cs-134 ve skupině bez treatmentu resp. s treatmentem K a Ca pro zrno ječmene jsou 4,3E-5 resp. 2,13E-5, slámu ječmene 1,3E-4 resp. 6,1E-5, řepu 2,0E-4 resp. 1,1E-4 a pro hlízy brambor 1,6E-4 resp. 2,8E-5. Všechny rozdíly jsou statisticky významné, $p < 0.001$. Průměrné hodnoty TK Sr-85 jsou pro zrno ječmene 1,0E-3 resp. 8,2E-4, slámu ječmene 7,8E-3 resp. 6,1E-3, řepu 1,2E-2 resp. 9,9E-3 a pro hlízy brambor 5,2E-4 resp. 6,9E-4. Rozdíly jsou statisticky významné v případě ječmene a řepy, $p < 0.005$.

Dodání K, případně kombinace K a Ca, vedlo ve většině případů ke snížení TK Cs-134 i Sr-85. Výjimkou jsou v případě Cs cibule, v případě Sr cibule a brambory.

Při porovnání vlivu K a Ca bylo v případě řepy a brambor TK Cs-134 statisticky významně nižší ve skupině s K, $p < 0.01$, u slámy ječmene ve skupině s Ca, $p=0,003$. TK Sr-85 bylo ve všech případech nižší ve skupinách s K, přičemž v případě slámy ječmene a bram-

bor byl rozdíl statisticky významný, $p < 0.008$.

Práce vznikla v rámci projektu BV MV ČR “Optimalizace postupů

pro realizaci rostlinné výroby na území zasaženém jadernou havárií (VI20192022153)”.

Modelování dopadů havarijních úniků z jaderné elektrárny

Petr Kuča, Anna Selivanova, Barbora Marešová

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

petr.kuca@suro.cz

Pro zajištění připravenosti k odezvě na RMU v důsledku radiační havárie je potřeba mít k dispozici prostředky pro modelování radiačních dopadů předpokládaných úniků – aplikace pro modelování šíření radioaktivních látek atmosférou a případně i hydrosférou. V ČR se pro tyto účely používá aplikace ESTE (ABmerit, Slovensko), provozovaná na SÚJB, která umožňuje i automatické spouštění modelových výpočtů v závislosti na údajích telemetrického sys-

tému JE průběžně předávaných z obou českých JE na SÚJB. Jako další systémem se v ČR používá aplikace JRODOS (KIT, SRN), instalovaná a provozovaná na SÚRO, která umožňuje kromě základních výpočtů se zdrojovým členem úniku poskytnutým provozovatelem JE i souběžné, uživateli plně řízené provádění výpočtů scénářů s alternativními zdrojovými členy a meteorologickými podmínkami pro odhad možných variací dopadů sledované události.

Výběr a kalibrace detektorů pro letecké monitorování v časně fázi havárie

Marcel Ohera, Irena Češpírová, Lubomír Gryc

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

marcel.ohera@suro.cz

Poster je věnován vybraným detektorům, které by byly využity pro letecké monitorování a rychlé vyhodnocení dat v případě mimořádné radiační situace. Pro takové situace byly vybrány detektory, které jsou využívány na odboru havarijní připravenosti, obvykle pro monitorování in-situ, a které lze použít jako měřidlo na palubě vrtulníku ke stanovení vyššího dávkového příkonu ve vzduchu a přepočítat na dávkové příkony v 1 m nad zemí. Některé z těchto detektorů lze použít pro lokální měření pomocí UAV. U jednotli-

vých detektorů jsou pak uvedeny jejich kalibrační rovnice a předpokládané rozsahy dávkových příkonů. Možnosti uvedených detektorů jsou porovnány v kontextu s daty největších havárií jaderných elektráren (Černobyl 1986 a Fukushima 2011). Pro vyhodnocení dat na základě uvedených postupů bude možné použít především programy AGAMA (scintilační a plastové detektory) a AirHPGeSpec (HPGe detektory). Obsah tohoto posteru byl vytvořen v rámci podpory institucionálního výzkumu.

Možnosti SÚRO při dohledávání zdrojů ionizujícího záření

Irena Češpírová, Martina Nováková, Marcel Ohera, Lubomír Gryc,
Jan Helebrant

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

irena.cespirova@suro.cz

Vzhledem k aktuální situaci na Ukrajině se na tomto území ocitlo velké množství umělých zdrojů ionizujícího záření (ZIZ) o různých aktivitách mimo systém zavedených kontrol. Je možné, že v blízké budoucnosti budou některé zdroje nelegálně převáženy přes naše území, popř. „ztraceny“ v ČR. ČR musí být na takovéto situace připravena – ZIZ dohledat a zajistit. Jasnou úlohu

zde hrají nejen policie a hasiči, ale díky svému vybavení a zkušenostem i SÚRO.

Poster popisuje přístrojové a metodické vybavení SÚRO pro případné dohledávání „ztracených“ či nelegálně přepravovaných ZIZ.

Poster je vypracován na základě projektu Ministerstva vnitra ČR ID: VK01020184

Monitorování radionuklidů v okolí JE Temelín v letech 2000–2022

**Lenka Thinová, Jaroslav Klusoň, Kamila Johnová, Ondřej Kořistka,
Radim Možnar**

KDAIZ FJFI ČVUT v Praze

thinova@fjfi.cvut.cz

Zajímavý soubor dat hmotnostních koncentrací Cs-137 ve vzorcích lesního humusu, kůry borovice, mechu, borůvek a hub za více než 20 let monitorování umožňuje spolu s měřením polí fotonového záření na vybraných bodech monitorovací sítě sledovat nezávisle radiační situaci v okolí JE Temelín. Celkem bylo za dobu monitorování odebráno a změřeno více než 3700 vzorků

a provedeny stovky měření gama spektrometrie in situ. Měřené a kontinuálně klesající koncentrace Cs-137 pocházejí z doby po havárii v černobylské jaderné elektrárně a sledování poklesu koncentrací odpovídá úbytku radioaktivity v životním prostředí s časem v závislosti na podmínkách v daném monitorovacím bodě.

Tkáňově ekvivalentní LET spektrometr SPRM – testování různými ionty na zařízení HIMAC

Martina Lužová¹, Hisashi Kitamura², Marek Sommer³, Martin Kákona³,
Michal Marčišovský⁴, Ondřej Ploc³, Pavel Brož⁵, Petr Suchánek⁵,
Satoshi Kodaira²

¹ NUVIA Dosimetry, s. r. o., ÚJF AV ČR, FJFI ČVUT

² National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Chiba, Japan

³ Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

⁴ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

⁵ evolving systems consulting Aerospace s. r. o., Čs. armády 554/14, Praha, ČR

martina.luzova@seznam.cz

SPRM (Scintillator with PH32 chips Radiation Monitor) je pokročilý hybridní LET spektrometr sestavený společností esc Aerospace Company ve spolupráci s FJFI ČVUT a ÚJF AV ČR. Detektor byl vyvinut pro měření na palubě družice s podporou života, či ISS, a tvoří ho sendvič tkáňově ekvivalentního plastického scintilátoru obklopeného z obou stran dvěma vrstvami křemíkových stripových detektorů na bázi čipů PH32. Vlastnosti SPRM byly testovány několika svazky vysokoenergetických iontů na zařízení HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba) v Japonsku.

Plastickým scintilátorem lze změřit energii, kterou v něm iont zanechá, a

stripové detektory zjistí úhel, pod kterým částice do sendviče přiletěla, a tedy délku dráhy, kterou iont ve scintilátoru urazil. Bude srovnána odezva detektorů pro ionty Si, Ar a N přicházející z různých úhlů. Z dat získaných na zařízení HIMAC lze hodnotit energetickou úměrnost odezvy scintilátoru, úhlovou přesnost stripových detektorů i časovou synchronizaci obou detekčních prvků. Navíc lze pomocí SPRM pro každou jednotlivou částici porovnat LET v tkáňově ekvivalentním materiálu s LET v křemíku (z velikosti odezvy v samostatném stripovém detektoru) a určit tak experimentálně převodní koeficient pro různé ionty a energie.

Upgrade solného detektoru

Zina Čemusová¹, Daniela Ekendahl¹, Zdeněk Sofer²

¹ Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

² Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

zina.cemusova@suro.cz

V předchozích letech byl v SÚRO vyvinut solný detektor založený na využití běžné kuchyňské soli v ne-zpracované formě. Od roku 2023 je v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky (VK01020204) vyvíjen inovovaný solný detektor ve formě odpovídající běžným komerčně dostupným luminiscenčním detektorům. Detektor byl vytvořen slisováním zrnec Alpské soli s jódem do formy disků o tloušťce 1 mm a průměru 4,5 mm. V rámci projektu byly optimalizovány parametry lisování, které vedly ke zlepšení mechanických i dozimetrických vlastností oproti prvotně testovaným detektorům. Zároveň bylo zvoleno optimální rozmezí velikosti zrn NaCl 297–840 μm (mesh 20–50) pro přípravu detektorů. K vyhodnocení dozimetrické odezvy byla využita metoda opticky stimulované luminescence (OSL). Bylo zjištěno, že nový postup přípravy solných peletek vede k významnému zlepšení reprodu-

kovatelnosti OSL signálu, což umožňuje zjednodušení analytického protokolu a zkrácení procesu vyhodnocení dávky. Příznivý vliv se projevil také v případě závislosti OSL signálu na dávce, která byla pozorována lineární v širším rozpětí dávek přesahujícím 100 mGy. Ověřen byl dále fading OSL signálu v závislosti na čase uplynulém od ozáření. Pro použité parametry měření byla pozorována stabilní odezva po dobu několik měsíců. V praxi byly detektory ověřeny při měření dávek v prostředí a výsledky porovnány s běžnými termoluminiscenčními dozimetry, kdy bylo dosaženo dobré vzájemné shody výsledků. Kromě studia vlastností samotných detektorů bude dále vyvíjen optimální obal dozimetru, který bude optimalizován vzhledem k energetické závislosti OSL signálu. Dozimetr na bázi soli je určen především pro mimořádné radiační situace, kdy mohou významně stoupnout nároky na kapacitu radiačního monitorování.

Dozimetrie radiačního pole v okolí svářečky elektronovým svazkem ES3X

David Zoul, Kateřina Daničková, Ludvík Horalík, Robert Visinger,
Tomáš Falter

Centrum Výzkumu Řež

david.zoul@cvrez.cz

Elektronová svářečka je zařízení určené pro svařování kovových materiálů ve vakuu svazkem elektronů emitovaných do pracovní komory s vysokým vakuem z přímo žhavené katody uvnitř elektronové trysky. Svazek elektronů je v prostoru mezi katodou a anodou urychlen vysokým napětím a dále zaostřován pomocí systému fokusačních elektromagnetických cívek. Uvnitř pracovní vakuové komory se svazek elektronů pohybuje již jen setrvačností, a poté dopadá vysokou rychlostí na svařovaný díl (svařenec), kterému předává tepelnou energii.

Ačkoliv zařízení není primárně generátorem ionizujícího záření (brzdné a charakteristické záření vzniká sekun-

dárně ve svařovaném materiálu – svařenci – na který dopadá elektronový svazek), zajímali jsme se o hodnoty radiačního pole v okolí přístroje po čas jeho činnosti, zejména z důvodu radiační ochrany obsluhujícího personálu. To nám umožnilo klasifikovat přístroj coby generátor ionizujícího záření v souladu s platnou legislativou.

V této prezentaci uvádíme výsledky podrobného dozimetrického mapování radiačního pole vně elektronové svářečky prostřednictvím několika různých dozimetrických metod. V závěru rovněž shrnujeme přijatá opatření radiační ochrany pracovníků vyplývající z výsledků těchto měření.

Analýza dat z centrálního registru profesních ozáření

Miluše Budayová

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

miluse.budayova@sujb.cz

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) dlouhodobě shromažďuje a uchovává údaje o radiační zátěži radiačních pracovníků. K tomuto účelu byl vytvořen Centrální registr profesních ozáření (CRPO), který je dlouhodobě využíván jako efektivní nástroj při státním dozoru v oblasti využívání jaderné energie a ionizujícího záření.

Statistické výstupy této databáze poskytují cenné informace o účinnosti opatření přijatých v souvislosti s radiační ochranou pracovníků v různých průmyslových oborech, lékařství, vý-

zkumu, vzdělávání, jaderné energetice i poskytování služeb.

Pro sledování vývoje a nových směrů při využívání jaderné energie a zdrojů ionizujícího záření je vedle CRPO ve velké míře využíván i registr zdrojů ionizujícího záření.

Analýza různých ukazatelů, kterými jsou např. efektivní dávka radiačních pracovníků a počty zdrojů ionizujícího záření, tak mohou poukázat na významný pokrok nebo útlum činnosti v dané oblasti. Nejzajímavější výstupy jsou již dlouhodobě pozorovány v lékařských oborech.

Vliv nových dokumentů ICRP Occupational Intake of Radionuclides na stanovení dávky z vnitřní kontaminace

Vendula Rovenská, Pavel Fojtík

Státní ústav radiační ochrany

vendula.rovenska@suro.cz

Komise ICRP revidovala v sérii zpráv ICRP Publication 131, 134, 137, 141 a 151 (souhrnně Occupation Intake of Radionuclides series, dále OIR) dávkové konverzní faktory pro výpočet úvazku efektivní dávky z profesního příjmu radionuklidů. Faktory jsou vypočteny za použití nových nebo revidovaných biokinetických modelů, dozimetrických modelů a váhových faktorů a metodologie doporučení ICRP 103.

U některých radionuklidů nebo jejich forem došlo k výrazným změnám v hodnotách konverzních faktorů pro příjem inhalací nebo požitím, mj. i v důsledku změn retenčních a exkrecečních funkcí. Tyto změny mají společně vliv na dosažení referenčních úrovní, nadhodnocení nebo podhodnocení dávky při rutinních monitorovacích intervalech, případně

změny nejmenších úvazků detekovatelných určitou technikou monitorování.

Porovnání bylo zaměřeno na změny u radionuklidů vybraných z hlediska služby osobní dozimetrie. Na rozboru dat pro Cs-137, I-125 a Am-241 je demonstrován i vliv změny biokinetického modelu na průběhy retenčních a exkrecečních funkcí.

Také byla posuzována změna konverzních faktorů pro příjem inhalací u radionuklidů z uranové, thoriové a aktiniové řady vyskytujících se v materiálech NORM. Velikost změny se bude lišit pro různá složení NORM materiálů v závislosti na nerovnováze členů přírodních přeměnových řad v materiálu a na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech.

Systémy luminiscenční dozimetrie pro monitorování externího ozáření v prostředí

Michaela Kapucianová, Daniela Ekendahl, Zina Čemusová,
Martina Vtelenská

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

michaela.kapucianova@suro.cz

Pro účely monitorování externího ozáření na území ČR disponuje Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. (SÚRO) třemi systémy luminiscenční dozimetrie. Dva systémy jsou založeny na termoluminiscenci (TL) a jeden na opticky stimulované luminiscenci (OSL). Hlavním dozimetrem prostředí je komplexní termoluminiscenční dozimetr (TLD) se 4 detektory LiF:Mg,Cu,P vestavěnými v kartě a obalem s různými filtry. K termální stimulaci detektorů a vyhodnocení odezvy je používána automatická čtečka TLD Harshaw 6600 (Thermo Scientific). Tento systém je používán jako základní v rámci provozu sítě pasivních dozimetrů, jež je jednou ze složek pro monitorování radiační situace (MRS) v ČR. Druhým systémem založeným na TL je měřicí systém Rados (Mirion), jehož hlavními součástmi jsou čtečka TLD a TLD se 3 detektory $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ v kartě a hliníkovém kontejneru. Tento měřicí systém je záložním systémem pro MRS, v případě potřeby rozšířit monitorovací síť. Vedle těchto konvenčních systémů TLD je k dispozici systém založený na využití OSL běžné soli (NaCl), který byl vyvinut se záměrem zabezpečit monitorování externího ozáření při rozsáhlých mimořádných radiač-

ních událostech, kdy kapacita existujících TL systémů nemusí být dostatečná. V rámci výzkumu byly vyvinuty různé varianty solného detektoru. Nejnovější verze vznikla slisováním potravinářské Alpské soli s jodem (Bad Reichenhaller) do formy disku o průměru 4,5 mm a tloušťce 1 mm. Tento detektor má tedy formu běžného luminiscenčního detektoru a může být vložen do běžných karet pro TLD, resp. jiného vhodného kontejneru. K OSL stimulaci solného detektoru a vyhodnocení naměřeného signálu je používán systém TL/OSL Risø DA-20 (Danmarks Tekniske Universitet). V rámci vývoje solného dozimetru bylo provedeno porovnání všech 3 luminiscenčních systémů. TLD byly zároveň se solným dozimetrem vystaveny stejným expozičním podmínkám realizovaným ve venkovním měřicím místě a v akreditované kalibrační laboratoři (AKL) SÚRO. Odezvy dozimetrů byly vyhodnoceny dle příslušných metodik, na jejichž základě byly stanoveny hodnoty $H^*(10)$, které byly vzájemně porovnány, a to i vzhledem k referenčním hodnotám $H^*(10)$ aplikovaným v AKL. Výsledky luminiscenčních systémů byly ve velmi dobré shodě, a to jak pro dávky relevantní přírodnímu radiačnímu po-

zadí, tak i pro dávky vyšší. V rámci provedeného experimentu byla prokázána kompatibilita výsledků těchto sys-

témů. Tato práce byla podpořena projektem (VK01020204) Bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra ČR.

Rizika a nejistoty detekce gamma-H2AX pro účely biodozimetrie

Kateřina Uttendorfská¹, Lenka Andrejsová², Anna Lierová³, Jana Čížková⁴,
Karolína Bacílková¹, Zuzana Šinkorová⁴

¹ Univerzita Pardubice

² Fakulta vojenského zdravotnictví, Univerzita obrany, Hradec Králové

³ Katedra radiobiologie, Fakulta vojenského zdravotnictva, UO

⁴ Univerzita obrany

lenka.andrejsova@unob.cz

Fosforylace jaderného histonu H2AX reprezentuje jeden z klíčových procesů reparace poškození DNA účinkem ionizujícího záření (IZ), který nastává v průběhu několika minut a přetrvává až několik hodin po ozáření. Účinkem absorpce určitého množství energie IZ dochází ke zvýšení počtu indukovaných dvojitých zlomů na DNA a tím i ke zvýšení exprese histonu gamma-H2AX. Díky dostupnosti specifických monoklonálních protilátek proti fosforylované formě histonu je možné stanovit míru exprese v závislosti na čase či absorbované dávce IZ. Lineární dávková závislost fosforylace histonu H2AX byla u lidských periferních krevních lymfocytů prokázána in vitro i in vivo. Histon gamma-H2AX byl s úspěchem použit nejen v případě homogenního celotělového, ale také k průkazu parciálního ozáření u potkanů. Vysoké senzitivity stanovení míry fosforylace H2AX dosahuje metoda konfokální mikroskopie. Tato metoda je ovšem náročná jak na čas (více jak 24 hodin), tak také na vybavení laboratoří a odborné zkušenosti personálu. Alternativou je stanovení gamma-H2AX metodou prů-

tokové cytometrie, kterou lze realizovat v jakékoliv hematologické laboratoři s běžným i jedno-laserovým průtokovým cytometrem a výsledky lze získat do tří hodin po odběru krve. Tato technika však s sebou nese svá úskalí, která je nutno v případě využití gamma-H2AX jako biodozimetrického ukazatele absorbované dávky IZ zohlednit. Důležitým parametrem, který významně ovlivňuje výsledky analýz, je čas odběru krve, protože gamma-H2AX dosahuje maxima v rozsahu 10–30 minut po ozáření. S tím souvisí i způsob uchovávání vzorků po odběru. Vzhledem k tomu, že průtoková cytometrie je metodou relativní, která neumožňuje stanovení počtu lézí DNA, ale poskytuje výhradně informaci o intenzitě fluorescence, jsou exaktní výstupní data ovlivněna nejen nastavením přístroje, ale také použitým fluorochromem i šarží specifické monoklonální protilátky. Naše data dále prokázala, že fosforylace H2AX vykazuje signifikantní rozdíly v případě ozáření rozdílnými dávkovými příkony. Cílem této práce bylo zhodnotit výhody i nevýhody metody detekce gamma-H2AX

metodou průtokové cytometrie a navrhnout řešení případných sporných oblastí, které ovlivňují kvalitu a možnosti

využití gamma H2AX jako biodozimetrického ukazatele.

Radiouhlíkové datování v boji proti kriminalitě páchané na chráněných živočišných druzích

Kateřina Pachnerová Brabcová, Jitka Kufnerová, Markéta Petrová,
David John, Vojtěch Valášek, Ivo Světlík

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

brabcova@ujf.cas.cz

Pytláctví a nelegální obchod s ohroženými živočichy a rostlinami je závažný trestný čin, který nahrává riziku přenosu zoonóz, má ničivé dopady na legální ekonomiku států a v krajním případě je příčinou vymírání některých druhů. Příslušná legislativa většinou stanoví přelomový rok původu artefaktů z tkání ohrožených druhů, který rozhoduje, zda je takový artefakt obchodovatelný, tedy dostatečně starý, nebo ne. Jako nástroj k získání evidence je často jedinou možností radiouhlíkové datování.

Vlivem atmosférických testů jaderných zbraní došlo v polovině 20. století k prudkému zvýšení aktivity ^{14}C , které se na radiouhlíkové kalibrační křivce projevuje výrazným maximem, tzv.

bombovým píkem. Strmé části kalibrační křivky znamenají pro radiouhlíkové datování příslušných vzorků možnost velkého časového rozlišení. Na druhou stranu datování takových vzorků poskytuje téměř vždy dvojnásobný výsledek, neboť dojde k průmětu výsledku stanovení ^{14}C na rostoucí i klesající část kalibračního bombového píku.

V případě zkoumání tkání zvláště chráněných druhů je možným řešením analýza alespoň dvou vzorků ve známém relativním chronologickém vztahu (mladší/starší), což většinou umožňuje vyloučit jeden z průmětových intervalů a zúžit výsledek datování. Příspěvek představí možnosti relativní chronologie různých tkání i druhů.

Radiačně odolné scintilátory s vysokou hustotou v kombinaci se SiPM pro nové aplikační možnosti

Tomáš Marek¹, Jan Touš¹, Karel Blažek¹, Tomáš Brunclík², Tomáš Vaněk¹

¹ CRYTUR, spol. s r.o.

² GEORADIS s.r.o.

tous@crytur.cz

Řada detektorů záření (G4S) s velmi vysokou účinností detekce byla vyvinuta v CRYTUR využitím vynikající citlivosti a malých rozměrů nejnovějších polovodičových prvků SiPM v kombinaci se scintilátory s vysokou hustotou ($6,56 \text{ g.cm}^{-3}$) s vysokým atomovým číslem ($Z_{\text{eff}} = 54$) a s emisním spektrem, které odpovídá spektrální citlivosti SiPM. Ve srovnání s detektory využívajícími konvenční NaI:Tl scintilátory mohou být tyto nové detektory v některých aplikacích výrazně kompaktnější při zachování ekvivalentní účinnosti detekce. Zatímco vysoký index lomu SiPM činí integraci náročnou, CRYTUR vyvinul design světlovodu používaný k optimalizaci optického spojení krystalu se SiPM.

Detektory G4S byly použity k měření energií gama záření pod 3 MeV a jsou velmi vhodné pro aplikace sondování přírodních radioizotopů ve vzorcích hornin, stavebních materiálů, popela atd. Vysoké efektivní Z a velmi dobré energetické rozlišení ($\text{FWHM} < 6\%$ při 662 keV) činí tyto detektory vhodné pro aplikace detekce vyšších energií, jako je rozpadová řada přirozeně se vyskytujících izotopů ^{40}K nebo ^{232}Th , stejně jako pro rychlou gama neutronovou ak-

tivační analýzu (PGNNA prompt gamma neutron activation analysis).

Tyto detektory jsou velmi odolné a najdou si proto své místo v mnoha aplikacích při udržení nákladů na tato pokročilá řešení v souladu se staršími technologiemi. Pro ilustraci výhod těchto pokročilých detektorů budou uvedeny dva přesvědčivé příklady.

Příklad 1. Detektory G4S umožnily vývoj kompaktního kvantitativního spektrometrického systému použitelného v terénu pro měření přirozených radioaktivních izotopů (K, U, Th) ve vrtných jádrech při inspekci hornin. Systém se skládá ze segmentů, z nichž jeden obsahuje detektory G4S zapouzdřené v kompaktním wolframovém stínícím kroužku. Velikost stínění je mnohem menší ve srovnání s konvenčním systémem používajícím velké NaI:Tl nebo BGO detektory a umožňuje snadnou montáž, demontáž a přepravu na požadované místo v terénu.

Příklad 2. Dalším příkladem je systém pro sledování a oddělování minerálních rud se zvýšenou radioaktivitou při pohybu na dopravním pásu vysokou rychlostí. Nízký profil a vysoká účinnost detekce detektorů G4S byly klíčem k výrobě sensorového pole. Systém je dostatečně citlivý, aby detekoval vzorky

radioaktivní rudy pohybující se na pásu a spustil vzduchové trysky, které od-fouknou kontaminované horniny z pásu

do samostatné nádoby s mnohonásobně vyšší prostorovou rozlišovací schopností oproti řešení s NaI:Tl detektory.

Spektrální a scintilační vlastnosti nového scintilátoru (Gd,Y)AlO₃:Ce

Monika Kotyková^{1, 2}, Martin Níkl¹, Alena Beitlerová¹, Romana Kučerková¹,
Tomáš Marek², Jan Polák², Karel Bartoš², Karel Blažek², Jan Touš²

¹ Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

² CRYTUR, spol. s r.o.

kotykmmon@fjfi.cvut.cz

Scintilační materiály na bázi monokrystalických hlinitých perovskitů vykazují jednu z nejlepších energetických rozlišovacích schopností mezi kyslíkatými scintilátory. Již mnoho let známý YAlO₃:Ce (YAP:Ce) dosahuje energetického rozlišení (FWHM) až 4 % pro 662 keV a světelného výtěžku přesahujícího 20 000 fotonů/MeV. Tento materiál je známý vynikající linearitou scintilační odezvy, avšak jeho nevýhodou pro aplikace detekce ionizujícího záření o vyšších energiích může být jeho nižší efektivní atomové číslo a nízká hustota, která činí 5,37 g/cm³.

V příspěvku bude představen nový scintilátor (Gd,Y)AlO₃:Ce (GYAP:Ce) vyvinutý v CRYTUR, který vykazuje hustotu 6,2 g/cm³. Z krystalů pěstovaných Czochralského metodou o průměru přibližně 45 mm byly vyrobeny vzorky o tloušťce 1 mm a průměru 10 mm, které byly dále charakterizovány. Kromě malých destiček byly zhotoveny také objemové válce o průměru až 1". Na sadě tenkých vzorků byla měřena absorpční spektra, fotolumi-

niscenční a radioluminiscenční emisní spektra a excitační spektra. Z amplitudových spekter ¹³⁷Cs byly stanoveny hodnoty světelného výtěžku a energetické rozlišovací schopnosti. Nejlepší vzorky dosahují světelného výtěžku 24 000 fotonů/MeV a energetického rozlišení pod 5 % (662 keV), což jsou hodnoty srovnatelné nebo lepší než hodnoty komerčně dostupných kvalitních krystalů YAP:Ce. Vynikající energetické rozlišení vypovídá o výborné linearitě scintilační odezvy měřených vzorků. Tzv. 1/e doba scintilačního dosvitu buzeného ¹³⁷Cs se pohybuje pod 100 ns a jeho pomalejší komponenta je v řádu nižších stovek ns, a tedy při nastavení časové konstanty zesilovače na 1 μs je bez problémů integrován celý světelný pulz.

V příspěvku budou detailně prezentovány spektrální a scintilační vlastnosti tohoto nového materiálu, spolu s diskusí o jeho možných aplikacích v oblasti stanovení aktivity přírodních radionuklidů.

Měření funkce světelného výtěžku pro kapalné organické scintilátory PYR5/DIPN a THIO5/DIPN

Jaroslav Jánský¹, Jiří Janda², Michal Košťál³, Zdeněk Matěj⁴, Tomáš Bílý⁵,
Věra Mazánková¹, Filip Mravec⁴, František Cvacchovec¹

¹University of Defence, Faculty of Military Technology, Department of Mathematics and Physics, Brno, Czech Republic

²University of Defence, NBC Defence Institute, Vyškov, Czech Republic

³Research Centre Řež, Husinec-Řež, Czech Republic

⁴Masaryk University, Faculty of Informatics, Brno, Czech Republic

⁵Czech Technical University in Prague, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Department of Nuclear Reactors, Prague, Czech Republic

jaroslav.jansky@unob.cz

Kapalné organické scintilátory jsou důležitými zařízeními pro měření neutronového záření. Tato práce si klade za cíl změřit odezvy dvou kapalných dvousložkových scintilátorů na monoenergetické neutronové záření a určit jejich funkci světelného výtěžku, která je nezbytná pro správné stanovení energetických spekter neutronů. Základem obou scintilátorů je rozpouštědlo složené ze směsných izomerů di-iso-propyl-naftalenu (DIPN). První scintilátor označený PYR5/DIPN obsahuje luminofor 1-fenyl-3-(2,4,6-trimethylfenyl)-2-pyrazolin o koncentraci 5 g/l. Druhý scintilátor označený THIO5/DIPN obsahuje luminofor 2,5-Bis(5-terc-butyl-benzoxazol-2-yl)thiofen rovněž o koncentraci 5 g/l. Odezvy na energie neutronů 1,5 MeV, 2,5 MeV a 19 MeV jsou měřené na PTB v Braunschweigu. Tyto odezvy jsou doplněny o odezvy na energie neutronů 2,45 MeV a 14 MeV měřené na ČVUT

v Praze pomocí DD a DT reakce, a odezvy na paprsek prošlý křemíkovým filtrem měřené ve Výzkumném centru Řež. Je plánováno měření odezvy scintilátoru na neutrony v rozsahu 20–40 MeV.

K analýze energetických a diskriminačních charakteristik se používá dvouparametrový spektrometrický systém NGA-01. Radionuklidy Cs-137 a Co-60 se používají jako zdroje záření pro γ energetickou kalibraci pro nízké energie a neutronový zdroj AmBe ($^{12}\text{C}^* = 4.44$ MeV) se používá pro kalibraci při vysokých energiích nad 10 MeV.

Funkce světelného výtěžku dobře připomínají standardní tvar a jsou si navzájem velmi podobné. To naznačuje slabý vliv luminoforu na funkci světelného výtěžku. Funkce světelného výtěžku jsou připraveny k začlenění do matice odezvy pro stanovení spekter energie neutronů.

Neutronový detektor pro měření kosmického záření a radiačních jevů v bouřích

Marek Sommer¹, Iva Ambrožová¹, Jakub Šlegl², Ondřej Ploc¹

¹ Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV CR, v. v. i.

² Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská České vysoké učení technické v Praze

sommer@ujf.cas.cz

Kosmické záření v atmosféře generuje velké množství neutronů s energiemi až několik stovek MeV. Neutronová složka kosmického záření je silně ovlivněna kosmickým počasím. Neutrony mohou být také generovány bouřkami. Velký rozdíl v elektrostatickém náboji v bouřkových mracích může vytvořit velký urychlovač částic, který mění intenzitu sekundárního kosmického záření v atmosféře a urychluje elektrony a pozitrony na energie až do desítek MeV. Navíc existují vzácné události spojené s blesky, které generují velké množství urychlených elektronů a pozitronů. Brzdné záření vyvolané těmito vysokoenergetickými elektrony a pozitrony lze často měřit na zemi a dokonce i

na satelitech ve vesmíru. Počet generovaných vysokoenergetických fotonů je odhadován na 10^{17} . Brzdné záření může interagovat s vzduchem a půdou fotojadernými reakcemi a generovat neutrony.

Navrhli jsme detektor neutronů schopný měřit rychlé a termální neutrony generované kosmickým zářením a jevy spojenými s bouřkami. Detektor je založen na dvou kapalných scintilátorech, které podporují tvarování impulzů a jsou také obohaceny přírodním bórem. Detektor byl úspěšně nasazen na vysokohorské observatoři na Lomnickém štítu a při měřicí kampani v Athénách.

Validation and development of the G4SEE radiation effect simulation toolkit

Eva Fialová¹, Dávid Lucsányi²

¹ Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze
² CERN

fialoev3@jfifi.cvut.cz

G4SEE – Geant4 based Single Event Effect (SEE) simulation toolkit – is being developed at CERN within the Radiation to Electronics (R2E) activity for the whole radiation effects community for a wide range of practical applications. The G4SEE toolkit is a free and open-source code available for all the users. This talk will present the toolkit and mainly its newly implemented features, which are: (a) Dose scoring – it computes the dose for a number of primary particles, enabling the user to score either the Total Dose, or discriminate between Total Non-Ionizing Dose (TNID) and Total Ionizing Dose (TID), (b) Linear Energy Transfer (LET) scoring – for which three different options were implemented based on the function from which the LET is computed and the point (G4Step vs. G4Event) of the simulation run at which the LET is computed, and (c) Energy deposition scoring of different nuclear reactions – this scoring enables to see which interactions are being created during the simulation run and therefore helps the

user with better understanding of individual particle (species and energy) contribution. These features were implemented in past year and will be part of upcoming G4SEE v6.0 release.

Simultaneously, validation efforts with experimental data for the toolkit are carried out, for which dedicated Monte Carlo simulations are being performed. In particular, the toolkit has been validated experimentally by measurements of inelastic energy deposition events of monoenergetic neutrons below 20 MeV. In this talk simulations of diamond detector irradiated with 14.04 MeV and 2.5 MeV neutrons and simulations of SONY CMOS image sensor irradiated with 190 MeV protons will be presented. Simulations of diamond detector has been compared with experimental data measured at PTB and also with results of FLUKA simulations. Simulations for the CMOS image sensor are currently ongoing, performed for the purpose of a proton test campaign which will happen in following year.

Development of two reference materials within project MetroPOEM

Monika Mazánová

Český metrologický institut

mmazanova@cmi.cz

MetroPOEM will enable and harmonise measurement methods for the detection and characterisation, of both radioactive isotopes and stable polluting elements, in support of the EU Green Deal's aim toward a zero pollution, toxic-free environment. The new reference materials (RMs) developed in this project will address the ongoing need to produce suitable and relevant RMs that can validate measurement capabilities. The scientific outcome of the proposed research will deliver validated and traceable analytical approaches for the analysis of the concentration of pollutants, as well as determining the source and monitoring any contamination of pollutants through isotope ratio measurements. This will close existing metrological gaps and will lead to a harmonisation of methods. MetroPOEM will deliver an improved system of metrology and will establish an infrastructure that directly supports the application of EU regulations or EU directives. By implementing new traceability chains, different methods will be combined in the field of pollution monitoring, which will then lower the detection limits. This will result in better protection of the environment,

provide new tools for complex studies in climate observation, support validated data collection. Additionally, accurate waste classification engenders public confidence and ensures inventories are correct for future infrastructure planning, such as the scale and design of pollutant remediation programmes. The aims and objectives of MetroPOEM will be delivered through 4 technical work packages, supported by project and impact management activities. CMI is involved in the development of two radioactive reference materials with the sample matrix containing radioactive pollutants (e.g., U, Np, Pu, Am) for use in an interlaboratory comparison employing techniques, which will demonstrate the variations in parameters including detection limits, sample preparation, sample introduction methods, total procedural time, and uncertainty budgets.

This project, 21GRD09 MetroPOEM, has received funding from the European Partnership on Metrology, co-financed by the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Programme and from the Participating States.

Realizace kalibračních svazků řady „Narrow-spectra series“ podle norem ISO 4037:1-3 s hodnotami příkonu kermý ve vzduchu méně než 200 $\mu\text{Gy}/\text{hod}$ v Kalibrační laboratoři SÚRO.

Libor Judas, Dana Kurková, Martina Vtelenská, Vladimír Dufek

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

dana.kurkova@suro.cz

Pro kalibrace měřidel veličin $H^*(d)$, $H'(d)$ a $H_p(d)$ v oblasti energií fotonů od 30 keV do 300 keV jsou často využívány normalizované rentgenové svazky řady „Narrow-spectra series“ (zkráceně „N-series“), jejichž požadované vlastnosti jsou detailně definovány v normách ISO 4037:1-3. Jedná se o vysoce filtrované rentgenové svazky s úzkými spektry, které se svým charakterem blíží svazkům monoenergetickým (koeficient homogenity $h > 0,90$). V Kalibrační laboratoři SÚRO jsou od roku 2014 realizovány svazky N40 až N300, tedy svazky řady „N-series“ s napětím rentgenky od 40 kV do 300 kV. Kalibrace v těchto svazcích probíhají od roku 2017 jako kalibrace akreditované ČIA.

Pro dlouhodobě udržované kalibrační svazky řady „N-series“ je v Kalibrační laboratoři SÚRO používána maximální nastavitelná hodnota anodového proudu, což je 19 mA pro svazky N40 až N150 a 13 mA pro svazky N200 až N300. Pro tyto hodnoty anodového

proudu leží hodnoty příkonu kermý ve vzduchu v referenčním bodě svazků N40 až N300 v rozmezí od 9 mGy/hod do 80 mGy/hod. Tyto hodnoty příkonu kermý vyhovují jak pro kalibrace kompaktních měřidel z oblasti radiační ochrany, tak pro kalibrace běžných ionizačních komor.

V souvislosti se specifickým projektem řešeným v jiném útvaru SÚRO byla Kalibrační laboratoř SÚRO v roce 2021 požádána o zvážení možnosti realizace kalibračních svazků N80 až N300 s hodnotami příkonu kermý ve vzduchu méně než 200 $\mu\text{Gy}/\text{hod}$. Snížení hodnoty příkonu kermý ve vzduchu je možno dosáhnout zvětšením ozařovací vzdálenosti, snížením hodnoty anodového proudu rentgenky, případně kombinací obou těchto vlivů. V našem příspěvku stručně popíšeme postupy, kterými bylo požadovaných hodnot kermového příkonu dosaženo, a zmíníme se rovněž o použitých metodách validace a verifikace.

Nový postup při ověřování bránových měřidel radioaktivity

Tomáš Soukup

Český metrologický institut

tsoukup@cmi.cz

Měřicí sestavy používané pro zjišťování přítomnosti zdrojů ionizujícího záření při nelegálním či nežádoucím transportu (vyhláška č. 345/2002 Sb. v platném znění), zkráceně označované jako „bránová měřidla radioaktivity“, jsou dle legislativy ČR stanovenými měřidly a podléhají periodickému metrologickému ověření. Při uvádění do oběhu musí být typově schválena.

Požadavky na stanovená měřidla byly po schválení zákona č. 505/1990 Sb. (Zákon o metrologii) určeny vyhláškou, případně technickou normou, pokud vyhláška nebyla pro daná měřidla vydána. V současnosti jsou tyto požadavky určeny Opatřením obecné povahy. Původní postup, stanovení detekčního limitu pro spuštění výstrahy, byl aplikován v roce 1996 na měřidlo firmy Chirana, později byl precizován při schvalování typu měřidel v roce 1997 a formalizován po dalších zkušenostech v roce 2004 v metodickém předpisu 9001-MP-C006-05 „Zkoušky pro schvalování typu a ověřování rámových monitorů“. Po změnách legislativy byl stejný princip zkoušek formalizován

v Opatření obecné povahy číslo: 0111-OOP-C044-14, kterým se „stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla, včetně metod zkoušení pro schvalování typu a ověřování stanovených měřidel“:

„sestavy používané pro zjišťování přítomnosti zdrojů ionizujícího záření při nelegálním či nežádoucím transportu – monitory pro silniční nebo železniční vozidla“.

Úpravu tohoto dokumentu si vyžádal požadavek orgánu státní správy pro kontrolu letecké přepravy (doplňný dokument OOP je v současné době v legislativním řízení). Výchozím zdrojem doplňku je požadavek technické normy IEC 62244-2006, který vyžaduje stanovení pravděpodobnosti záchytu přesně definovaných radionuklidových zdrojů. Kromě zdrojů záření gama vyžaduje i záchyt zdrojů s emisí neutronů. Pravděpodobnostní princip je zásadní změnou proti stanovování minimální zachycené aktivity v definovaných podmínkách. V současné době ČMI provádí zkoušky podle obou principů, v závislosti na účelu použití bránových měřidel.

CzechRad – nový detektor s GPS pro občanské mapování radiace

Jan Helebrant, Marek Helebrant, Jiří Hůlka

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

jan.helebrant@suro.cz

Vznik detektoru CzechRad je spojen s dlouholetými zkušenostmi SÚRO s provozem a zpracováním dat z občanských detektorů SAFECAST bGeigie Nano. Ty vyvinula nezisková organizace SAFECAST v Japonsku po havárii v jaderné elektrárně Fukushima.

SÚRO těchto detektorů postupně pořídil přibližně 60 kusů a jsou používány v rámci spolupráci s veřejností – tzv. občanské vědy (citizen science). Zkušenosti s provozem a servisování detektorů SAFECAST a jisté problematické aspekty jeho konstrukce a distribuce vedly nakonec k vývoji přístroje vlastní konstrukce, který je nicméně plně kompatibilní jak s online službami Safecast, tak s dříve vyvinutými softwarovými nástroji.

CzechRad je kompletně vyráběn v České Republice, je osazen citlivou Geiger-Müller trubicí typu pan-

cake firmy LND a přesným GPS přijímačem s podporou všech hlavních světových navigačních systémů, význam dat je ukládán na standardní SD kartu. V rámci projektu bude vyrobeno 1000 kusů. Přístroje budou zapůjčovány vybraným zástupcům místní samosprávy, dobrovolným hasičům a zájemcům z řad veřejnosti podobně jako přístroje Safecast. Získaná data budou opět veřejně k dispozici prostřednictvím online služeb organizace Safecast, k dispozici budou i postupy pro lokální zpracování a zobrazení dat.

Tento příspěvek byl vypracován v rámci projektu „Centrum pro podporu obyvatelstva pro případ skutečného nebo domnělého vzniku mimořádných jaderných a radiačních událostí“ (ID: VJ01010116), jehož poskytovatelem je Ministerstvo vnitra České republiky.

In situ testování prototypu laserové dozimetrické sondy s bezdrátovým přenosem dat, pracující na principu radiochromického jevu v organickém detekčním elementu

David Zoul, Hana Vodičková, Jakub Beinstein, Luděk Kiňovič

Centrum Výzkumu Řež

david.zoul@cvrez.cz

Prezentace pojednává o vývoji dozimetrické sondy obsahující na hrotu polykarbonátový detekční prvek. Intenzivní laserový svazek, generovaný pevnolátkovým, diodami čerpaným laserem o výkonové stabilitě 3 %, s výstupním světelném výkonem 2 W na vlnové délce 532 nm, prochází sondou, na jejímž konci je směřován na polykarbonátový detekční element. Po průchodu detekčním prvkem se vrací zpět a dopadá na citlivý optický detektor firmy SONEL, který v reálném čase zaznamenává změny jeho intenzity a informace odesílá bezdrátově do vzdáleného počítače.

Sonda byla vyvinuta na základě předchozího dlouholetého výzkumu radiochromického jevu v polykarbonátu, který probíhal od roku 2015 v Centru výzkumu Řež. Díky konstrukčnímu řešení sondy, jež dovoluje mj. též teleskopické provedení, je možno dozimetrický člen umístit na konec velmi dlouhého a tenkého světlovodu, a provádět tak měření dávky a dávkového příkonu in situ i v úzkých a obtížně přístupných prostorách s nebezpečnou úrovní ionizujícího záření, jako je např. aktivní zóna jaderného reaktoru, kde již proběhla první pilotní měření.

Nedestruktivní testování alternativních materiálů pro ukládání radioaktivních odpadů, pomocí výpočetní 3D gama tomografie

David Zoul, Pavel Zháňal, Halodová Patricie, Ladislav Viererbl, Antonín Kolros, David Dobrev, Petr Večerník

Centrum Výzkumu Řež

david.zoul@cvrez.cz

V květnu 2021 prošlo zařízení SPE-CT pro výpočetní gama tomografii Centra výzkumu Řež v pořadí již třetí zásadní modernizací. Úprava umožnila dosud nebývalé zpřesnění metody a mimo jiné též rozšíření statického 3D zobrazení o časově závislý záznam, jenž může poskytnout informace například o kinematice migračních procesů podzemních vod v geologickém podloží lokalit vybraných pro výstavbu budoucího trvalého úložiště radioaktivních odpadů.

Jedním ze stanovených cílů bylo posouzení možností využití zařízení

SPE-CT pro projekt TA ČR Program TREND ALMARA, o němž pojednává tato prezentace. V rámci tohoto projektu byla do studovaných fixačních matic zalita drobná jádra z ozářených kovů. Po vytvrnutí matic byla testována možnost stanovit nedestruktivní metodou přesnou polohu těchto kuponů v matici s pomocí našeho zařízení. Studována byla rovněž tvorba korozních produktů na kontaktu obou materiálů a následná migrace radioizotopů v matici.

Spektrometer rýchlych neutrónov založený na reakcii (n,p)

Marko Fülöp¹, Andrea Šagátová², Ivan Benkovský³, Pavol Ragan⁴,
Igor Gomola⁴, L. Foltínová⁵

¹ ABRS s. r. o.

² Slovenská technická univerzita, Bratislava

³ Univerzita Komenského, Bratislava

⁴ Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava

⁵ Ekonomická univerzita, Bratislava

pavolragan@gmail.com

Neutrónový spektrometer založený na konverzii neutrón-protón je určený na podrobnejšie, až bodové mapovanie spektier energií intenzívnejších zdrojov rýchlych neutrónov (energia nad 1 MeV). Na konverziu neutrón-protón sa použila jadrová reakcia (n,p). Monte Carlo metódou (MCNPX kód) sa simulovala závislosť účinnosti konverzie monoenergetických rýchlych neutrónov na spektrá energií protónov. Spektrá energií konverzných protónov tvoria maticu odpovedí potrebnú na výpočet spek-

tier energií neutrónov dopadajúcich na filter z materiálov s dostatočne vysokými účinnými prierezmi, ako je napríklad Ni. Integrálne toky protónov sa na spektrum energií neutrónov dekonvovali pomocou iteračného postupu, kód SAND-II.

Navrhovaný spektrometer bol testovaný Monte Carlo simuláciami na spektrách rýchlych neutrónov izotopického zdroja Am(Be) a neutrónového generátora T(d,n).

Kalibrace sekundárního Time-over-Threshold spektra detektorů Georadis RT-56

Jakub Šlegl^{1,2}, Iva Ambrožová¹, Ondřej Ploc¹

¹ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

² Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská České vysoké učení technické v Praze

slegl@ujf.cas.cz

Firma Georadis, s. r. o. pro naši skupinu CRREAT zabývající se ionizujícím zářením generovaným bouřkami vytvořila na míru upravený spektrometr RT-56. Na jeho základní spektrum o 1500 kanálech navazuje sekundární spektrum vysokých energií v módu Time-over-Threshold. Když energie uvolněná ve scintilačním krystalu přesáhne hranici nastaveného DAC, začne spektrometr počítat počet vzorků nad touto hranicí s vzorkovací frekvencí 40 MHz. Ke sta-

novení závislosti počtu vzorků nad hranicí na energii jsme použili tvary pulzů ze zesilovače pro různé neznámé energie, jejich proklad odhadnutou funkcí pulzů a následný fit výsledné závislosti. Výsledek byl ověřen odhadem tvaru spektra mionů metodou Monte Carlo v programu PHITS. Na závěr představíme výsledná spektra vysokoenergetického záření z bouřek naměřených na Milešovce (3" × 3" BGO) a Lomnickém štítě (4" × 4" × 16" NaI(Tl)).

Využití strojového učení při rychlé screeningové analýze atmosférických radioaktivních aerosolů

Miroslav Hýža, Lenka Dragounová, Mahulena Kořistková

SÚRO, v. v. i.

lenka.dragounova@suro.cz

Při monitorování radioaktivity v atmosféře je kladen důraz na dva protichůdné požadavky: citlivost a včasnost hlášených výsledků. Tento příspěvek popisuje aplikaci strojového učení na rychlá screeningová měření aerosolových filtrů pomocí HPGe detektoru. Standardně jsou aerosolové filtry analyzovány až po ukončení odběru prostřednictvím velkoobjemového sampleru ($900 \text{ m}^3/\text{h}$), což může trvat několik dní. Před samotným laboratorním měřením jsou filtry na několik hodin odloženy, aby se aktivita deponovaných dceřiných produktů $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$ dostatečně snížila; tyto produkty by jinak snižovaly citlivost analýzy. Tato doba může zabrat významnou část celkového času dostupného pro analýzu (cca. 8hodinová lhůta pro hlášení výsledků). Z tohoto důvodu byla zkoumána možnost měření čerstvých filtrů s tím, že vysoké pozadí bude spolehlivě odečteno metodami strojového učení.

Experimentální měření byla provedena pomocí 100% HPGe detektoru

(FWHM 2 keV), jehož mrtvá doba s čerstvým filtrem dosahuje až 25 %.

Spektra vykazují bohatou korelační strukturu, kterou můžeme využít v našich prospěch pro spolehlivý odečet pozadí. Toho bylo dosaženo využitím algoritmů spadajících do rodiny metod založených na modelování latentních proměnných (LVM), jako je Principle Component Regression (PCR), metoda částečných nejmenších čtverců (PLSR) nebo neuronové sítě založené na architektuře autoenkodérů (AE). Odečet přírodního pozadí je pak následován odhadem aktivit sledovaných radionuklidů prostřednictvím standardní regresní analýzy.

Prezentovaná metoda je v porovnání s klasickým přístupem citlivější a navíc se úspěšně vyrovnává se spektrálními interferencemi, jako je například interference ^{137}Cs (661,6 keV) a ^{214}Bi (661,1 keV, $\gamma=0,054 \%$), případně s příspěvkem β^+ radionuklidů k anihilačnímu píku 511 keV. Výhodou je rovněž její přímočará automatizace, která šetří práci analytika díky nižší četnosti falešně pozitivních výsledků.

Teplotní závislosti a radiační stabilita nových kapalných organických scintilátorů pro n- γ diskriminaci

Věra Mazánková¹, Jiří Janda², Jaroslav Jánský³, Tomáš Rozsypal,
Lenka Andrejsová

¹ Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany

² Ústav ochrany proti zbraním hromadného ničení, Univerzita obrany

³ Univerzita Obrany, Brno, Česko

vera.mazankova@unob.cz

Pro správné využití různých zařízení, včetně kapalinových scintilátorů, je nezbytné mít znalost a dostupnost provozních parametrů. Mezi mnoha dalšími faktory má zvláštní význam vliv teploty a radiační odolnosti. Byl proveden test stárnutí kapalných organických scintilátorů, konkrétně EJ301, EJ309 (oba od společnosti Eljen Technology), a nových vlastních směsí založených na 1-fenyl-3-(2,4,6-trimethylfenyl)-2-pyrazolinu – označený jako PYR a 2,5-Bis(5-terc-butyl-benzoxazol-2-yl)thiofenu – označený jako THIO. Tyto testy byly prováděny s ohledem na teplotní stá-

lost a odolnost vůči záření. Bylo zjištěno, že vliv teploty na rozlišení neutronů a gama záření je relativně malý s teplotním koeficientem přibližně 10^{-4} MeVee/ $^{\circ}$ C. Pokud jde o odolnost vůči záření, THIO ukázalo konzistentní výsledky téměř nezávislé na absorbované dávce. EJ-301 dosáhl druhého nejlepšího výsledku. EJ-309 byl většinou srovnatelný s PYR, s výjimkou izomerizace, která byla pozorována při absorbované dávce vyšší než 10 kGy. Kromě toho byla pozorována změna barvy borosilikátového skla, které slouží jako plášť, což mělo za následek snížení světelného výstupu.

Měření fluence neutronů ve vertikálních kanálech výzkumného reaktoru LVR-15

Ladislav Viererbl, Hana Assmann Vratislavská, Jaroslav Šoltés,
Miroslav Vinš, Vít Klupák

Centrum výzkumu Řež

ladislav.viererbl@cvrez.cz

Reaktor LVR-15 je výzkumný lehkodivný jaderný reaktor umístěný ve výzkumném areálu v Řeži u Prahy. Jeho nominální tepelný výkon je 10 MW. Je převážně využíván jako vysoce intenzivní zdroj neutronů. Jedná se o víceúčelové zařízení zaměřené hlavně na materiálový výzkum a výrobu radioizotopů, dále pak například na neutronovou radiografii a neutronovou aktivační analýzu. Hlavním parametrem ozařovacích experimentů je obdržená fluence neutronů. Pro účely ozařování jsou využívány horizontální a vertikální kanály. Příspěvek je zaměřený na stanovení fluence neutronů ve vertikálních ozařovacích kanálech na základě výpočtů a měření.

Vertikální kanály se používají k ozařovacím experimentům s požadovanou fluencí neutronů od 10^{15} cm^{-2} do 10^{21} cm^{-2} . Před experimentem je zpravidla proveden odhad fluence pomocí teoretického výpočtu a pro stanovení skutečné fluence slouží aktivační detektory ozářené během experimentu. Z měření indukovaných aktivit detektorů po ukončení experimentu se stanoví výsledná fluence neutronů. Aktivační detektory bývají ve formě fólie nebo drátu a využívá se jaderných reakcí na materiálech obsahujících některé z prvků

Fe, Cu, Ti, Ni, Nb a Co. Na reaktoru LVR-15 je k dispozici současně 5 až 8 ozařovacích vertikálních kanálů, v závislosti na aktuální konfiguraci aktivní zóny. Typické hodnoty příkonu fluence neutronů v jednotlivých ozařovacích pozicích jsou $10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ až $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. V příspěvku jsou uvedeny typické hodnoty příkonu fluence v jednotlivých ozařovacích kanálech včetně výškového profilu, a také dávkové příkony záření gama, které neutronové záření vždy doprovází.

Z hlediska radiální ochrany je třeba posoudit jednotlivé kroky manipulace s aktivačními detektory od ukončení ozařování po jejich uskladnění, aby bylo minimalizováno ozáření pracovníků. Jednotlivými kroky jsou vyjmutí detektorů z nosiče, transport do spektrometrické laboratoře, příprava vzorků pro měření a jejich uskladnění. V případě vysoké aktivity je vyjmutí detektorů z nosičů prováděno v horkých komorách, k transportu jsou používány stínící kontejnery a příprava je prováděna v souladu s pracovními postupy. Zpravidla jsou ale aktivační detektory navrhovány volbou materiálu a rozměrů tak, aby aktivita jednotlivých detektorů byla nižší než 1 MBq.

Rozšírenie národného etalónu dozimetrických veličín gama žiarenia o beta dozimetriu

Stanislav Sandtner, Jarmila Slučiak, Katarína Buzinkayová

Slovenský metrologický ústav

sandtner@smu.gov.sk

Národné etalóny dozimetrických veličín gama a rtg. žiarenia, ktoré uchováva Slovenský metrologický ústav, sa doteraz zameriavali na veličiny charakterizujúce biologické účinky gama a rtg. žiarenia. Pre dozimetrické veličiny žiarenia beta (osobný dávkový ekvivalent v hĺbke 0,07 mm Hp(0,07) a osobný dávkový ekvivalent v očnej šošovke v hĺbke 3 mm Hp(3)) nebola doteraz v Slovenskej republike zabezpečená metrologická nadväznosť. Na ich meranie sa používajú meradlá, napr. elektronické osobné dozimetre, ktoré v zmysle platnej legislatívy podliehajú metrologickej kontrole.

Slovenský metrologický ústav preto v spolupráci s firmou VF s. r. o. v marci 2023 rozšíril meracie parametre etalónov dozimetrických veličín aj pre beta žiarenie. Základom je meracia lavica obsahujúca tri beta zdroje, a to ^{147}Pm ; ^{85}Kr a ^{90}Sr pokrývajúce energie žiarenia beta od 100 keV do 2,2 MeV. Pre beta zväzky boli realizované výpočty príkonu osobných dávkových ekvivalentov v hĺbke 0,07 mm a 3 mm v závislosti od typu filtrácie, vzdialenosti od zdroja, dátumu merania, teploty a tlaku. V rámci prvotných meraní po-

mocou elektronických osobných dozimetrov obsahujúcich detektor beta žiarenia ukazovali výsledky zhodu s výpočtami. Súčasťou beta lavice sú filtrácie a doskový a valcový fantóm v súlade s normou ISO 6980:2022, ktorá sa zaoberá referenčnými beta zväzkami. V ďalšom kroku bude výskum zameraný na aplikovanie primárnej metódy merania dozimetrických veličín žiarenia beta pomocou Böhmovej extrapoláčnej komory.

Referencie:

1. J. Böhm, U. Schneider (INVITED), Review of Extrapolation Chamber Measurements of Beta Rays and Low Energy X Rays, Radiation Protection Dosimetry, Volume 14, Issue 2, 1 February 1986, Pages 193–198, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a079646>
2. Reynaldo, S. R., Benavente, J. A., & Da Silva, T. A. (2013). Characterization of an extrapolation chamber as a primary standard dosimeter for beta radiation. *Scientia Plena*, 9(8(b)). <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/1551>

Aproximácia transmisnej krivky žiarenia beta v rovinnej geometrii

Andrej Javorník

Slovenský Metrologický Ústav

javornik@smu.gov.sk

Pre meranie aktivity rádionuklidov plošných zdrojov s emisiou žiarenia beta je potrebné poznať správanie sa beta častíc, ktoré prechádzajú absorpčným prostredím – transmisiu. V literatúre je tento proces často popísaný exponenciálnou závislosťou, čo však na popis priebehu celej transmisnej krivky v 2π planárnej geometrii pre rovinný zdroj žiarenia nie je dostatočný. Preto úsilím SMU bolo nájsť model a spôsob, ktorý by rešpektoval fyzikálny proces absorbovania (zoslabovania) beta častíc, ktorý by nebol nutne závislý na kalibrácií a zložitých korekciách a viacerých parametroch.

Základ výskumu bol realizovaný na dátach z literatúry publikovaných Stangom (Stanga, 2015) ktorý namodeloval pomocou Monte Carlo simulácií transmisiu beta častíc cez hliníkovú absorpčnú (zoslabujúcu) vrstvu a získané priebehy aproximoval 6-parametrovou polynomicou funkciou. Stanga modeloval pre koncept rovinnej geometrie zdroja žiarenia a detektora, ktorý zodpovedá situácii merania plošného etalónu veľkoplošným detektorom.

Vychádzajúc z práce (Švec, 2015), kde bol navrhnutý spôsob určenia lineárneho absorpčného koeficienta z trans-

misných kriviek semi-empirickou rovnicou v tvare: $\mu x(T) = T - \ln T - 1$. Nový model popisu transmisnej krivky je založený na inverznej funkcii k uvedenej rovnici v tvare: $T(x) = -W(-\exp(-\mu x - 1))$, kde symbol W je LambertW funkcia.

Výhodou tejto funkcie je, že poskytuje interpretovateľný parameter μ – lineárny absorpčný (zoslabovací) koeficient, ktorý je charakteristický pre danú energiu žiarenia a absorpčné (zoslabujúce) prostredie. Prvé experimenty ukázali, že parametre novej funkcie získane z aproximácie Stangových numerických dát je možné priamo aplikovať pri meraní reálneho plošného zdroja a stanoviť jeho aktivitu.

Referencie:

1. Stanga D., DeFelice P., Keightley J., Capogni M., Ionescu E., 2016. Modeling the transmission of beta rays through thin foils in planar geometry. *Applied Rad. Isot.* 107, 206–213.
2. Svec A., 2015. New analytical solution to calculate linear absorption coefficients of beta radiations. *Applied Rad. Isot.* 102, 63–69

Pokračovanie projektu APVV-21-0170 v oblasti rozšírenia národného etalónu dozimetrických veličín neutrónov

Pavol Blahušiak¹, Jarmila Slučiak¹, Andrej Javorník¹, Matej Krivošík¹,
Jakub Luley³, Branislav Vrban³, Vendula Filová², Štefan Čerba³

¹ Slovenský metrologický ústav

² Institute of Nuclear and Physical Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Slovak University of Technology in Bratislava

³ Slovenská technická univerzita v Bratislave

javornik@smu.gov.sk

Slovenský metrologický ústav pokračoval v roku 2023 v činnostiach na projekte APVV s názvom „Rozšírenie národného etalónu v kľúčovej oblasti pre hospodárstvo SR“, čím nadviazal na prvotné činnosti z predošlého roka. Hlavným prínosom projektu je vybudovanie primárneho etalónu dozimetrických veličín žiarenia neutrónov, čím sa zabezpečí realizácia jednotky na najvyššej úrovni a súčasne bude možné merať ďalšiu veličinu, anizotropiu, na dostatočnej metrologickej úrovni. Doposiaľ sa podarilo zabezpečiť všetky kľúčové položky vybavenia pre primárnu metódu stanovenia emisie neutrónov od neutrónových žiaričov v neutrónovom laboratóriu SMÚ. Technická kompletizácia, prvotné testy zostavy a úzka spolupráca s kolegami z ÚJFI FEI STU a

ÚM SAV prispeli k získaniu niektorých ďalších predbežných výsledkov. Popri dobrým predpokladom k realizácii aktívácie mangánu prostredníctvom reakcie $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ v mangánovej guli a presnejšiemu vypočítaniu účinnosti zachytu neutrónov na atómových jadrách mangánu pomocou Monte Carlo metód (MCNP6, SCALE) sa podarilo vyrobiť aj zariadenie na automatické meranie anizotropie $F(\theta)$, ktorá popisuje smerovú závislosť neutrónových žiaričov. Získanie informácie o emisiách, resp. anizotropii neutrónových žiaričov na dostatočnej metrologickej úrovni a začlenenie metodiky stanovovania týchto veličín prostredníctvom vypracovania pracovných postupov na SMÚ sú hlavnými cieľmi prebiehajúceho projektu APVV-21-0170.

Aparatura pro měření kinetiky scintilační odezvy s ps rozlišením

Petr Průša¹, Martin Nikl², Monika Kotyková¹, Vladimír Babin²

¹ FJFI ČVUT v Praze

² Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

petr.prusa@fjfi.cvut.cz

V rámci projektu CAAS Centrum pokročilých aplikovaných věd byla na KDAIZ FJFI ČVUT v Praze sestavena, zprovozněna a otestována aparatura pro měření scintilačních dosvitů vybuzených velmi krátkými záblesky záření X, založená na metodě TCSPC (Časově korelované čítání jednotlivých fotonů). Aparatura se skládá z temného boxu, v němž je umístěna světlem buzená rentgenka Hamamatsu N5084, laserová dioda s optickým systémem a detektor scintilačních fotonů MCP-PMT (fotonásobič s mikrokanačovými destičkami). Mimo temný box se pak nachází řídicí jednotka laseru, zdroje napětí pro detektor a rentgenku a časově spektrometrická elektronika (převodník času na amplitudu, rychlý zesilovač/diskriminátor a mnohokanálový analyzátor).

Aparatura byla sestavena s cílem dosáhnout vynikajícího časového rozlišení, které umožní měřit nejenom odpadové, ale i náběžné hrany scintilační odezvy. Takový cíl vyžaduje aplikaci velmi rychlého zdroje a podobně rychlého detektoru. Instrumentální odezvoivá funkce (IRF) MCP-PMT má pološířku asi 45 ps. Rentgenka N5084 se odlišuje od klasických rentgenek tím, že elektrony nejsou produkovány žhavením

katody, ale dopadem fotonů na fotokatodu rentgenky. Při použití laserového pulzu s pološířkou 48 ps lze získat krátké rentgenové záblesky s trváním asi 70–80 ps. Při podstatně užší IRF MCP-PMT je tak IRF celé aparatury určeno především průběhem rentgenového záblesku.

Po optimalizaci geometrie měření, nastavení elektroniky a celkového uspořádání experimentu bylo skutečně dosaženo IRF s pološířkou přibližně 80 ps. Následně byly pro účely ověření změřeny odezvy super-rychlých scintilátorů Cs_2ZnCl_4 , Cs_3ZnCl_5 (cross-luminiscenční scintilátory) a ZnO:Ga . Krom toho byla měřena odezva scintilátorů GGAG:Ce ($\text{Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}:\text{Ce}$), který sice nemá extrémně rychlý dosvit, vykazuje nicméně náběh v řádu jednotek ns, tedy vhodný k otestování aparatury. Všechna měření demonstrovala schopnost aparatury plnit úkoly, pro něž byla určena.

Závěrem autoři děkují za zapůjčení vzorků cross-luminiscenčních scintilátorů Vojtovi Vaněčkovi (FzÚ AV ČR), ZnO:Ga vzorků Lence Procházkové-Prouzové (KJCH FJFI ČVUT v Praze) a Pavlu Boháčkovi (FzÚ AV ČR) za přípravu vzorku GGAG:Ce.

Referenční etalon veličiny emise

Karolína Grexová, Dominika Sosnová

Český metrologický institut

kgrexova@cmi.cz

V první polovině roku 2023 byl vyhlášen referenční etalon emise plošných radionuklidových zdrojů záření alfa a beta vyráběných v Českém metrologickém institutu, který se bude používat ke stanovení hodnoty emise v souladu s normou ISO 8769 (ČSN EN

ISO 8769). Tyto emise se měří na velkoplošném bezokénkovém proporcionálním počítači, který se v ČMI používá k výstupní kontrole vyráběných plošných radionuklidových zdrojů aktivity. Realizace referenčního etalonu probíhala v rámci projektu TAČR.

Metrologický projekt GuideRadPROS: Implementace norem pro dozimetry pro radiační ochranu

Jana Šmoldasová, Jaroslav Šolc, Vladimír Sochor

Český metrologický institut

jsmoldasova@cmi.cz

Nedávná aktualizace normy ISO 4037 pro fotonová referenční radiační pole určená pro radiační ochranu představuje ve spojení s novými veličinami radiační ochrany definovanými v ICRU 95 významné výzvy pro kalibrační laboratoře a průmysl. Již při prvotní implementaci se objevily závažné problémy, které je nutné vyřešit, jako například vyjmutí konverzních koeficientů pro radionuklid Am-241. Český metrologický institut (ČMI) se účastní evropského metrologického výzkumného projektu GuideRadPROS (Harmonisation, update and implementation of standards related to radiation protection dosimeters for photon radiation; 2023–2026), jehož cílem je poskytnout pokyny a protokoly pro konzistentní a harmonizovaný přístup k měřením a

kalibracím pro účely radiační ochrany podle normy ISO 4037. Dílčími úkoly projektu jsou vyhodnocení nesrovnalostí ve stanovení polotloušťky (HVL) různými přístupy, vývoj validovaných postupů a návodů pro typové zkoušky a pro kalibraci dozimetrů a stanovení jejich odezvy jako funkce energie fotonů, vytvoření návodu pro implementaci nových operačních veličin ICRU 95 do norem a harmonizace spektrometrických technik mezi metrologickými instituty za účelem stanovení charakteristických referenčních polí používaných pro kalibrace v radiační ochraně. ČMI do projektu přispívá primárně měřením a Monte Carlo výpočty rentgenových spekter a přípravou normativních dokumentů.

Aktivace detektorů v klinickém protonovém svazku

Andrea Krouparová

ČVUT v Praze, FJFI

andrea.krouparova@seznam.cz

Aktivace materiálů v okolí protonových urychlovačů přispívá k ozáření pracovníků. Radionuklidy vzniklé tímto procesem lze zkoumat pomocí gama spektrometrie, pokud se nepřeměňují pouze beta přeměnou. Tato práce se zabývá teoretickým rozbořem radio-

nuklidů vznikajících v okolí protonových urychlovačů v důsledku aktivace a spektrometrickým měřením neozářených ionizačních komor cylindrického typu Exradin A12 ion chamber a PTW Farmer type 30012 ion chamber pomocí polovodičového HPGe detektoru.

Spectrophotometric evaluation of turbidity of N-vinylpyrrolidone-containing 3D polymer gel dosimeters

Marija Despotović, Kateřina Pilařová

ČVUT v Praze, FJFI

marijadespotovicafs@gmail.com

Polymer gel dosimeters, due to ability of performing 3D spatial resolution, have a wide range of applications in radiotherapy. In this research we have investigated on how individual parameters, related to production, irradiation and readings, influence on gel dosimeters. Multiple series of gels, with small modifications, were fabricated and irradiated for various amount of time in order to achieve various levels of polymerisation. Level of polymerisation, depending on absorbed dose, leads to an increased optical turbidity. Optical

measurements of turbidity were performed on Shimadzu spectrophotometer in the 450–550 nm wavelength interval. It was shown that measured turbidity values can be strongly affected by parameters such as workflow, volume of gel, irradiation-reading time interval, spectrophotometer performance and presence of oxygen within the polymer gel. Investigating on these parameters and oxygen scavengers was first necessary step in order to minimize potential errors and eliminate fabrication mistakes before utilization in practise.

Zpětné trasování radioaktivních atmosférických aerosolů s vysokým časovým rozlišením

Lucie Švamberová, Miroslav Hýža

SÚRO, v. v. i.

lucie.svamberova@suro.cz

Monitorování radioaktivních aerosolů je běžně prováděno v rámci různých monitorovacích sítí po světě. Ačkoli výzkum atmosféry není primárním důvodem proč tyto sítě vznikly, mohou data z tohoto monitorování sloužit k popisu mnoha atmosférických procesů. V posledních letech byla provedena řada studií meteorologických faktorů ovlivňujících koncentrace radionuklidů v atmosférických aerosolech za využití modelů příslušných zpětných trajektorií. Tyto studie jsou však často limitovány nízkým časovým rozlišením dostupných

dat – obvykle v řádu dnů až týdnů, což je doba během níž se faktory jako směr větru mohou významně měnit. Z toho důvodu SÚRO vyvinulo online monitorovací systém, který dokáže měřit vzdušnou radioaktivitu řádu až mBq/m^3 . Měření je prováděno s využitím HPGe detektoru umístěného přímo nad aerosolovým filtrem. Vysoká citlivost této metody umožňuje snížení časového rozlišení průběhu koncentrace aerosolu asociovaného s ^7Be na pouze několik hodin.

Graded array for the measurements of radioactive aerosol size distribution

Vladislav Semiannikov

ČVUT v Praze, FJFI

semiavla@fjfi.cvut.cz

Indoor air pollution caused by various aerosol sources poses significant concerns regarding toxic and radiological hazards, making it a crucial issue in the field of environmental pollution. Knowledge about the size distribution of radioactive aerosols plays a crucial role in evaluating the potential internal exposure resulting from inhalation into the respiratory system. The size range of radioactive aerosols typically spans from 1 nm to 10–20 μm . The measurement of aerosol size distribution across such a broad range cannot be accomplished using a single instrument. This is because the deposition of radioactive aerosols of different sizes involves various physical mechanisms, such as diffusion deposition, inertial deposition, impact, and more. The concept of a single-channel device for obtaining a complete size distribution of aerosols has been developed. The analysis of various methods for obtaining the size distribution of aerosols based on their physical properties has been carried out: cascade impactors, diffusion batteries and aerosol filters. The equipment comprises a diffusion battery with 4 meshes, a cascade impactor with five stages, and a collection of three aerosol filters that possess known permeabil-

ity functions. The diffusion battery enables the acquisition of aerosol distribution within the range of 1–12 nm, while the cascade impactor covers the range of 0.8–20 μm . Additionally, the multi-layer fiber filters are capable of capturing aerosols within the range of 0.01–0.5 μm . The inclusion of a diffusion battery prior to the cascade impactor prevents the diffusion deposition of ultra-fine aerosols at the initial stages of the impactor. This precautionary measure helps to avoid misleading indications of the presence of larger aerosols in the atmosphere. The radon equivalent equilibrium activity concentration used to be determined by Kuznets method. This method allows for measurements to be conducted over an extended period of time following sampling and enables the restoration of the original activity concentration. The advantage of this method is the ability to measure a larger number of elements with fewer radiometers without losing dosimetry information. Using this device and inverse problem-solving methods, it is possible to reconstruct the size distribution of radioactive aerosols by performing a single sampling on filtering materials.

Důsledky kosmického záření a slunečního UV záření pro zemskou biosféru

Iva Ambrožová

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

ambrozova@ujf.cas.cz

Kosmické záření hraje důležitou roli v atmosférických procesech. Účinky kosmického záření a slunečního UV záření, posílené antropogenními emisemi, mohou mít významný vliv na oslabování ozónové vrstvy a v důsledku toho i na biosféru a naše zdraví. Pro kvantifikaci vztahu mezi kosmickým zářením, poškozováním ozónové vrstvy a antropogenními emisemi a pro posouzení dopadu kombinovaného sekundárního kosmického záření a UV záření

na lidské zdraví je třeba vyvinout potřebné nástroje, metodiky a metrologický rámec. Toto si klade za cíl i EPM projekt 21GRD02 BIOSPHERE (Metrology for Earth Biosphere: Cosmic rays, UV radiation and fragility of ozone shield), který kombinuje pozorování pomocí moderních družicových technologií a měření pomocí pozemních monitorovacích systémů s vědeckými znalostmi v oblasti biologie, chemie, životního prostředí a radiační ochrany.

Rozšířené měření elektrického pole a ionizujícího záření během bouřek v letní sezóně 2023 na Lomnickém štítu

Martin Kákona^{1, 2}, Igor Strharsky², Iva Ambrožová¹, Jakub Šlegl¹, Jaroslav Chum³, Marek Sommer¹, Martina Lužová¹, Olena Velychko¹, Ondřej Ploc¹, Roman Dvořák¹, Ronald Langer², Samuel Štefánek², Vít Hanousek⁴

¹ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

² Ústav experimentálnej fyziky SAV

³ Ústav fyziky atmosféry AV ČR

⁴ Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i.

martin.kakona@odz.ujf.cas.cz

Přestože od vynálezu hromosvodu uplynulo již 269 let, bouřky zůstávají jednou z největších přírodních záhad. Nejasný je nejen mechanismus vzniku blesků, ale také ionizující záření, které bouřky často doprovází. V roce 2023 jsme v rámci našeho výzkumu na observatoři na Lomnickém štítu implementovali novou sestavu detektorů ionizujícího záření. Současně jsme rozšířili

experimentální aparaturu pro měření elektrického pole a provedli jsme pokusy na změření náboje hydrometeorů během bouřkových aktivit. Ačkoli tato měření přinesla nové poznatky, vyvolala také řadu dalších otázek. V přednášce budou prezentována data z vybraných bouřek a budou diskutovány další možnosti výzkumu v této oblasti.

Některé matematické metody pro zpracování dat z detektorů při detekci vysokoenergetických jevů

Olena Velychko, Martin Kákona, Iva Ambrožová, Jakub Šlegl, Ondřej Ploc

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

velychko@ujf.cas.cz

Jedním z přírodních zdrojů záření v atmosféře je gama záření vznikající při bouřkách a vyznačující se vysokými energiemi až několik desítek MeV. Tyto vysokoenergetické jevy jsou charakterizovány zvýšením úrovně radiačního pozadí trvající od několika stovek mikrosekund (tzv. Terrestrial Gamma-ray Flashes – TGFs) až po minuty (tzv. Thunderstorm Ground Enhancements TGEs). Studium těchto jevů může vést k lepšímu pochopení bouří a zpřesnění odhadu možné radiační zátěže posádek letadel. Za tímto účelem se náš tým podílel na vývoji speciálních spektrometrů, které každou událost zaznamenají s vysokým časovým rozlišením, a umístil je ve vysokohorských pásmech v Evropě, čímž byla vytvořena síť detektorů GASTRON (Gamma Spectrometry of Thunderstorm Radiation Observatory Network). V současné době jsou naše detektory v České republice (Milešovka, Poledník, Košetice), Slovensku (Lomnický štít), Švýcarsku (Santis, Jungfrauoch), Německu (Zugspitze), Bulharsku (Musala). Detektory

kosmického záření jsou v horách umístěny z několika důvodů. Zaprvé, horské vrcholy jsou ve vysokých nadmořských výškách, kde je atmosféra řidší. To znamená, že záření může procházet atmosférou a dosáhnout zemského povrchu s menším počtem interakcí s atmosférou, což zvyšuje šance na detekci záření. Zadruhé, hory jsou blíže bouřkovému mraku. Při vysokoenergetických jevech v atmosféře se dočasně zvyšuje počet částic, které detektor zaregistruje. Přednáška prozkoumá způsoby zpracování dat z detektorů pomocí statistických metod k identifikaci časových intervalů, během kterých dochází ke zvýšení počtu detekovaných částic. Vytvořili jsme software, který byl testován jak na námi simulovaných časových řadách, tak na reálných datech z několika nezávislých detektorů zaznamenávajících stejnou událost. K dispozici je také verze programu, která umožňuje v reálném čase určit začátek události, což se může hodit pro předpovídání různých anomálií.

Metody zpracování a analýzy dat z letecké spektrometrie s využitím BLP

Jaroslav Kluson

KDAIZ FJFI ČVUT v Praze

kluson@fjfi.cvut.cz

Gama spektra ze scintilačního spektrometru obsahují jak kvalitativní (danou polohou identifikovatelných píků), tak kvantitativní informaci o zastoupení radionuklidů, generujících fotonové pole v místě měření. Vzhledem k složitému charakteru interakce a depozice energie fotonů gama v detektoru nelze kvantitativní informace odečíst z experimentálních spekter přímo, ale je nutná jejich matematická analýza. Příspěvek se zabývá metodami analýzy spekter ze scintilačních spektrometrů na základě výpočtů jejich modelových odezev a problematikou interpretace takto stanovených dozimet-

rických veličin se zaměřením na leteckou spektrometrii s využitím BLP. Diskutovány jsou metody analýzy experimentálních spekter pro stanovení příkonu kermy ve vzduchu, resp. $H^*(10)$ a jejich přepočtu na referenční výšku 1 metr jak pro geometrie plošné kontaminace, tak geometrii lokalizovaného (bodového) zdroje, odhad aktivity identifikovaného bodového zdroje a odhad plošné kontaminace ^{137}Cs a koncentrací přírodních radionuklidů K, U, Th v povrchové vrstvě půdy. Uvedeny jsou příklady zpracování a interpretace dat z leteckého, resp. pozemního spektrometru D230A, resp. GT-40 fy Georadis.

Problematika stanovení Pb-210 v pevných NORM

Tereza Doksanská, Lenka Dragounová

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

tereza.doksanska@suro.cz

Požadavek na stanovení Pb-210 v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření podle §95 odst. 1 písm. b) atomového zákona (zkráceně NORM) je formulován v Doporučení SÚJB DR-RO-5.3. Pb-210 je v pevných NORM stanovováno polovodičovou spektrometrií záření gama, ideálně za použití oknového HPGe detektoru. Vzhledem k nízké energii emitovaných fotonů (46,5 keV) je stanovení tohoto radionuklidu mimo jiné silně zatíženo efektem samoabsorpce záření ve vzorku, který je při výpočtu výsledných hmotnostních aktivit nezbytné zohlednit.

Příspěvek shrnuje výsledky testovacích stanovení Pb-210 v pevných NORM, které byly vybírány v širokém rozsahu hustot a složení. Cílem testů bylo navrhnout vhodný postup stanovení Pb-210 s důrazem na a) výběr nejvhodnější měřicí geometrie, b) stanovení korekčního faktoru na samo-

absorpci a c) odhad výsledné nejistoty stanovovaných hmotnostních aktivit.

V rámci stanovování korekčního faktoru na samoabsorpci byly porovnávány dva přístupy. V prvním případě se jedná o výpočet korekčního faktoru pomocí softwaru EFFTRAN/MEFFTRAN na základě znalosti nebo odhadu složení matrice materiálu. V druhém případě se jedná o experimentální stanovení transmisní metodou.

Na základě výsledků testování stanovení Pb-210 v dodaných pevných NORM byl pro praxi v laboratoři Oddělení spektrometrie gama SÚRO učiněn závěr, že pro co nejpřesnější stanovení je nezbytné vzorky připravovat do válcové geometrie s přesně definovanou výškou vzorku (například Petriho misky o výšce 1,2 cm) a korekční faktor na samoabsorpci stanovat experimentálně transmisní metodou. V opačném případě dochází ke zkreslení výsledků o jednotky až stovky procent.

Chemické metody pre upresnenie radiačnej záťaže spôsobenej inhaláciou členov urán-rádiového rozpadového radu

Ivan Hupka, Lukáš Kotík, Karel Jílek, Jan Lenk

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

ivan.hupka@suro.cz

Radiačná záťaž z inhalácie rádionuklidov sorbovaných na aerosóle môže byť významná ako z pohľadu profesijného ožiarenia, hlavne na pracoviskách s možnosťou zvýšeného ožiarenia z prírodného zdroja žiarenia (tzv. NORM pracovisko), tak z hľadiska ožiarenia obyvateľov, konkrétne z radónu. Regulácia ožiarenia vo forme limitov v rámci plánovanej a existujúcej expozičnej situácie je popísaná vo Vyhláske č. 422/2016 Sb. Podstata výskumu je založená na dvoch štúdiách.

Prvá štúdia je zameraná na obyvateľstvo a radiačnú záťaž z inhalácie radónu v bežných obydlích v rámci Českej republiky na miestach, kde je možná zvýšená objemová aktivita radónu nad referenčnú úroveň v objektoch ako sú napr. byt, nemocnica, materská škôlka, úrad, prostredníctvom stanovenia výmeny vzduchu pomocou systému organických stopovačov a sorpčných rúrok. Stopovače, ktoré sú umiestnené na rôznych miestach v meranom objekte, obsahujú rôzne druhy perfluoroalkylcykloalkánov, ktoré sú postupom času vyvíjané a zachytávané na sorpčných rúrkach naplnených vhodným sor-

bentom. Jedná sa o citlivú metódu nenáročnú na aplikáciu, ktorá umožňuje prispôbiť dobu expozície obyvateľom objektov. Druhá časť pojednáva o prenikaní inhalovateľných častíc so zvýšeným obsahom olova do spodných partií dýchacieho traktu (hlavne alveol) a o ich následnej rozpustnosti a pre-stupu do krvného riečiska. To je dosiahnuté *in vitro* pokusmi v simulantoch pľúcneho roztoku s použitím materiálov vyskytujúcimi sa na pracoviskách NORM (napr. elektrárenský popolček, murivo z kotla, troska), ktoré figurujú v procese stanovenia rozpustnosti ako vstupná matica.

V rámci prezentácie budú uverejnené výsledky stanovenia rozpustnosti prvkov uránu, olova a polónia prostredníctvom ich rádionuklidov (^{238}U , ^{234}U , ^{210}Pb a ^{210}Po) v simulantoch pľúcneho roztoku a ich začlenenie do skupín rozpustnosti podľa ICRP 130. Taktiež bude prezentovaný vývoj metodiky pre stanovenie množstva stopovacích plynov sorbovaných v sorpčných rúrkach metódou TD-GC ako nedeliteľná súčasť stanovenia výmeny vzduchu v obytných budovách.

Exhalace radonu z odvalu: Paralela s prouděním vzduchu v přírodních suťových polích

Martin Kaschner, Lenka Thinová, Václav Štěpán

ČVUT v Praze, FJFI

kaschmar@cvut.cz

U odvalů obsahujících zbytkovou uranovou rudu je pozorován výrazný sezónní trend exhalace radonu. Náš výzkum se zabývá některými dosud nesanovanými odvaly na Příbramsku, které mohou být zdrojem radonu s výraznou sezónní a denní fluktuací objemové aktivity radonu v jeho okolí, způsobenou změnami proudění plynu uvnitř odvalu. Zejména v letním období je v blízkosti odvalů možné naměřit velmi vysoké hodnoty objemové aktivity radonu. Dynamika proudění vzduchu skrze odvaly je podobná dynamice proudění vzduchu u přirozeně vznikajících kamenných suťových polí (např. Dreveneuse d'en Bass ve Švýcarských Alpách, nebo přírodní rezervaci Klíč v Lužických horách), kde proudění vzduchu způsobuje vznik mikroklimat, která umožňují výskyt vzácných druhů rostlin a živočichů v místech, kde by za běžných klimatických podmínek žít nemohli. Díky tomu jsou přírodní suťová pole zájmem biologů, geologů a glaciologů, kteří se snaží vysvětlit fyzikální princip vzniku mikroklimat, zjistit, zda-li se uvnitř su-

ťových polí nachází permafrost a vysvětlit mechanismus jeho vzniku. Většina studií se zabývá zejména měřením teploty povrchu (měřena 10–20 cm pod povrchem), teploty spodní vrstvy sněhové pokrývky během roku a hledáním anomálií v těchto měřeních, které jsou způsobeny proudícím vzduchem skrze přírodní suťová pole. Měření elektrického odporu suťových svahů byla dokázána přítomnost permafrostu uvnitř. Podobnost v režimech proudění vzduchu v suťových polích s odvaly vzniká díky jejich podobné struktuře a vlastnostem materiálu, ze kterého jsou tvořeny: nachází se zde velké množství sypké horniny s vysokou permeabilitou plynu, velkou tepelnou kapacitou a výrazným vertikálním profilem, přičemž vnitřní část je postupně zanášena deštěmi se zvětralým materiálem. Studium přirozeného proudění plynu v suťových polích může pomoci našemu porozumění mechanismům ovlivňujících pozorované vzory exhalace radonu z odvalů a jejich popisu za různých atmosférických podmínek.

Štúdium možnosti využitia exhalačnej rýchlosti radónu z pôdy pre predikciu tzv. „radon-prone areas“ na území Slovenska

**Alžbeta Brandýsová, Karol Holý, Martin Bulko, Monika Müllerová,
Terézia Eckertová**

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave

alzbeta.brandysova@fmph.uniba.sk.com

Problematika vyhľadávania oblastí so zvýšenou expozíciou radónom a produktmi jeho premeny vo vnútorných priestoroch budov, tzv. „radon-prone areas“ (RPAs) je v súčasnosti celosvetovo stále aktuálna. Mnoho vedeckých štúdií však navrhuje inovátné prístupy, akými možno takéto oblasti identifikovať využitím nameraných pôdných charakteristík (koncentrácia ^{222}Rn v pôdnom vzduchu, koncentrácia ^{226}Ra v pôdných zrnách, plynopriepustnosť pôdy, vlhkosť pôdy a iné). Rozpracovaná metóda stanovenia máp pôdneho radónového potenciálu na území Slovenska bola v rámci pilotnej štúdie analyzovaná z hľadiska využitia exhalačnej rýchlosti radónu z pôdy pre predikciu RPAs vo vybranej lokalite Mochoveckého regiónu. Pre účely stanovenia exhalačnej rýchlosti ^{222}Rn boli pritom použité viaceré teoretické a empirické vzťahy. K tomu boli využité merania koncentrácie terestriálnych rádionuklidov v pôde (^{222}Rn , ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K) dostupné na mapovom serveri Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v sieti ~ 0.6 meraných bodov na km^2 (^{222}Rn v pôdnom vzduchu) a ~ 2

merané body na km^2 (^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K). Hodnoty pre pôdne parametre vystupujúce vo vybraných vzťahoch, ako sú pórovitosť pôdy, emanačný koeficient, suchá objemová hmotnosť pôdy, ako aj pôdna vlhkosť boli priradené osobitne pre tri pôdne druhy – piesočnatý, hlinitý, ílovitý; resp. plynopriepustnosť pôdy – vysoká, stredná, nízka. Vypočítané hodnoty exhalačnej rýchlosti ^{222}Rn boli porovnané s hodnotami radónového potenciálu, pričom v prípade prístupov, ktoré využívajú hodnoty koncentrácií terestriálnych rádionuklidov ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K v pôde bola nájdená nízka korelácia (korelačný koeficient $r = 0.12$). Vysokú koreláciu vykazuje vzťah medzi hodnotami RP a hodnotami exhalačnej rýchlosti ^{222}Rn , ktoré využívajú namerané hodnoty koncentrácie ^{222}Rn v pôdnom vzduchu ($r = 0.94$).

Táto práca bola finančne podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV (VEGA projekt č. 1/0019/22 a č. 1/0086/22), Agentúrou na podporu výskumu a vývoja (projekt č. APVV-21-0356) a Grantom Mladých UK č. G-23-252-00.

Harmonická analýza objemovej aktivity radónu vo vnútornom ovzduší

Monika Müllerová, Viktoria Benkova, Karol Holý

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave

viktoria.benk@gmail.com

Podľa Vyhlášky MZ SR č. 98/2018 sa meranie objemovej aktivity radónu pre stanovenie efektívnej dávky ožiarením z radónu uskutočňuje nepretržite počas obdobia najmenej troch mesiacov. Podľa zákona 87/2018 je dôležité, aby objemové aktivity radónu v pobytových priestoroch a na pracoviskách neprekročili referenčnú úroveň $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ za kalendárny rok. Na ohodnotenie priemernej ročnej dávky od radónu v dôsledku jeho inhalácie je teda potrebné poznať priemernú ročnú objemovú aktivitu radónu v pobytovom priestore. Objemová aktivita radónu v domoch sa mení s časom, spravidla vykazuje sezónne variácie s maximom v zimných a minimom v letných mesiacoch. Toto správanie je ovplyvnené meteorologickými podmienkami (vonkajšia teplota, vietor) a správaním sa obyvateľov domu (vetranie, kúrenie). Z praktických a časových dôvodov meranie objemovej aktivity radónu v pobytových priestoroch býva vykonávané spravidla po dobu jedného týždňa až troch mesiacov, na základe ktorého by mala byť stanovená priemerná ročná objemová aktivita radónu v pobytovom priestore. K tomuto prepočtu sa vo svete využívajú sezónne korekčné faktory, pomocou ktorých je možné konvertovať výsledky krátkodo-

bého merania na priemernú ročnú objemovú aktivitu radónu.

Ako niekoľko našich predchádzajúcich prác ukázalo, objemová aktivita radónu v pobytovom priestore je v antikorelácii s vonkajšou teplotou. Využitie týchto poznatkov umožňuje nový prístup stanovenia sezónnych korekčných faktorov. Tento príspevok sa zaoberá určením priemernej ročnej objemovej aktivity radónu na základe harmonickej analýzy priebehu vonkajšej teploty a vnútornej objemovej aktivity radónu. Takto získané výsledky sú v dobrom súhlase s priemernou ročnou objemovou aktivitou radónu, určenou pomocou sezónnych korekčných faktorov. Metóda bola realizovaná na integrálnom monitorovaní radónu s využitím detektorov RADUET v domoch na 7 rozličných miestach: Studienka, Bratislava, Záhorská Bystrica, Mariánka, Pataš, Čifáre a Nevidzany.

Táto práca bola finančne podporená Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva SR a SAV (VEGA projekt č. 1/0019/22 a VEGA projekt č. 1/0086/22, APVV projekt č. APVV-21-0356) a Medzinárodným vyšehradským fondom (projekt č. 21510153).

Optimalizace při snižování koncentrace radonu ve školách – případové studie

Ivana Fojtíková, Aleš Froňka, Jan Hradecký, Jan Lenk, Karel Jílek,
Ondřej Pařízek, Radim Možnar, Štěpán Froňka

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Optimalizace je jeden ze základních principů radiační ochrany. Spoléháme na ni zejména v oblasti existujících expozičních situací, kde nejsou stanoveny limity, ale pouze referenční úrovně. Takovou situací je například ozáření od radonu ve stavbách k bydlení a na pracovištích, kde je optimalizace podle legislativy povinná vždy při překročení referenční úrovně 300 Bq/m^3 .

V příspěvku budou představeny vybrané případové studie postupu optimalizace ozáření od radonu po realizaci protiradonových opatření při výstavbě

nebo ve stávajících objektech. Případy byly řešeny v uplynulých letech na odboru přírodních zdrojů SÚRO a ve všech přetrvávala po provedení opatření situace nadměrného ozařování obyvatel a pracovníků od radonu.

Jednotlivé typové případy demonstrují různé přístupy a technické nástroje využitelné při snižování ozáření od radonu v budovách. Ve všech se podařilo za únosné náklady snížit objemovou aktivitu radonu pod referenční úroveň.

Národní radonová databáze ČR

Jaroslav Slovák

jaroslav.slovak@sujb.cz

Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu – RANAP, který vstoupil v platnost 1. ledna 2020, je zaměřen na regulaci ozáření obyvatel z radonu v budovách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, školských zařízeních, budovách sloužících k zajištění sociálních nebo zdravotních služeb a na pracovištích se zvýšeným ozářením z radonu.

Jedním z dlouhodobých cílů RANAP je „Informovaná a komunikující státní správa, zapojená veřejnost a vzdělání profesionálové“. Dílčím prostředkem je pak i původní a ambiciózní projekt SÚJB na vytvoření národní radonové databáze (NRD), která poskytne prostřednictvím shromážděných dat možnost sledovat a hodnotit vývoj ozáření osob z radonu v budovách, na pracovištích a také údaje o stanovení radonových indexů na pozemcích, radonu ve vodách a stavebních materiálech.

Výsledky a data, která byla SÚJB v předchozích letech shromážděna a archivována budou importována do nově vytvořené databáze.

NRD, kromě jiných funkcí, bude skrze automatické procesy, workflow a

reporty hodnotit výsledky měření, zpracovávat podání a informovat určené pracovníky a povinné osoby v oblasti radiační ochrany o termínech, úkolech a povinnostech. SÚJB umožní vyváženě plánovat kontrolní činnost, hodnotit a nastavovat procedury, které budou přispívat k regulaci ozáření z radonu. Výsledky bude možné promítat do ucelených celků a propojovat jednotlivé oblasti. V oblasti vod dojde ke změně struktury evidence tak, aby se co nejvíce přiblížila evidenci MZE a ČHMÚ.

Povinné osoby specifikované Atomovým zákonem musely doposud zasílat různá oznámení či hlášení o měření analogově nebo formou e-mailu. Obrovské množství takto zasláných dat vedlo posléze k nutnosti jejich zpracování (archivaci) pracovníky SÚJB a SÚRO. NRD umožní a bude vyžadovat průběžné vkládání výsledků a informací prostřednictvím portálu IREG, do kterého se nově budou povinné osoby přihlašovat prostřednictvím NIA ID, což je identifikační prostředek umožňující zaručené prokázání totožnosti při přihlašování k online službám.

Databáze bude spuštěna v roce 2024.

Testování radiačně odolných materiálů na bázi organických polymerů pro zdravotnické a kosmické aplikace

Ondřej Ploc¹, Iva Ambrožová¹, Jakub Šlegl¹, Jiří Pánek², Martin Hrubý²

¹ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

² Ústav makromolekulární chemie AV ČR, v. v. i.

ploc@ujf.cas.cz

V současné době organické polymery používané v medicínských aplikacích, jako jsou vodní fantomy a obalové materiály k mechanické ochraně detektorů, a v kosmických aplikacích pro krytí solárních panelů poměrně rychle degradují pod vlivem ionizujícího záření. Cílem projektu RAMAT (akronym pro RAdiačně odolné MATeriály) je inovace polovodičových pixelových detektorů formou nových obalových materiálů pro rozšíření jejich funkčnosti a možnosti jejich využití v dalších aplikacích vyžadujících vysoké nároky na radiační odolnost, voděodolnost, tkáňovou ekvivalenci a dlouhodobou stabilitu v nestandardních podmínkách provozu elektronických prvků. Řešením jsou nové organické polymerní materiály, které budou využity v především medicínské dozimetrii. Dalším cílem je výzkum nových polymerů s nižšími nároky na radiační odolnost, avšak s trvalou stálostí pro propustnost světelných paprsků, které budou moci být použity jako vnější ochrana fotovoltaických panelů satelitních systémů.

Úkolem naší dozimetrické skupiny bylo radiační testování nově vyvinutých materiálů v širokém spektru částic a

energií, které se vyskytují v kosmickém záření. Za tímto účelem byly použity různé urychlovače, včetně Tandetronu, PTC (Protonové centrum Praha), HIMACu a Mikrotronu. Testování byla prováděna na vzorcích organických polymerů za různých podmínek a různých dávkových příkonů ionizujícího záření. Následně byly zkoumány mechanické a optické vlastnosti těchto materiálů po ozáření.

V příspěvku představíme projekt RAMAT a naše experimenty na urychlovačích. Ukážeme, k jakým poškozením a degradacím na některých vzorcích docházelo a které působením záření své vlastnosti nezměnily.

Výsledky projektu RAMAT mají potenciál zlepšit radiační odolnost a stabilitu organických polymerů, což by mohlo pozitivně ovlivnit medicínské a kosmické aplikace, a přispět k rozvoji technologií v oblasti radiační ochrany.

Tato práce byla podpořena projektem TAČR TREND (Technologická Agentura České Republiky, projektové číslo FW01010564). Děkujeme za poskytnutí finanční podpory, která umožnila realizaci tohoto výzkumu v rámci projektu RAMAT.

Radiochemické stanovení hmotnostních aktivit vybraných přírodních radionuklidů v pevných NORM

Alena Kelnarová, Ivan Hupka

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

alena.kelnarova@suro.cz

Požadavky na stanovení přírodních radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření podle §95 odst. 1 písm. b) atomového zákona (zkráceně NORM) jsou formulovány v *Doporučení SÚJB DR-RO-5.3*. V pevných NORM se jedná o stanovení 10ti radionuklidů: ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{40}K .

Toto stanovení se standardně provádí pomocí polovodičové spektrometrie gama s vysokým rozlišením. Obsah radionuklidů, které nelze spektrometrií gama stanovit, je odhadován. Pro získání doplňujících informací o rovnováhách v uranové a thoriové přeměnové řadě byly na Oddělení radiochemie SÚRO vypracovány metodiky pro stanovení jednotlivých izo-

topů radiochemickými metodami. Metodiky vycházejí z publikací IAEA i z vlastních zkušeností a možností laboratoře. Stanovení se provádí po chemické separaci spektrometrií alfa (^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th a ^{210}Po) a měřením na porporcionálním detektoru (^{210}Pb). Účinnost separace je vypočítána pomocí monitorů výtěžku ^{232}U , ^{229}Th a ^{209}Po .

Příspěvek představuje pracovní postupy radiochemického stanovení zmíněných radionuklidů a porovnává takto získané výsledky s výsledky měření na Oddělení spektrometrie gama SÚRO a může přispět ke specifikaci koeficientů charakterizujících míru nerovnováhy, které mohou sloužit ke zvýšení exaktnosti odhadu obsahu radionuklidů, které nelze stanovit spektrometrií gama.

Rozklad pevných vzorků pro radiochemickou separaci pomocí automatické tavičky Katanax

Ondřej Pařízek, Michal Fejgl

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

ondrej.parizek@suro.cz

Potřeba vyvíjet rychlé analytické metody pro stanovení radionuklidů v případě vzniku radiační mimořádné události (RMU) v dnešní době roste. Jedním z časově nejnáročnějších kroků analýzy je v případě složitějších matic předúpravu vzorků. Tento krok je možné významně urychlit při zapojení vhodného rozkladu tavením, dalšího urychlení je možné dosáhnout při využití automatické tavičky, ideálně s vícero tavicími pozicemi. Vhodné používání takového zařízení ve srovnání s klasickou muflovou pecí umožňuje také snížení energetických nároků na mineralizaci.

Proto byla Státním ústavem radiační ochrany pořízena automatická tavička Katanax osazené třemi tavicími pozicemi a možností automatického převodu taveniny do roztoku. Tím odpadá krok rozpouštění taveniny, který je

při manuálním provedení (po vytažení a vychladnutí taveniny z pece) velmi pracný a časově náročný. Předběžné testy byly provedeny s certifikovaným referenčním materiálem od IAEA-412 (Pacific ocean sediment). Byla sestavena rychlá tavicí metoda, která trvá přibližně 20 min a lze tavit tři vzorky zároveň v navážkách 0,5 až 1,5 g. Jako tavidlo byla použita směs tetraboritanu a metaboritanu lithného. Vzorek lze dále chemicky separovat postupem jako v případě alkalického tavení v muflové peci. Chemické výtěžky separace po alkalickém tavení a boritanovém tavení se zásadně neliší. Dalším tématem výzkumu bude tavení více druhů matic v různých poměrech vzorku a tavidla a tavení pomocí tavidla tetraboritanu lithného. Pro jednotlivé radionuklidy bude stanovena výtěžnost metody.

Přehled vybraných vlastností souboru vzorků potrubních usazenin se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů

Jaromír Sud¹, Vladimír Bittner², Roman Gabor³

¹ Správa úložišť radioaktivních odpadů

² RadPro Team, z. s.

³ Vysoká škola báňská – Technická univerzita ostrava

jaromir.sud@seznam.cz

Poster prezentuje výsledky stanovení vybraných vlastností souboru vzorků pevných odpadů se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů – usazenin z kovových potrubí, armatur a čerpadel, které byly využívány k čerpání a dopravě vod z podzemních zdrojů a důlních vod z těžby jiných surovin než radioaktivních nerostů. V těchto potrubních systémech může docházet při dlouhodobém provozu ke vzniku pevných úsad, které mohou v závislosti na chemismu vod, koncentraci radia a dalších faktorech vykazovat významně zvýšenou hmotnostní aktivitu izotopů radia z přírodních přeměnových řad a produktů jejich přeměny. Po ukončení životnosti a demontáži potrubí je na vznikající odpad nutné nahlížet jako na radioaktivní látku uvolňovanou z pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu (pracoviště „NORM“ – Naturally occurring radioactive material). V souladu s požadavky Směrnice Rady 2013/59/Euratom je v České republice uvolňování radioaktivních látek z uvedeného typu pracovišť regulováno zákonem č. 263/2016 Sb. atomový zákon. Vedle měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů jsou možnosti zne-

škodňování těchto radioaktivních látek dále podmíněny možnostmi jejich následného odstraňování jako odpadu, regulovanými zejména podle zákona č. 541/2020 Sb. zákon o odpadech, případně i podle jiných právních předpisů.

Prezentované výsledky zahrnují stanovení hmotnostních aktivit přírodních radionuklidů metodou spektrometrie záření gama s vysokým rozlišením, doplněné stanovením hmotnostních aktivit radionuklidu ²³²Th pomocí metody ICP-MS. Dále byly u některých vzorků sledovány i vybrané „neradiační“ vlastnosti, které by mohly mít vliv na možnosti odstraňování předmětných odpadů po jejich uvolnění z regulace podle atomového zákona, např. z hlediska podmínek uložení na skládku odpadu. Provedena byla XRD analýza – stanovení fázi, dále stanovení chemického složení v pevné fázi a stanovení chemického složení ve výluhu. Jednotlivé vzorky pochází jednak z řešených případů uvolňování radioaktivních látek z pracovišť „NORM“, jednak z řešení případů dohledání, identifikace a zajištění opuštěného zdroje při nálezech a záchytech v zařízeních určených k tavbě, shromažďování a zpracování kovového šrotu. Vzorky byly odebrány

v období posledních 10 let v rámci území České republiky.

Realizace stanovení vybraných vlastností souboru vzorků potrubních usa-

zenin byla možná díky poskytnutí finančních prostředků z rozpočtu spolku RadPro Team, z. s.

Zpřesnění odhadu míry zeslabení při průchodu záření gama podvozkem vozidla

Kateřina Navrátilová Rovenská, Martina Nováková, Kamila Johnová

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

katerina.rovenska@suro.cz

V návaznosti na obecnou snahu omezit skládkování materiálů, které by bylo možné za určitých podmínek vrátit zpět do oběhu v režimu reuse&recycle, se v posledních letech stále častěji na mezinárodním poli diskutují i možnosti opětovného použití vedlejších produktů, případně i odpadů, z pracovišť NORM. Použití takového materiálu může být v řadě případů podmíněno odhadem efektivní dávky pro jednotlivce z obyvatelstva spojené s touto činností. Řada parametrů vstupujících do odhadu efektivní dávky byla historicky stanovena pomocí modelů různých typů. V případě odhadů efektivní dávky spojené s použitím materiálu z pracovišť NORM se často používají hodnoty parametrů uvedené v (1).

Cílem provedeného experimentu a následného modelování Monte Carlo bylo zpřesnit odhad míry zeslabení záření gama emitovaného materiálem se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů při průchodu podvozkem vozidla. Práce je zaměřena na geometrie odpovídající situaci, kdy bude materiál použit v tělese silnice.

Experiment byl zrealizován v květnu 2023. Na vytyčené ploše byl vytvořen pás materiálu o délce 4 m, šířce 1,3 m a výšce cca 10 cm. Při realizaci experimentu byl využit použitý filtrační písek z úpravny vody. Celkem bylo proměřeno 10 geometrií, z čehož 5 bylo bez vozidla, 2 byly provedeny s vozidly VW Golf a Dacia Dokker a jedna s vozidlem Ford Tranzit. Pro měření byly použity scintilační spektrometry firmy Georadis: RT30 v počtu 3 ks a 1 ks GT-40. Při vyhodnocení dat byla posuzována jak veličina příkon prostorového dávkového ekvivalentu (PPDE), tak i celá spektra záření gama.

Součástí vyhodnocení experimentu byly i pomocné výpočty Monte Carlo, které sloužily k odhadu některých důležitých opravných koeficientů pro odchylky experimentu a reálné situace (například vliv omezených rozměrů zdroje v experimentu).

Literatura:

1. EUROPEAN COMMISSION, Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption (Part II), RP-122, EC, Belgium (2002)

Radonová stezka

**Marcela Adamová¹, Marcela Berčíková¹, Jaroslav Slovák¹, Hynek Novák¹,
Ivana Fojtíková²**

¹ Státní úřad pro jadernou bezpečnost

² Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

marcela.adamova@sujb.cz

Radonová stezka vznikla za účelem zvýšení informovanosti široké veřejnosti o problematice radonu. Stezka se skládá ze 2 velkých a 8 menších tabulí. Na tabulích se čtenář zejména dozví, co je to radon a proč se měří. Nová Radonová stezka se nachází v Jáchymově, kde nahradila starší stezku, která již byla v nevyhovujícím technickém stavu. Radonová stezka vznikla za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu.

Každá tabule připomene významného vědce. Na každé tabuli je také umístěn QR kód, který nás zavede na virtuální stránky Radonové stezky (zastím v přípravě). Aby stezka zaujala i děti, mohou hledat na tabulích postavku Radoníka.

Úvodní tabule představuje Radonovou stezku. Najdeme tam také plá-

nek s rozmístěním jednotlivých tabulí. Druhá tabule „Záření“ pojednává o různých druzích záření a vysvětluje pojem radioaktivita. Na třetí tabuli „Radon“ se dozvíme, co je to radon a proč se o něj máme zajímat. Na čtvrté tabuli „Zdroje radonu“ jsou vysvětleny zdroje, které mohou způsobovat zvýšenou koncentraci radonu v budově. Na páté tabuli „Měření v teorii“ zjistíme, jak a čím se radon měří. Šestá tabule „Měření v praxi“ vysvětluje praktické aspekty měření radonu. Sedmá tabule „Proti radonu“ pojednává o ochraně proti radonu. Osmá tabule „RANAP“ nám přiblíží Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu. Poslední dvě tabule se věnují Jáchymovu, a to jak jeho historii, tak i lázeňství.

Efektivní dávky na pracovišti se zvýšeným ozářením z přírodního zdroje záření

Oldřich Tomášek

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

oldrich.tomasek@sujb.cz

Poster je zaměřen na problematiku ozáření pracovníků v podzemí bývalého rudného dolu ve Zlatých Horách při hornické činnosti (HČ) a při činnosti prováděné hornickým způsobem (ČPHZ) a na dodržování § 93 a § 94 zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona (AZ). Na příkladu firmy s. p. DIAMO, o. z. GEAM, je prezentována povinnost organizace postupovat v souladu s § 88 vyhlášky č. 422/2016 Sb. Společnost obnovovala a sanovala podzemní prostory z důvodu zpřístupnění

chodeb v podzemí na úroveň 3. patra pro provedení geologicko-průzkumných prací za účelem ověření a upřesnění zrudnění. Cílem průzkumu je získání informace o zásobách zlata, zinku a případně dalších kovů. Práce jsou v důlních chodbách bývalého dolu Zlaté Hory – západ.

V posteru budou uvedeny způsoby monitorování pracovního prostředí a výsledky osobních dávek v letech 2021–2023.

Stanovení efektivní dávky od radonu a jeho produktů přeměny na podzemních pracovištích – poznatky z praxe

Kateřina Navrátilová Rovenská, Jan Hradecký, Karel Jílek, Radim Možnar, Štěpán Froňka

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

katerina.rovenska@suro.cz

V ČR se při měření a hodnocení ozáření na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu postupuje podle Doporučení DR-RO-5.5 vydaným SÚJB. Metodiky pro měření objemové aktivity radonu na pracovišti jsou, dle zjištění pracovní skupiny WP2 projektu RadoNorm, rozpracovány ve většině členských států EU. Zatímco Doporučení SÚJB podrobně popisuje postup měření na pracovištích jak v budovách, tak i v podzemí, metodiky v mnoha členských státech EU jsou často obecné a nepostihují specifika některých typů pracovišť či režimu pracovníků.

Cílem experimentální práce bylo pro-
věřit vliv různých přístupů k měření
objemové aktivity radonu a objemové
aktivity produktů přeměny radonu na
podzemním pracovišti na stanovení
efektivní dávky pro pracovníka, který
zde vykonává práci. Měření proběhla
ve dvou historických dolech, které jsou
zpřístupněny pro veřejnost. Vybraná
podzemní pracoviště se liší typem vě-
trání, jedno je větráno přirozeně, druhé
je větráno v době pobytu pracovníků
nuceným větráním v přetlakovém re-
žimu.

Modeling the impact of thunderstorm radiation on soil with Monte Carlo transport simulation

Juliia Ruban, Ondřej Ploc, Jakub Šlegl, Lembit Sihver

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

yuliia.ruban@odz.ujf.cas.cz

Thunderclouds act as giant natural generators and, due to electromagnetic processes, can reach energies up to megaelectronvolts (MeV), initiating Relativistic Runaway Electron Avalanches (RREA). These accelerated electrons pass through the atmosphere matter, emitting gamma rays via bremsstrahlung. These high-energy gamma rays can induce photonuclear reactions and interact with airborne and terrestrial nuclei. While the impact of thunderstorm radiation on the atmosphere and other materials has been widely explored, understanding its interaction with soil remains a challenge.

Finding and analyzing thunderbolt impact sites gives limited data, making simulations an excellent option to provide dose evaluations and explore potential processes per event. Transport code applications with various particle behavior models resolve the data generation issue. Similar methodologies are used in calculating particle events from cosmic radiation exposure for aircraft crew. This study uses a simplified model to assess the impact of lightning strikes on a patch of soil. A point source with an energy of approximately 20 MeV is placed 1 meter above the

ground, irradiating soil with a relative density of 2.1 g/cm^3 . We used the general-purpose Monte Carlo particle transport simulation code, PHITS version 3.280, to perform these simulations, estimating three key parameters: deposition, track, and interactions. The results from the Monte Carlo simulations indicate that particles penetrate only a few centimeters deep into the soil. Additionally, the injection depth affects the spread, with deeper lightning strikes (beyond 2 cm) leading to a more extensive distribution.

The deposition energy tally data shows similar findings, with a significant portion of energy deposited near the surface (1–2 cm). However, when lightning penetrates the soil beyond 2 cm, an increase in dose is observed at the top surface, possibly due to secondary particle production from photonuclear reactions and neutron generation.

The interaction tally corroborates the previously discussed information, demonstrating that injecting the source at a depth of 5 cm results in increased interactions and the generation of more secondary particles.

Rejstřík

- Adamová Marcela, 122
Alaverdyan Johana, 40, 52
Ambrožová Iva, 82, 91, 105–107, 116
Andrejsová Lenka, 75, 93
Assmann Vratislavská Hana, 94
- Babič Andrej, 28
Babin Vladimír, 98
Bacílková Karolína, 75
Balázs Tibor, 36
Balogová Zdenka, 38
Bárdyová Zuzana, 36, 46
Bartoš Karel, 80
Beinstein Jakub, 88
Beitlerová Alena, 80
Bella Vladimír, 45
Benkova Viktoria, 113
Benkovský Ivan, 90
Berčíková Marcela, 122
Berdisová Radoslava, 46
Bílková Zuzana, 50
Bílý Tomáš, 81
Bittner Vladimír, 119
Bláha Pavel, 47, 48
Blahušiak Pavol, 97
Blažek Karel, 78, 80
Bobík Pavol, 54
Borovičková Lenka, 38
Brandýsová Alžběta, 112
Brož Pavel, 68
Brunclík Tomáš, 78
Budayová Miluše, 71
Budošová Darina, 36
Bulko Martin, 112
Buzinkayová Katarína, 95
- Carrillo Anna, 50
Cimmino Anna, 23
Cvachovec František, 81
- Čemusová Zina, 69, 73
Čerba Štefan, 97
Češpírová Irena, 65, 66
Čiháková Pavlína, 41
Čížková Jana, 50, 75
- Daníčková Kateřina, 70
Danilova Irina, 47, 51
David Miroslav, 47
Davidková Marie, 20, 47, 51
De Marzi Ludovic, 48
Despotović Marija, 102
Dobrev David, 89
Doksanská Tereza, 109
Dragounová Lenka, 92, 109
Dufek Vladimír, 85
Dvořák Pavel, 26
Dvořák Roman, 106
- Eckertová Terézia, 112
Ekendahl Daniela, 40, 52, 69, 73
Elia Valerio Cosimo, 48
- Falter Tomáš, 70
Fejgl Michal, 118
Fialová Eva, 83
Filová Vendula, 97
Fojtík Pavel, 72
Fojtíková Ivana, 114, 122
Foltínová L., 90
Froňka Aleš, 114
Froňka Štěpán, 114, 124
Fülöp Marko, 24, 39, 90
- Gabor Roman, 119
Gomola Igor, 24, 33, 36, 39, 90
Grexová Karolína, 99
Gryc Lubomír, 65, 66
Gulašová Ivana, 45

Hanousek Vít, 106
Helebrant Jan, 66, 87
Helebrant Marek, 87
Hinca Róbert, 53
Holý Karol, 112, 113
Horáková Ivana, 29
Horalík Ludvík, 70
Horváth David, 23
Horváthová Martina, 33, 36, 46
Hradecký Jan, 114, 124
Hrubý Martin, 116
Hudzietzová Jana, 24, 39
Hůlka Jiří, 87
Hupka Ivan, 110, 117
Hýža Miroslav, 92, 103

Chum Jaroslav, 106

Jamborová Zuzana, 47
Janda Jiří, 81, 93
Jandová Lenka, 50
Jánský Jaroslav, 81, 93
Javorník Andrej, 96, 97
Jelínek Michaelidesová Anna, 47
Jílek Karel, 110, 114, 124
John David, 77
Johnová Kamila, 67, 121
Judas Libor, 85

Kákona Martin, 68, 106, 107
Kamas Dušan, 28
Kaňkovský Josef, 21
Kapucianová Michaela, 73
Kaschner Martin, 111
Kašťánek Josef, 57
Kelnarová Alena, 117
Kiňovič Luděk, 88
Kitamura Hisashi, 68
Klementová Jana, 51
Klupák Vít, 94
Kluson Jaroslav, 67, 108
Kodaira Satoshi, 68
Kolros Antonín, 89

Konopásková Soňa, 56
Korecká Lucie, 50
Kořistka Ondřej, 27, 67
Kořistková Mahulena, 92
Košťál Michal, 81
Kotík Lukáš, 29, 41, 110
Kotýková Monika, 80, 98
Křivošík Matej, 97
Krouparová Andrea, 101
Kuča Petr, 64
Kučerková Romana, 80
Kufnerová Jitka, 77
Kundrát Pavel, 47
Kurková Dana, 85

Lacko Michal, 35
Langer Ronald, 106
Lefebvre Benoit, 23
Leite Amelia Maia, 48
Lenk Jan, 110, 114
Lierová Anna, 75
Lucsányi Dávid, 83
Luley Jakub, 97
Lužová Martina, 68, 106

Máca Martin, 21
Malátová Irena, 17
Manti Lorenzo, 48
Marčíšovský Michal, 68
Marek Tomáš, 78, 80
Marešová Barbora, 64
Martinka Karol, 45
Matěj Zdeněk, 81
Matějková Nikola, 50
Mazánková Věra, 81, 93
Mazánová Monika, 84
Mégnin-Chanet Frederique, 48
Michaličková Katarína, 48
Mikšová Jitka, 56
Mikuláš Juraj, 36
Možnar Radim, 67, 114, 124
Mravec Filip, 81

- Mráz Milan, 39
Müller Tomáš, 41, 43
Müllerová Monika, 112, 113
- Navrátil Matěj, 47
Navrátilová Rovenská Kateřina, 121, 124
Nemček Peter, 39
Nikl Martin, 80, 98
Nikodemová Denisa, 31, 33
Novák Hynek, 122
Nováková Martina, 66, 121
Novotný Pavel, 27
- Ohera Marcel, 65, 66
Olšovcová Veronika, 23
- Pachnerová Brabcová Kateřina, 47, 77
Pánek Jiří, 116
Papírník Petr, 41
Pařízek Ondřej, 114, 118
Pastirčák Blahoslav, 54
Patriarca Annalisa, 48
Patricie Halodová, 89
Petrová Karla, 18, 59
Petrová Markéta, 77
Pilařová Kateřina, 102
Ploc Ondřej, 68, 82, 91, 106, 107, 116, 125
Podškubková Hana, 41
Polák Jan, 80
Pouzoulet Frederique, 48
Povolná Jana, 19
Prchal Karel, 58
Průša Petr, 98
- Ragan Pavol, 24, 39, 90
Ricciardi Valerio, 48
Rosáková Alena, 58
Roulin Christophe, 48
Rovenská Vendula, 72
Rozsypal Tomáš, 93
- Ruban Julia, 125
- Řeřicha Robert, 43
- Sabol Jozef, 24, 39
Sandtner Stanislav, 95
Sedlák Antonín, 44
Selivanova Anna, 64
Semiannikov Vladislav, 104
Sergunin Artur, 40, 52
Setnička Michal, 61
Sihver Lembit, 125
Slovák Jaroslav, 115, 122
Slučiak Jarmila, 95, 97
Slugeň Vladimír, 53
Sofer Zdeněk, 69
Sochor Vladimír, 30, 100
Sommer Marek, 68, 82, 106
Sosnová Dominika, 99
Soukup Tomáš, 86
Strharsky Igor, 106
Stríbrnský Branislav, 53
Sud Jaromír, 57, 119
Suchánek Petr, 68
Světlík Ivo, 77
Svobodová Andrea, 25
- Šagátová Andrea, 90
Šalát Dušan, 28, 35, 45
Šalátová Anna, 35
Šesták Michal, 23
Šinkora Jiří, 50
Šinkorová Zuzana, 50, 75
Škrkal Jan, 62
Šlegl Jakub, 82, 91, 106, 107, 116, 125
Šmoldasová Jana, 30, 100
Šolc Jaroslav, 30, 100
Šoltés Jaroslav, 94
Štědrová Veronika, 25
Štefánik Samuel, 106
Štěpán Václav, 27, 111
Švamberová Lucie, 103

Švecová Dominika, 54
Tamášová Jana, 38
Thinová Lenka, 27, 67, 111
Tomášek Ladislav, 41–43
Tomášek Oldřich, 123
Touš Jan, 78, 80
Trtílek Radek, 55
Truneček Roman, 23
Trunečková Zuzana, 23

Uttendorfská Kateřina, 75

Vachelová Jana, 47
Valášek Vojtěch, 77
Vanek Miroslav, 22
Vaněk Tomáš, 78
Vanko Erik, 28
Vávra Jakub, 40, 52
Večerník Petr, 89

Velychko Olena, 106, 107
Versaci Roberto, 23
Viererbl Ladislav, 89, 94
Vinš Miroslav, 94
Visinger Robert, 70
Vodičková Hana, 88
Vojtěchová Hana, 56
Vondráček Vladimír, 47
Vostřáková Michaela, 25
Vrban Branislav, 97
Vtelenská Martina, 73, 85

Záhorová Věra, 62
Zahradníček Oldřich, 47
Záruba Jakub, 58
Zháňal Pavel, 89
Zíková Martina, 51
Zoul David, 70, 88, 89
Zubáková Anita, 33

Budoucnost potřebuje moderní energetiku a tebe



ČISTÁ
ENERGIE
ZÍTŘKA

...kde.jinde.cz



Canberra
Packard



Osprey™ –
Universal Digital MCA Tube Base
for Scintillation Spectrometry



Lynx®
Digital Signal Analyzer



Cryo-Cycle™ II
Hybrid Cryostat



Cryo-Pulse® 5 plus Electrically
Refrigerated Cryostat



EcoGamma
Environmental Gamma
Radiation Monitor



Colibri® :
Hand-Held Health Physics
Communication ALARA* Platform



TriCarb 3180 TR/SL
Super Low Level Liquid Scintillation Counter



Wizard
Automatic Gamma Counter



CANBERRA PACKARD
Central Europe GmbH
Wiensiedlung 6 , A-2432 SCHWADORF
Phone: +43(0)2230 3700-0
Fax: +43(0)2230 3700-15
e-mail: cpce@cpce.net
internet: www.cpce.net

Czech Republic:
CANBERRA PACKARD spol. s r.o.
Sultysova 37 , CZ-16900 PRAHA 6
Phone: +420-233090031
Fax: +420-233090032
e-mail: cpcz@cpce.net
internet: www.cpce.net

Firma M.G.P., spol. s r.o. je držitelem povolení SÚJB k pořádání kurzů radiační ochrany.

Pořádá „základní“ i „opakovací“ kurzy pro získání zvláštní odborné způsobilosti jako dohlížející osoba nebo osoba s přímým dohledem nad radiační ochranou.

Odborná příprava, tj. „základní“ kurz, je v rozsahu 3 dnů (20 hodin) ke složení zkoušky zvláštní odborné způsobilosti, další odbornou přípravu, tj. „opakovací“ kurz v rozsahu 6 hodin je třeba absolvovat každých 5 let.

Pro větší skupiny zájemců lze domluvit termín i místo konání kurzu.

Bližší informace sledujte na stránkách www.mgp.cz.



M.G.P. spol. s r. o.
Kvítková 1575
Zlín 760 01
Česká republika

Ing. Zuzana Pašková
mobil: +420 606 603 281
e-mail: zuzana.paskova@mgp.cz
www.mgp.cz

KOMPLEXNÍ ŘEŠENÍ PRO LETECKÝ RADIČNÍ PRŮZKUM

Integrované systémy pro leteckou gama spektroskopii

Malý scintilační detektor DRONES-G mini

Střední scintilační detektor DRONES-G

Polovodičový detektor HPGe pro bezpilotní helikoptéru

Velkoobjemový detektor SCINTIBOX pro použití ve vrtulníku



DRONES-G - mini



DRONES-G



HPGe modul



SCINTIBOX





rds

radiační a dozimetrické **systemy**

Ing. Petr Šimeček

Pasivní dozimetrické systémy
Osobní elektronické dozimetry
Chemické detektory
Nukleární medicína



RDS 30
měřič radiace



RDS 32
měřič radiace



CoMo-170
monitor kontaminace



RDS 80
monitor kontaminace



WIPER GOLD
analýzátor otěrů



CUBE
manuální TLD čtečka



MIRION
TECHNOLOGIES



Environics

RadPro
— Radiation Protection for the Radiation Professionals —



LABORATORY
TECHNOLOGIES, INC.



rds

radiační a dozimetrické **systemy**

Ing. Petr Šimeček

Pasivní dozimetrické systémy
Osobní elektronické dozimetry
Chemické detektory
Nukleární medicína



DMC 3000

osobní dozimetr



DMC 3000 N

osobní dozimetr s neutron
modulem



DMC 3000 β

osobní dozimetr s beta
modulem



LDM 320 D

bezdrátová čtečka



SOR

osobní dozimetr



RAD-60

osobní dozimetr



MIRION
TECHNOLOGIES



Envionics

RadPro
— Radiation Protection for the Radiation Professionals —



LTI
LABORATORY
TECHNOLOGIES, INC.



VF NUCLEAR



Jsmo významným světovým výrobcem a dodavatelem ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMŮ PRO RADIČNÍ OCHRANU A KONTROLU

Navrhujeme, vyvíjíme a vyrábíme výkonná, citlivá a přesná zařízení, která spolehlivě detekují ionizující záření a chrání tak bezpečí lidí, věcí, pracovního prostředí, vybavení a citlivé provozní technologie.

- Při naší práci využíváme high-tech materiály.
- Integrujeme chytré technologie a pokročilé funkce.
- Běžně stavíme a instalujeme rozsáhlá systémová řešení po celém světě.



JADERNÉ ELEKTRÁRNY

Komplexní radiační monitorovací systémy pro výstavbu nových a rekonstrukci stávajících jaderných bloků. Likvidace a vyřazování jaderných bloků z provozu. Dodávka zařízení pro výzkumné a tréninkové jaderné reaktory.



ZDRAVOTNICTVÍ

Dodávky a instalace radiačních monitorovacích systémů, výroba ručních a přenosných zařízení. Měření kontaminace osob a předmětů. Služby osobní dozimetrie.



RADIOAKTIVNÍ ODPADY

Třídění a likvidace zdrojů ionizujícího záření. Zařízení pro charakterizaci pevných radioaktivních odpadů a jejich uvolňování do životního prostředí. Systémy pro kapalné radioaktivní odpady. Osobní dozimetrie.



KALIBRAČNÍ LABORATOŘE

Návrh a realizace a vybavení kalibračních laboratoří. Výpočty a dodávky stínění. Vývoj a výroba ozařovačů a kalibračních lavic. Kalibrace dozimetrických přístrojů. Dodávky uzavřených radionuklidových zdrojů.



VÝZKUMNÁ CENTRA

Vývoj, výroba a instalace měřících systémů včetně integrace měřících výsledků do uceleného systému monitoringu radiační situace pro pracoviště s výzkumnými nebo tréninkovými reaktory. Poskytování záručního a pozáručního servisu případně poskytování služeb spojených s údržbou systémů.



PRŮMYSL

Dodávky komplexních systémů pro monitorování technologií, které využívají zdroje ionizujícího záření v jakékoli formě. Návrh a vybavení pracoviště průmyslových ozařoven, polohorkých a horkých komor a dalších ucelených průmyslových provozů.



**MÁME
DOSTATEČNÉ
ZDROJE
PRO VÝVOJ
A VÝROBU
MONITOROVACÍCH
ZAŘÍZENÍ
NEBO SYSTÉMŮ**

**Vývojové,
výzkumné, projekční
a konstrukční
středisko**

**Vlastní
strojní výroba**

**Špičkově vybavená
metrologická
a radiochemická
laboratoř**

**Horká
komora pro práci
s uzavřenými
radionuklidovými
zářiči**

**Silná skupina zkušených fyziků, chemiků,
projektových inženýrů, strojařů**

**Více jak 25 let praxe
v oboru radiační ochrany a kontroly**

Zařízení přizpůsobujeme potřebám zákazníka.

Zařízení stavíme tak, aby vyhovovala podmínkám daných technologických provozů.

Nebojíme se nacházet zcela nová řešení.

Samozřejmostí je instalace a integrace zařízení do nových
i existujících radiačních monitorovacích systémů.