



4. SKUP MLADIH HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

PROGRAM I KNJIGA SAŽETAKA

1. ožujka 2024. godine, Institut Ruđer Bošković

Organizacijski odbor

Ante Matanić, mag. edu. phys. et. inf., *KBC Sestre milosrdnice, Zagreb, Hrvatska*

Ena Pezić, mag. ing. cheming., *Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*

Galla Uroić, mag. ing. min., *Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško, Zagreb, Hrvatska*

Helena Bach-Rojecky, mag. appl. chem., *Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*

dr. sc. Ivana Coha, *Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*

Donator:



Biovit d.o.o.

Sponzor:



Soria Natural

Sadržaj

LUKA LUKETIN

Spatial accuracy verification in gamma knife icon stereotactic radiosurgery using end to end testing with CBCT as an imaging method 1

ANTE MATANIĆ

Korištenje radiokromskih filmova u radioterapiji 2

ANA BUINAC

Optimizacija protokola za CT biopsiju u KBC-u Zagreb 3

ANITA CRNOV

Implementacija Monaco sustava za planiranje na linearnom akceleratoru Elekta Synergy 4

LUKA PASARIČEK

Primjena Monte Carlo simulacija na računanje linearnog prijenosa energije primarnih protona u radioterapiji..... 5

KATARINA RUŽIĆ

Radiografsko oslikavanje dječjih pluća u KBC-u Zagreb - potreba za optimizacijom..... 6

LEJA ROVAN

Method development on gab measurements by LSC..... 7

IVANA COHA

Detekcija radionuklida primjenom tehnike spektrometrije masa uz trostruki kvadrupol s induktivno spregnutom plazmom (ICP-QQQ-MS)..... 8

TOMISLAV ILIEVSKI

Radioaktivnost i ingestijska doza poljoprivrednih kultura OPG-ova Hrvatske i komercijalno dostupne dječje hrane 9

KRISTINA SMOKROVIĆ

Primjena elektronske spinske spektroskopije u dozimetriji i detekciji slobodnih radikala 10

HELENA BACH-ROJECKY

Umrežavanje monoslojeva stearinske kiseline na vateritu izlaganjem γ -zračenju..... 11

GALLA UROIĆ

In-situ simulation of thermo-hydro-mechanical effects on the host rock and buffer material – URF in St. Barbara Mine, Rude, Croatia 12

MATIJA PISK, JAN JAMNIK SRPČIĆ

Rad u zoni ionizirajućeg zračenja 13

LARA KEREK

Provođenje aktivnosti odnosa s javnošću pri uspostavi Centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada u Hrvatskoj 14

LARA KEREK

ENYGF 2025 i aktivnosti Mreže mlade generacije Hrvatskog nuklearnog društva 15

LUKA BAKRAČ

Predstavljanje istraživačkih projekata SSDL-a na IRB-u 16

ANTONIA BILIĆ

Poslijediplomski tečaj o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti pri radu s izvorima ionizirajućeg zračenja 17

ŽELIMIR VEINOVIĆ

Education of specialists in radioactive waste management at the University of Zagreb 18

PROGRAM

8:30-9:00 **REGISTRACIJA**

9:00-9:15 **OTVARANJE**

9:15-9:30 **Luka Luketin, KBC Zagreb**

Spatial accuracy verification in gamma knife stereotactic radiosurgery using end to end testing with CBCT as an imaging method

9:30-9:45 **Ante Matanić, KBC Sestre milodrdnice**

Primjena radiokromskih filmova u radioterapiji

9:45-10:00 **Ana Buinac, KBC Zagreb**

Optimizacija protokola za CT biopsiju u KBC-u Zagreb

10:00-10:15 **Anita Crnov, KBC Zagreb**

Implementacija Monaco sustava za planiranje na linearnom akceleratoru Elekta Synergy

10:15-10:30 **Luka Pasariček, Institut Ruđer Bošković**

Primjena Monte Carlo simulacija na računanje linearnog prijenosa energije primarnih protona u radioterapiji

10:30-10:45 **Katarina Ružić, KBC Zagreb**

Radiografsko oslikavanje dječjih pluća u KBC-u Zagreb - potreba za optimizacijom

10:45-11:15 **PAUZA ZA KAVU**

11:15-11:30 **Leja Rovan, Institut Jožef Štefan**

Method development on GAB measurements by LSC

11:30-11:45 **Ivana Coha, Institut Ruđer Bošković**

Detekcija radionuklida primjenom tehnike spektrometrije masa uz trostruki kvadrupol s induktivno spregnutom plazmom (ICP-QQQ-MS)

11:45-12:00 **Tomislav Ilievski, Institut Ruđer Bošković**

Radioaktivnost i ingestijska doza poljoprivrednih kultura OPG-ova Hrvatske i komercijalno dostupne dječje hrane

12:00-12:15 **Kristina Smokrović, Institut Ruđer Bošković**

Primjena elektronske spinske spektroskopije u dozimetriji i detekciji slobodnih radikala

12:15-12:30 **Helena Bach-Rojecky, Institut Ruđer Bošković**

Umrežavanje monoslojeva stearinske kiseline na vateritu izlaganjem gama zračenju

4. SKUP MLADIH HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

- 12:30-12:45 **Galla Uroić, Fond za financiranje razgradnje NEK**
In-situ simulation of thermo-hydro-mechanical effects on the host rock and buffer material – URF in St. Barbara Mine, Rude, Croatia
-
- 12:45-13:30 **PAUZA ZA RUČAK**
-
- 13:30-13:45 **Matija Pisk, Jan Jamnik Srpčić, Nuklearna elektrana Krško**
Rad u zoni ionizirajućeg zračenja
- 13:45-14:15 **Lara Kerep, Fond za financiranje razgradnje NEK**
Aktivnosti odnosa s javnošću pri uspostavi Centra za zbrinjavanje RAO
- 14:15-14:30 **Luka Bakrač, Institut Ruđer Bošković**
Predstavljanje istraživačkih projekata SSDL-a na Institutu Ruđer Bošković
- 14:30-14:45 **Antonia Bilić, Ministarstvo unutarnjih poslova**
Poslijediplomski tečaj o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti pri radu s izvorima ionizirajućeg zračenja
- 14:45-15:00 **Želimir Veinović, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**
Education of specialists in radioactive waste management at the University of Zagreb
-
- 15:00-15:30 **PREDSTAVLJANJE AKTIVNOSTI HDZZ-a, DRUŽENJE**
-

USMENA IZLAGANJA

SPATIAL ACCURACY VERIFICATION IN GAMMA KNIFE ICON STEREOTACTIC RADIOSURGERY USING END TO END TESTING WITH CBCT AS AN IMAGING METHOD

Luka Luketin, H. Hršak

University Hospital Center Zagreb, Department of Medical Physics, Zagreb, Croatia

E-mail: lukaluketin1992@hotmail.com

Stereotactic radiosurgery procedures consist of a chain of steps, from imaging to treatment planning, patient positioning and treatment. Overall spatial accuracy of stereotactic radiosurgery procedures is limited by the errors of each of the mentioned steps in the chain. The goal of a quality assurance (QA) program is to ensure the spatial accuracy of the procedure is within the tolerance established by the program. Every step in the chain can be tested separately and end to end tests provide complete simulation of the treatment procedure and as such represent very important tool in the QA program of stereotactic radiosurgery procedures. Gamma Knife radiosurgery is a procedure which produces very high dose gradients (30-50% per mm) so any spatial inaccuracies can lead to high delivered dose inaccuracies, as high maximum doses (up to 90 Gy) are delivered in a single fraction. As the Gamma Knife model Icon has cone beam computed tomography (CBCT) device as its integral part and standard imaging method for Gamma Knife radiosurgery is magnetic resonance imaging (MRI) we tested spatial accuracy of Gamma Knife Icon (installed in the Department of Neurosurgery, University Hospital Center Zagreb) with end to end testing method using only CBCT as an imaging method. Testing was carried out using spherical PMMA phantom (PTGR mbH, Tubingen, Germany) and marked EBT3 radiochromic films fixed in the center of the phantom and parallel to either xz or yz plane of the Lexell stereotactic coordinate system. Imaging was done using CBCT, and the aiming point was determined as an average position of all four markers on every radiochromic films and as an average of two operators determining the coordinates. After imaging and aiming point determination the phantom was fixed on the treatment table and irradiated. Radiochromic films were subsequently scanned and analyzed and displacement vectors defined as differences between aiming points and centers of irradiation were found. Tests were carried out on a weekly basis, 55 weeks in total. The result showed that the mean displacement vector was (0.31 ± 0.14) mm (mean \pm sd), which is well within spatial accuracy tolerance for Gamma Knife stereotactic radiosurgery (<0.5 mm). This result is satisfactory and can serve as an argument for using CBCT integrated in the Gamma Knife Icon as a valid stereotactic reference for patient position verification and correction in Gamma Knife radiosurgery, which could offer possibility of avoiding the necessity of having stereotactic MRI images (with stereotactic frame fixation and MRI localizer) and using frameless MRI diagnostic images (made before or on the treatment day) co-registered to CBCT stereotactic images for treatment planning.

Keywords: stereotactic radiosurgery, gamma knife icon, quality assurance, radiochromic film dosimetry, CBCT

KORIŠTENJE RADIOKROMSKIH FILMOVA U RADIOTERAPIJI

Ante Matanić, Iva Mrčela, Marin Gregov, Vera Vujasinović, Giovanni Ursi,
Mirjana Budanec

Odjel za medicinsku fiziku, KBC Sestre milosrdnice, Vinogradska cesta 29, Zagreb, Hrvatska

E-mail: ante.matanic@kbcsm.hr

Radiokromski film tip je filma kojemu se mijenja boja kada je izložen ionizirajućem zračenju. U radioterapiji radiokromski filmovi se najčešće koriste u procesu kontrole kvalitete te za dozimetriju. U ovom izlaganju predstaviti ću na nekoliko primjera primjenu RTQA2 i EBT3 filmova u radioterapiji koje provode medicinski fizičari na Odjelu za medicinsku fiziku KBC-a Sestre milosrdnice. U okviru programa kontrole kvalitete filmovi su važni za provjeru izocentra zračenja linearnog akceleratora. Zračenjem filma uskim poljima pod različitim kutovima stativa, stola i kolimatora stvara se “zvjezdasti” uzorak. Analiziranjem tog uzorka je moguće odrediti veličinu i položaj izocentra zračenja. Slično tome, zračenjem više usporednih uskih polja, film se može iskoristiti za provjeru točnosti položaja višelamelarnog kolimatora. EBT3 film najčešće se primjenjuje kao dvodimenzionalni detektor zračenja, a mi smo ga koristili za određivanje doze izvan polja zračenja. U brahiterapiji radiokromski filmovi se koriste za provjeru položaja izvora u sklopu procesa kontrole kvalitete na mjesečnoj razini te za komisioniranje aplikatora i vodilica prije početka kliničke uporabe istih.

OPTIMIZACIJA PROTOKOLA ZA CT BIOPSIJU U KBC-U ZAGREB

Ana Buinac, Katarina Ružić

Klinički bolnički centar Zagreb, Kišpatićeva 12, Zagreb, Hrvatska

E-mail: omf.rad@kbc-zagreb.hr

Intervencijska radiologija je grana radiologije koja se koristi različitim metodama oslikavanja (fluoroskopijom, ultrazvukom, kompjutoriziranom tomografijom (CT), magnetskom rezonancijom i hibridnim metodama) za navođenje intervencijskih zahvata. Radiološke intervencije su visoko precizne i često puno učinkovitije od drugih pristupa koji znaju biti invazivniji, a zahtijevaju ili dulji oporavak ili boravak u bolnici. Iako je sam izbor pristupa bolesti uvijek individualiziran, CT se pokazao kao nezaobilazna metoda bilo da se radi o planiranju intervencije, lokalizaciji lezije, kontroli pozicije instrumenta ili postproceduralnoj procjeni. Procedure za koje je kompjutorizirana tomografija kao intervencijska tehnika najkorisnija su biopsija, drenaža i ablacija. U KBC-u Zagreb se možemo pohvaliti izvođenjem CT biopsija na vrlo visokoj razini, a izvode se sve vrste postupaka (osim radioablacija) te su radiolozi iznimno spretni i brzi u njihovom obavljanju.

Prednosti kompjutorizirane tomografije kao intervencijske metode su visoka preciznost anatomske prikaza te vrlo dobra mogućnost lokalizacije teško vidljive lezije dok mane uključuju visoku dozu zračenja i nedostatak prikaza u realnom vremenu. Korištenjem opcije CT fluoroskopije na uređaju za kompjutersku tomografiju u mogućnosti smo dobiti prikaz u gotovo realnom vremenu, no svejedno nam ostaje problem doze zračenja na pacijenta i operatera.

U ovom radu predstaviti ćemo rezultat suradnje radiologa, radiološkog tehnologa i medicinskog fizičara u razvoju optimalnog protokola za izvođenje CT biopsija. Metoda smanjenja doze je prilagodba tehničkih parametara samoga uređaja uz nadzor parametara kvalitete slike. Konačan rezultat rada jest optimiziran protokol, odnosno protokol sa smanjenom dozom na pacijenta, smanjenom dozom na operatera, te optimalnom kvalitetom slike. Razvoj protokola popraćen je i pojačanom edukacijom o zaštiti od zračenja te nabavkom opreme koja je od presudne važnosti za ispravan rad.

IMPLEMENTACIJA MONACO SUSTAVA ZA PLANIRANJE NA LINEARNOM AKCELERATORU ELEKTA SYNERGY

Anita Crnov

Klinički bolnički centar Zagreb, Odjel medicinske fizike, Kišpatićeva 12, Zagreb, Hrvatska

E-mail: anita.crnov@kbc-zagreb.org

Radioterapija za cilj ima isporuku visokih doza zračenja na ciljano područje volumena, odnosno tumor, prilikom čega je potrebno poštediti zdravo okolno tkivo što je više moguće. Jedan od glavnih preduvjeta uspješne radioterapije je točan izračun apsorbirane doze. Upravo u tom dijelu radioterapijskog procesa, medicinski fizičari imaju ključnu ulogu. Medicinski fizičari osiguravaju da planirani izračun apsorbirane doze odgovara stvarno isporučenoj dozi na pacijentu. Izračun apsorbirane doze zračenja provodi se računalnim algoritmom u sustavu za planiranje radioterapije (engl. Treatment Planning System-TPS). Uz mnoge odgovornosti medicinskog fizičara, jedna od zadaća je implementacija sustava za planiranje radioterapije. Ona zahtjeva provođenje odgovarajućih opsežnih testova i mjerenja kako bi se osigurala točnost modela izračuna apsorbirane doze i ostalih dijelova sustava za planiranje.

U ovom radu prezentiran je proces provjere modela snopa zračenja u Monaco TPS-u na linearnom akceleratoru Elekta Synergy na Odjelu za radioterapiju, Klinike za onkologiju KBC-a Zagreb. Provjera modela obuhvaćala je niz geometrijskih i dozimetrijskih testova u homogenim i heterogenim medijima. Osnovna prihvatna mjerenja uključivala su očitavanja doze u točki na određenim pozicijama za različite veličine polja u vodenom fantomu pomoću Semiflex ionizacijske komorice. Također, provedeni su testovi propisani protokolom koji je određen od strane IAEA-e (International Atomic Energy Agency) na CIRS fantomu. Implementiranje Monaco TPS-a omogućilo je uvođenje IMRT (engl. Intensity-modulated Radiation Therapy) tehnike planiranja na linearnom akceleratoru. U odnosu na 3D konformalnu terapiju, IMRT tehnikom ostvaruje se bolja kontrola nad tumorom i veća mogućnost poštediti okolnog zdravog tkiva. Takva tehnika zahtjeva fino podešavanje parametara modela (engl. Post Model Adjustment) na visoku točnost. Postupak je uključivao prilagodbu transmisivskih parametara multilamelarnog kolimatora (engl. Multileaf Collimator-MLC) tako da dobijemo što bolje slaganje izračuna u TPS-u i mjerenja na pločastom 2D detektoru PTW Octavius 1500. Rezultati te detaljan opis metoda i materijala spomenutih testova predočen je u radu. Naposljetku smo simulirali cijeli pacijentov put kroz postupak radioterapije (engl. End-to-end test). Njime se pokazalo se da je model i cjelokupan radioterapijski proces precizan i siguran za korištenje u kliničkoj praksi.

PRIMJENA MONTE CARLO SIMULACIJA NA RAČUNANJE LINEARNOG PRIJENOSA ENERGIJE PRIMARNIH PROTONA U RADIOTERAPIJI

Luka Pasariček, Fereshte Saheli, Marija Majer

Institut Ruđer Bošković, Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju, Zagreb, Hrvatska

E-mail: lpasari@irb.hr

Radiofotoluminiscentni (RPL) dozimetri su ispitani i redovno se koriste u poljima fotonskog zračenja. S povećanim zanimanjem za radioterapiju teškim nabijenim česticama, za primjenu u tim poljima nužno je detaljno ih ispitati i karakterizirati. Budući da njihov odziv ovisi o linearnom prijenosu energije (eng. Linear Energy Transfer, LET), odnosno prosječnoj energiji koju nabijena čestica po jedinici duljine svojega puta pohrani u sredstvo kroz koje prolazi, važno je imati pouzdane vrijednosti za LET. Izračun LET-a moguć je korištenjem programskih paketa koji koriste Monte Carlo (MC) metodu kako bi simulirali prolazak čestica kroz sredstvo. U našem slučaju, MC metoda koristi nasumično uzorkovanje kako bi simulirala stohastične procese međudjelovanja čestica sa sredstvom, prateći njihove pojedinačne putanje kako bi dobila statistički reprezentativan rezultat putem uprosječivanja.

U predavanju će biti prikazano kako smo primjenom MC simulacija modelirali eksperimentalni postav i izračunali prosječne vrijednosti za LET na pozicijama RPL dozimetara. U literaturi se koristi više načina uprosječivanja i primijenili smo neke od njih te usporedili rezultate. Koristili smo dva programska paketa koja primjenjuju MC simulacije, PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) [1] i Geant4 [2], pa će biti prikazana usporedba rezultata dobivena različitim programima.

Reference:

[1] <https://phits.jaea.go.jp/>; T. Furuta and T. Sato, Medical application of particle and heavy ion transport code system PHITS, Radiol. Phys. Technol. 14 (2021), 215-225.

[2] <https://geant4.web.cern.ch/>; S. Agostinelli et al., Geant4 - A Simulation Toolkit, Nucl. Instrum. Meth. A 506 (2003) 250-303.

Rad je napravljen u sklopu HRZZ projekta IP-2020-02-3593 „Karakterizacija radiofotoluminiscentnih dozimetara za mjerenja u poljima teško nabijenih čestica“

RADIOGRAFSKO OSLIKAVANJE DJEČJIH PLUĆA U KBC-U ZAGREB - POTREBA ZA OPTIMIZACIJOM

Katarina Ružić, Ana Buinac

Klinički bolnički centar Zagreb, Kišpatićeva 12, Zagreb, Hrvatska

E-mail: kruzic@kbc-zagreb.org

Pedijatrijski pacijenti u posebnom su fokusu medicinskog ozračenja i zaštite od zračenja jer su osjetljiviji na zračenje od odraslih pacijenata i imaju povećan rizik od razvoja posljedica zračenja. Dobrobit medicinskog ozračenja je neupitna sve dok je oslikavanje opravdano i u skladu s ALARA (as low as reasonably achievable) principom.

Radiografsko oslikavanje pluća jedno je od najčešćih oslikavanja u dječjoj populaciji. Upravo zbog toga, iako su doze relativno male, optimizacija protokola je ključna. Optimizacija se provodi u smjeru prilagođavanja (najčešće smanjenja) doze na pacijenta uz ostvarivanje adekvatne kvalitete slike. Pri optimizaciji protokola potrebno je voditi računa o ekspozicijskim parametrima (kV i mAs), korištenju ručne/automatske ekspozicije, (ne)korištenju rešetke, veličini fokusa i dodatnim filtrima te odabiru udaljenosti izvora od prijarnika slike. Prema europskim preporukama protokoli za pedijatrijske pacijente posebno se definiraju prema masi ili dobi kako bi se parametri, a time i doza, prilagodili veličini pacijenta.

U KBC-u Zagreb oslikavanje dječjih pluća provodi se na četiri različita stacionarna uređaja za digitalnu radiografiju te na dva mobilna uređaja. Indikacije za oslikavanje pluća mogu biti razne poput bronhiolitisa, upale pluća, gutanja stranog tijela, traume itd. Najčešće projekcije koje se koriste pri oslikavanju su AP i PA u uspravnom položaju, AP u ležećem položaju te dodatna lateralna projekcija u uspravnom položaju. U radu će biti analizirani podaci sa stacionarnih uređaja za digitalnu radiografiju. Prikazat ćemo razlike u dozama, kvaliteti slike i tehnikama oslikavanja te uočenu potrebu za optimizacijom postupaka, koja je već u toku.

METHOD DEVELOPMENT ON GAB MEASUREMENTS BY LSC

Leja Rovan

Institut Jožef Štefan, Ljubljana, Slovenija

E-mail: leja.rovan@ijs.si

Measurements of gross alpha and beta (GAB) activities in different samples are suitable as a preliminary screening procedure to determine whether further analysis is required for specific radionuclides. It is widely applied in the fields of radioecology, environmental monitoring, and industrial applications.

The aim of this work was to provide a means for establishing the methodology that enables a sensitive, rapid, and simple method to measure GAB activity, especially at low-level water sample concentrations. Results obtained by different sample preparation approaches (direct method, co-precipitation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, or MnO_2 , and evaporation) were compared to assess their possible impact on the GAB activity measured with a liquid scintillation counter (LSC) and to verify whether these results are representative of the actual GAB activity on tested samples. The study was conducted on anthropogenic and natural radionuclides in four water samples of the International Atomic Energy Agency Proficiency Test 2022. The evaluation was carried out by comparing the measured result to the theoretical value using percentage chemical recoveries and Zeta-scores. The obtained results show that different sample pre-concentration procedures influence the chemical recovery of GAB activities and show possible effects on quenching in the sample. The analytical procedure with the smallest deviation from the theoretical value was co-precipitation with $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ and evaporation, but not all investigated radionuclides in our tested samples were co-precipitated by these procedures.

The measurement of the GAB activity should not be intended to give an absolute determination of the activity concentration of all alpha- and beta-emitting radionuclides in a test sample, but rather as a complementary method for radionuclide-specific analysis and monitoring trends. However, it is still preferable to find a method that is suitable and useful to measure GAB activity for many laboratories around the world.

DETEKCIJA RADIONUKLIDA PRIMJENOM TEHNIKE SPEKTROMETRIJE MASA UZ TROSTRUKI KVADRUPOL S INDUKTIVNO SPREGNUTOM PLAZMOM (ICP-QQQ-MS)

Ivana Coha^{1,2}

¹*Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija*

²*Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*

E-mail: ivana.coha@irb.hr

Radionuklidi se tradicionalno detektiraju radiometrijskim tehnikama. Nakon nesreće u Fukušimi, 2011. godine, prepoznala se potreba za metodama koje omogućuju analizu velikog broja uzoraka u kratkom vremenu. Iako su radiometrijske tehnike pouzdane, često su vremenski zahtjevne i ograničene po pitanju broja uzoraka koji se mogu analizirati istovremeno. Masena spektrometrija pomaže u rješavanju ovog nedostatka pružajući brzu analizu većeg broja uzoraka. Dodatno, sa svojom visokom osjetljivošću, točnošću i preciznošću mjerenja omjera izotopa te relativno jednostavnim postupkom pripreme uzorka, nedvojbeno je jedna od najprikladnijih metoda za određivanje dugoživućih radionuklida u uzorcima iz okoliša. U sklopu Programa mobilnosti – odlazna mobilnost viših asistenata“ (MOBODL-2023) financiranog iz nacionalnog plana oporavka i otpornosti, planira se razvoj metode za detekciju izotopa urana, torija i Ra-226 primjenom tehnike spektrometrije masa uz trostruki kvadrupol s induktivno spregnutom plazmom (ICP-QQQ-MS) u uzorcima adaptiranog i majčinog mlijeka.

Rad je napravljen u sklopu HRZZ Programa mobilnosti – odlazna mobilnost viših asistenata (MOBODL-08-23) financiranog sredstvima Europske unije u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti.

RADIOAKTIVNOST I INGESTIJSKA DOZA POLJOPRIVREDNIH KULTURA OPG-OVA HRVATSKE I KOMERCIJALNO DOSTUPNE DJEČJE HRANE

Tomislav Ilievski

Institut Ruđer Bošković, Laboratorij za radioekologiju, Zagreb, Hrvatska

E-mail: tilievsk@irb.hr

U sklopu HrZZ projekta RiChFALL provodi se analiza radionuklida u dječjoj hrani (adaptirano mlijeko u prahu, žitne instant kaše, homogenizirani obroci s voćem ili povrćem i mesom), poljoprivrednim kulturama korištenim za njenu pripremu te tlima na kojima su uzgajane kulture. Budući da se očekuju niske aktivnosti prirodnih i antropogenih radionuklida, razvijaju se metode pogodne za njihovo mjerenje. Gama emiteri određuju se gama spektrometrijski, korištenjem visoko čistog germanijskog detektora, koji je nadograđen aktivnim štitom kako bi bio pogodan za određivanje niskih aktivnosti. Aktivni štit, sačinjen od plastičnog scintilatora, polivinil toluena, detektira dolazno pozadinsko, kozmičko zračenje prije germanijskog detektora. Signal u koincidenciji odbacuje se iz spektra snimljenog germanijskim detektorom te se uklanja dio pozadinskog zračenja, čime se snižavaju granice detekcije. Alfa i beta emiteri određuju se alfa-spektrometrijom, odnosno mjerenjem na tekućinskom scintilacijskom brojaču nakon kemijske separacije. Budući da su radiokemijske metode zahtjevne i dugotrajne, razvija se automatizirana metoda za separaciju nekoliko radionuklida od interesa istovremeno. Metoda se zasniva na tekućinsko – krutinskoj ekstrakciji: otopina radionuklida propušta se kroz kolonu specifične smole – silikagela na koji je kovalentno vezan kompleksirajući agens, modificirani kruna eter, koji veže ciljane nuklide. Ispiranjem različitim eluensima, radionuklidi se sekvencijalno uklanjaju s kolone te se pripremaju za daljnu detekciju. Za određivanja gama emitera preliminarna mjerenja pokazala su često pri vrlo niskim aktivnostima nemogućnost detekcije ciljanih nuklida prije nadogradnje. Nakon nadogradnje germanijskog detektorskog sustava, značajno su snižene granice detekcije, te su mjerenjem s nadograđenim sustavom kvantificirani prije nedetektirani radionuklidi u ponekim uzorcima. Za određivanje alfa i beta emitera, optimira se sustav separacije nuklida te će se postupak implementirati na uređaj za automatizaciju procesa, razvijen u suradnji LRE – a i vanjskog suradnika. Dobiveni rezultati obuhvaćaju najznačajnije doprinose radionuklida u hrani ingestivskoj dozi, te su uz podatke Državnog zavoda za statistiku korišteni za procjenu godišnje ingestivske doze zbog konzumacije tih kultura.

Ključne riječi: gama spektrometrija, tekućinsko – krutinska ekstrakcija, tekućinska scintilacijska detekcija, alfa spektrometrija, ingestivska doza

Rad je napravljen u sklopu HRZZ projekta IP-2019-04-1401 „Radionuklidi u dječjoj hrani i razvoj metoda za određivanje njihovih niskih aktivnosti“

PRIMJENA ELEKTRONSKE SPINSKE SPEKTROSKOPIJE U DOZIMETRIJI I DETEKCIJI SLOBODNIH RADIKALA

Kristina Smokrović, Nadica Maltar-Strmečki

Institut Ruđer Bošković, Laboratorij za elektronsku spinsku spektroskopiju, Zagreb, Hrvatska

E-mail: ksmokrov@irb.hr

Elektronska spinska spektroskopija (EPR ili ESR) koristi se za proučavanje tvari s nesparenim elektronima, poput slobodnih radikala i iona metala. U osnovi je analogna tehnici nuklearne magnetske rezonancije, i daje nam informaciju o strukturi, okruženju i dinamici paramagnetskog centra. Jakost magnetskog polja i frekvencija mikrovalnog zračenja ovise o uređaju, a njihov omjer, g faktor, je intrinzična karakteristika paramagnetskog centra i analogna je kemijskom pomaku u spektroskopiji NMR. Izlaganjem bioloških i sintetskih materijala ionizirajućem zračenju možemo stvoriti slobodne radikale. Količina, vrsta i stabilnost tih radikala ovisi o njihovom neposrednom okruženju, tj. o vrsti međumolekulskih interakcija koje ih mogu stabilizirati ili destabilizirati. Vjerojatno najpoznatiji primjer takvog radikala su alaninski radikali dobiveni izlaganjem kristala L-alanina ionizirajućem zračenju u rasponu dobivene doze od 10 Gy do 150 kGy. Dobiveni radikali su izuzetno stabilni u čvrstom stanju te im koncentracija pada za 2% godišnje, dok je vrijeme poluraspada alaninskih radikala u otopini manje od milisekunde. Za izuzetnu stabilnost radikala u kristalu L-alanina zaslužna je mreža vodikovih veza koji onemogućuju rekombinaciju s okolnim molekulama. Na istom principu se temelji i detekcija ozračene hrane prema protokolima EN 1786, EN 1787 i EN 13708. U hrani koja sadrži komponente s mikrokristalnom strukturom poput šećera, celuloze ili hidroksiapatita nakon izlaganja ionizirajućem zračenju moguće je detektirati slobodne radikale čak i nakon godinu dana upravo zbog stabilizacije radikala međumolekulskim interakcijama.

UMREŽAVANJE MONOSLOJEVA STEARINSKE KISELINE NA VATERITU IZLAGANJEM γ -ZRAČENJU

Helena Bach-Rojecky, Marija Mirosavljević, Damir Kralj, Katarina Marušić

Institut Ruđer Bošković, Laboratorij za procese taloženja, Zagreb, Hrvatska

E-mail: helena.bach-rojecky@irb.hr

Poznate su tri polimorfne modifikacije CaCO_3 , od kojih je nastabilnija kalcit, nešto manje stabilna aragonit, a najnestabilnija, odnosno metastabilna vaterit. Sva tri polimorfa karakteriziraju male čestice i biokompatibilnost, dok je posebna karakteristika vaterita velika specifična površina. Upravo zahvaljujući velikoj specifičnoj površini, on predstavlja prednost u primjeni kod ispostave lijekova. Međutim, u podzasićenoj vodenoj otopini vaterit se otapa i prelazi u termodinamički stabilan kalcit. Nanošenjem organskih molekula na njegovu površinu moguće je stabilizirati vaterit i time kontrolirati njegovo otapanje.

Masne kiseline imaju sposobnost adsorpcije na površinu vaterita u obliku organiziranog, gusto pakiranog monosloja. Izlaganjem monosloja masnih kiselina ionizirajućem zračenju dolazi do umrežavanja susjednih alifatskih lanaca, odnosno dolazi do formiranja polimerne nanopreplake debljine svega jedne molekule. Takvo umrežavanje naziva se radijacijsko umrežavanje i odlikuje ga brzina i homogenost, odvija se pri sobnoj temperaturi, ne zahtjeva upotrebu toksičnih otapala i inicijatora te u isto vrijeme zračenje sterilizira cijeli materijal. Sve navedeno predstavlja prednost u usporedbi sa klasičnim umrežavanjem za primjenu kod isporuke lijekova.

U ovom radu su istraživani uvjeti formiranja monosloja stearinske kiseline (SK) na površinu vaterita i njegovog umrežavanja γ -zračenjem te su ispitivana svojstva nastalih materijala. Vaterit je sintetiziran taloženjem iz Na_2CO_3 - CaCl_2 sustava te je naknadno izlagan otopini SK prilikom čega je došlo do adsorpcije i samoorganizacije molekula na površini u monosloj. Nakon filtriranja i sušenja, dobiveni sustav je izložen γ -zračenju u prisutnosti i bez prisutnosti kisika, pri konstantnoj brzini absorbirane doze i različitim absorbiranim dozama zračenja. Morfološka i strukturna svojstva određivana su FTIR i TGA analizom. Hidrofobnost sustava određivana je mjerenjem kontaktnog kuta, a promjena boje sustava je određivana kolorimetrijom. Pretražna elektronska mikroskopija (SEM) korištena je za određivanje topografije uzoraka.

Dobiveni rezultati pokazuju da je izlaganjem γ -zračenju u prisutnosti kisika došlo do degradacije materijala, dok je u sustavu bez kisika došlo do umrežavanja SK.

Zahvaljujemo Hrvatskoj zakladi za znanost (HRZZ IP-2020-02-4344) na podršci istraživanju.

IN-SITU SIMULATION OF THERMO-HYDRO-MECHANICAL EFFECTS ON THE HOST ROCK AND BUFFER MATERIAL – URF IN ST. BARBARA MINE, RUDE, CROATIA

Galla Uroić

Fund for financing the decommissioning of the Krško Nuclear Power Plant and the disposal of Krško NPP radioactive waste and spent nuclear fuel, Ulica Vjekoslava Heinzela 70a, Zagreb, Croatia /Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottieva ulica 6, Zagreb, Croatia

E-mail: guroic@rgn.hr

As a part of scientific cooperation between Fund for financing the decommissioning of the Krško Nuclear Power Plant and the disposal of Krško NPP radioactive waste and spent nuclear fuel, Zagreb, Croatia and the University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering, long term in-situ simulation of thermo-hydro-mechanical (THM) effects in the host rock and buffer material was performed. The experiment was set up in an abandoned iron ore mine with a heating element made of 99.9% copper heated by an electric heater. The borehole and the heating element were made on a scale of 1:4, sodium bentonite was used as a buffer material, and the experiment included the installation of 50 sensors for measuring temperature and 6 sensors for measuring humidity. Measurements were performed for a year, after which certain sensors failed. In addition to the above, an experiment to determine the coefficient of linear heat expansion of rock and the rate of corrosion of copper in underground water were carried out. The results of the THM experiment were verified by a numerical model – simulation of THM effects on the host rock and buffer material. The results of the in-situ experiment and the numerical model correspond to each other and to results of similar experiments conducted in other programs. The aforementioned experiments served to gain the necessary experience of scientists involved in the work and development of the Croatian program for the disposal of spent nuclear fuel (SNF) and as an initial step in the development of the experimental part of the Croatian program. In addition to the mentioned research, three more projects were carried out in parallel, which included preliminary geological prospecting of the territory of the Republic of Croatia in terms of site selection, analysis of the possibility of SNF disposal in deep boreholes, and research on the diffusion of tritium through sealing and buffer materials.

As well as measurement of THM effects in the host rock and buffer material, measurements of radon concentrations were carried out. Concentrations were measured using Radon Scout Home detectors from Sarad, with repeated measurements several times every two months at two measurement points, occasional multi-hour measurements of radon concentrations in the mine, and measurements of radon concentrations in the soil air near the mine entrance using the RTM 2200 SG device for measuring radon and its progeny from Sarad.

Keywords: THM, host rock, buffer, bentonite, SNF, numerical model, radon, URF

RAD U ZONI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Matija Pisk, Jan Jamnik Srpčić

Nuklearna elektrana Krško, Vrbina 12, Krško, Slovenija

E-mail: matijapisk.mp@gmail.com

E-mail: jan.jamnik-srpcic@nek.si

U prezentaciji je izložen projekt izgradnje suhog skladišta za izrabljeno nuklearno gorivo, kao i radiološke mjere koje su poduzete, kako bi se projekt odvio sigurno i uz što manje kolektivne doze zračenja. Projekt je bio preduvjet za produljenje rada elektrane sa prvobitnih 40 na 60 godina. S prijenosom goriva u suho skladište, oslobodio se kapacitet bazena za prihvatanje budućeg izrabljenog goriva. U prezentaciji su bile opisane radiološke mjere, koje su doprinijele smanjenju doza, poput korištenja robotskog zavarivanja, treninga na maketama, dozimetrije te ALARA planiranja.

PROVOĐENJE AKTIVNOSTI ODNOSA S JAVNOŠĆU PRI USPOSTAVI CENTRA ZA ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA U HRVATSKOJ

Lara Kerep

Fond za financiranje razgradnje NEK, Ulica Vjekoslava Heinzela 70a, Zagreb, Hrvatska

E-mail: lara.kerep@fond-nek.hr

Kao lokacija budućeg Centra za zbrinjavanje nisko i srednje radioaktivnog otpada odabrana je lokacija Čerkezovac na Trgovskoj gori u Sisačko-moslavačkoj županiji. Fond je osnovao 2 Info centra kojima je cilj informiranje i uključivanje javnosti u tijek projekta. Fond za financiranje razgradnje NEK provodi niz aktivnosti kako bi informirao javnost o tematici zbrinjavanja radioaktivnog otpada i o tijeku uspostave Centra za zbrinjavanje RAO. Kako bi se lokalna javnost što bolje informirala o aktivnostima koje se provode na lokaciji Fond organizira obilaskne lokacije za sve zainteresirane. Lokalno stanovništvo je u organizaciji Fonda i slovačke tvrtke JAVYS posjetilo Mochovce odlagalište nisko i vrlo niskog radioaktivnog otpada te skladište institucionalnog radioaktivnog otpada. Tijekom prošle godine Fond je proveo ukupno 4 natječaja kojima je ukupno dodijeljeno 10 600 eura udrugama na području Općine Dvor. U suradnji sa Zavodom za javno zdravstvo Fond je sufinancirao testiranje uzoraka mesa na trihinelozu, te je proveo mobilnu mamografiju i pozive za testiranje raka debelog crijeva na području Općine Dvor. U 2024. godini Fond planira nastaviti sa donacijama na području Općine Dvor.

ENYGF 2025 I AKTIVNOSTI MREŽE MLADE GENERACIJE HRVATSKOG NUKLEARNOG DRUŠTVA

Lara Kerep¹, Matija Pisk²

*Fond za financiranje razgradnje NEK, Ulica Vjekoslava Heinzela 70a, Zagreb, Hrvatska¹
Nuklearna elektrana Krško, Vrbina 12, Krško, Slovenija²*

E-mail: lara.kerep@fond-nek.hr

Mreža mlade generacije Hrvatskog nuklearnog društva osnovana 3. ožujka 1999. Članovi Mreže mlade generacije ujedno su i članovi Hrvatskog nuklearnog društva (HND), mlađi od 39 godina, koji rade na područjima vezanim uz nuklearnu energetiku. MMG sudjeluje na raznim festivalima i izložbama vezanim za nuklearnu tematiku. Do sada je MMG organizirao 2. Foruma (2021. i 2023. godine) u Zadru.

Europski nuklearni forum (ENYGF) održat će se 2025. godine u Zagrebu. ENYGF će organizirati članovi MMG-a. Forum okuplja stručnjake iz nuklearne industrije na globalnoj razini – poduzeća, fakultete, istraživačke, državne institucije, itd. Svaki forum ima svoju temu, oko koje se (ne nužno striktno) slaže program, od prijave radova do hot topic sekcija. Određeni su datumi foruma (od 2. do 6. lipnja 2025. godine), mjesto održavanja (Hotel Internacional), napravljen je prvi preliminarni raspored i financijski plan.

PREDSTAVLJANJE ISTRAŽIVAČKIH PROJEKATA SSDL-A NA IRB-U

Luka Bakrač

Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

E-mail: lbakrac@irb.hr

Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij (SSDL) IRB-a nacionalni je umjerni laboratorij u području ionizirajućeg zračenja. Laboratorij prvenstveno provodi usluge umjeravanja detektora u područjima radioterapije i zaštite od zračenja. Uz to laboratorij sudjeluje u istraživanjima gdje je od prošle godine uključen u dva EURAMET-ova istraživačka projekta. Radi se o normativnim projektima TraMeXI i GuideRadPROS koji se bave problematikom sljedivosti umjeravanja u područjima dijagnostičke radiologije i zaštite od zračenja. Napretkom rendgenskih uređaja, porasla je razlika između spektara korištenih u kliničkim uvjetima i onih prema kojima se provode umjeravanja. Uz to, moderni detektori korišteni za provjeru kvalitete rendgenskih snopova sastoje se od mnoštva detektora te koriste softverska rješenja za izračun doze i popratnih veličina. Ove činjenice ukazuju na potrebu ažuriranja normi prema kojima se provode umjeravanja.

S druge strane, ICRU krajem 2020. godine predložio je nove operativne jedinice za zaštitu od zračenja, odnosno ažuriranje trenutno prihvaćenih jedinica ambijentalnog i osobnog doznog ekvivalenta. Cilj projekta je proučiti zahtjeve ovakvog prijedloga, te identificirati potencijalne buduće detektorske tehnologije.

Cilj oba projekta je postići ujednačene metode umjeravanja detektora, te predložiti nove zahtjeve za performanse trenutnih i nadolazećih detektorskih tehnologija u područjima dijagnostičke radiologije i zaštite od zračenja.

POSLIJEDIPLOMSKI TEČAJ O ZAŠTITI OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA I SIGURNOSTI PRI RADU S IZVORIMA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Antonia Bilić

Ministarstvo unutarnjih poslova, Zagreb, Hrvatska

E-mail: abilic3@mup.hr

Predavanjem ću prezentirati svoje iskustvo sudjelovanja na Poslijediplomskom tečaju o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti pri radu s izvorima ionizirajućeg zračenja i što je sve potrebno prije početka tečaja.

Poslijediplomski tečaj iz područja zaštite od ionizirajućeg zračenja u trajanju od nešto manje od 6 mjeseci. Tečaj se održava u Ateni u Grčkoj i podijeljen je u dva dijela. Tečaj se sastoji od 11 modula (kolegija), kojima se obrađuje općenito ionizirajuće zračenje, regulativa i sam rad s izvorima ionizirajućeg zračenja i sve potrebne mjere zaštite. Sastavni dio svakog modula su predavanja, vježbe/praktikumi i testovi znanja po završetku modula.

Tijekom tečaja se također posjećuju neke od djelatnosti koje se bave ionizirajućim zračenjem, a važan dio tečaja je i projektni rad na kojem svaki kandidat radi zasebno te ga na kraju tečaja prezentira svim sudionicima tečaja i predavačima.

EDUCATION OF SPECIALISTS IN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AT THE UNIVERSITY OF ZAGREB

Želimir Veinović

University of Zagreb Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, Croatia

E-mail: zelimir.veinovic@rgn.unizg.hr

The need for experts educated in the field of management of radioactive waste, spent nuclear fuel and NORM residues was detected during the 1950s. Bad practice in the management of the mentioned materials, legacy waste, lack of education and information for both experts and other stakeholders regularly represent a serious problem and obstacle for the development of the Radioactive Waste Management Program in every country. To overcome the mentioned problems, it is necessary to introduce some form of curriculum that deals with ionizing radiation protection and radioactive waste management into the education system at all levels.

In the Republic of Croatia, at the moment, courses devoted entirely to the management/disposal of radioactive waste, spent nuclear fuel and NORM residues are conducted only at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering (FMGPE) and Faculty of Chemical Engineering and Technology (FCET), University of Zagreb. Mentioned courses are:

- Graduate study of Mining (FMGPE):
 - Management and disposal of radioactive waste and spent nuclear fuel
 - Management of NORM residues in mining and mineral processing
- Postgraduate doctoral study "Applied Geosciences, Mining and Petroleum Engineering" (FMGPE):
 - Construction of underground spaces, tunnels and radioactive waste disposal facilities - ND3: Area of construction of underground radioactive waste disposal facilities
 - Environmental management - ND2: Management of naturally radioactive materials and low and medium radioactive waste
- University's interdisciplinary postgraduate specialist study Ecoengineering (FCET)
 - Management of radioactive waste and NORM residues.

Although the mentioned courses cover most of the fundamental knowledge about the technologies of management and disposal of radioactive and alike types of waste, the main advantage of the education of experts at FMGPE is the knowledge that students have acquired in other courses, which is necessary for the development of experts in this field. These courses provided students with knowledge of: physics, geology, mineralogy and petrology, engineering and hydrogeology, thermogeology, geophysics, soil dynamics, drilling, geodesy, GIS, material technology, transport, excavation, rock mechanics and soil mechanics, blasting, ecology and environmental protection, ventilation and drainage, measuring techniques and technology, geotechnical constructions, construction of underground spaces, tunnel construction, designing and planing, etc.

4. SKUP MLADIH HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

The effects and consequences of education at FMGPE are diploma theses, doctoral dissertations, scientific articles, participation in conferences, innovations, rectors' and other awards and participation in the promotion of science. Some of the former students of FMGPE work in the Croatian and UK program for the management of radioactive waste, the IAEA, domestic and foreign private companies active in this field.

In addition to the above, it is absolutely necessary to organize additional forms of education for future experts so that the Croatian program for the management of radioactive waste, spent nuclear fuel and NORM residues has continuity in the influx of experts.

Keywords: radioactive waste, spent nuclear fuel, management, disposal, education, Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering.