HDZZ CRPA

ZBORNIK RADOVA DESETOG SIMPOZIJA HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

PROCEEDINGS OF THE TENTH SYMPOSIUM OF THE CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

Urednici / *Editors*

Branko Petrinec
Tomislav Bituh
Mirta Milić
Nevenka Kopjar

Zagreb
2015

Zbornik radova 10. simpozija
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Proceedings of the 10th Symposium of the
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

Izdavač / *Published by*

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

Urednici / *Editors*
Branko Petrinec
Tomislav Bituh
Mirta Milić
Nevenka Kopjar

Tiskara / *Printing House*
Denona
Getaldićeva 1, Zagreb

Naklada / Copies
200

ISSN 1849-5060

HDZZ – *CRPA*
Zagreb, 2015

ISSN 1849-5060

10. SIMPOZIJ
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
s međunarodnim sudjelovanjem
Šibenik, Hrvatska
15.-17. travnja 2015.

10th SYMPOSIUM OF THE
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION
with international participation
Šibenik, Croatia
April 15-17, 2015

Organizator / *Organiser*

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

Suorganizatori / *Co-organisers*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Ruđer Bošković Institute, Zagreb

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb
State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb

Znanstveni odbor / *Scientific Committee*

Branko Petrinec (predsjednik / *chairman*)
Dinko Babić
Tomislav Bokulić
Zdenko Franić
Verica Garaj-Vrhovac
Nevenka Kopjar
Ines Krajcar Bronić
Gordana Marović
Mirta Milić
Saveta Miljanić
Iva Mrčela
Nevenka Novosel
Jelena Popić Ramač
Vanja Radolić
Mária Ranogajec-Komor

Organizacijski odbor / *Organising Committee*

Tomislav Bituh (predsjednik / *chairman*)
Iva Franulović
Goran Gajski
Marko Gerić
Hrvoje Hršak
Željka Knežević
Ivana Kralik
Marija Majer
Marina Poje
Jasminka Senčar
Marija Surić Mihić
Marko Šoštarić

Sponzori / *Sponsors*

ALARA uređaji d.o.o.
BISS d.o.o.
Jadransko osiguranje d.d.
LKB Vertriebs Ges.m.b.H.
Medicem servis d.o.o.
Mettler Toledo d.o.o.
PODZEMNO SKLADIŠTE PLINA d.o.o.
SELMET d.o.o.
Vatrogasna postrojba Grada Ivanić-Grada
VERN

Izlagači / *Exhibitors*

LKB Vertriebs Ges.m.b.H.

Dragi članovi HDZZ-a, poštovani sudionici 10. simpozija,

Deseti simpozij Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem je prilika da se osvrnemo na sve prethodne simpozije i da zajedno proslavimo ovaj jubilej druženjem u prekrasnom Šibeniku uz niz zanimljivih priopćenja. Našoj proslavi pridružili su se kolege prijateljskih društava za zaštitu od zračenja iz Mađarske, Slovenije, Srbije, Makedonije, a prijatelji iz Austrijskog društva za zaštitu od zračenja poslali su nam vrlo lijepu čestitku koju u cijelosti objavljujemo u ovom Zborniku.

Tijekom dvije godine protekle od našeg zadnjeg druženja na 9. simpoziju na Krku 2013. godine, Društvo je aktivno sudjelovalo u radu zajednice europskih društava za zaštitu od zračenja, sudjelovali smo na 4. Europskom IRPA kongresu u Ženevi 2014. godine i na simpozijima regionalnih društava za zaštitu od zračenja i drugih srodnih društava, a imamo i predstavnika u znanstvenom odboru 13. IRPA kongresa u Južnoafričkoj Republici 2016. Proveli smo i treći natječaj za najbolji znanstveni ili stručni rad iz područja znanosti o zračenju i zaštite od zračenja, a dobitnik nagrade dr. sc. Tomislav Bituh uspješno je sudjelovao na natjecanju mladih tijekom 4. Europskog IRPA kongresa. Ove godine raspisat ćemo novi natječaj, čiji će pobjednik predstavljati HDZZ u natjecanju tijekom IRPA-13 kongresa.

U Zborniku se nalazi ukupno 65 radova. Radovi su podijeljeni u 8 znanstveno-stručnih sekcija, uz prigodan rad posvećen jubilarnom simpoziju te pozvano predavanje prof. dr. sc. Dubravka Peveca. Objavljeni su svi u roku pristigli radovi. Radovi odražavaju stanovišta autora, a urednici su ispravili samo očite pogreške u tekstovima, te tehnički uredili i ujednačili izgled radova prema zadanom predlošku. Radovi su pisani ili na hrvatskom jeziku ili na engleskom jeziku, a svi radovi imaju i sažetke na engleskom jeziku. Kvaliteta i standard engleskog jezika odgovornost su autora jer tekstovi nisu posebno lektorirani. Radovi autora iz BiH i Srbije koji nisu pisani na engleskom jeziku, ostavljeni su u originalnom jezičnom obliku. Svi sažeci na engleskom jeziku bit će poslani nakon završetka simpozija u međunarodnu bazu INIS (International Nuclear Information System) koju održava IAEA (http://www.iaea.org/inis/) i u kojoj se već nalaze sažeci s prethodnih simpozija HDZZ-a. Kvaliteta grafičkih priloga također je odgovornost autora i u pojedinim slučajevima na nju nismo mogli utjecati. To se posebno odnosi na ilustracije koje su originalno u boji, a tisak Zbornika je u crno-bijeloj tehnici. Međutim, svi sudionici će i ove godine dobiti elektroničku verziju na USB prijenosnoj memoriji, a nakon Simpozija

elektronička verzija biti će dostupna na internetskim stranicama HDZZ-a (www.hdzz.hr) te će se svi grafički prilozi moći vidjeti u originalnim bojama.

Podsjećamo da je službeno glasilo HDZZ-a znanstveno-stručni časopis *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* (http://hrcak.srce.hr/aiht), koji u 2013. godini ima čimbenik odjeka (*Impact Factor*) 0,727. U časopisu se redovito objavljuju informacije vezane uz rad Društva. Ovom prigodom sve sudionike 10. simpozija HDZZ-a i članove Društva pozivamo da svoje znanstvene i stručne radove objavljuju u *Arhivu* i time aktivno pridonose njegovom daljnjem napretku. Uredništvu časopisa na razmatranje se mogu poslati i radovi pripremljeni za ovaj zbornik koje, ukoliko dosad nisu objavljivani, možete proširiti do veličine originalnog znanstvenog rada ili preglednog rada na engleskom jeziku.

I na kraju, nadamo se da će čitatelji u ovom zborniku naći korisne informacije i poticaj za svoj znanstveni i stručni rad u području znanosti o zračenju te zaštite od zračenja, a svim sudionicima simpozija želimo uspješan rad i ugodan boravak u Šibeniku.

Branko Petrinec, predsjednik ZO 10. HDZZ-a i urednik Zbornika
Tomislav Bituh, predsjednik OO 10. HDZZ-a i urednik Zbornika
Mirta Milić, urednica Zbornika
Nevenka Kopjar, urednica Zbornika i urednica Arhiva
Ines Krajcar Bronić, predsjednica HDZZ-a

Zagreb, travanj 2015.

SADRŽAJ

CONTENTS

Uvodna predavanja / *Introductory lectures*

I. Krajcar Bronić 3
Deset simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja 1992 - 2015
Ten symposia of the Croatian Radiation Protection Association 1992 - 2015

M. Hajek, A. Brandl 10
Greetings from the Austrian Radiation Protection Association (ÖVS)

D. Pevec 13
The potential of fission nuclear energy in resolving global climate change

Opće teme / *General topics*

H. Janžekovič 17
New European BSS - challenges and solutions

N. Novosel 23
EU Direktive u području radiološke i nuklearne sigurnosti i njihovo preuzimanje u hrvatsko zakonodavstvo
EU Directives in the field of radiological and nuclear safety and their transposition in Croatian legislation

A. Knapp, I. Levanat, V. Lokner, D. Šaponja-Milutinović 32
Stručna društva i besmislice u hrvatskoj regulativi
Professional associations and nonsenses in Croatian regulations

A. Knapp, I. Levanat, V. Lokner, D. Šaponja-Milutinović 38
Nekonzistentnosti u hrvatskoj strategiji zbrinjavanja radioaktivnog otpada
Inconsistencies in Croatian strategy of radioactive waste management

N. Maltar-Strmečki, B. Katušin-Ražem, D. Ražem 44
ESR study applied to thermal stability of radiation-induced species of solid ketoprofen

K. Marušić, M. Šegvić Klarić, A. Dumbović, B. Mihaljević 50
Pristup zaštite i spašavanja predmeta kulturne baštine primjenom ionizirajućeg zračenja
Protection of cultural heritage objects by ionizing radiation

M. Medvedec 56
Zaštita od zračenja zdravstvenih suradnika
Protection from radiation of allied health professionals

Z. Franić, S. Franić 62
Radioaktivnost i nuklearna tematika u hrvatskoj popularnoj kulturi
Radioactivity and nuclear themes in Croatian popular culture

B. Hanžek, Z. Franić 68
Vladimir Glumac - život, rad i djelo
Vladimir Glumac - life, work and opus

Dozimetrija zračenja / *Radiation dosimetry*

M. Ranogajec-Komor, MA. Duch, T. Haninger, C. Hranitzky, H. Dombrowski, P. Kleinau, Ž. Knežević, S. Neumaier, R. Rodriguez 77
Aktivnosti EURADOS organizacije na području dozimetrije čvrstog stanja u okolini
Activity of EURADOS in environmental solid state dosimetry

J. Šiško, M. Surić Mihić, T. Meštrović, I. Prlić 83
Prekomjerne doze izmjerene osobnim dozimetrima
Excessive doses recorded during personal dosimetry monitoring

H. Hršak, M. Majer, T. Grego, J. Bibić, Z. Heinrich 89
Kutna zavisnost detektora u dozimetriji za gama - nož radiokirurgiju
Directional dependence of detectors in dosimetry for gamma - knife radiosurgery

T. Grego, H. Hršak, M. Majer, J. Bibić, Z. Heinrich 95
Mjerenje profila kompozitnih raspodjela doze gama-noža - preliminarni rezultati
Dose profile measurements of composite gamma-knife dose distributions - preliminary results

L. Barišić, T. Grego, J. Bibić, A. Buinac, M. Murković, N. Kovačević, J. Babić, H. Hršak 101
3D conformal radiation therapy (3D-CRT) versus intensity modulated radiation therapy (IMRT) for anal carcinoma case at UHC-Zagreb

M. Murković, T. Grego, J. Bibić, A. Buinac, L. Barišić, J. Babić, N. Kovačević, H. Hršak 107
Dosimetric effects of different treatment tables during radiotherapy

Biološki učinci zračenja / *Biological effects of radiation*

S. Žužul, J. Pejaković-Hlede, I. Žura Žaja, M. Majer, M. Vilić 115
Adaptivni odgovor koštane srži pijetlova nakon ozračivanja gama zračenjem
Adaptive response of hematopoietic system of chickens after exposure to gamma radiation

J. Pejaković-Hlede, J. Dotur, S. Pašić, Ž. Gottstein, M. Majer, M. Vilić 121
Titar protutijela za virus newcastleske bolesti u pilića lake pasmine nakon ozračivanja gama zrakama
Antibody level upon Newcastle disease virus in chicken after exposure to gamma radiation

V. Benković, M. Milić, A. Horvat Knežević, S. Halovanović, N. Borojević, N. Oršolić 126
The role of sevoflurane and ionising radiation on the level of primary DNA damage measured in blood and different organs of Swiss albino mice by the alkaline comet assay

M. Gerić, G. Gajski, B. Mihaljević, S. Miljanić, V. Garaj-Vrhovac 132
Possible radio-modulating properties of sodium copper chlorophyllin
N. Kopjar, S. Žunec, A. Lucić Vrdoljak, D. Želježić, M. Mladinić 138
Short-term exposure to visible and ultraviolet light modulates dacarbazine toxicity to human blood cells in vitro
M. Osvay 145
Effects of low dose radiation

Izloženost stanovništva zračenju / *Public exposure*

Z. Franić, G. Marović, G. Branica, J. Senčar 153
Radioaktivna kontaminacija srdela i papalina konzumiranih u Republici Hrvatskoj
Radioactive contamination of pilchards and sprats consumed in the Republic of Croatia
A. Angeleska, E. Dimitrieska-Stojkovic, R. Uzunov, Z. Hajrulai-Musliu, B. Stojanovska-Dimzoska, D. Jankuloski, R. Crceva-Nikolovska 159
Estimation of effective dose in ingestion of food crops for ^{137}Cs
D. Deljkić, I. Kadić, Z. Ilić, A. Vidic 165
Radioactivity levels and gamma dose rate in soil samples from Federation of Bosnia and Herzegovina
A. Kasić, F. Adrović, A. Kasumović, E. Hankić 170
Radon activity concentration and estimate of the annual effective dose rate in air of mineral and thermal springs of Bosnia and Herzegovina
I. Kadić, D. Deljkić, Z. Ilić 176
Mjerenje koncentracije aktivnosti radona u predškolskim i školskim ustanovama na području općine Bosanska Krupa
Radon measurements in preschool and school facilities in the municipality of Bosanska Krupa
V. Radolić, D. Stanić, I. Miklavčić, M. Poje, M. Mužević, I. Krpan, B. Vuković 181
Koncentracije radona u školama i vrtićima u Ličko-senjskoj i Karlovačkoj županiji
Concentrations of radon in kindergartens and schools in Lika-Senj and Karlovac counties
D. Stanić, V. Radolić, M. Poje, I. Miklavčić, M. Mužević, I. Krpan, A. Pavlačić, B. Vuković 187
Mjerenje radona na Sveučilištu u Osijeku i Veleučilištima u Slavoniji
Measurement of radon at University of Osijek and Colleges of applied sciences in Slavonija region

Zaštita od zračenja u medicini / *Radiation protection in medicine*

Đ. Milković, M. Ranogajec-Komor, S. A. Anzić, I. Žagar 195
Efekti niskih doza zračenja na timus u pedijatrijskoj radiologiji
Effect of small doses on the thymus in pediatric chest X ray

J. Popić Ramač, M. Majer, Ž. Knežević, H. Hršak, S. Miljanić 201
Organ doses and associated cancer risks for CT examinations of thorax

Ž. Knežević, M. Majer, S. Miljanić u ime EURADOS radne grupe 207
Sekundarno zračenje u protonskoj radioterapiji - preliminarni rezultati mjerenja s pasivnim dozimetrima
Secondary radiation in proton radiotherapy - preliminary results for measurements with passive dosimeters

M. Majer, Ž. Knežević, S. Miljanić u ime Radne grupe 9 EURADOS-a 213
Periferne doze pri radioterapijskim tretmanima karcinoma mozga kod djece
Out-of-field dose measurements for radiotherapy of brain tumors in paediatric patients

M. Mlinarić, M. Budanec, M. Gregov, I. Mrčela, T. Bokulić, Z. Kusić 219
Određivanje atenuacije sustava za postavljanje bolesnika u radioterapiji
Assessment of attenuation by patient immobilization system in radiotherapy

M. Gregov, T. Bokulić, M. Budanec, I. Mrčela, M. Mlinarić, Z. Kusić 225
Analiza odstupanja položaja pacijenta u radioterapiji glave i vrata
Analysis of patient set-up errors in head and neck radiotherapy

Radioekologija/ *Radioecology*

G. Branica, Z. Franić, G. Marović 235
Radioekološki aspekti zaštite od zračenja
The radioecological aspects of radiation protection

I. Jakovljević, G. Pehnec, V. Vađić, G. Marović, M. Surić Mihić, J. Senčar, R. Godec, S. Davila 241
Onečišćenja zraka u planinsko-urbanom području
Air pollution in the mountain-urban areas

Z. Ilić, A. Vidic, D. Deljkić, I. Kadić 247
Radioactivity of atmospheric aerosols in Sarajevo

M. Čačković, G. Marović, V. Vađić, S. Žužul, D. Babić, J. Senčar 253
Radioaktivnost taložne tvari
Radioactivity of deposited matter

T. Bituh, G. Marović 258
^{226}Ra u procjednim vodama oko odlagališta fosfogipsa
^{226}Ra in trickling waters from the vicinity of a phosphogypsum deposition site

J. Kožar Logar, T. Vodopivec 263
Tritium measurements along the Sava River
I. Franulović, G. Marović, J. Senčar 269
Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u toku rijeke Save u Republici Hrvatskoj
^{90}Sr activity levels in the Croatian part of the Sava River course
N. B. Sarap, M. M. Janković, D. J. Todorović, M. M. Rajačić 275
Radiostrontium (^{90}Sr) in river and tap waters from Serbia
L. Saračević, N. Gradaščević, N. Mujić, D. Samek 281
Monitoring radioaktivnosti u okolišu termoelektrane Tuzla, Bosna i Hercegovina
Radioactivity monitoring in suroundings of the coal-fired power plant Tuzla, Bosnia and Herzegovina
A. Kandić, B. Šešlak, M. Đurašević, M. Erić, I. Vukanac, Z. Milošević, Z. Marković 286
Određivanje međusobnih odnosa specifičnih aktivnosti uzoraka uglja, pepela i šljake iz termoelektrane "Kolubara", Srbija
Determination of mutual ratios for specific activity in coal, slag and fly-ash samples from "Kolubara" power plant, Serbia
N. Horvatinčić, A. Sironić, J. Barešić, N. Todorović, J. Nikolov, J. Hansman, M. Krmar 292
Primjena radioaktivnih izotopa ^{14}C, ^{137}Cs i ^{210}Pb u istraživanju jezerskog sedimenta
Application of radioactive isotopes ^{14}C, ^{137}Cs and ^{210}Pb in investigation of lake sediments
D. Babić, M. Avdić, T. Bituh, G. Branica, Z. Franić, I. Franulović, M. Kolar, G. Marović, B. Petrinec, Lj. Petroci, I. Prlić, J. Senčar, B. Skoko, M. Šoštarić 299
Radioaktivnost u okolišu NP Plitvička Jezera 1: tlo, jezerska i riječna voda
Environmental radioactivity in the Plitvice Lakes National Park 1: soil, lake water, and river water
G. Marović, M. Avdić, D. Babić, T. Bituh, G. Branica, Z. Franić, I. Franulović, M. Kolar, B. Petrinec, Lj. Petroci, I. Prlić, J. Senčar, B. Skoko, M. Šoštarić 305
Radioaktivnost u okolišu NP Plitvička Jezera, 2. dio: živi organizmi
Environmental radioactivity in the Plitvice Lakes National Park, part 2: living organisms
D. Pavičić-Hamer, D. Kablar, D. Barišić 311
Praćenje radioaktivnosti u dagnje *Mytilus galloprovincialis* Sjevernog Jadrana
Monitoring of radioactivity in mussel Mytilus galloprovincialis *in the northern Adriatic Sea*

Z. Franić, B. Petrinec, G. Marović 317
Med kao bioindikator radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj
Honey as a bioindicator of environmental radioactive contamination in Croatia

B. Petrinec, D. Babić, T. Bituh, Z. Franić, G. Marović, I. Franulović, B. Skoko, M. Šoštarić 323
Terenska metoda procjene radioaktivnosti u okolišu
On-site assessment methods for environmental radioactivity

Neionizirajuća zračenja / *Nonionising radiation*

D. Poljak, M. Cvetković, H. Dodig, A. Peratta 331
Advanced electromagnetic-thermal dosimetry methods for the human exposure to high frequency electromagnetic fields

Instrumentacija i mjerne tehnike / *Instrumentation and measuring techniques*

M. Šoštarić, B. Petrinec, D. Babić 341
Određivanje radioaktivnosti u zraku - utjecaj uzorkovanja na vremensku korekciju rezultata
Quantification of radioactivity in air - influence of sampling on the time correction of results

I. Prlić, M. Surić Mihić, M. Hajdinjak, Z. Cerovac, T. Bituh, J. Tončić 347
Lokalno pozadinsko prirodno ionizirajuće zračenje - referentna lokacija na istraživačkom poligonu Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba
Local background natural ionising radiation - a reference location at the research polygon of the Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

R. Krištof, J. Kožar Logar 353
The ^{14}C direct method counting protocol optimization for quenched samples

I. Krajcar Bronić, J. Barešić, N. Horvatinčić, R. Krištof, J. Kožar Logar 360
Nova tehnika određivanja udjela biogene komponente u tekućim gorivima metodom ^{14}C
New technique of determination of biogenic fraction in liquid fuels by the ^{14}C method

M. Nodilo, I. Coha, G. Karanović 366
Primjena teorijskog modela linearne kromatografije u određivanju čistih beta emitera
Linear chromatography theoretical model application in determination of pure beta emitters
I. Stojković, N. Todorović, J. Nikolov, I. Krajcar Bronić, D. Borković, J. Barešić, A. Sironić 372
Optimization of ^{90}Sr screening method in waters via Cherenkov radiation
N. Todorović, I. Stojković, J. Nikolov, B. Tenjović 378
^{222}Rn determination in drinking waters - RAD7 and LSC technique comparison
G. Pantelić, M. Živanović, M. Rajačić, J. Krneta Nikolić, D. Todorović 384
QA/QC for radon concentration measurement with charcoal canister
I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, J. Barešić 390
Rezultati laboratorija za mjerenje niskih radioaktivnosti (IRB) u međunarodnim interkomparacijama TRIC2012 i SIRI-^{14}C
Results of the laboratory for low-level radioactivity (RBI) in international intercomparisons TRIC2012 and SIRI-^{14}C
M. Justić, D. Kosmina, I. Mrčela, M. Surić Mihić, M. Šoštarić, I. Prlić 396
Brza metoda provjere radioaktivnog onečišćenja radne okoline pri radu s otvorenim izvorima zračenja
Fast method for the assessment of occupational radioactive contamination originating from open sources of radiation
P. Dučkić, K. Trontl, D. Pevec 402
Research and development of Point-Kernel method application in radiation shielding
M. Matijević, D. Pevec, K. Trontl 408
SCALE6.1 hybrid shielding methodology for the spent fuel dry storage

Popis autora / *Author index* 417

UVODNA PREDAVANJA

INTRODUCTORY LECTURES

DESET SIMPOZIJA HRVATSKOGA DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA 1992 - 2015

Ines Krajcar Bronić
Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja i Institut Ruđer Bošković, Zagreb
krajcar@irb.hr

UVOD

Održavanje 10. simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja (HDZZ) s međunarodnim sudjelovanjem prilika je da se osvrnemo na prethodne simpozije i radove prikazane na njima. Također, ovo je još jedna prigoda za proslavu, nakon obilježavanja 30. obljetnice osnivanja HDZZ-a 2009. godine [1] i 50 godina organizirane zaštite od zračenja u regiji, čemu je bio posvećen prošli, 9. simpozij [2].

PRVIH 10 SIMPOZIJA

Prostorno, prva 4 simpozija održana su u Zagrebu (Tablica 1), a nakon toga smo se počeli udaljavati od glavnog grada. Dva puta smo bili u Stubičkim Toplicama, zatim u Opatiji, slijedila su dva simpozija u Krku na otoku Krku, a jubilarni - deseti - simpozij obilježavamo na dosad najvećoj udaljenosti od Zagreba.

Vremenski, prva 4 simpozija održana su u jesen. Kasniji simpoziji održavaju se u proljetnim mjesecima, većinom u travnju. Zadnja tri simpozija održavaju se u neparnim godinama između velikih svjetskih i europskih IRPA kongresa. Europski (općenito kontinentalni) kongresi zamijenili su više različitih regionalnih kongresa iz ranijeg razdoblja [1].

Iz prikazanih godina održavanja simpozija uočljivo je petogodišnje razdoblje neodržavanja simpozija između 4. i 5. simpozija. Ali to ne znači da HDZZ i u tom razdoblju nije organizirao skup. Naime, u Dubrovniku je 2001. godine organiziran regionalni kongres o zaštiti od zračenja u centralnoj Europi s temom "*Radiation Protection and Health*" (Zaštita od zračenja i zdravlje) [3]. Na tom, "našem" regionalnom kongresu sudjelovalo je 229 znanstvenika i stručnjaka iz 29 zemalja sa 180 priopćenja.

Svaki simpozij bio je praćen tiskanjem zbornika radova [2,4-11], a na prošlom simpoziju sudionici su prvi put ujedno dobili USB memorijski štapić s elektroničkom verzijom Zbornika. Na web stranici Društva www.hdzz.hr dostupne su elektroničke verzije zbornika 8., 9. i ovog, 10.

simpozija. Broj radova objavljenih u zbornicima varira između 44 i 87, u prosjeku 66. Većina radova je na simpozijima i predstavljena, najprije kao usmena priopćenja, a od 8. simpozija i kao posterske prezentacije. Autori objavljenih radova nisu samo stručnjaci i znanstvenici iz Hrvatske, nego i iz inozemnih društava za zaštitu od zračenja, pa u prosjeku među objavljenim radovima ima oko 20 % radova inozemnih autora i koautora, čime je puni naziv ove serije simpozija koji sadrži izraz "s međunarodnim sudjelovanjem" u potpunosti opravdan.

Tablica 1. Mjesto i vrijeme održavanja simpozija HDZZ-a između 1992. i 2015. godine te broj objavljenih radova u zborniku

Simpozij	**Mjesto održavanja**	**Vrijeme održavanja**	**broj radova**
1	Zagreb	24.-26.11.1992.	68 [4]
2	Zagreb	23.-25.11.1994.	60 [5]
3	Zagreb	20.-22.11.1996.	62 [6]
4	Zagreb	11.-13.11.1998.	55 [7]
5	Stubičke Toplice	09.-11.04.2003.	63 [8]
6	Stubičke Toplice	18.-20.04.2005.	79 [9]
7	Opatija	29.-31.05.2008.	44 [10]
8	Krk	13.-15.04.2011.	80 [11]
9	Krk	10.-12.04.2013.	87 [2]
10	Šibenik	15.-17.04.2015.	65

TEMATSKE CJELINE

Svaki simpozij imao je uvodna ili pozvana, odnosno na neki način posebno izdvojena predavanja. Na Prvom simpoziju 1992. godine [4] Radoslav Despotović je prikazao pregled sudjelovanja hrvatskih znanstvenika i stručnjaka na simpozijima Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja (JDZZ) u razdoblju od 1963. do 1991. To je istraživanje prošireno na doprinose pojedinih autora i prikazano na Drugom simpoziju 1994. godine koji je obilježio petnaestu obljetnicu osnivanja HDZZ-a kao hrvatskoga zemaljskoga društva [5]. Na Trećem simpoziju 1996. godine tri uvodna izlaganja obilježila su: sto godina zaštite od zračenja (Petar Strohal), deset godina nesreće u Černobilju (Vladimir Knapp) i odjeke otkrića radioaktivnosti u Hrvatskoj u prvoj polovini 20. stoljeća (Dušan Ražem) [6]. Četvrti simpozij obilježio je stotu obljetnicu otkrića radija (Vladimir Lokner), te početak prilagodbe hrvatskog zakonodavstva onome Europske

unije (Antun Benčić) [7]. Na Petom simpoziju prikazan je pregled sudjelovanja hrvatskih sudionika na nacionalnim i međunarodnim kongresima o zaštiti od zračenja u razdoblju 1992. - 2002. (I. Krajcar Bronić i M. Ranogajec-Komor) [8]. Povodom Svjetske godine fizike (2005.) na Šestom simpoziju je Goran Pichler održao predavanje o izvorima svjetlosti i svjetlosnom zagađenju koje je povezalo fiziku i zaštitu od zračenja [9]. Na tom je simpoziju održan okrugli stol s temom Plan pripravnosti za slučaj nuklearne ili radiološke opasnosti. Sedmi simpozij 2008. godine organiziran je u suradnji s Društvom za zaštitu od neionizirajućih zračenja "Albert Einstein". Pozvano predavanje o bakteriji otpornoj na zračenje održala je Ksenija Zahradka [10]. Na Osmom simpoziju [11] uvodno predavanje održao je V. Chumak iz Ukrajine o retrospektivnoj dozimetriji i iskustvima nakon Černobiljskog akcidenta. Okrugli stol bavio se akreditacijom mjeriteljskih laboratorija i kontrolom kvalitete, a simpozij je, kao i cijelu 2011. godinu na globalnoj razini, obilježila nesreća u nuklearnoj centrali Fukushima u Japanu. Stoga je program Simpozija nadopunjen aktualnim satom na kojem se stručno i znanstveno utemeljeno raspravljalo o uzrocima i posljedicama nesreće. 50 godina organizirane zaštite od zračenja u regiji koja počinje osnivanjem JDZZ-a u Portorožu 1963. godine obilježeno je na Devetom simpoziju 2013. godine trima predavanjima predstavnika društava za zaštitu od zračenja iz Hrvatske, Slovenije i Srbije [2].

Pregled tematskih cjelina (sekcija) po simpozijima (Tablica 2) prikazuje razvoj zaštite od zračenja i povezanih znanstvenih područja u Hrvatskoj nakon 1992. godine. Kretanje broja radova po pojedinim sekcijama prikazano je na Devetom simpoziju [2].

Sekcija "Opće teme" prisutna je na svim simpozijima osim na prvom. U toj se sekciji prikazuju različiti opći aspekti zaštite od zračenja - zakonodavstvo i usklađivanje s pravnim stečevinama Europske unije, nuklearna sigurnost, nuklearni i radiološki terorizam, edukacija, uključivanje javnosti, suradnja s međunarodnim organizacijama, povijest zaštite od zračenja, biografije poznatih znanstvenika, itd. U ovoj sekciji prikazani su i neki prvi radovi o osiguranju i kontroli kvalitete [5,7,9,10], kao i neki aspekti odlaganja nisko i srednje radioaktivnog otpada [2,5,6].

Sekcija "Dozimetrija zračenja" održava se na svim simpozijima, bilo kao samostalna sekcija ili kao "Dozimetrija i instrumentacija". Primijećeno je da se prijavljuju radovi o instrumentaciji i mjernim tehnikama koji nisu vezani isključivo uz dozimetriju zračenja. Kao primjer navodimo sekciju "Radioekologija" u okviru koje su se na 5. i 8. simpoziju [8,11] prikazali

Tablica 2. Nazivi tematskih cjelina (sekcija) kao što su navedene u zbornicima simpozija HDZZ-a [2,4-11]. Osjenčana polja predstavljaju sekcije na danom simpoziju. Za neke sekcije navedene su i pod-teme.

Redni broj simpozija / **Sekcija**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Uvodna, pozvana, posebna predavanja										
Opće teme										
Dozimetrija (zračenja)										
Dozimetrija i instrumentacija										
Biološki učinci zračenja										
Tehnologija nuklearnog otpada										
Zbrinjavanje radioaktivnog otpada										
Tehnologija										
Meteorologija, geofizika, oceanografija										
Radioizotopi u okolišu										
Radioekologija					metode			metode		
Radon										
Izloženost stanovništva					i djelatnika	radon		radon	radon	radon
Zaštita od zračenja u medicini										
Neionizirajuća zračenja										
Instrumentacija i mjerne tehnike										

radovi o metodama mjerenja u radioekologiji. Stoga je na 9. i 10. simpoziju izdvojena posebna sekcija "Instrumentacija i mjerne tehnike". Osim radova posvećenih razvoju instrumentacije i mjernih tehnika na svim područjima zaštite od zračenja, uključeni su radovi s temom osiguranja i kontrole kvalitete te sudjelovanje u poredbenim mjerenjima (interkomparacijama).

Sekcija "Biološki učinci zračenja" također je prisutna na svim simpozijima, dok se sekcija "Zaštita od zračenja u medicini" javlja kao posebna sekcija na 4. simpoziju, iako su i na prethodnim simpozijima prikazani radovi iz tog područja unutar nekih drugih sekcija.

Sekcije "Radioizotopi u okolišu" i "Meteorologija, geofizika, oceanografija" prisutne na prva dva simpozija kasnije se objedinjuju u sekciju "Radioekologija", koja postaje najzastupljenija tematska cjelina simpozija. Na nekim simpozijima (2. do 5., te 7. simpozij) izdvojena je sekcija "Radon", dok su "radonske" teme na 6., te 8., 9. i 10. simpoziju uključene u tematsku cjelinu "Izloženost stanovništva zračenju".

Na prva 4 simpozija bile su zastupljene sekcije s temom tehnologije nuklearnog otpada i njegova zbrinjavanja. Na sljedećim simpozijima se povremeno pojave radovi na temu radioaktivnog otpada (npr. 5. i 9. simpozij) unutar drugih sekcija.

Na 5. simpoziju pojavljuje se posebna sekcija "Neionizirajuća zračenja", iako su radovi iz tog područja, prvenstveno zbog sve češće primjene mikrovalne tehnike, ultrazvuka u medicini, razvoja telekomunikacija i upotrebe mobilnih telefona, prisutni na svim prethodnim simpozijima.

ZAKLJUČAK

Simpoziji Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja jedinstvena su prilika susreta znanstvenika i stručnjaka različitih profila kojima je poveznica zračenje, odnosno znanost o zračenju i zaštita od zračenja. Pregled prvih deset simpozija pokazuje dugu tradiciju djelovanja hrvatskih znanstvenika i stručnjaka na raznim područjima zaštite od zračenja i znanosti o zračenju, ali i promjene žarišta interesa u skladu s globalnim promjenama. Posebne teme koje su obilježile pojedine simpozije pokazuju da se prate aktualni svjetski događaji i obilježavaju obljetnice važne za zaštitu od zračenja općenito i one važne za zaštitu od zračenja u Hrvatskoj.

Uz sudionike iz Hrvatske, na skupu redovno sudjeluju i kolege iz inozemnih društava za zaštitu od zračenja, ukazujući tako na potrebu za međunarodnom razmjenom iskustava i znanja u ovom interdisciplinarnom području koje ne poznaje državne granice.

Zahvala

Svim članovima HDZZ-a kao i svim sudionicima simpozija na brojnim i kvalitetnim prilozima. Bez aktivnih članova ne bi bilo ni uspješnih simpozija.

LITERATURA

[1] Krajcar Bronić I, Miljanić S. Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja - prvih 30 godina. U: Mjesta dodira: Fizika i medicina, Kroz život i djelo prof. dr. sc Bože Metzgera. Pećina M, Fatović-Ferenčić S, ur. Zagreb. HAZU; 2011. str. 127-139.

[2] Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 10-12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Urednici: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ISBN 978-953-96133-8-7, Zagreb. HDZZ; 2013.

[3] Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe: Radiation Protection and Health, May 20-25, 2001; Dubrovnik, Croatia. Editors: Obelić B, Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Krajcar Bronić I. Zagreb: HDZZ; 2002.

[4] Zbornik radova Prvog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 24-26. studenoga 1992; Zagreb, Hrvatska. Redakcijski odbor: Despotović R, Kubelka D, Obelić B, Osmak M, Picak V, Ranogajec-Komor M, Salaj-Obelić I. Zagreb: HDZZ; 1992.

[5] Zbornik radova Drugoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 23-25. studenoga 1994; Zagreb, Hrvatska. Urednici: Franić Z, Kubelka D. ISBN 953-96133-0-2, Zagreb: HDZZ; 1994.

[6] Zbornik radova Trećeg simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 20-22. studenoga 1996; Zagreb, Hrvatska. Urednici: Kubelka D, Kovač J. ISBN 953-96133-1-0, Zagreb: HDZZ; 1996.

[7] Zbornik radova Četvrtog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 11-13. studenoga 1998; Zagreb, Hrvatska. Urednici: Obelić B, Franić Z, ISBN 953-96133-2-9, Zagreb: HDZZ; 1998.

[8] Zbornik radova Petog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 9-11. travnja 2003; Stubičke Toplice, Hrvatska. Urednici: Krajcar Bronić I, Miljanić S, Obelić B, ISBN 953-96133-4-5, Zagreb: HDZZ; 2003.

[9] Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 18-20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. Urednici: Garaj-Vrhovac V, Kopjar N, Miljanić S, ISBN 953-96133-5-3, Zagreb: HDZZ; 2005.

[10] Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 29-31. svibnja 2008; Opatija, Hrvatska. Urednici: Barišić D, Grahek Ž, Krajcar Bronić I, Miljanić S, ISBN 978-953-96133-6-3, Zagreb: HDZZ; 2008.

[11] Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 13-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Urednici: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ISBN 978-953-96133-7-0, Zagreb. HDZZ; 2011.

TEN SYMPOSIA OF THE CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION 1992 - 2015

Ines Krajcar Bronić
Croatian Radiation Protection Association and Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
krajcar@irb.hr

Tenth Symposium of the Croatian Radiation Protection Association (CRPA) with international participation gives us an opportunity to analyse and evaluate all ten symposia. The symposia were held first in Zagreb in two-year intervals (1992, 1994, 1996, 1998). Regularity of national symposia was interrupted by the organization of the Regional IRPA Congress in Dubrovnik 2001. The following two symposia (2003, 2005) were held in Stubičke Toplice Spa nearby Zagreb, while the Seventh Symposium moved to the Adriatic coast (Opatija, 2008) and was followed by two symposia in the city of Krk on the Krk Island (2011, 2013). Since 2011 the symposia are held in years between the world and European IRPA congresses.

For each symposium the proceedings were prepared containing full papers of all presentations. The number of papers published per proceedings varied between 44 and 87, being 66 on average. The contributors have been mainly members of CRPA. However, authors from neighbouring countries and their societies (Austria, Bosnia and Herzegovina, Germany, Hungary, Kosovo, Macedonia, Montenegro, Poland, Slovenia, Serbia, Romania, and also USA, Japan) have contributed to about 20 % of papers.

On each symposium there were lectures devoted to special occasions, such as 100 years of radiation, 50 years of radiation protection in the region, accreditation and quality control issues, the World Year of Physics (2005) or the Fukushima nuclear accident (2011). The topical sections showed a broad range of interest of the radiation protection community in Croatia and also witnessed some changes in their priorities. Several topics have remained constantly present, such as radioecology, biological effects of radiation, radiation protection in medicine, public exposure, and dosimetry.

In conclusion, symposia of CRPA with international participation represent a unique opportunity to scientists and practitioners of various profiles to exchange knowledge and experience in this interdisciplinary field of radiation protection in a stimulating international environment.

ÖSTERREICHISCHER VERBAND
FÜR STRAHLENSCHUTZ
AN IRPA ASSOCIATE SOCIETY

Dear Madam President,
Dear Colleagues of the CRPA,

It is of great pleasure and honour for the Austrian Radiation Protection Association (ÖVS) to be invited to attend the 10th Symposium of the Croatian Radiation Protection Association (CRPA). Unfortunately, we are unable to attend in person at this beautiful and historic venue in Šibenik, but we gladly relay our most heartfelt greetings and congratulations to you.

Our associations share a long-standing tradition of common endeavours and close collaboration. We were integral parts of the symposia series organised by the Central and Eastern European radiation protection associations which we remember as the "Monarchy Symposia". As some of the "smaller" associations in the neighbourhood of countries with a larger community of radiation protection professionals, we fared exceptionally well with our close professional collaborations and our personal friendships. It, therefore, does not come as a surprise that we are still successful, both on the European as well as on the international level, in representing our countries' radiation protection professionals and their activities. We are part of a common European platform of societies of the International Radiation Protection Association (IRPA) where we are actively engaged in the international dialogue, and where we enjoy voices equal to those of our larger sister societies. And together, we have been and are able to influence the European radiation protection environment and IRPA initiatives and policies. We are looking forward to many more years of this fruitful and enjoyable cooperation between our respective societies.

We are intrigued by the breadth and comprehensive nature of the symposium programme, covering the most important sub-fields in our profession, and spanning topics from radiation dosimetry to radiobiology, from instrumentation and measurement to radioecology, and from radiation protection for workers and in medicine to our professional responsibilities towards the general public. These topics are, at the same time, timeless and current, providing testimony to the fact that the science of radiation protection is not exhausted, as might have been claimed by individuals who

are not as intimately involved in the subject as our members, but instead that progress in our work is still abound. Novel applications of ionizing and non-ionizing radiation, including new modalities in the fields of medical therapy and diagnosis, a resurgence of nuclear energy generation in some parts of the globe, combined with increased efforts for decontamination and decommissioning of existing sites and facilities, they all attest to the continued need for further research and our professional input and discussion. The 10th Symposium of the CRPA is a perfect venue to share new developments and findings and provides an excellent platform for both formal and informal discussions.

As professionals in a dynamic field we also realize that we need to pay attention to emerging challenges in the workplace and in our communication with the general public. Our recognition that cataract might not require a threshold dose for initiation has resulted in new dose limits for the lens of the eye. We are tasked with finding suitable monitoring routines for lens dosimetry. We have come to understand that effective and efficient radiation protection cannot be administered by radiation protection professionals alone, but that "safety culture" in the licensee or operator organisation might enhance the efficacy of a radiation protection programme. We have developed a sense for how we, as a community of professionals, should comport ourselves in order to provide our services with integrity, leading to international efforts to summarize our creed in appropriate Codes of Ethics. IRPA has published an internationally approved Code and has asked its member societies to adopt this or similar documents for their members. CRPA prominently displays the IRPA Code of Ethics on its website; and ÖVS provides a German translation to the members. The 2015 Annual Spring Meeting of the ÖVS on 28 May, 2015, will be dedicated to the topic of ethics in radiation protection this year. And, finally, we have realized that our use of scientific jargon and the interpretation of data with their associated uncertainties may be perceived as confusing or, even worse, contradictory by the public. Efforts to improve our general "communication skills" outside our profession have only started. Our associations are faced with a set of novel questions and challenges which merit our attention, and hopefully can be addressed more efficiently by continued collaboration.

One of the biggest current challenges our profession faces globally, however, is our aging workforce. While we, as the radiation protection community, have been pointing out the necessity for an emphasis on education and training of the next generation of radiation protection

professionals for quite some time, it has hardly been formulated with such urgency as the recent Statement No. 12 (Where Are the Radiation Professionals (WARRP)?) by the United States National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). In its findings, the NCRP state that "evidence presented […] revealed that the country is on the verge of a severe shortfall of radiation professionals such that urgent national needs will not be met". Although this statement specifically addresses the situation in the United States, we could extrapolate from the globally wide-spread use of radiation technologies in medicine and the re-emergence of nuclear power generation in some parts of the world that similar conclusions might have to be drawn for our countries.

We, the national radiation protection associations, will have a role to play in both, the advocacy of increased efforts to educate and train our future professionals and the retention of those professionals in our field. Prizes and awards for young scientists and professionals at the national and European, and lately also the international level, student exchange programmes, or conference travel stipends might serve as initiators or motivators for young people to enter the field. Regional and international programmes for mutual recognition of education, training, and professional certification might render the job market more attractive and would allow increased flexibility in an individual's professional development. It is on us, the current generation, to provide an environment sufficiently welcoming to our successors to allow for a successful transition of the radiation protection workforce. And rather than developing isolated solutions, collaborations, such as the one between our respective associations, would be in a much better position for the design and implementation of sustainable programmes.

We are excited about the opportunity to face many of these challenges together with like-minded colleagues in the CRPA, and we hope that we can continue our common efforts and our exchanges of ideas and scientific findings for many years to come. We whole-heartedly congratulate you to your tenth anniversary of the CRPA Symposium, and we wish you interesting scientific discussions and stimulating technical and personal exchanges in Šibenik.

Sincerely Yours,

Dr Michael Hajek
President, ÖVS

Asst. Prof. Dr Alexander Brandl
Secretary, ÖVS

THE POTENTIAL OF FISSION NUCLEAR ENERGY IN RESOLVING GLOBAL CLIMATE CHANGE

Dubravko Pevec
Department of Applied Physics, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Zagreb, Croatia
dubravko.pevec@fer.hr

There is an international consensus on the need of drastic reduction of carbon emission if very serious global climate changes are to be avoided. At present target is to limit global temperature increase to 2 °C and to keep CO_2 concentration below 450 ppm, though some recent request by climatologists argue for lower limit of 1.5 °C. The carbon emission reduction has to be done in the next few decades, as climate effects are essentially determined by integral emission. The integral emissions should not exceed 1000 Gt CO_2 to keep the probability of exceeding global temperature by 2 °C below 25 %. Consequently, when we consider energy sources that could produce carbon free energy we have to concentrate on the period not later than 2060-2065.

The sources that can take the burden of reduction in the years up to 2065 are Renewable Energy Sources (RES) and nuclear fission energy. The potential of RES has been estimated by many organizations and individuals. Their predictions indicate that RES are not likely to be sufficient to replace carbon emitters and fulfill the 2 °C limit requirements.

The nuclear fission energy can give a very serious and hopefully timely (unlike nuclear fusion) contribution to reduction of emission. Even with proven conventional reactors using once through fuel cycle without fuel reprocessing the nuclear build-up in the years 2025-2065 could reach 3330 GW. With this concept nuclear contribution of 94.5 EJ/y would be reached by 2065, while integral CO_2 emission savings would be about 500 Gt CO_2 by 2065. This shows that essential nuclear contribution is possible without the use of plutonium and fast breeders, technology not ready for climate-critical next 50 years and not acceptable in present political environment.

This nuclear fission energy contribution along with contributions from renewable sources, energy saving, and increased efficiency in energy use can solve the climate problems.

OPĆE TEME

GENERAL TOPICS

NEW EUROPEAN BSS - CHALLENGES AND SOLUTIONS

Helena Janžekovič
Slovenian Nuclear Safety Administration, Ljubljana, Slovenia
helena.janzekovic@gov.si

INTRODUCTION

Today the European Basic Safety Standards (*BSS Directive*, 2014) [1], is the central legal document in the Europe Union (EU) focusing on harmonization of radiation protection in Member States (MSs). It forms, together with *Nuclear Safety Directive* (2009, 2014) and *Spent Fuel and Radioactive Waste Directive* (2011), a pillar of a comprehensive network of rules based on the EURATOM Treaty (1957). Cross cutting issues tackling these three basic EURATOM directives is given elsewhere [2].

The Treaty was prepared in the period when a use of nuclear energy was very promising, e.g. the first nuclear power plant (NPP) - the Obninsk NPP (Russia) - was put in operation just a couple of years before. One of the main goals of the Treaty was the establishment of uniform safety standards to protect the health of workers and the general public. The urgent need to set these standards resulted in the very first BSS Directive published only two years after publishing the Treaty. Till now, several revisions of this text were prepared as a result of the development of science and regulatory experiences. In addition, in order to reflect emerging needs of the MSs other legal documents were prepared in the last nearly sixty years. Two examples illustrate such needs.

- After the Chernobyl accident new legislation related to future nuclear and radiological accidents were prepared, i.e. so-called "future accident legislation" where food and feedingstuff contamination levels to be used were prescribed.
- At the end of the last century further harmonisation was needed in a control of orphan sources and high-activity sealed sources in order to prevent unauthorised transfers of such sources among countries. The *HASS Directive* (2004) [3] was published. Just recently results of the implementation of this directive have been published [4].

The development of the *BSS Directive* is presented in details in the literature, e.g. in [5]. The complexity of the document can be already envisaged from its title showing that five EURATOM directives were repealed. The *BSS Directive* incorporated them as well as the ICRP recommendations, e.g. ICRP 103 (2007). Lessons learned from the regulatory control, e.g. control of exposures related to radon, were also considered. Challenges related to accidents, such as lessons from the Fukushima accident, were incorporated. Namely, emergency preparedness and response are enhanced in the text. The MSs also tried to harmonise the requirements with the IAEA BSS [6] published as the Interim Report. To the knowledge of the author, a comprehensive analysis of differences of the *BSS Directive* and the IAEA BSS in not published yet.

THE BSS DIRECTIVE - HARMONISATION AND FLEXIBILITY

The level of the details of requirements shows large variations reflecting among other the fact that MSs have very diverse use of ionising radiation. Namely, the safety standards must be implemented in MSs with large nuclear program, e.g. France, as well as in MSs where the inventory of sources is relatively small, e.g. in Malta. The final text is actually a huge legal document with more than 100 Articles, 19 annexes and more than 1100 technical parameters. Moreover, a clear link to ICRP documents is given, i.e. even more physical parameters are given there. MSs started a process of transposition of the *BSS Directive* taking into account the deadline for its transposition, i.e. 6 February 2018.

As a rule, the requirements tackle numerous already existing national legal documents of a MS and the transposition requires close cooperation of national regulators regulating different areas, e.g. emergency preparedness, education and industry. Moreover, in 2014 the regulatory authorities collaborating in the HERCA [7] started a deep discussion on the international level about the implementation of the *BSS Directi*ve.

The *BSS Directive* is harmonising protection of workers, patients and the general public as well as the protection of the environment. A concept of three exposure situations, namely planned exposure situation, emergency exposure situation and existing exposure situation, is a cornerstone of the provisions. These somehow new concepts fundamentally affect the management of interventions from the previous BSS Directive from 1996. So the management should be based on the reference levels (RLs) applicable in emergency and in existing exposure situations. The RLs of effective dose, equivalent dose or activity concentrations are tools in order

to optimise radiation protection, i.e. priority should be given to situations where pre-defined levels are exceeded. New concepts in the text include among other the definition of a radiation protection officer, i.e. a person which might play a major role in establishing effective Radiation Protection Program (RPP).

However, the majority of requirements are actually revised old provisions from the BSS Directive from 1996, e.g. new dose limits for the lens of the eye are given. But very often requirements from the past EURATOM directives are largely upgraded. Three examples can be given.

- The control of exposures due to practices involving naturally occurring radionuclides (NORM), e.g., in zirconium industry, is largely enhanced and the list of industries where practices can take place is given. MSs should prepare the strategy to identify such exposures.
- The control of non-medical imaging exposure, i.e. the deliberate humans for imaging purposes where the primary intention of the exposure is not to bring a health benefit to the individual being exposed, is given in details. Such exposures might be related to prevention of terrorist attacks.
- A role of dose constraints (DCs) in planned exposure situations is enhanced so that the optimisation process heavily relies on a use of the DC related to the specific source.

In some parts of the text the flexibility envisaged is relatively large, so MSs might have different approaches when implementing such provisions. They should take into account not only legislative framework but other factors, e.g. their future nuclear and radiation infrastructure such as large decommissioning projects and increase of medical use of sources.

Moreover, due to so-called „four freedoms“, i.e. the free movement of goods, capital, services, and people, the specific implementation of the provisions of the *BSS Directive* in one MS affects other MSs. However, at present only limited number of requirements are related to issues where strong influence can be envisaged. In this respect it is a challenge to study those parts of the *BSS Directive* whose implementation in one MS might directly affect another MSs, e.g. clearance of the materials in one country might affect the regulatory control in another MS. Such requirements of the *BSS Directive* might require somehow deeper level of harmonisation among MSs, especially among those MSs with strong economical and other connections.

COMMON ISSUES

In general, the *BSS Directive* envisaged strong collaboration among competent authorities (CAs). In Art. 76 MSs should nominate points of contact to enable rapid communication. Moreover, the MSs recognised three areas where even more collaboration is needed.

1. Practices involving consumer products might require further harmonisation. Such practice is a use of smoke detectors where very different approaches are present in MSs. Namely, in France very stringent control has been introduced recently. In Art. 20 the point of contacts in MSs are envisaged so that the information about regulatory decisions concerning consumer products is distributed.
2. According to the Art. 79 the recognition of occupational health services, dosimetry services, qualified experts and medical physics experts should be reported to MSs.
3. In the *Section 5*, *Emergency Exposure Situation*, in the Art. 99 the collaboration among MSs and with third countries is envisaged in addressing possible accidents as well as to cope with the emergency exposure situation. In addition, cooperation during the transition from the emergency to existing exposure situation is envisaged. This Article is supported by other Articles which are directly related to emergency, i.e. in Art. 17 prior information and training for emergency workers is mentioned and in Art. 70 and Art. 71 information to the members of the public likely to be affected in the event of an emergency and information to the members of the public actually affected in the event of an emergency. In addition, high degree of harmonisation of RLs in case of emergency and in case of existing exposure situation which is a consequence of an emergency might be suitable.

The other common but complex issues where high level of harmonisation might be beneficial include:

- notification and authorisation of practices including a control of releases from the control as well as identification of practices involving NORM from Art. 23,
- individual radiological monitoring of workers as related to Arts. 43, 44 and 51 with a special emphasis on monitoring of outside workers,
- control over exposure due to gamma radiation from building materials tackled in Art. 75,

- reporting and analysis of lessons learned from the events related to medical exposure from Art. 63 and accidents, incidents and findings from Art. 104.

CONCLUSIONS

The *BSS Directive* introduces further enhancement of collaboration among CAs of MSs in three areas, i.e. in control of consumer products, recognition of experts and services as well as in activities related to emergency exposure situations. However, harmonised approach to implementation of the BSS requirements can be foreseen in other areas. Four additional identified areas, where such collaboration as well as guidance might be useful, pose challenges to MSs, especially to neighbouring countries with strong connections. They are related to general regulatory regime, workers, building materials and lessons from accidents.

REFERENCES

[1] Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal of the European Union L13/1-73; 2014.

[2] Janzekovic H. Radiation Protection and Nuclear Safety Standards in Europe. Proceedings of the International Conference Fourth European IRPA 2014 - Radiation Protection Culture - a global challenge; June 23-27; Geneva, Switzerland: IRPA; 2014, pp. 9-12.

[3] Council Directive 2003/122/Euratom on Control of High-activity Sealed Radioactive Sources and Orphan Sources. Official Journal of the European Union L346/1-57; 2004.

[4] European Commission. Study on the current status of radioactive sources in the EU, on the origin and consequences of loss of control over radioactive sources and on successful strategies concerning the detection and recovery of orphan sources. Radiation Protection No. 179: Luxembourg; 2014.

[5] Janzekovic H. Basic Safety Standards within the EU. Proceedings of the International Conference Nuclear Energy in Central Europe 2013; September 9-12; Bled, Slovenia: Nuclear Society of Slovenia; 2013, available at http://www.nss.si/proc/nene2013/pdf/NENE2013_1104.pdf

[6] International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA Safety Standards for protection people and the environment, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2014.

[7] http://www.herca.org/herca_news.asp?newsID=43

NEW EUROPEAN BSS - CHALLENGES AND SOLUTIONS

Helena Janžekovič
Slovenian Nuclear Safety Administration, Ljubljana, Slovenia
helena.janzekovic@gov.si

Today the European Basic Safety Standards (2014) [1] is the central legal document in the Europe Union focusing on harmonization of radiation protection in Member States (MSs). It forms, together with *Nuclear Safety Directive* and *Spent Fuel and Radioactive Waste Directive*, a pillar of a comprehensive network of rules. The *BSS Directive* is, as the IAEA BSS Directive (2014), based on the three exposure situations recommended in the ICRP 103. This Directive is a complex and in some part very technical document taking into account development of science, regulatory practices from the past and the emerging needs of Member States. A list of its new provisions is very long [2].

One of the main cornerstones of the text is enhanced collaboration among MSs as well as among MSs and the European Commission. The *BSS Directive* envisages the enhancement in three areas, i.e. in control of consumer products, recognition of experts and services as well as in activities related to emergency exposure situations. Four additional identified areas where such collaboration might be useful, pose challenges to MSs, especially to neighbouring countries with strong connections. They are related to regulatory regime including clearance regime and control of NORM, workers, building materials and lessons learned from accidents and other events related to radiation. Further guidance on these issues would be beneficial.

[1] Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom, Official Journal of the European Union L13/1-73; 2014.

[2] Janzekovic H. Basic Safety Standards within the EU, Proceedings of the International Conference Nuclear Energy in Central Europe 2013; September 9-12; Bled, Slovenia: Nuclear Society of Slovenia; 2013, available at http://www.nss.si/proc/nene2013/pdf/NENE2013_1104.pdf.

EU DIREKTIVE U PODRUČJU RADIOLOŠKE I NUKLEARNE SIGURNOSTI I NJIHOVO PREUZIMANJE U HRVATSKO ZAKONODAVSTVO

Nevenka Novosel
Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb
nevenka.novosel@dzrns.hr

UVOD

U postupku pristupanja Europskoj uniji, Hrvatska je bila obvezna preuzeti EU direktive u području radiološke i nuklearne sigurnosti u hrvatsko zakonodavstvo. Te direktive su preuzete Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [1] i propisima donesenim na temelju tog Zakona.

U ovom radu bit će predstavljene direktive u području radiološke i nuklearne sigurnosti [2-9] s naglaskom na hrvatske propise kojima su preuzete pojedine direktive, kao i nove direktive u tom području.

DIREKTIVE VIJEĆA

Direktiva Vijeća br. 89/618/Euratom od 27. studenoga 1989. o obavješćivanju stanovništva o mjerama zdravstvene zaštite koje treba primijeniti i koracima koje treba poduzeti u slučaju radiološke opasnosti

Ova Direktiva je donesena 1989. godine [2]. Namjera ove Direktive je da se na razini Zajednice odrede zajednički ciljevi u pogledu mjera i postupaka za obavješćivanje stanovništva u svrhu poboljšanja operativne zdravstvene zaštite u slučaju radiološke opasnosti.

Ova Direktiva je preuzeta:

- Uredbom o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencijama u slučaju izvanrednoga događaja [10] i
- Pravilnikom o opsegu i sadržaju Plana i programa mjera za slučaj izvanrednog događaja te izvješćivanja javnosti i nadležnih tijela [11].

Ova Direktiva je stavljena izvan snage donošenjem Direktive Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, sa stupanjem na snagu od 6. veljače 2018. [12].

Direktiva Vijeća br. 90/641/Euratom od 4. prosinca 1990. o operativnoj zaštiti vanjskih radnika, koji su tijekom svoga djelovanja u područjima pod nadzorom izloženi opasnosti od ionizirajućeg zračenja

Ova Direktiva je donesena 1990. godine [3]. Svrha ove Direktive je na razini Zajednice pronaći najbolje uređenje operativne zaštite za vanjske radnike koji izvode radove u područjima pod nadzorom.

Ova Direktiva je preuzeta:

- Pravilnikom o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [13], i
- Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [14].

Ova Direktiva je stavljena izvan snage donošenjem Direktive Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, sa stupanjem na snagu od 6. veljače 2018. [12].

Direktiva Vijeća br. 96/29/Euratom od 13. svibnja 1996. o utvrđivanju osnovnih sigurnosnih normi za zaštitu zdravlja radnika i stanovništva od opasnosti od ionizirajućeg zračenja

Ova Direktiva je donesena 1996. godine [4]. Direktiva se primjenjuje na sve djelatnosti koje uključuju opasnosti od ionizirajućeg zračenja iz umjetnog ili prirodnog izvora zračenja u slučajevima gdje se prirodni radionuklidi prerađuju s obzirom na njihova radioaktivna, fisibilna i oplodna svojstva. Također se odnosi na radne aktivnosti koje uključuju prisutnost prirodnih izvora zračenja koji mogu dovesti do znatnog povećanja izloženosti radnika ili stanovništva.

Ova Direktiva je preuzeta:

- Pravilnikom o načinu i postupku nadzora prilikom uvoza ili izvoza materijala za koji postoji opravdana sumnja da je onečišćen radionuklidima ili sadrži radioaktivne izvore [15],
- Uredbom o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti [16],
- Pravilnikom o načinu uklanjanja radioaktivnog onečišćenja, zbrinjavanja radioaktivnog izvora, odnosno poduzimanja svih drugih prijeko potrebnih mjera radi smanjenja štete za ljude i okoliš ili uklanjanja daljnjih rizika, opasnosti ili šteta [17],

- Pravilnikom o uvjetima za projektiranje, gradnju te uklanjanje građevina u kojima su smješteni izvori ionizirajućeg zračenja ili se obavljaju djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja [18],
- Pravilnikom o službenoj iskaznici i znački inspektora za radiološku i nuklearnu sigurnost [19],
- Pravilnikom o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja i primjenu mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja [20],
- Pravilnikom o ovlašćivanju stručnih tehničkih servisa za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja [21],
- Pravilnikom o fizičkom osiguranju radioaktivnih izvora, nuklearnog materijala i nuklearnih objekata [22],
- Pravilnikom o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [13],
- Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [14],
- Pravilnikom o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja [23],
- Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja [24],
- Uredbom o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencijama u slučaju izvanrednoga događaja [10],
- Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje [25],
- Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima [26],
- Pravilnikom o granicama ozračenja [27],
- Pravilnikom o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja [28],
- Pravilnikom o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini [29] i
- Pravilnikom o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu [30].

Ova Direktiva je stavljena izvan snage donošenjem Direktive Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, sa stupanjem na snagu od 6. veljače 2018. [12], koja je uzela u obzir nove preporuke iz Publikacije 103 Međunarodne komisije za radiološku zaštitu, nove znanstvene činjenice i radno iskustvo.

Direktiva Vijeća br. 97/43/Euratom od 30. lipnja 1997. o zaštiti zdravlja pojedinaca od opasnosti od ionizirajućeg zračenja u vezi s medicinskim izlaganjem

Ova Direktiva je donesena 1997. godine [5]. Ovom Direktivom utvrđuju se opća načela o zaštiti pojedinaca od zračenja u odnosu na izlaganja pacijenata u sklopu osobnog medicinskog dijagnostičkog postupka ili liječenja, izlaganja pojedinaca u sklopu zdravstvenog nadzora na radu, izlaganja pojedinaca u sklopu programa zdravstvenog probira, izlaganja zdravih pojedinaca ili pacijenata koji dobrovoljno sudjeluju u medicinskim, biomedicinskim, dijagnostičkim ili terapijskim i istraživačkim programima i izlaganja pojedinaca u sklopu medicinsko-pravnih postupaka.

Ova Direktiva je preuzeta:

- Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje [25],
- Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima [26],
- Pravilnikom o granicama ozračenja [27] i
- Pravilnikom o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini [29].

Ova Direktiva je stavljena izvan snage donošenjem Direktive Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, sa stupanjem na snagu od 6. veljače 2018. [12].

Direktiva Vijeća br. 2003/122/Euratom od 22. prosinca 2003. o kontroli visokoaktivnih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora bez posjednika

Ova Direktiva je donesena 2003. godine [6]. Svrha ove Direktive je sprečavanje izlaganja djelatnika i šire javnosti ionizirajućem zračenju koje proizlazi iz neodgovarajuće kontrole visokoaktivnih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora nepoznatog podrijetla i usuglašavanje postojećih mjera nadzora u državama članicama određivanjem posebnih zahtjeva koji osiguravaju stavljanje pod nadzor svakog takvog izvora.

Ova Direktiva je preuzeta:

- Uredbom o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencijama u slučaju izvanrednoga događaja [10],
- Pravilnikom o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [13],

- Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima [14],
- Uredbom o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti [16],
- Pravilnikom o službenoj iskaznici i znački inspektora za radiološku i nuklearnu sigurnost [19],
- Pravilnikom o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja i primjenu mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja [20],
- Pravilnikom o fizičkom osiguranju radioaktivnih izvora, nuklearnog materijala i nuklearnih objekata [22],
- Pravilnikom o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja [23],
- Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja [24] i
- Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima [26].

Ova Direktiva je stavljena izvan snage donošenjem Direktive Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, sa stupanjem na snagu od 6. veljače 2018. [12].

Direktiva Vijeća br. 2006/117/Euratom od 20. studenoga 2006. o nadzoru i kontroli pošiljaka radioaktivnog otpada i istrošenog goriva

Ova Direktiva je donesena 2006. godine [7]. Ovom Direktivom uređuje se sustav Zajednice za nadzor i kontrolu prekograničnih pošiljki radioaktivnog otpada i istrošenog goriva kako bi se osigurala odgovarajuća zaštita stanovništva.

Ova Direktiva je preuzeta Pravilnikom o nadzoru i kontroli prekograničnog prijevoza radioaktivnog otpada i istrošenog goriva [31].

Direktiva Vijeća br. 2009/71/Euratom od 25. lipnja 2009. o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja

Ova Direktiva je donesena 2009. godine [8]. Ciljevi ove Direktive su uspostaviti okvir Zajednice radi kontinuiranog održavanja i promicanja poboljšanja nuklearne sigurnosti i njezine regulative i osigurati da države članice predvide odgovarajuće nacionalne mehanizme za visoku razinu

nuklearne sigurnosti radi zaštite radnika i šire javnosti od opasnosti koje proizlaze iz ionizirajućeg zračenja iz nuklearnih postrojenja.

Ova Direktiva je preuzeta Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [1].

Direktiva Vijeća 2014/87/Euratom od 8. srpnja 2014. o izmjeni Direktive 2009/71/Euratom o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja donesena je 2014. godine [32]. Izmjene u odnosu na Direktivu iz 2009. godine odnose se na dodatno jačanje regulatornog tijela i s njim vezane administrativne kapacitete te na jačanje instrumenta stručnih pregleda među državama članicama.

Direktiva Vijeća br. 2011/70/Euratom od 19. srpnja 2011. o uspostavi okvira Zajednice za odgovorno i sigurno zbrinjavanje istrošenog goriva i radioaktivnog otpada

Ova Direktiva je donesena 2011. godine [9]. Ovom Direktivom uspostavlja se okvir Zajednice za osiguravanje odgovornog i sigurnog zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenog goriva kako bi se izbjeglo nametanje nepotrebnog tereta budućim generacijama. Namjera ove Direktive je osigurati da države članice donose prikladne nacionalne mjere za visoku razinu sigurnosti kod zbrinjavanja radioaktivnog otpada i istrošenog goriva kako bi se radnici i stanovništvo zaštitili od opasnosti od ionizirajućeg zračenja. Države članice Komisiji prvi put podnose izvješće o sadržaju nacionalnih programa za odgovorno i sigurno zbrinjavanje istrošenog goriva i radioaktivnog otpada do 23. kolovoza 2015. godine.

Ova Direktiva je preuzeta Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [1].

Strategija za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva donesena je 2014. godine [33], a nacionalni program je u pripremi.

ZAKLJUČAK

Direktive Vijeća navedene u ovom radu [2-9] preuzete su uredbama i pravilnicima koji su doneseni na temelju Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti iz 2010. godine, koji više nije na snazi. U Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti iz 2013. godine [1] propisano je da nova uredba treba biti donesena u roku od 18 mjeseci, a novi pravilnici u roku od dvije godine od dana stupanja na snagu ovog zakona. Do stupanja na snagu nove uredbe i pravilnika, navedene uredbe i pravilnici [10-11,13-31] ostaju na snazi.

U međuvremenu, donesena je nova Direktiva o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju [12] i izmjena Direktive o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja [32]. To je dovelo do pokretanja postupka za izmjene i dopune Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [1] i treba biti uzeto u obzir kod pripreme nove uredbe i pravilnika.

LITERATURA

[1] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, Narodne novine 141/13.

[2] Direktiva Vijeća br. 89/618/Euratom od 27. studenoga 1989. o obavješćivanju stanovništva o mjerama zdravstvene zaštite koje treba primijeniti i koracima koje treba poduzeti u slučaju radiološke opasnosti. OJ L 357, 7.12.1989.

[3] Direktiva Vijeća br. 90/641/Euratom od 4. prosinca 1990. o operativnoj zaštiti vanjskih radnika, koji su tijekom svoga djelovanja u područjima pod nadzorom izloženi opasnosti od ionizirajućeg zračenja, OJ L 349, 13.12.1990.

[4] Direktiva Vijeća br. 96/29/Euratom od 13. svibnja 1996. o utvrđivanju osnovnih sigurnosnih normi za zaštitu zdravlja radnika i stanovništva od opasnosti od ionizirajućeg zračenja, OJ L 159, 29.6.1996.

[5] Direktiva Vijeća br. 97/43/Euratom od 30. lipnja 1997. o zaštiti zdravlja pojedinaca od opasnosti od ionizirajućeg zračenja u vezi s medicinskim izlaganjem i o stavljanju izvan snage Direktive 84/466/Euratom, OJ L 180, 9.7.1997.

[6] Direktiva Vijeća br. 2003/122/Euratom od 22. prosinca 2003. o kontroli visokoaktivnih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora bez posjednika, OJ L 346, 31.12.2003.

[7] Direktiva Vijeća br. 2006/117/Euratom od 20. studenoga 2006. o nadzoru i kontroli pošiljaka radioaktivnog otpada i istrošenog goriva, OJ L 337, 5.12.2006.

[8] Direktiva Vijeća br. 2009/71/Euratom od 25. lipnja 2009. o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja, OJ L 172, 2.7. 2009.

[9] Direktiva Vijeća br. 2011/70/Euratom od 19. srpnja 2011. o uspostavi okvira Zajednice za odgovorno i sigurno zbrinjavanje istrošenog goriva i radioaktivnog otpada, OJ L 199, 2.8.2011.

[10] Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencijama u slučaju izvanrednoga događaja, NN 102/12.

[11] Pravilnik o opsegu i sadržaju Plana i programa mjera za slučaj izvanrednog događaja te izvješćivanja javnosti i nadležnih tijela, NN 123/12.

[12] Direktiva Vijeća br. 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom, OJ L 13, 17.1.2014.

[13] Pravilnik o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima, NN 41/12.

[14] Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o mjerenju osobnog ozračenja,

ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima, NN 89/13.
[15] Pravilnik o načinu i postupku nadzora prilikom uvoza ili izvoza materijala za koji postoji opravdana sumnja da je onečišćen radionuklidima ili sadrži radioaktivne izvore, NN 114/07.
[16] Uredba o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti, NN 44/08.
[17] Pravilnik o načinu uklanjanja radioaktivnog onečišćenja, zbrinjavanja radioaktivnog izvora, odnosno poduzimanja svih drugih prijeko potrebnih mjera radi smanjenja štete za ljude i okoliš ili uklanjanja daljnjih rizika, opasnosti ili šteta, NN 53/08.
[18] Pravilnik o uvjetima za projektiranje, gradnju te uklanjanje građevina u kojima su smješteni izvori ionizirajućeg zračenja ili se obavljaju djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, NN 99/08.
[19] Pravilnik o službenoj iskaznici i znački inspektora za radiološku i nuklearnu sigurnost, NN 28/11.
[20] Pravilnik o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja i primjenu mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja, NN 63/11.
[21] Pravilnik o ovlašćivanju stručnih tehničkih servisa za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja, NN 72/11.
[22] Pravilnik o fizičkom osiguranju radioaktivnih izvora, nuklearnog materijala i nuklearnih objekata, NN 38/12.
[23] Pravilnik o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja, NN 71/12.
[24] Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja, NN 89/13.
[25] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje, NN 41/13.
[26] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima, NN 41/13.
[27] Pravilnik o granicama ozračenja, NN 59/13.
[28] Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad s izvorima ionizirajućeg zračenja, NN 80/13.
[29] Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini, NN 89/13.
[30] Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu, NN 121/13.
[31] Pravilnik o nadzoru i kontroli prekograničnog prijevoza radioaktivnog otpada i istrošenog goriva, NN 11/13.
[32] Direktiva Vijeća 2014/87/Euratom od 8. srpnja 2014. o izmjeni Direktive 2009/71/Euratom o uspostavi okvira Zajednice za nuklearnu sigurnost nuklearnih postrojenja, OJ L 219, 25.7.2014.
[33] Strategija za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, NN 125/14.

EU DIRECTIVES IN THE FIELD OF RADIOLOGICAL AND NUCLEAR SAFETY AND THEIR TRANSPOSITION IN CROATIAN LEGISLATION

Nevenka Novosel
State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia
nevenka.novosel@dzrns.hr

In the process of accession to European Union, Croatia was obliged to transpose EU directives in the field of radiological and nuclear safety in Croatian legislation. These directives are:

- Council Directive 89/618/Euratom of 27 November 1989 on informing the general public about health protection measures to be applied and steps to be taken in the event of a radiological emergency,
- Council Directive 90/641/Euratom of 4 December 1990 on the operational protection of outside workers exposed to the risk of ionizing radiation during their activities in controlled areas,
- Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation,
- Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom,
- Council Directive 2003/122/Euratom of 22 December 2003 on the control of high-activity sealed radioactive sources and orphan sources,
- Council Directive 2006/117/Euratom of 20 November 2006 on the supervision and control of shipments of radioactive waste and spent fuel,
- Council Directive 2009/71/Euratom of 25 June 2009 establishing a Community framework for the nuclear safety of nuclear installations and
- Council Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste.

In this paper aforementioned directives are presented, with the accent on Croatian legislation in which transposition was done, as well as new directives in this field.

STRUČNA DRUŠTVA I BESMISLICE U HRVATSKOJ REGULATIVI

Alemka Knapp[1], Ivica Levanat[1], Vladimir Lokner[2] i Diana Šaponja-Milutinović[1]
[1]Tehničko veleučilište Zagreb
[2]APO d.o.o., Zagreb
ivica.levanat@tvz.hr

UVOD

Kvalitetno reguliranje radiološke i nuklearne sigurnosti zahtijeva raznovrsne i usklađene stručne aktivnosti koje se temelje na kompetentnom i promišljenom djelovanju svih sudionika. Malim državama poput Hrvatske, koje objektivno ne mogu financirati tako veliki broj kompetentnih profesionalaca kao veće države, međunarodne preporuke, konvencije i EC direktive dramatično olakšavaju izradu nacionalne regulative.

Ipak, oblikovanje hrvatskih zakona i druge regulative mora odražavati i specifične nacionalne okolnosti, te u konačnici ovisi i o angažmanu domaćih stručnjaka.

U ovome radu najprije se navodi par primjera iz kojih je razvidno kako su se u hrvatskim pravnim aktima iz toga područja u posljednje dvije godine pojavili konceptualni nedostatci i besmislice (i zadržali, unatoč primjedbama na njih). Potom se obrazlaže potreba većeg angažmana hrvatskih stručnih društava u oblikovanju kvalitetnije regulative.

ZAKON O RADIOLOŠKOJ I NUKLEARNOJ SIGURNOSTI

Prijedlog novog Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [1] (u daljnjem tekstu: Zakon) bio je izrađen početkom 2013. godine u žurbi i dosta nepromišljeno, što je bilo očito već iz površnog čitanja.

To noveliranje temeljnog nacionalnog Zakona - a moglo je biti započeto i ranije - bilo je, između ostaloga, potrebno radi implementacije EC Direktive 2011/70/Euratom o zbrinjavanju istrošenog nuklearnog goriva (ING) i radioaktivnog otpada (RAO) [2], koja zahtijeva izradu odgovarajuće nacionalne strategije i programa njezine provedbe do kolovoza 2014. odnosno 2015. godine. U međuvremenu prihvaćena strategija predviđa (između ostaloga) uspostavu hrvatskih postrojenja za (dugoročno)

skladištenje hrvatskog dijela RAO iz nuklearne elektrane Krško (NEK) već za nekoliko godina, a kasnije i za odlaganje toga RAO.

Potreba za takvim strateškim pristupom bila je u cijelosti predvidiva u vrijeme izrade prijedloga Zakona i rasprave o njemu. I autori ovoga članka o tome su, baš u to vrijeme, izvještavali na 9. simpoziju HDZZ-a [3]. No, prijedlog Zakona nije niti pokušao prepoznati prioritete navedenoga strateškog pristupa, iako ih je već pola godine kasnije u prijedlog strategije uvrstio isti predlagač, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Umjesto da se usredotoči na odlaganje RAO i njegovo skladištenje prije toga, prijedlog Zakona se opširno bavio nuklearnim djelatnostima koje su za Hrvatsku irelevantne u bližoj budućnosti, dok je zbrinjavanje RAO bilo obrađeno na površan i konfuzan način.

U javnoj raspravi je Hrvatsko nuklearno društvo (HND) posebno naglasilo navedeni problem, te nabrojalo i niz drugih nedostataka prijedloga Zakona, dok je HDZZ u zaključku svojih primjedbi izrazilo mišljenje da prijedlog „treba doraditi, stručno pregledati i tek onda poslati na javnu raspravu“. Dvojica autora ovoga rada također su poslali niz primjedbi (u prikazu rasprave navedeni kao „privatne osobe“) koje su se, među ostalim, podudarale i s gore navedenim mišljenjima stručnih društava. Dodatno, svi su izrazili mišljenje da je DZRNS u sukobu interesa u predloženim regulatornim i operativnim funkcijama.

DZRNS nije prihvatio većinu primjedbi. Zbrinjavanje RAO u konačnoj je verziji Zakona opisano na uređeniji, ali ne i bitno detaljniji način; umjesto toga, Zakon deklarira da će se to precizirati nekim budućim pravilnikom.

Među ostalim primjedbama u javnoj raspravi, autori ovoga članka su upozorili i na dvije besmislene definicije u prijedlogu Zakona (u članku 4). Primjedbe su odbijene uz obrazloženje „Navedene definicije su usklađene s relevantnim dokumentima EU“. Analiza tih primjedbi i njihova odbijanja zanimljiv je indikator kompetencija predlagača Zakona.

Prva se primjedba odnosila na definiciju:

- *radioaktivne tvari* jesu tvari koje sadrže, osim ostalih, i atome s nestabilnim jezgrama koje svojim raspadom proizvode ionizirajuće zračenje.

Tom su definicijom očigledno obuhvaćene praktično sve prirodne tvari, što je osobito problematično zbog članka 37 istog Zakona:

„(1) Namjerno dodavanje radioaktivnih tvari u predmete opće uporabe te uvoz i izvoz takve robe nije dozvoljeno.“

Predlagač Zakona očito nije svjestan činjenice da se u ovakvim pravnim aktima radioaktivne tvari definiraju prema minimalnim propisanim koncentracijama radionuklida.

Druga primjedba odnosila se na definiciju (dio podvukli autori):

- *posebni fisibilni materijal* je plutonij-239, uranij-233, uranij obogaćen izotopom uranija-235 ili uranija-233 i svaka tvar koja sadržava jedan ili više gore navedenih izotopa te drugi fisibilni materijali koje određuje Zavod

Očigledno je da spomenuta svaka tvar ili ne obuhvaća tvari koje sadrže obogaćeni uranij (nije izotop), ili obuhvaća i sve tvari koje sadrže izotop uranija-235 (npr. prirodni uranij). Naravno, nijedno od ta dva – i jedina moguća – tumačenja navedene definicije ne odgovara općenito prihvaćenom značenju pojma *posebni fisibilni materijal*. Međutim, u ovome slučaju, predlagatelj Zakona je u pravu kad tvrdi da je definicija „usklađena s relevantnim dokumentima EU“ (konkretno, s Euratom Treaty).

Naime, i nakon druge tzv. konsolidacije iz 2010. godine [4], Euratom Treaty i dalje sadrži upravo takvu polupismenu definiciju s očiglednim tipfelerom (iako su neke druge nejasnoće i tipfeleri ispravljeni). Ta činjenica samo dokumentira nonšalantnost i šlampavost EU birokracije.

Kompetentne organizacije iz toga područja nisu se, dakako, dale impresionirati takvim trivijalnim tipfelerom. I rješenje je trivijalno. U gore podvučenom dijelu definicije, koji u engleskom izvorniku glasi:

- *any material containing one or more of the foregoing isotopes,*

treba samo izostaviti riječ „*isotopes*“ (u hrvatskom prijevodu bilo bi možda prikladnije zamijeniti riječ „izotopa“ riječju „materijala“).

Za ilustraciju tvrdnje o kompetentnim organizacijama, autori navode reference u kojima *posebni fisibilni materijal* definira IAEA [5] i britanski Office for Nuclear Regulation [6], koji izostavljaju tipfeler „isotopes“.

No, jasno je kako se ne može očekivati da predlagatelj Zakona kao što je DZRNS, ima potrebne kompetencije za prosuđivanje o tipfelerima u pravnoj stečevini EU.

DETALJ IZ HRVATSKE VERZIJE DIREKTIVE 2013/59/EURATOM

Krajem 2013. godine donesena je EC Direktiva 2013/59/Euratom o osnovnim sigurnosnim standardima, a njezin službeni hrvatski prijevod objavljen je u Službenom listu EU od 17. siječnja 2014. godine [7].

Prevoditelj je, iz nepoznatih razloga, odlučio temeljni i uobičajeni termin „apsorbirana doza“ promijeniti tj. „prevesti na hrvatski“ (dok izvedene doze, ekvivalentnu i efektivnu, nije „prevodio“). Međutim, za taj

„prijevod“ nije odabrao termin kojega neki zagovaratelji čistoće hrvatskog jezika već koriste - „upijena doza“ - koji relativno dobro čuva značenje izvornog latinizma (mada nije osobito raširen u općoj upotrebi). Umjesto toga, prevoditelj je odabrao termin „unesena doza“.

Takav izbor „prijevoda“ demonstrira da prevoditelj nedovoljno poznaje područje, budući da se termin „unos“ (engleski „*intake*“) standardno koristi za radionuklide unesene u tijelo (udisanjem, hranom itd.). Posljedično, i termin „unesena doza“ sugerira dozu samo od radionuklida unesenih u tijelo, a ne ukupnu apsorbiranu dozu koja uključuje i ozračenje izvana.

Osim toga, moguće je da nepoznavanje područja prevoditelju otežava i uočavanje tipfelera, kao npr. u sljedećoj definiciji (podvukli autori), gdje nedostaje riječ „ili“ između „čestica“ i „elektromagnetskih valova“:

(46) „ionizirajuće zračenje” znači prijenos energije u obliku čestica elektromagnetskih valova valne dužine ...

I da nema upravo navedenih nedostataka, jasno je da svaki prijevod EC direktive na hrvatski jezik - koji postaje službena verzija direktive u Hrvatskoj - zahtijeva sudjelovanje kompetentnih hrvatskih stručnjaka iz toga područja. Nije, međutim, jasno zašto to sudjelovanje u ovome slučaju nije bilo osigurano, čiji je to propust i kako ga ispraviti.

No, bilo bi za očekivati da će DZRNS, „tijelo državne uprave nadležno za poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja i nuklearnu sigurnost“, tijelo koje izrađuje zakone i strategiju, uočiti neprikladni prijevod spomenutog termina (i druge manjkavosti hrvatske verzije Direktive) te poduzeti potrebne korektivne mjere.

ZAKLJUČAK

Kako je pokazano na nekoliko primjera u ovome radu, previše je stručnih pogrešaka ili propusta u hrvatskim dokumentima koji se odnose na radiološku i nuklearnu sigurnost. Posebno zabrinjava to što se dokumenti poput temeljnog zakona, u području koje se malo tehnološki mijenjalo posljednjih pedesetak godina, mnogo puta revidiraju, pri čemu prolaze cijelu zakonodavnu proceduru s javnom raspravom, a količina se profesionalnih nedostataka u njima ne smanjuje, iako u Hrvatskoj postoje ozbiljne i aktivne udruge relevantnih stručnjaka, poput HDZZ-a i HND-a.

Prilikom donošenja važnih dokumenata potrebno je osigurati dovoljno vremena za izradu prijedloga i raspravu o njima, kako bi se dobio kvalitetan rezultat. To se u pravilu može postići boljim planiranjem posla, imajući pritom na umu i dugoročne posljedice. Naime, kad se revidira kvalitetan

dokument, potrebna količina posla bit će znatno manja nego kod revizije dokumenta koji je prethodno bio usvojen s nizom nedostataka.

Pritom, predstavnike stručnih društava treba uključiti u posao već u fazi izrade prijedloga (ili prijevoda) pravnog akta, kako je to HDZZ predlagao još u svojoj prvoj primjedbi na nacrt novog Zakona. Napose, nedopustivo je da stručna društva u raspravu o stručnim pravnim aktima budu uključena tek na razini „zainteresirane javnosti".

DZRNS bi trebao prepoznati kadrovska ili vremenska ograničenja zbog kojih ne uspijeva izraditi dovoljno kvalitetne prijedloge regulative, te ne samo spremnije prihvaćati nego i aktivnije poticati doprinose stručnih društava u izradi regulative.

A ako za takav odnos DZRNS ne bude dovoljno motiviran zakonskim odredbama, stručna ga društva mogu i trebaju dodatno motivirati argumentiranom javnom kritikom na svojim skupovima.

LITERATURA

[1] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, Narodne novine 141/13.

[2] Council Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste

[3] Knapp A, Levanat I, Lokner V, Šaponja-Milutinović D. Vrijeme za kompetentne odluke o zbrinjavanju radioaktivnog otpada u Hrvatskoj. U: Knežević Ž, Mayer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10.-12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2013. str. 51-58.

[4] Official Journal Of The European Union C 84/1 Consolidated Version of the Treaty Establishing the European Atomic Energy Community (2010/C 84/01), 30.3.2010

[5] http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/NVS3_scr.pdf, 20. 02. 2015.

[6] http://www.hse.gov.uk/nuclear/safeguards/glossary.htm, 20. 02. 2015.

[7] Direktiva Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. o osnovnim sigurnosnim standardima za zaštitu od opasnosti koje potječu od izloženosti ionizirajućem zračenju, i o stavljanju izvan snage direktiva 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom.

PROFESSIONAL ASSOCIATIONS AND NONSENSES IN CROATIAN REGULATIONS

Alemka Knapp[1], Ivica Levanat[1], Vladimir Lokner[2] and Diana Šaponja-Milutinović[1]
[1]Zagreb Polytechnic
[2]APO Ltd, Zagreb, Croatia
ivica.levanat@tvz.hr

The paper addresses some nonsenses and other issues appearing during last two years in Croatian legal documents related to radiological and nuclear safety. This is illustrated by examples such as:

- New Croatian basic law on radiological and nuclear safety defines radioactive substances as materials „containing, among other, atoms with unstable nuclei“. Although this includes practically all natural substances, the law prohibits addition of such substances to consumer products;
- The law translates the definition of special fissionable material from the Euratom Treaty retaining the obvious typing error which distorts its meaning;
- Croatian version of EC Directive 2013/59/Euratom translates the term “absorbed dose” as - when translated back to English - “intake dose”. The misleading implications are obvious.

During the law adoption procedure, the authors of this paper provided comments on the above and other issues to the State Office for Radiological and Nuclear Safety, who was entrusted with the responsibility for drafting the document and producing the final proposal. Croatian Radiological Protection Association and Croatian Nuclear Society also provided a number of comments aimed at improving the draft. Very few suggestions were accepted by the State office, so that many inadequate formulations were retained in the adopted regulation.

Arguing that only high quality regulations can ensure radiological and nuclear safety, as well as maintain public confidence in the competence of the State, the authors suggest that the State office should take Croatian professional associations and societies far more seriously, consulting them from the very beginning of legal documents drafting and adoption procedure, and also ensure their participation in EU documents translation.

NEKONZISTENTNOSTI U HRVATSKOJ STRATEGIJI ZBRINJAVANJA RADIOAKTIVNOG OTPADA

Alemka Knapp[1], Ivica Levanat[1], Vladimir Lokner[2] i Diana Šaponja-Milutinović[1]
[1]Tehničko veleučilište Zagreb
[2]APO d.o.o., Zagreb
ivica.levanat@tvz.hr

UVOD

Republika Hrvatska je spletom okolnosti „polu-nuklearna“ zemlja, suvlasnica Nuklearne elektrane Krško (NEK), koja je suodgovorna za zbrinjavanje radioaktivnog otpada (RAO) i istrošenog nuklearnog goriva (ING) iz elektrane.

Nakon što je neko vrijeme u mnogim aspektima praktično ignorirala tu činjenicu, Hrvatska se u posljednjih par godina konačno počela ozbiljnije pripremati za prihvaćanje svoje odgovornosti. Jedan od povoda za promjenu ponašanja bila je EC Direktiva 2011/70/Euratom o odgovornom i sigurnom zbrinjavanju ING i RAO [1], koja zahtijeva izradu odgovarajuće nacionalne strategije i programa njezine provedbe do kolovoza 2014. odnosno 2015. godine, što je uvršteno i u novi Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti iz 2013. godine [2].

Zbrinjavanje polovice RAO i ING iz NEK, ako bi se provodilo u Hrvatskoj, opsežan je, dugotrajan i vrlo precizan posao koji zahtijeva raznovrsne kompetencije i stručna znanja. Osim primarnog cilja da se objektivno ostvaruje adekvatna radiološka i nuklearna sigurnost, osjetljivost ove tematike u javnoj percepciji nameće i vrlo značajan dodatni cilj: da se gradi i održava povjerenje javnosti u kompetentnost i odgovornost države. Međutim, dosadašnje ponašanje odgovornih ozbiljno dovodi u pitanje njegovo ostvarenje.

NEKONZISTENTNOST STRATEŠKIH CILJEVA

Strategiju zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva [3] (u daljnjem tekstu: Strategija) usvojio je Sabor u listopadu 2014. godine, prema prijedlogu kojega je izradio Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Javna rasprava nije bila ozbiljno publicirana u medijima i nije privukla pažnju šire javnosti

koliko bi priličilo takvom dokumentu, no to je možda pojednostavilo i olakšalo proces prihvaćanja Strategije.

Među svojim ciljevima, Strategija predviđa „izradu programa istraživanja, razvoja i uspostave dugoročnog skladišta za radioaktivni otpad iz Nuklearne elektrane Krško" u roku od 2 godine (tzv. kratkoročni cilj), te njegovu provedbu (tj. uspostavu skladišta) u roku od 10 godina (srednjeročni cilj). Uspostava odlagališta za taj RAO svrstana je, razumno, među dugoročne ciljeve bez navedenoga roka (samo izradu programa treba dovršiti srednjeročno).

Međutim, Strategija isto tako predviđa i izradu i provedbu "programa istraživanja, razvoja i uspostave suhog skladišta za istrošeno nuklearno gorivo iz Nuklearne elektrane Krško", i to u istim rokovima kao za skladište RAO (2 odnosno 10 godina), iako su u vrijeme njezina donošenja planovi za skoru gradnju suhog skladišta unutar NEK već bili službeno najavljeni u 5. slovenskom Izvješću po Zajedničkoj konvenciji [4]. Stoga je u svojim primjedbama u javnoj raspravi jedan od autora ovoga teksta predlagao da se za uspostavu skladišta ING koristi „mekša" formulacija s nekim kondicionalom (koja bi bila bliža fleksibilnoj formulaciji o daljnjem zbrinjavanju ING). Primjedba nije prihvaćena, iako u konačnom tekstu same Strategije piše da „NE Krško planira na lokaciji elektrane uspostaviti suho skladište za ING, koje bi započelo s pogonom 2019."

Kakvog to smisla ima: planirati dovršenje suhog skladišta ING u Hrvatskoj svega nekoliko godina nakon što će suho skladište ING biti izgrađeno u NEK? Umjesto toga, Strategija je trebala planirati samo izradu programa za uspostavu hrvatskog skladišta – ako ono ikada bude potrebno.

NEKONZISTENTNOST OBRAZLOŽENJA U STRATEGIJI

U primjedbama autora ovoga rada najopširniji se prigovor odnosio na nepotrebno izmišljanje i smušeno dokazivanje pravne obveze Republike Hrvatske da bezuvjetno mora preuzeti polovicu RAO i ING iz NEK „nakon 2023. godine". Takva obveza navodno proizlazi iz „trenutačno važeće interpretacije" Bilateralnog ugovora o NEK-u [5], koju predlagatelj Strategije nevješto konstruira jer ne može navesti koja su to ovlaštena tijela dviju država usuglasila i donijela takvu interpretaciju (i to tako da je zataje od svih osim od predlagatelja hrvatske Strategije).

Predlagatelju Strategije moralo je biti jasno da Bilateralni ugovor predviđa podjelu i preuzimanje RAO i ING iz NEK samo u slučaju da dvije države ne postignu dogovor o zajedničkom rješenju do 2023. godine. Također, moralo mu je biti poznato da nikakva formalna odluka o podjeli

otpada niti neka „nova“ ovlaštena „interpretacija“ Bilateralnog ugovora u tome smislu nije donesena.

Naravno, sve mu je to bilo i jasno i poznato, budući da i u samom tekstu prihvaćene Strategije piše:

> “...RH će u duhu Bilateralnog sporazuma nastojati dogovoriti s RS obostrano prihvatljivo zajedničko rješenje. Da bi se takvo što postiglo, potrebno je intenzivirati i unaprijediti suradnju s RS o pitanju provedbe Bilateralnog sporazuma...”

Stoga se nameće pitanje kako je moguće da u tome istom konačnom tekstu Strategije, i to nakon primjedbi autora ovoga članka, bude dodatno „pojačana“ kriva konstrukcija o bezuvjetnoj hrvatskoj obvezi da preuzme polovicu RAO i ING iz NEK:

„Trenutačno važeća interpretacija odredbi danih u članku 10. stavcima 6. i 7. Bilateralnog sporazuma upozorava kako, bez obzira na to hoće li RH i RS do kraja redovitog pogonskog vijeka elektrane (2023. godina) postići dogovor o zajedničkom rješenju odlaganja RAO-a i ING-a ili neće, RH i RS morat će fizički preuzeti pogonski RAO i raspoloživi dio ING nakon 2023. godine, i to svaka po polovicu. (...) Takva interpretacija odredbi članka 10. stavaka 6. i 7. proizlazi iz stajališta (*potcrtali autori*) koje se odnosi na članak 5. stavak 2., prema kojemu se pod terminom »životni vijek« podrazumijeva »redovni životni vijek« NE Krško.“[1]

---

[1]Spomenuto „pojačanje“ u odnosu na prijedlog Strategije je dodatno tumačenje, tzv. „stajalište“ o članku 5.2. Bilateralnog ugovora. Međutim, iz ukupnog smisla ugovornih odredbi jasno se vidi da je navedeno „stajalište“ čista izmišljotina. Štoviše, na takav zaključak upućuje već i sadržaj samoga članka 5.2:

“(5.2) Ugovorne stranke suglasne su da će društvo raspoloživu snagu i proizvedenu električnu energiju isporučivati članovima društva, svakom polovicu, i to do kraja redovnog životnog vijeka nuklearne elektrane 2023. godine odnosno do kraja produljenog životnog vijeka ako bude odobren (u daljnjem tekstu: životni vijek).”

Tu bi eventualno (prema redoslijedu termina) životni vijek mogao označavati produljeni vijek (a nikako redovni, kako se tvrdi u “stajalištu”), ali iz smisla odredbe o podjeli energije nedvojbeno slijedi da životni vijek ravnopravno obuhvaća opcije sa i bez produljenja. Osim toga, u susjednim alinejama članka 10 koriste se termini životni vijek i redovni životni vijek jedan iza drugoga, i to tako da uzrokuju različite pravne posljedice:

„(10.6) Lokacija NE Krško može se koristiti za privremeno skladištenje radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva do kraja životnog vijeka.

(10.7) Ako ugovorne stranke ne postignu dogovor o zajedničkom rješenju odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva do kraja redovnog životnog vijeka, obvezuju se da će najkasnije dvije godine nakon tog roka završiti s preuzimanjem...“

Navedeno "stajalište" iz Strategije, da su termini "životni vijek" i "redovni životni vijek" sinonimi, može se razumjeti samo kao tvrdnja da je Bilateralni ugovor nekakva konfuzna improvizacija, što je, dakako, posve neutemeljeno. Taj je ugovor napisan puno stručnije i temeljitije nego Strategija.

No, to ne znači da autori ovoga članka osporavaju opravdanost Strategijom utvrđenih ciljeva o uspostavi skladišta i odlagališta za RAO iz NEK. Baš naprotiv, i sami takva strateška opredjeljenja RH već godinama javno zagovaraju. Ali se odlučno protive podmetanju iskonstruiranih opravdanja za te strateške ciljeve, kojima predlagatelj Strategije nepotrebno obmanjuje Hrvatsku vladu, Sabor i javnost.

Pravi, istiniti i legitimni razlozi za poduzimanje hitnih koraka za uspostavu hrvatskog skladišta za RAO iz NEK, te planiranje odlagališta, su sasvim drugi i posve očigledni:

- nije postignut nikakav dogovor sa Slovenijom o zajedničkom zbrinjavanju toga RAO, zbog čega se Hrvatska mora pripremiti da ga počne preuzimati 2023. godine;
- jedino alternativno rješenje bilo bi odlaganje toga RAO u planiranom slovenskom odlagalištu na Vrbini, što nam Slovenija još nije formalno ponudila iako je rok za eventualno dogovoranje postao opasno kratak: umjesto dogovaranja riskiramo ucjenjivanje ako ne bismo stigli izgraditi vlastite kapacitete za prihvat RAO do 2023. godine;
- prema podacima iz slovenskih dokumenata o projektu Vrbina i mogućem prihvatu hrvatskog dijela RAO iz NEK, takvo rješenje moglo bi za Hrvatsku biti gospodarski znatno nepovoljnije od vlastitog zbrinjavanja, a ne jamči niti veću radiološku sigurnost.

Nikakvi dodatni razlozi nisu potrebni za obrazloženje odredbi o planiranju hrvatskog skladišta i odlagališta RAO u Strategiji. A napose nisu potrebne izmišljotine, jer će samo umanjiti povjerenje javnosti u iskrenost i kompetentnost nadležnih organa, što može ozbiljno ugroziti izglede za realizaciju tako osjetljivih projekata.

ZAKLJUČAK

Kako je spomenuto već u Uvodu, osjetljivost zbrinjavanja RAO u javnoj percepciji zahtijeva kvalitetno i transparentno planiranje i reguliranje svih koraka - da bi se izgradilo i održavalo povjerenje javnosti u stručnost i odgovornost države - što je osobito značajno upravo za hrvatske projekte zbrinjavanja otpada koji nije nastao u Hrvatskoj niti se u njoj sada nalazi.

Međutim, u tijelima koja izrađuju strateške dokumente sjede i predstavnici različitih formalno zainteresiranih državnih tijela, obično bez razumijevanja temeljnih načela struke. To možda objašnjava zašto se u dokumente nepažljivo ugrađuju stajališta trenutno vladajuće političke opcije: npr. do prije nekoliko godina se zabranjivao svaki uvoz RAO iz NEK, a sada se i besmisleni hitni uvoz ING nalazi u nacionalnoj strategiji.

Umjesto takvog pristupa poslu, DZRNS bi trebao već u fazi izrade prvog prijedloga u proces donošenja strateških dokumenata ozbiljno uključiti predstavnike stručnih društava, kao što su Hrvatsko nuklearno društvo (HND) i HDZZ. No to podrazumijeva i obvezu stručnih društava da ozbiljnije i temeljitije razmatraju ključne konceptualne aspekte nego što su i HDZZ i HND činili u raspravi o Strategiji: tada su se previše bavili pravopisom i stilom prijedloga, što nije primjerena razina za njihov angažman (za pretpostaviti je da predlagatelj dokumenta i sam ima kapacitete za taj dio posla).

LITERATURA

[1] Council Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste.

[2] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, Narodne novine 141/13.

[3] Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, Narodne novine 125/14.

[4] http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Porocila/NacionalnaPorocila/5_NP_SKRAO.pdf, 20. 02. 2015.

[5] Ugovor između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško, Narodne novine - Međunarodni ugovori, br. 9/02.

INCONSISTENCIES IN CROATIAN STRATEGY OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Alemka Knapp[1], Ivica Levanat[1], Vladimir Lokner[2] and Diana Šaponja-Milutinović[1]
[1]Zagreb Polytechnic
[2]APO Ltd, Zagreb, Croatia
ivica.levanat@tvz.hr

The paper addresses inconsistencies appearing in the new Croatian Strategy of radioactive waste, spent sources and spent nuclear fuel management. These appear both at the conceptual level as well as at the level of justification:

- New Croatian Strategy is planning unconditional and hasty establishment of a Croatian dry storage for the Croatian half of the spent fuel from the Krško nuclear power plant (in about 10 years), although the plant itself is planning establishment of dry storage for its spent fuel on its own site in Slovenia by 2019 - which is noted in the same Strategy.

- The Croatian Strategy provides false arguments for establishment of radioactive waste storage and repository in Croatia (based on invented "interpretations" of the Bilateral agreement with Slovenia), although true arguments, legitimate and convincing, are obvious and sufficient for such strategic planning.

One author of this paper communicated suggestions, based on above arguments, to the State Office for Radiological and Nuclear Safety, who had drafted the Strategy and was coordinating preparation of the final proposal during the document adoption procedure. Croatian Radiation Protection Association and Croatian Nuclear Society also provided comments aimed at improving the draft.

The authors here suggest that only clear and honest arguments can maintain public confidence in the competence of the State, which is a prerequisite for establishing radioactive waste management facilities. The authors propose that the State office should engage Croatian professional associations and societies already in the process of strategic documents drafting, whereas they should most seriously focus on the conceptual aspects of such documents.

ESR STUDY APPLIED TO THERMAL STABILITY OF RADIATION - INDUCED SPECIES OF SOLID KETOPROFEN

Nadica Maltar-Strmečki[1], Branka Katušin-Ražem[2] and Dušan Ražem[2]
[1]Laboratory for Magnetic Resonances
[2]Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
nstrm@irb.hr

INTRODUCTION

Ketoprofen [2-(3-benzoylphenyl) propionic acid] is a non-steroidal anti-inflammatory drug. It has been widely used in human and veterinary medicine [1,2]. Radiation processing of drugs and its ingredients is recognized as a safe and effective method among the existing technologies for sterilization and protocols that can be found in ISO 11137-1 [3]. Radiosterilization of drugs or other medical products by a suitable dose of ionizing radiation conducted in an appropriate environment ensures sterile conditions by destroying or removing vegetative and sporulating microbes from the ingredients or environment. In earlier studies the effects of gamma radiation was evaluated by selected physico-chemical methods [4,5] and the observations showed that solid ketoprofen is stable toward ionizing irradiation and that radiosterilization might be a suitable method for the sterilization of solid ketoprofen. The studies reported in this work were undertaken to analyse thermal stability of free radicals by accelerated aging method [6]. Electron spin resonance (ESR) spectroscopy as a non-destructive method was applied due to its high sensitivity to radiation-induced species with view on the determination of the expiration date (shelf-life) of a product [7].

MATERIALS AND METHODS

Ketoprofen (KP) was obtained from Belupo Pharmaceutical Works (Koprivnica, Croatia). Irradiation of samples was performed by ^{60}Co gamma rays at a dose rate of 10 Gy/s in the presence of air as explained before [3]. Continuous wave (CW) EPR spectra were recorded on ESR spectrometer model E109 (Varian, Palo Alto, USA), working at X-band ($\nu_{mw} \sim 9.5$ GHz). Temperature control unit ER4111VT (Bruker, Karlsruhe, Germany) with

nitrogen gas flow was used to control the temperature within ± 1 K. A strong pitch standard reference (Bruker, Karlsruhe, Germany) was used to calibrate the magnetic field of the spectrometer. During thermal annealing studies in a temperature interval from 313 K to 333 K, chromel-alumel thermocouple was located below the sample in the ESR cavity. The changes in ESR signals with time were analyzed by monitoring the results of double integration of the ESR spectra.

RESULTS

ESR spectrum at room temperature (RT, 295 K) of solid ketoprofen powder γ-irradiated with a dose of 25 kGy is shown in Figure 1. The selected microwave power (0.1 mW) and modulation amplitude (0.1 mT) were well below the values causing signal saturation or lineshape distortion.

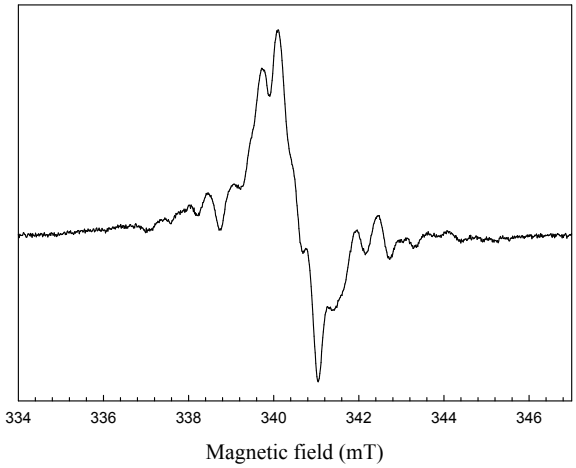


Figure 1. ESR spectrum of solid ketoprofen irradiated with 25 kGy

In our previous study [4] the concentration of paramagnetic centers (spin/g) in solid ketoprofen was reported as function of dose and a linear dose response relationship was found to hold up to 500 kGy. As solid ketoprofen reveals a complex spectrum and spectral features imply the existence of many different radicals, thermal stability and decay kinetics of ESR response in γ-irradiated solid ketoprofen samples were investigated in isothermal annealing experiments. In this study the evaluation of thermal decay has been performed by monitoring the ESR signal fading with time for three different doses 12.5, 25 and 125 kGy at temperature 333 K. Figure

2 shows the decay of ESR signal as a function of time for different doses. As expected, the decrease in the ESR signal intensity is more pronounced for lower dose. Further analyses regarding thermal fading have been obtained for 25 kGy as dose recommended for sterilization of drugs.

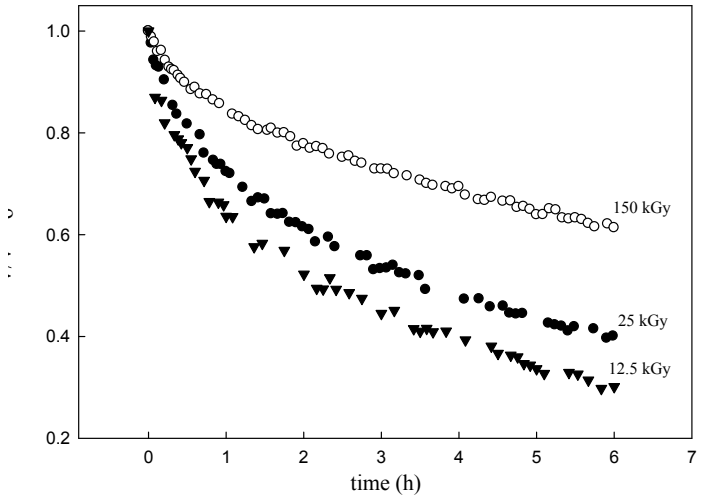


Figure 2. Thermal fading of ESR signal with time at 333 K

The ESR data presented in Figure 3a were analyzed assuming the first-order decay process. The best approximation of the thermal decay considering the general change of the ESR spectra was obtained assuming the decay of a single component over the first 6 hours after irradiation:

$$A(t) = A(t=0) \cdot e^{-k(T) \cdot t} \tag{1}$$

where A is double integral of an experimental ESR spectrum at time t, $A_o = A(t = 0)$ is double integral of an experimental ESR spectrum at time $t = 0$, t denotes annealing time and k is rate constant, which is a function of absolute temperature, T.

For each sample, the rate constants derived from Eq (1) were further analyzed according to the Arrhenius equation,

$$k(T) = k_o \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} \tag{2}$$

where k_o is the frequency factor, ΔE is the activation energy and R is the universal gas constant (R = 8.314 $Jmol^{-1}K^{-1}$). Figure 3b shows the Arrhenius

plot of the derived reaction rate constants of solid ketoprofen, from which the kinetic parameters for the process (k_o, ΔE) have been extracted.

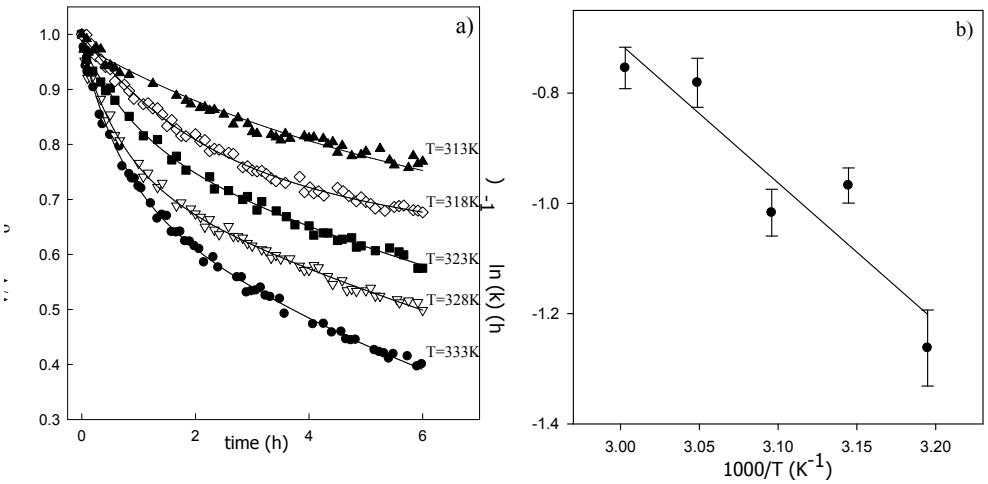


Figure 3.
a) Thermal fading of ESR signal with time at different temperatures for solid ketoprofen irradiated with a dose of 25 kGy. Solid curves represent fit to the experimental data according to Eq. (1);
b) Arrhenius plot showing the rate parameters of the first-order radical decay processes of solid ketoprofen irradiated with a dose of 25 kGy derived from Eq. (2). Solid line represents the best fit of presented data according to Eq. (2), while the kinetic parameters are given in the text

The results do not confirm the assumption of the participation of different radicals in the overall decay of free radical components in solid ketoprofen but seem to support the assumption of a single free radical. The extracted kinetic parameters for the process are: $\ln(k_o) = (6.8 \pm 1.8)\ h^{-1}$ and $\Delta E = (20.9 \pm 4.9)$ kJ/mol. The calculation of the decrease of the ESR signal at 295 K shows that radical decay would lead to the decrease of the ESR signal by 85 % in about 6 months (180 days). However, considering the complexity of the ESR spectra as shown in Figure 1, the assumption of the presence of a single type of free radicals is probably an oversimplification. Also, it would be unsafe to predict the stability of radical species at temperatures far from those included in this work (313 - 333 K). Considering different behavior of free radicals with respect to fading, further studies of dose dependence and storage conditions upon thermal

annealing of irradiated ketoprofen, such as humidity, light and time of storage extended beyond the first 6 hours are required.

CONCLUSION

This work shows that ESR spectroscopy provides an opportunity for determination of thermal stability of free radicals induced by γ-irradiation in solid drugs. Because of the restricted mobility in solids the major part of free radicals may be presumed to decay by geminate recombination, which leads to the restitution of the original molecules. Therefore, despite the complex mixture of individual free radicals induced by γ-irradiation in solid ketoprofen, the overall lifetime of free radicals could be determined by using isothermal and isochronal annealing, which gives an indication of the time required to repair the damage. This study shows that radicals induced by γ-irradiation in solid ketoprofen are stable for at least about 6 months. This information should be combined with the study of time dependence of stable radiolysis products to assess shelf- life.

REFERENCES

[1] Kantor T G. Ketoprofen: A Review of its pharmacologic and clinical properties. Pharmacotherapy 1986;6:93-102.

[2] Julou L, Guyonnet, J C, Ducrot R, Fournel J, Pasquet J. Ketoprofen (19.583R.P.) (2-(3-benzoyl-phenyl)-propionic acid). Main pharmacological properties: outline of toxicological and pharmacokinetic data**.** Scand J Rheumato Suppl 1976;14:33-44.

[3] ISO 11137-1 Sterilization of health care products - Radiation - Part 1: requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices; 2006.

[4] Katušin-Ražem B, Hamitouche K, Maltar-Strmečki N, Kos K, Pucić I, Britvić-Budicin S, Ražem D. Radiation sterilization of ketoprofen. Radiat Phys Chem 2005;73:111-116.

[5] Çolak Ş, Maquille A, Tilquin B. Chemical analysis applied to the radiation sterilization of solid ketoprofen. Radiat Eff Defects S. 2006;161:75-80.

[6] Waterman KC, Adami RC. Accelerated aging: prediction of chemical stability of pharmaceuticals. Int J Pharm 2005;293:101-125.

[7] Sagstuen E, Hole EO. Radiation Produced Radicals. In: Brustolon M, Giamello E, eds. Electron Paramagnetic Resonance: A Practitioner's Toolkit. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2009.

ESR STUDY APPLIED TO THERMAL STABILITY OF RADIATION-INDUCED SPECIES OF SOLID KETOPROFEN

Nadica Maltar-Strmečki[1], Branka Katušin-Ražem[2] and Dušan Ražem[2]
[1]Laboratory for Magnetic Resonances
[2]Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
nstrm@irb.hr

Ketoprofen [2-(3-benzoylphenyl) propionic acid] is a non-steroidal anti-inflammatory drug. It has been widely used in human and veterinary medicine. Radiation processing of drugs and its ingredients is recognized as a safe and effective method among the existing technologies for sterilization and protocols that can be found in ISO 11137-1. Radiosterilization of drugs or other medical products by a suitable dose of ionizing radiation conducted in an appropriate environment ensures sterile conditions by destroying or removing vegetative and sporulating microbes from the ingredients or environment. In earlier studies the effects of gamma radiation was evaluated by selected physico-chemical methods and the observations showed that solid ketoprofen is relatively stable toward ionizing irradiation and that radiosterilization might be a suitable method for the sterilization of solid ketoprofen. The studies reported in this work were undertaken to analyse thermal stability of free radicals by accelerated aging method with a view to the determination of shelf-life. The expiration date (shelf-life) of a product is based on evaluation of both, thermal stability of free radicals, as well as on the time evolution of stable radiolysis products. Namely, storage time is determined by the time required by any degradation product in the dosage form to achieve a sufficient level to represent a risk to the patient.

This work shows that ESR spectroscopy provides means for determination of thermal stability of radicals induced by γ-irradiation in solid drugs. Therefore, despite the complex mixture of individual free radicals induced by γ-irradiation in solid ketoprofen, the overall lifetime of free radicals could be determined by using isothermal and isochronal annealing. This study shows that radicals induced by γ-irradiation in solid ketoprofen are stable for at least about 6 months.

PRISTUP ZAŠTITE I SPAŠAVANJA PREDMETA KULTURNE BAŠTINE PRIMJENOM IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Katarina Marušić[1], Maja Šegvić Klarić[2], Ana Dumbović[3] i Branka Mihaljević[1]
[1]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
[2]Farmaceutsko-biokemijski fakultet, Zagreb
[3]Hrvatski restauratorski zavod, Zagreb
kmarusic@irb.hr

UVOD

Predmeti kulturne baštine organskog porijekla kao što su drvo, koža, papir i tekstil, podložni su razgradnji uslijed biološkog djelovanja različitih nametnika. Mnogobrojni predmeti mogu biti ugroženi pojavom gljivica i plijesni uslijed povećane koncentracije vlage u prostoru u kojemu se nalaze. Biološka zagađivala, tj. insekti, gljivice, plijesni, bakterije itd. nastanjuju objekte kulturne baštine i hrane se njihovim gradivnim materijalima. Jednom kada se pojave na objektu, u nepovoljnim mikroklimatskim uvjetima oni se množe uzrokujući promjenu izgleda kao što je obezbojenje ili pojava obojenih mrlja, gubitak čvrstoće objekta ili razgradnja materijala. Primjenom klasičnih metoda fumigacije moguće je ukloniti biozagađivala, međutim za njihovu djelotvornu redukciju ili eliminaciju sve se više primjenjuju napredne radijacijske tehnike primjenom γ - zračenja [1].

Fumigacija se najčešće primjenjuje za zaštitu drvenih predmeta. Ova se metoda provodi uporabom plinova, etilen oksida ili metil bromida. Zbog izravne opasnosti ovih plinova kako za zdravlje operatera tako i ljudi u blizini tretiranog predmeta, te zbog njihove štetnosti za okoliš, uporaba fumiganata je zakonom strogo ograničena. Osim što fumiganti često nisu djelotvorni jer ne prodiru dovoljno u dubinu materijala, njihova uporaba nije ni jeftina.

Radijacijska metoda bazira se na svojstvu ionizirajućeg zračenja da trajno oštećuje molekule DNK bioloških zagađivala. Najvažniji parametar prilikom ozračivanja je apsorbirana doza zračenja čija se veličina određuje razinom početne kontaminacije, radioosjetljivosti kontaminirajuće flore i željenog faktora redukcije nametnika. U odnosu na fumigaciju radijacijska obrada ima mnoge prednosti: prodornost (djeluje kroz cijeli volumen predmeta), djelotvornost, sigurnost, netoksičnost, relativno kratko vrijeme

postupka te zanemarivo male sekundarne efekte [2,3]. Dezinfekcija i dezinsekcija zračenjem uspješno se provode već dugi niz godina. Međutim, o ovoj temi u literaturi može se pronaći vrlo mali broj istraživačkih radova.

Cilj ovog rada je pokazati na originalnom primjeru umjetničkog djela mogućnosti primjene radijacijske metode, te nužnost inter-disciplinarnog znanstveno istraživačkog pristupa u rješavanju problema pojave i redukcije plijesni radi omogućavanja učinkovitije konzervacije umjetnina.

MATERIJAL I METODE

Objekt kulturne baštine. Slika sv. Florijan izvorno je krasila retabl istoimenog oltara iz crkve sv. Ivana Krstitelja u Kloštar Ivaniću. Tijekom Drugog svjetskog rata crkva je devastirana, krovište se srušilo na svetište i nepovratno uništilo sedam baroknih drvenih polikromiranih oltara i propovjedaonicu. Nekolicina skulptura i slika s oltara su očuvane, pojedine su restaurirane, te se danas čuvaju u riznici obližnje Župne crkve Uznesenja Blažene Djevice Marije [4]. Nakon cjelovitog restauratorskog zahvata oko 1995. godine, tamo je pohranjena i slika sv. Florijana. Posljednjih godina Župna crkva Uznesenja Blažene Djevice Marije u Kloštar Ivaniću pokušava riješiti problem odvodnje oborinskih voda i kapilarne vlage u zidovima, i time pratećeg učinka visoke relativne vlažnosti zraka u crkvi, osobito u riznici.

Slika 1. Detalj slike „Sv. Florijana“ s tragovima plijesni. Slika „Sv. Florijan“; datacija: oko 1750. godine; autor: Izaija Gasser i pomoćnik; dimenzije: 245 × 114 cm, smještaj: riznica Župne crkve Uznesenja Blažene Djevice Marije u Kloštar Ivaniću; tehnika: ulje na platnu.

Kako su prostorije riznice izdvojene od svetišta crkve, nisu osvijetljene, te se slabo mogu prozračivati, uz povišenje relativne vlažnosti zraka (RVZ) u vrijednostima od 75 % do 89 % stvorili su se povoljni uvjeti za razvoj bioloških aktivnosti. Tijekom 2013. godine površinu slikanog sloja slike sv. Florijan prekrila je plijesan bijele boje, prateći gustu mrežu krakelira. Biološke aktivnosti, koje djeluju destruktivno na materijale umjetničkih predmeta, mogu se kontrolirati uspostavom odgovarajućih mikroklimatskih uvjeta. Optimalni uvjeti za pohranu slika na platnu i drvenih polikromiranih skulptura zahtijevaju vrijednosti RVZ od 45 % do 65 % [5]. Hrvatski restauratorski zavod organizirao je uvođenje aparata za odvlaživanje zraka unutar riznice crkve, čime se RVZ uspjela smanjiti na vrijednosti od 60 % do 65 %. Ipak za dugotrajno rješenje, nužno je izvesti opsežniju građevinsku sanaciju odvodnje i isušivanja zidova crkve, ili osmisliti novo mjesto za pohranu umjetnina.

Uređaj za ozračivanje. Uređaj za ozračivanje u Laboratoriju za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD) je panoramskog tipa za ozračivanje γ - zrakama ^{60}Co. Izvor zračenja ima oblik valjkastog kaveza čije rešetke tvore šipke ^{60}Co. Topografija polja zračenja izmjerena je pomoću etanol - klorbenzenskog dozimetrijskog sustava (ISO/ASTM 51538:2009). Osim primarne upotrebe za znanstvene svrhe, te ozračivanja medicinskih potrepština, farmaceutika, kozmetičkih materijala, dekontaminaciju i dezinfestaciju namirnica za gospodarstvo [6], uređaj se posljednjih godina sve intenzivnije rabi i za očuvanje i zaštitu predmeta kulturne baštine [2].

Slika sv. Florijana podvrgnuta je postupku dezinsekcije u LRKD-u krajem 2014. godine. Premda i doza od 0,5 kGy učinkovito uništava insekte u svim fazama razvoja [7], na ovom panoramskom uređaju primijenjena je nominalna doza za dezinsekciju od 2 kGy, kod brzine doze od oko 20 mGy/s i temperature komore od oko 15 °C. Potom su konzervatorsko restauratorskim suhim metodama uklonjeni miceliji plijesni na Odjelu za štafelajno slikarstvo u Hrvatskom restauratorskom zavodu. Prije dezinsekcije plijesan je uzorkovana, te su uzorci predani na analizu u laboratorij Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta. Isti postupak uzimanja uzoraka plijesni ponovljen je desetak dana nakon zračenja kako bi se usporedili rezultati.

Mikrobiološka analiza. Obrisak sa slike nacijepljen je na Malt ekstrakt agar (MEA), pogodan za rast većine plijesni, i Dikloran glicerolni agar (DG - 18), pogodan za rast kserofilnih plijesni.

REZULTATI

Nakon 10 dana inkubacije na 25 °C zabilježen je porast kolonija plijesni na obje podloge te je na temelju makro- i mikromorfologije utvrđeno da se radi o plijesni iz roda *Penicillium*. Subkultivacijom na Czapekov agar s kvaščevim ekstraktom (CYA) utvrđeno je da se radi o vrsti penicilije iz sekcije *Aspergilloides*. *Penicillium* vrste pripadaju primarnim kolonizatorima, tj. rastu na supstratima uključujući građevinski materijal pa i umjetnine u kojima je aktivitet vode (količina slobodne vode) između 0,6 i 0,8. Ovi se heterotrofni organizmi često javljaju na slikama i za njihovo uklanjanje je određena minimalna doza od 10 kGy [8], za koju je također dokazano da ne utječe na promjenu boje pigmenata. Primjena većih doza kao što su 25 kGy i 33 kGy također ne uzrokuje promjene analiziranih komponenata na slikama [9,3], a 25 kGy nije uzrokovala trajne promjene kemijskih struktura istraživanih polimera koji se uobičajeno koriste na slikama.

Za kontrolu gljivica (plijesni) obično dostaje doza od 2 - 10 kGy [7]**,** no dokazano je i 6 kGy djelotvorna doza za eliminaciju ove plijesni, te da ne oštećuje sliku kako sa stanovišta pigmenata, tako i gradivnih polimernih materijala uobičajenih u restauraciji (vosak, razne smole) [10]. Primjenom te doze nije se mogla odrediti značajna promjena boje.

Pokazano je da se zračenjem tekstilnog vlakna bilo životinjskog bilo biljnog porijekla ne mogu uočiti kemijske promjene kod doza nižih od 10 kGy [11]**.** Na osnovu ovih podataka i dobivenih rezultata analize plijesni, može se zaključiti da se eliminacija plijesni razvijenih na slici Sv. Florijana može provesti dozom od 10 kGy bez poticanja štetnih učinaka zračenja na gradivne komponente slike (tekstil, drvo, pigmenti, vezivo, vosak). Međutim, s obzirom da je slika već jednom tretirana zračenjem, doza zračenja dostatna za eliminaciju plijesni je 6 - 8 kGy.

ZAKLJUČAK

Prije restauracije slike „Sv. Florijana“ iz riznice župne crkve u Kloštar Ivaniću, nakon konzervatorsko restauratorskog uklanjanja micelija plijesni, provedena je radijacijska dezinsekcija dozom od 2 kGy. Slika je vraćena u riznicu, gdje su uspostavljeni mikroklimatski uvjeti povoljni za pohranu umjetnina. Analizom plijesni prije i nakon ozračivanja, dokazana je prisutnost vrste penicilije iz sekcije *Aspergilloides*. Prema literaturnim podacima o radiorezistentnosti te rezultatima ovog rada, za uklanjanje ove plijesni iz vrste *Penicilium* preporučena je doza od 6 - 8 kGy.

Sliku treba razmatrati kao složeni sustav različitih materijala, te je stoga u postupku zaštite predmeta kulturne baštine nužan ovakav interdisciplinaran pristup u kojem se osim mikrobioloških analiza utjecaj zračenja na umjetničke slike mora proučavati na molekularnoj razini.

LITERATURA

[1] Sterflinger K, Pinar G. Microbial deterioration of cultural heritage and works of art – tilting at windmills? Appl Microbiol Biotechnol 2013;97:9637-9646.

[2] Katušin-Ražem B, Ražem D, Braun M. Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia. Radiat Phys Chem 2009;78:729-731.

[3] Manea MM, Negut CD, Stanculescu IR, Ponta CC. Irradiation effects on canvas oil painting: Spectroscopic observations. Radiat Phys Chem 2012;81: 1595-1599.

[4] Paškal Cvekan, Franjevci u Ivaniću, Kloštar Ivanić 1979;57.

[5] Denis Vokić, Preventivno konzerviranje slika, polikromiranog drva i mješovitih zbirki, 2007;39.

[6] Ražem D. Twenty years of radiation processing in Croatia. Radiat Phys Chem 2004;1:597-602.

[7] Brower JH, Tilton EW. The potential of irradiation as a quarantine treatment for insects infesting stored-food commodities. In: Moy JH, ed. Proceedings of the International Conference on Radiation Disinfestation of Food and Agricultural Products; 14-18 November 1983; Honolulu, Hawaii. University of Hawaii at Manoa: 1985;75-86.

[8] Petushkova JP, Lyalikova NN, Nichiporov FG. Effect of ionizing radiation on monument deteriorating microorganisms. J Radioanal Nucl Chem 1988; 125:367-371.

[9] Abdel-Haliem MEF, Ali MF, Ghaly MF, Sakr AA. Efficiency of antibiotics and gamma irradiation in eliminating Streptomyces strains from paintings of ancient Egyptian tombs. J Cult Her 2013;14:45-50.

[10] Rizzo MM, Machado LDB, Borrely SI, Sampa MHO, Rela PR, Farah JPS, Schumacher RI. Effects of gamma rays on a restored painting from the XVIIth century. Radiat Phys Chem 2002;63:259-262.

[11] Pucić I, Kavkler K, Mihaljević B. Radiation treatment of aged model textile samples. In: Ristić G, ed. Book of abstracts of the Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research RAD2014, May 27-30, 2014; Niš, Serbia. Niš: Faculty of Electronic Engineering, Nais Print; 2014. pp.171. ISBN: 978-86-6125-100-9.

PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS BY IONIZING RADIATION

Katarina Marušić[1], Maja Šegvić Klarić[2], Ana Dumbović[3] and Branka Mihaljević[1]
[1]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
[2]Faculty of Pharmacy and Biochemistry, Zagreb, Croatia
[3]Croatian Conservation Institute, Zagreb, Croatia
kmarusic@irb.hr

Cultural heritage objects of organic origin such as wood, leather, paper and textiles, are subject to degradation due to biological activity of various parasites. Numerous items can be threatened by the appearance of mould and fungi, caused by increased concentration of moisture in the space in which they are located. Radiation methods, i.e. the process of intentionally exposure of vulnerable subjects to gamma radiation, has already proved to be very effective in saving objects of cultural heritage.

Laboratory for Radiation Chemistry and Dosimetry at the Ruđer Bošković Institute has a panoramic multifunction device for irradiation with ^{60}Co gamma rays. The device is used mostly for scientific purposes, and commercial irradiation of medical supplies, pharmaceuticals, cosmetic materials and decontamination and disinfestation of food. Recently, the device has increasingly been used for the preservation and protection of cultural heritage artefacts.

This paper outlines the necessity of an interdisciplinary scientific approach, as well as the radiation method as the best choice to solve the problem of mould elimination on the original artwork example in cooperation with the Croatian Conservation Institute. A painting should be considered as a complex system with a lot of interfaces. Therefore, in the process of protection of cultural heritage objects, the interdisciplinary approach is necessary where besides the microbiological analysis, the impact of irradiation on the paintings must be studied at the molecular level.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA ZDRAVSTVENIH SURADNIKA

Mario Medvedec
Klinički zavod za nuklearnu medicinu i zaštitu od zračenja,
Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb
mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

UVOD

Prema hrvatskom zakonodavatelju, zdravstveni radnici su osobe s obrazovanjem zdravstvenog usmjerenja stečenom na medicinskom, dentalnom ili farmaceutsko-biokemijskom fakultetu, studijskom smjeru logopedije te drugom visokom učilištu zdravstvenog usmjerenja, kao i u srednjim školama zdravstvenog usmjerenja, odnosno učilištu ili u srednjim školama koje imaju odobrenje za provođenje obrazovnog programa zdravstvenog usmjerenja [1,2]. Zdravstveni radnici neposredno u vidu zanimanja pružaju zdravstvenu zaštitu stanovništvu, uz obvezno poštovanje pravila te moralnih i etičkih načela zdravstvene struke, kako ne bi svojim postupcima ugrozili život i zdravlje ljudi [1]. Prema hrvatskom zakonodavatelju, zdravstveni suradnici su pak osobe koje nisu završile obrazovanje zdravstvenog usmjerenja, ali rade u zdravstvenim ustanovama i sudjeluju u dijelu zdravstvene zaštite (dijagnostički i terapijski postupci) [1].

Posljednja međunarodna (ISCO-08 [3]) i hrvatska razredba zanimanja (NKZ-10 [4]) opisuju i razvrstavaju zdravstvene stručnjake (*health professionals*) kao one koji provode istraživanja, unaprjeđuju i razvijaju ideje, teorije i metode te primjenjuju znanstvene spoznaje u medicini, sestrinstvu, dentalnoj medicini, veterinarskoj medicini, farmaciji te općenito u promicanju zdravlja. Stručno obavljanje većine poslova i radnih zadataka u ovoj vrsti zanimanja zahtijeva vještine najviše razine [3,4].

Svrha ovog rada je razmatranje položaja sveučilišno obrazovanih zdravstvenih suradnika u hrvatskom zdravstvenom sustavu, u svjetlu najnovijih odgovarajućih hrvatskih zakona i podzakonskih propisa.

MATERIJAL I METODE

Temeljem Zakona o plaćama u javnim službama [5], Vlada Republike Hrvatske (RH) je 2001. donijela Uredbu o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama [6], koja je stubokom

promijenila položaj i odnose između pojedinih skupina djelatnika u zdravstvu. 2013. donesena je nova istoimena uredba [7], a najznačajnije izmjene i dopune krajem 2013. [8] i početkom 2014. [9]. Posljednji Zakon o zdravstvenoj zaštiti [1] donesen je 2008., a 2013. po prvi put spominje i studijski smjer logopedije kao obrazovanje zdravstvenog usmjerenja [2].

REZULTATI I RASPRAVA

Najznačajnije promjene naziva radnih mjesta i koeficijenata složenosti poslova u zdravstvu prikazuje Tablica 1. Prikazano razvrstavanje djelatnika na zdravstvene radnike i zdravstvene suradnike (*nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja*) u RH nije sukladno međunarodnoj i hrvatskoj razredbi zanimanja, osobito ne za zanimanja koja te razredbe izrijekom vežu za zdravstvene radnike: audiolog, biomedicinski inženjer, klinički psiholog, logoped, medicinski fizičar, i dr. [3,4].

Koeficijenti složenosti poslova za razmatrana radna mjesta I. vrste [6-10] čine se proizvoljno ili nestručno određeni. Primjerice, zdravstveni suradnici koji u hrvatskom zdravstvu rade iste (a nerijetko i složenije) poslove istim uređajima u istim radnim prostorima kao i zdravstveni radnici, imaju i do par desetaka postotaka niže koeficijente složenosti poslova. Sve uredbe [6-10] uzimaju u obzir mjesto rada, pa su koeficijenti složenosti poslova veći za zdravstvene radnike (ali ne i za zdravstvene suradnike) koji rade u bolnicama ili državnim zdravstvenim zavodima. U posljednjoj je uredbi [9], za zdravstvene radnike minuciozno razrađen sustav koeficijenata složenosti poslova za radna mjesta I. vrste, pa od prvotnih 20 [6] sada ima čak 31 koeficijent [9] u rasponu 1,115 - 2,361. Za većinu zdravstvenih suradnika (klinički molekularni biolog, biolog, citogenetičar, psiholog, fonetičar, medicinski fizičar, defektolog/edukacijski rehabilitator koji sudjeluju u procesu dijagnostike i liječenja) istovremeno je, međutim, predviđen samo jedan jedini koeficijent iznosa 1,571, tri koeficijenta raspona 1,445 - 1,571 predviđena su za ostale zdravstvene suradnike (klinički inženjer, kemičar, socijalni radnik, pedagog, analitičar) te tri koeficijenta u rasponu 1,824 - 1,988 za nezdravstvene djelatnike voditelje djelatnosti koji sudjeluju u procesu dijagnostike i liječenja u bolnici/državnom zdravstvenom zavodu. Istovremeno od prvotnih 38 [6] sada ima čak 41 koeficijent složenosti poslova za položaje I. vrste u rasponu 1,571 - 3,395 [9], a te položaje najvećim dijelom zauzimaju čelnici zdravstveni radnici. Tako je izvršeno dodatno raslojavanje i diskriminacija među dosad jednako tretiranim zdravstvenim suradnicima te naspram zdravstvenih radnika, na način da je većini zdravstvenih suradnika

dodijeljen jedan jedinstveni, ali viši koeficijent složenosti poslova (kao za dr.sc.), a manjina je zdravstvenih suradnika ostala na prvotna tri koeficijenta složenosti poslova (-, mr.sc., dr.sc.), od kojih je tek onaj najviši jednak novom jedinstvenom koeficijentu složenosti poslova svih ostalih zdravstvenih suradnika.

Posljednje dvije uredbe, umjesto neprimjerenih naziva radnih mjesta *VSS zdravstveni djelatnik* i *VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluju u procesu dijagnostike i liječenja*, za većinu djelatnika izrijekom navode ili strukovne nazive njihovih radnih mjesta ili njihove akademske nazive (Tablica 1) [8,9]. Također se po prvi put prepoznaje i vrjednuje rad liječnika specijalista užih specijalista na vrhu ljestvice koeficijenata složenosti poslova, dok su zdravstveni suradnici i zdravstveni radnici stažisti/ pripravnici čvrsto na samom dnu te ljestvice (Tablica 1) [8,9].

ZAKLJUČAK

Zdravstveni suradnici djelatni u hrvatskim zdravstvenim ustanovama, koji imaju matično sveučilišno obrazovanje iz područja prirodnih, tehničkih, biotehničkih, društvenih i interdisciplinarnih znanosti, nedvojbeno imaju i obrazovanje zdravstvenog usmjerenja stečeno tijekom svog svekolikog akademskog obrazovanja, te kroz rad i trajnim stručnim usavršavanjem. Oni također neposredno u vidu zanimanja pružaju zdravstvenu zaštitu pučanstvu kroz aktivno samostalno ili višedisciplinarno skupno djelovanje, uz obvezno poštovanje moralnih i etičkih načela te pravila zdravstvenih struka, kako ne bi ugrozili život, zdravlje, privatnost i dostojanstvo ljudi. Stoga bi zdravstvene suradnike, barem sve one stručnjake djelatne u kliničkom okružju, Ministarstvo zdravlja i Vlada RH konačno trebali ponovo prepoznati, opisati i vrjednovati kao zdravstvene radnike [11] i omogućiti potpuno reguliranje njihovih struka, uključivo i stručno specijalističko te uže specijalističko usavršavanje i napredovanje. Takvog su mišljenja i mnoga stručna društva i strukovne komore zdravstvenih suradnika. Budući je u sustavu zdravstva RH krajem 2013. bilo stalno zaposleno oko 74 500 djelatnika, od kojih je tek oko 1 % zdravstvenih suradnika [12], bilo kakva diskriminacija kliničkih stručnjaka temeljem različitih usmjerenja završenih sveučilišnih studija jednakog trajanja ili prikupljenog broja European Credit Transfer and Accumulation System-bodova nema na dokazima jasno utemeljeno uporište, nepravedna je i nepotrebna, dočim je reguliranje svih struka u zdravstvu na jednak način i pod jednakim uvjetima nasušna potreba za opće dobro.

Tablica 1. Kronološki prikaz dijelova uredaba o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama za zdravstvene radnike s najnižim i najvišim koeficijentom (osim stažista/pripravnika) i zdravstvene suradnike na radnim mjestima I. vrste, za koja je opći uvjet visoka stručna sprema, odnosno završeni prediplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij [6-10].

Radna mjesta I. vrste	**koeficijent**
od 24. siječnja 2014.[9]	
1.a) doktor medicine, specijalist, uži specijalist, u bolnici ili državnom zdravstvenom zavodu, dr.sc.	2,361
5.c) doktor medicine, doktor dentalne medicine, magistar medicinske biokemije, magistar farmacije	1,659
e) logoped	1,571
6.a) nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, dr. sc.	1,571
b) molekularni biolog, biolog, citogenetičar, psiholog, fonetičar, fizičar, defektolog/ edukacijski rehabilitator koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja	1,571
c) nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, mr. sc	1,513
d) nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja	1,445
od 16. prosinca 2013. do 23. siječnja 2014.[8]	
1.a) liječnik, specijalist, uži specijalist, u bolnici, dr.sc.	2,361
5.c) liječnik, medicinski biokemičar, magistar farmacije	1,659
6. molekularni biolog, biolog, citogenetičar, psiholog, fonetičar, fizičar, analitičar, logoped, defektolog, pedagog, duhovnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja	1,571
od 28. veljače 2013. do 15. prosinca 2013. [7]	
1.a) VSS zdravstveni djelatnik, specijalist u bolnici, prim. dr.sc.	2,279
5.c) VSS zdravstveni djelatnik	1,659
6.a) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, dr. sc.	1,571
b) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, mr. sc.	1,513
c) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja	1,445
od 24.12.2002. do27.2.2013. [10]	
1.a) VSS zdravstveni djelatnik, specijalist u bolnici, prim.dr.sc.	2,35
5.c) VSS zdravstveni djelatnik	1,71
6.a) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, dr.sc.	1,62
b) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, mr.sc.	1,56
c) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja	1,49
od 27.4.2001. do 23.12.2002. [6]	
1.a) VSS zdravstveni djelatnik, specijalist u bolnici, prim.dr.sc.	2,35
5.c) VSS zdravstveni djelatnik	1,61
6.a) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, dr.sc.	1,52
b) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja, mr.sc.	1,46
c) VSS nezdravstveni djelatnik koji sudjeluje u procesu dijagnostike i liječenja	1,39

LITERATURA

[1] Hrvatski sabor. Zakon o zdravstvenoj zaštiti [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 22.12.2008. br. 150 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_12_150_4097.html

[2] Hrvatski sabor. Zakon o izmjenama i dopunama zakona o zdravstvenoj zaštiti [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 30.6.2013. br. 82 [citirano 28.2. 2015.]. http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_82_1736.html

[3] International Labour Organization (ILO). International Standard Classification of Occupations - ISCO-08 Volume I: Structure, group definitions and correspondence tables [Internet]. Geneve: ILO; 2012 [citirano 28.2.2015.]. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_172572.pdf

[4] Državni zavod za statistiku (DZS). Nacionalna klasifikacija zanimanja 2010. - NKZ 10.: struktura, objašnjenja skupina [Internet]. Zagreb: DZS; 2010.

[5] Hrvatski sabor. Zakon o plaćama u javnim službama [Internet]. Narodne novine; 30.3.2001. br. 27 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_03_27_472.html

[6] Vlada Republike Hrvatske. Uredba o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 27.04.2001. br. 38 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_04_38_666.html

[7] Vlada Republike Hrvatske. Uredba o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 28.2.2013. br. 25 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_02_25_411.html

[8] Vlada Republike Hrvatske. Uredba o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 16.12.2013. br. 151 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_12_151_3184.html

[9] Vlada Republike Hrvatske. Uredba o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 24.1.2014. br. 9 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_01_9_148.html

[10] Vlada Republike Hrvatske. Uredba o nazivima radnih mjesta i koeficijentima složenosti poslova u javnim službama [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 24.12.2002. br. 156 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2002_12_156_2561.html

[11] Zakonodavno-pravna komisija Sabora Republike Hrvatske. Zakon o zdravstvenoj zaštiti i zdravstvenom osiguranju (pročišćeni tekst) [Internet]. Zagreb: Narodne novine; 16.3.1991. br. 12 [citirano 28.2.2015.]. Dostupno na http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1991_03_12_335.html

[12] Hrvatski zavod za javno zdravstvo (HZJJ). Hrvatski zdravstveno-statistički ljetopis za 2013. godinu [Internet]. Zagreb: HZJJ; 2014. [citirano 28.2.2015.]. http://hzjz.hr/wp-content/uploads/2014/04/ljetopis_2013_.pdf

PROTECTION FROM RADIATION OF ALLIED HEALTH PROFESSIONALS

Mario Medvedec
Department of Nuclear Medicine and Radiation Protection,
University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia
mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

According to the Croatian legislators, but not to the International (ISCO-08) and National (NKZ-10) Standard Classification of Occupations, university degree health professionals are limited to those individuals who have health-orientated education gained at the School of Medicine, School of Dental Medicine, Faculty of Pharmacy and Biochemistry, and study programs of Speech and Language Pathology. All other clinical scientists are considered as university degree non-health professionals who participate in diagnostic and therapeutic procedures, i.e. as allied health professionals. The objective of this paper is to discuss the status of university degree health associates within the Croatian healthcare system. The latest Ordinance on job titles/positions and coefficients of job complexity (i.e. basic salary coefficients) in public services provides only one coefficient (1.571) for clinical physicists, psychologists, biologists etc., and just three coefficients (1.445, 1.513, 1.571) for clinical engineers, social workers etc., at the bottom of the coefficients scale of all clinical staff completed different university studies of equal duration in years and/or workloads in European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS) credits. Simultaneously, there are 30 coefficients (1.659-2.361) for health professionals, meticulously taking into account all possible combinations of their employment in state hospital/institute or not, obtained B.Sc., M.Sc. or Ph.D. degrees, titles of primarius, specialist or subspecialist, etc. Since 750 university degree health associates make currently only about 1 % of the Croatian health workforce, any discrimination among clinical staff is unnecessary. Full regulation and appreciation of all professions, equal opportunities of continuing professional education and training, as well as career advancement (internship, residency, sub-specialization, postgraduate specialist programs, etc.) should be facilitated and provided to all clinical professionals in the same way and under the same conditions for the common good.

RADIOAKTIVNOST I NUKLEARNA TEMATIKA U HRVATSKOJ POPULARNOJ KULTURI

Zdenko Franić[1] i Sunčana Franić[2]
[1]Jedinica za zaštitu od zračenja,
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
[2]Odsjek za komparativnu književnost,
Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
zdenko.franic@imi.hr

UVOD

Popularna kultura se odnosi na ukupnost ideja, perspektiva, stavova, ponašanja, načina komunikacije, kulturnih i umjetničkih produkata, (vizualnih, slušnih, pisanih, likovnih itd.) kao i drugih fenomena i pojava u stvarnom ili virtualnom svijetu unutar većinske kulture. Pod snažnim utjecajem medija ovaj skup ideja prožima svakodnevni život unutar društva.

U radu su raspravljeni neki primjeri koji se odnose na radioaktivnost, zračenje i nuklearnu tematiku u hrvatskoj popularnoj kulturi, s posebnim osvrtom na masovne medije, uključujući i neke internetske portale.

MATERIJAL I METODE

Primjeri su uzeti iz osobne dokumentacije autora, dostupne literature te su prikupljeni pretraživanjem Interneta [1-3].

REZULTATI

Od samog ispaljivanja dviju nuklearnih bombi kada su u kolovozu 1945. uništeni japanski gradovi Hirošima i Nagasaki, nuklearno oružje i njegovi mogući učinci postali su nezaobilazan motiv u popularnoj kulturi, do te mjere da su se desetljeća hladnoga rata koji je uslijedio nazivala "atomskim dobom". Nuklearnu anksioznost atomskog doba bogato su počeli iskorištavati kreatori popularne kulture paralelno s pojavom prvih masovnih medija. Godine 1953. pojavljuje se američki film *The Beast from 20,000 Fathoms*, (Neman iz dubina) u kojem se pojavljuje divovski dinosaurus koji se probudio uslijed nuklearne probe na Arktiku. Sljedeće, 1954. godine, pojavio se film *Them!* (Oni!) s divovskim ozračenim mravima te prvi iz niza filmova iz franšize o čudovišnoj Godzilli. Godzilla je zračenjem mutirani divovski gušter koji terorizira i uništava Tokio.

Kao antipod divovskim monstrumima, godine 1957. Richard Matheson objavio je roman *The Shrinking Man (Muškarac koji se smanjuje)*. *Već* godinu dana kasnije, roman je ekraniziran, a film je nagrađen prestižnom nagradom Hugo koju od 1953. dodjeljuju članovi Worldcona (*World Science Fiction Convention*) za djela spekulativne fikcije te se danas smatra klasikom žanra. Nevolje glavnoga junaka, odnosno neprestano smanjivanje do konačnog nestanka u ništavilo, uzrokovane su izlaganjem kombinaciji insekticida i radijacije. Poruka je filma da niti medicina niti znanost ne mogu pomoći sanirati kobne posljedice zračenja.

Gornji filmovi mogu se smatrati rodonačelnicima žanra monstruma i mutanata povezanih sa zračenjem. Međutim postepeno filmovi nuklearne tematike skreću prema problematici nuklearnih nesreća, a prvi predstavnici takve tematike su filmovi *Silkwood* (1983) i *The China Syndrome* (1979). Danas je popularna imaginacija vezana uz „nuklearne strahove" sve više usmjerena prema terorizmu, npr. napadi na nuklearna postrojenja, izrada prljavih bombi i sl. Jedan od prvih, a možda i najzanimljiviji predstavnik ove kategorije jest film *Goldfinger* iz franšize filmova o britanskom tajnom agentu Jamesu Bondu kodnog imena 007. U tom se filmu glavni negativac Goldfinger i Bond referiraju na nuklearnu napravu čijom bi se detonacijom na duži rok ozračile („zaprljale") američke zlatne rezerve pohranjene u utvrđenom spremištu Fort Knox u američkoj saveznoj državi Kentucky.

Ipak, tzv. „atomsko doba" je osim nuklearnim strahovima urodilo i tzv. „nuklearnim optimizmom". Ta je fraza stekla popularnost u periodu dok se još nije u svojoj punoj mjeri razvio hladni rat i dok široj javnosti nisu u potpunosti bili dostupni svi podatci o razaranju u Hirošimi i Nagasakiju. 1950-tih godina dobar dio javnosti, posebice američke (kojoj je nuklearna tehnologija uostalom donijela konačnu pobjedu nad Japanom spasivši nebrojene živote američkih vojnika) je vjerovao da će sva energija budućnosti biti nuklearna odnosno atomska. Kao što je atomska bomba načinila sve konvencionalne eksplozive zastarjelim, vjerovalo se da će nuklearne elektrane zamijeniti fosilna goriva. Vladalo je uvjerenje da će sve naprave koristiti nuklearnu energiju na pozitivan i produktivan način, od sterilizacija hrane do neslućenog razvoja nuklearne medicine.

Primjer nuklearnog optimizma može se ilustrirati literarnim serijalom Zadužbina (*Foundation*) velikana znanstvene fantastike Isaaca Asimova (1920-1992). Serijal je prvobitno publiciran u vidu 8 kraćih pripovijetki u razdoblju između 1942. i 1950. godine u popularnom časopisu velike naklade, imena *Astounding Magazine*. Atomski optimizam je izrodio i jednog super-junaka: Kapetana Ameriku (*Captain America*) koji se prvi put

pojavio u ožujku 1941. u izdanju *Timely Comicsa*, preteče *Marvel Comicsa*, a stvorili su ga Joe Simon i Jack Kirby. Kapetan Amerika je alter-ego Stevea Rogersa, nježnog mladića koji je pojačan do vrhunca ljudskog savršenstva pomoću eksperimentalnog seruma, s ciljem da se pomogne ratnim naporima Sjedinjenih Država. Nakon što je uzeo taj super-serum, Rogers je bio izložen („bombardiran“) fikcijskim vita-zrakama, kao specijalne kombinacije egzotičnih valnih duljina zračenja dizajniranim da stabiliziraju učinak seruma na tijelo. Možemo špekulirati da su vita-zrake osmišljene po uzoru na ionizirajuće zračenje.

Filmovi i popularni stripovi su na taj način vrlo uvjerljivo široj javnosti dale vizualni ekvivalent radijacije. Divovski mravi, Godzilla i ostali mutanti i monstrumi, te superjunaci, su na spektakularni način vizualizirali radioaktivnost koja se u stvarnosti ne može niti vidjeti niti osjetiti. Ne začuđuje stoga što je atomsko doba u svakodnevnu komunikaciju i masovne medije uvelo u uporabu „nuklearne termine“, prvo u SAD, a potom i širom svijeta. Stilska obojenost i primjena takvih termina, čija se uporaba zadržala do danas, spada u četiri glavne skupine radiološko-nuklearne tematike:

- monstrumi i mutanti povezani sa zračenjem
- nuklearne nesreće
- nuklearni terorizam
- nuklearni optimizam.

Izuzetak nisu niti hrvatski mediji. Bez nekog sustavnijeg istraživanja, razmotrimo neke primjere iz hrvatskog javnog prostora, npr. iz novinskih tekstova, tekstova pjesama, reklamnih letaka i sl. Oni su kako slijedi:

- KOPB (*kronična opstruktivna bolest pluća*) svake godine u Europi odnese života kao čak tri atomske bombe! (Jutarnji list, str. 32-33, 2014-12-29)
- Radioaktivna priča: Zaposlio svog sina i sinove još sedmero kolega (Jutarnji list, Portal, 2014-02-14)
- Hrvatskoj ne treba Josipovićevo nuklearno gorivo za SDP i HDZ (Jutarnji list, Portal, 2014-10-10)
- Kerum čisti žalo: Nisan stavija atomsku bombu nego dvi karijole (Slobodna Dalmacija, 2014-10-11)
- Nuklearni potencijal idiotarije o "zlim političarima" (Kolumna Jasmina Klarića, Novi list, 2013-04-26)
- Sanader je bio bolji [Bilo bi uvjerljivije da je ova izjava dana sjedeći na nuklearnom projektilu] (Kolumna Jasmina Klarića, Novi list, 2012-12-21)

- Otok Vir zbog čudovišne arhitekture uvršten na UNESCO-ov popis svjetske baštine - opasnost od nuklearne elektrane je izbjegnuta, ali Vir danas izgleda gore od Fukushime, u kojoj je jedna takva elektrana eksplodirala. (Portal News Bar, 2014-02-21)
- Ekskluzivno: Karamarko odgovorio na optužbe iz SDP-a! [osnovno jest da je porezna politika koju vodi Vlada doista destruktivna u smislu da potpuno antagonizira ljude koji žele ulagati u Hrvatsku i destimulativna je za poduzetnike. To nije atomska fizika…] (RTL Danas, 2013-10-27)
- Kad riječi tako malo znače i naši atomi više ne zrače… (Stih pjesme Denija Kozića Major Tom)
- Sada se skini, ništa ne brini, fotke će brzo na Fashion TV, samo opušteno, takva je taktika, sijaš u masi k'o radioaktivna (Stih pjesme Eksplozija grupe Gold 'n' Green)
- Doomsday Pizza – Oprez! Radioaktivni materijal! Kušate na vlastitu odgovornost! (Promotivni letak za Pizzeria Chello, 2015-03-12)

Radiološka i nuklearna tematika također je česta tema i različitih šala i karikatura. Jednu od kompletnijih tematskih zbirki karikatura takve tematike načinio je karikaturist Oto Reisinger u kalendaru za 2008. godinu, ismijavajući suvremenu civilizaciju, nerazumijevanje moderne tehnologije kao i nemaran odnos prema zaštiti okoliša. Istu tematiku eksploatira u karikaturama i Nikola Plečko, poznatiji kao Nik Titanik koji ingeniozno komentirajući aktualna društvena zbivanja, na sebi svojstven način povezuje politiku, negativne učinke zračenja i strah od nuklearne tehnologije (Slika 1).

Slika 1.a) karikatura Ota Reisingera, *b)* karikatura Nika Titanika

Iz navedenih, gotovo nasumičnih primjera, vidljivo je da su stereotipi o zračenju, radioaktivnosti i nuklearnoj tehnologiji u hrvatskoj popularnoj kulturi i medijima gotovo identični kao i u zapadnim zemljama. Zračenje i radioaktivnost uglavnom simboliziraju opasnu pojavu kobnih posljedica, uz to široj javnosti potpuno nerazumljivoj i kojom se bave samo znanstvenici i to oni koji i sami nisu baš sasvim normalni. Možda dio „krivnje“ za nerazumijevanje osnovnih postavki znanosti o zračenju, a posebice zaštite od zračenja snose znanstvenici i stručnjaci, kao i njihova strukovna društva, jer predmetna tematika nije dostatno dobro iskomunicirana široj javnosti niti je postala javnim dobrom tj. općim znanjem (*common knowledge*).

ZAKLJUČAK

Radioaktivnost i zračenje odličan su alat u filmovima, TV i radijskim programima, romanima i pripovijetkama kao čudna sila koja simbolizira odmak od stvarnosti, odnosno normalnog prostora i vremena. Bila je to sjajna maštovita formula za zaplete u znanstvenoj fantastici: kliktanje Geigerovog brojača davalo je vjerodostojnost zapletima, simbolizirajući odmak od normalne svakodnevice kao narativni marker da je granica prijeđena. Posljedično, zapleti iz kultnih filmova odnosno pripovijedaka proširili su se u popularnu kulturu širom svijeta, uključujući i Hrvatsku. Međutim, bila bi potrebna sustavnija istraživanja da se analiziraju i poslože svi stereotipi. Rezultati bi bili vrlo važni za bolje informiranje javnosti, budući da bez zračenja danas život ne samo da nije moguć već se u budućnosti može očekivati veća uporaba nuklearne tehnologije u rješavanju mnogih gorućih problema uključujući i probleme sigurne opskrbe energijom.

Ipak, valja napomenuti da se danas strahovi javnosti ipak kreću prema drugim globalnim opasnostima kao što su klimatske promjene, genetski modificirani organizmi, terorizam i dr.

LITERATURA

[1] Franić Z. Radioaktivnost i nuklearna tematika u znanstvenoj fantastici. U: Barišić D, Grahek Ž, Krajcar Bronić I, Miljanić S. ur. Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 29-31. svibnja 2008; Opatija, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2008. str. 13-22.

[2] Ulaby N. Movie Mutants Give A Face To Our Nuclear Fears. Web: http://www.npr.org/2011/03/30/134950737/movie-mutants-give-a-face-to-our-nuclear-fears

[3] Internet movie database: http://www.imdb.com/

RADIOACTIVITY AND NUCLEAR THEMES IN CROATIAN POPULAR CULTURE

Zdenko Franić[1] and Sunčana Franić[2]
[1]Radiation Protection Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
[2]Department of Comparative Literature, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Zagreb, Zagreb, Croatia
zdenko.franic@imi.hr

Popular culture refers to the entirety of ideas, perspectives, attitudes, behaviours, ways of communication, cultural and artistic products, (visual, auditory, written, etc.) as well as other phenomena in the real or virtual world within mainstream culture. Heavily influenced by mass media, this collection of ideas permeates the everyday lives of society.

In the so-called atomic age, which corresponds to the cold war period, stylistic coloration and application of the concepts of radiation that have persisted in everyday life to this day can be classified into four main groups of radiological-nuclear themes: monsters and mutants associated with radiation, nuclear accidents, nuclear terrorism and nuclear optimism.

This paper discusses some examples relating to radioactivity, radiation and nuclear topics in Croatian popular culture, with special reference to the mass media, including some Internet portals.

In Croatian mass media, like in other cultures, radiation and nuclear metaphors symbolize something scary and completely incomprehensible. However, further systematic research would be needed to analyse and explain all of the stereotypes in more detail. Results would be useful in creating a more effective way for informing the general public about the effects and use of radiation and nuclear technology, which is expected to play a far greater role in solving numerous problems dealing with energy supply, medicine, etc. in the near future. It should be noted that nowadays the collective public fears shift from radiation to other global threats such as climate change, genetically modified organisms, global terrorism and others.

VLADIMIR GLUMAC - ŽIVOT, RAD I DJELO

Branko Hanžek[1] i Zdenko Franić[2]
[1]Odsjek za povijest prirodnih i matematičkih znanosti,
Zavod za povijest i filozofiju znanosti,
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb
[2]Jedinica za zaštitu od zračenja,
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
bhanzek@hazu.hr

UVOD

U radu su dosad najpotpunije opisani život, rad i djelo Vladimira Glumca, dipl. phil., koji je kao fizičar radio u industriji s uređajima koji odašilju ionizirajuće zračenje, u osiguravajućim društvima, u ustanovama koje su se bavile školstvom kao i Društvu matematičara i fizičara Hrvatske.

Dan je i kratki osvrt na dio Glumčevih objavljenih radova, posebice onih koji se odnose na znanost o zračenju.

MATERIJAL I METODE

Dokumentacija je prikupljena pretraživanjem odgovarajućih arhiva te pretraživanjem Interneta [1-5].

REZULTATI

Dokumentiranih i objavljenih podataka o životu Vladimira Glumca vrlo je malo [6] iako je on jedan od prvih znanstvenika u Hrvatskoj koji se bavio ionizirajućim zračenjem na našem tlu.

Vladimir Glumac rodio se 21.11.1904. u Beču, Austrija, kao drugi sin kasnijeg pukovnika ing. Miloša Glumca i majke Ivanke rođ. Šarić. Osnovnu školu i 4 razreda realne gimnazije završio je u Beču, peti razred u Beogradu, a ostatak u Zagrebu gdje je 1924. godine položio i ispit zrelosti u I. realnoj gimnaziji. Sljedeće godine upisuje Filozofski fakultet, a pohađao je i dva semestra Visoke škole za trgovinu i promet. Za vrijeme studiranja nastupio je na Radio stanici Zagreb (1928. godine) s predavanjem povodom 25. godišnjice motornog letenja. Glumac je time zabilježen kao prvi student matematike i fizike koji je nastupio na nekom hrvatskom radiju. Glumac je također imao položen jedriličarski kurs. Diplomirao je na Filozofskom fakultetu u Zagrebu 1930. i to na Grupi II. Primijenjena matematika. Gotovo

odmah nakon stjecanja diplome zaposlio se u tvrtci "Jugoslavenski Siemens d.d." kao fizičar u elektro-medicinskom odsjeku te se bavio prodajom elektro-medicinskih aparata. Poslovna problematika ga je očito navela da se zainteresira za problematiku zračenja te sudjeluje na Sveslavenskom liječničkom kongresu u Splitu od 5.-10.1930. s predavanjem *Dozimetrija rentgenskog zračenja s demonstracijama*. To predavanje koje je imalo karakter izvornog znanstvenog rada, nažalost do danas nije pronađeno.

Glumac je bio na specijalizaciji u tvornicama dijatermijskih aparata, rendgenskih aparata i cijevi u Beču, Berlinu, Erlangenu i Rudolfstadtu sve do 1931., u sveukupnom trajanju oko 6 mjeseci.

Godine 1931. izveo je projekt zaštite od rendgenskog zračenja u Bolnici Sestara milosrdnica u Zagrebu. Nažalost, unatoč dugotrajnom višegodišnjem istraživanju niti o tom projektu ne postoje sačuvani podrobniji pisani tragovi.

Godine 1932. prelazi raditi u svojstvu člana ravnateljstva u „Znanstveni zavod prof. dr. Brössler d.d.“ iz Zagreba gdje radi sve do 1942. godine. Osnivač te tvrtke koja je kroz dugi niz godina snabdijevala sve naše znanstvene i sveučilišne ustanove, laboratorije i naročito medicinske ustanove znanstvenom opremom i aparaturom bio je dr. Franjo Brössler koji je godine 1919. doktorirao u Beču iz područja radioaktivnosti.

Brössler i Glumac su kao znanstveni radnici pružali ustanovama i dragocjene konzultantske usluge. Tako je njihovo poduzeće nudilo nabavku kompletnih aparata za elementalnu (u reklami za Marekovu peć u *Arhivu za hemiju i tehnologiju* iz 1928. godine piše „*elementarnu*“) analizu, kao i aparate za određivanje sumpora i halogena po prof. I. Mareku. Iz inventarske knjige za aparate, knjige, oruđe i pokućstvo u Fizikalnom zavodu, koja se čuva na Fizičkom odsjeku PMF-a, vidljivo da je u nju pod r.b. 1412 za 1927. godinu upisano da je od te tvrtke naručen i dobiven jedan elektrometar s jednom niti, a po r. b. 1956 iz 1941. naručena i dobivena posuda za valove na vodi.

Paralelno, tijekom ljetnog semestra šk. g. 1933./34. i zimskog semestra 1934./35. Glumac radi kao volontarni asistent kod prof. dr. I. Plotnikova kada je držao Vježbe za studente tehnike i kod dr. Lj. Šplaita gdje je predavao fiziku studentima Veterinarskog fakulteta. Također, objavljivao je članke u dnevnom listu *Obzor* popularizirajući znanost.

Zbog financijske oskudice, Glumac se bavio financijskom matematikom pa je od tog posla živio te je radio na poslovima aktuara-prokurista za nekoliko osiguravajućih kuća („Dunav d.d.“ iz Zagreba,

„Balkan osiguranje d. d.“ iz Beograda, „Jadransko osiguravajuće društvo” iz Trsta, Ravnateljstvo Zagreb) i u Zajednici prerađivača uljarica u Zagrebu.

Poslije II. Svjetskog rata, odnosno godine 1946., nakon što je kratko radio kao fizičar u ELIHA, Elektroindustriji Hrvatske, Glumac počinje raditi na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu predavajući fiziku. Godine 1949. rješenjem (dekretom) Ministarstva pomorstva FNR Jugoslavije br. 4140/49/2 Glumac se preuzima u službu Ministarstva pomorstva i raspoređuje, u zvanju stariji asistent, na rad u Višu pomorsku školu Rijeka u svojstvu nastavnika.

Valja napomenuti da se Glumac od samih početaka, tj. od godine 1946., uključio u obrazovni rad kojeg je organiziralo Hrvatsko prirodoslovno društvo (HPD). Tako je na kolokviju Matematičko-fizičke sekcije HPD-a u Zagrebu dana 13.11.1946. održao predavanje pod nazivom: Medicinska fizika. Od predavanja i kolokvija Podružnice društva matematičara i fizičara NR Hrvatske u Rijeci u kojima je sudjelovao V. Glumac spomenimo predavanje: V. Glumac i M. Feretić: *Demonstracije Teslinih struja i Teslinog svijetla* održano 8.01.1953. u sklopu Komemoracija povodom desetgodišnjice smrti Nikole Tesle te predavanje *O Bohrovom atomskom modelu* održano 14.06.1953.

Osim toga V. Glumac je sudjelovao na Drugom kongresu matematičara i fizičara Jugoslavije u Zagrebu (4. - 9.10.1954.) s priopćenjem održanim dana 7.10.1954. pod nazivom *Princip akceleratora za relativne brzine čestica do 2c*.

Također je u Zagrebu, u sklopu Večeri slobodnih tema i saopćenja, dana 12.06.1957. održao predavanje: *Zasjedanje „Društva za primjenu reaktora u gradnji brodova*“ u Hamburgu 4. - 6.6.1957.

Vezano uz znanstveno-stručnu publicistiku Vladimira Glumca, prvi izvorni objavljeni rad objavio je na njemačkom jeziku u prestižnom berlinskom časopisu *Zeitschrift für Physik* (vol. 56(5-6), str. 432-434, 1929). U radu pod naslovom *Beitrag zur theoretischen Begründung der kinetischen Gastheorie* (Prilog teorijskoj opravdanosti kinetičke teorije plinova) pokazuje se da se jednadžba stanja u kinetičkoj teoriji plinova može teorijski razviti kao posljedica Bernoullijevih formula. Zanimljivo je da je taj članak danas dostupan i *on-line* na web stranicama izdavačke kuće Springer [7] koja i danas izdaje časopis *Zeitschrift für Physik*.

Drugi objavljeni izvorni znanstveni rad objavio je u časopisu *Ars Therapeutica* (vol. 2, str. 583-586, 1934) pod nazivom *Dužnost röntgenskog pregledavanja*. U članku je dokumentirano razložio zašto je nužno

rendgenski se pregledavati, a da je to načinjeno na znanstvenoj razini dokazuje to što je taj rad uvršten u rubriku: *Originalia*.

Glumac je bio i popularizator znanosti, pa tako i segmenta kojeg danas svrstavamo u znanost o zračenju. U članku *Umjetno razbijanje atoma* (*Priroda,* vol. 9., str. 280-285, 1933) Glumac naglašava da neće ulaziti u povijesni razvoj problema razbijanja atoma već će ukratko iznijeti rezultate laboratorija AEG (*Allgemeine Elektizitätsgesellschaft*) iz Berlina. Jedna od naprava AEG-a sastojala se od antene duljine 750 m na visini od 150 m, s kojom je dobiven napon od 12 do $15 \cdot 10^6$ V. Taj je napon davao „iskru" duljine 18 metara. No, Cocroft i Walton su sa svojom napravom od samo $2{,}4 \cdot 10^6$ V uspjeli razbiti atome. Tako su ti uređaji postigli cilj razbijanja atoma koji bi inače bili mogući samo s velikom količinom radija. Uređaji, prema intenzitetu umjetnih β zraka, nadomještali su količinu od nekoliko tona radija dok se na čitavom svijetu tada proizvelo svega 0,5 kg radija! Glumac u članku naglašava da su uz fizikalne važni i biološki učinci zračenja od naprava koje prodire dublje u tkivo nego β i rendgensko zračenje. Dosegnuta je granica od 7,5 mm u dubinu tkiva. S većim naponima moći će se potpuno prodrijeti u unutrašnjost čovjeka - istaknuo je Glumac. Završava vizionarskom tvrdnjom da nove naprave daju mogućnost da se liječe bolesti koje su se stoljećima opirale liječničkim tretmanima.

U članku *O upotrebi nuklearne energije za pogon brodova* objavljenog u časopisu *Elektrotehnika* (vol. 1, str 4-8, 1959) obrađuje upotrebu nuklearne energije u slučaju primjene fisijskog reaktora, osobito za trgovačke brodove. Ta primjena je razmatrana s obzirom na strateška, politička, geografska i ekonomska pitanja. U članku se Glumac osvrće se i na mogućnost upotrebe fuzijskog reaktora. Ovakva razmišljanja o primjeni nuklearne fuzije u miroljubive svrhe, koja zbog brojnih tehnoloških ograničenja nije ostvarena niti do danas, Glumca svrstava ne samo u vizionare-futuriste, već i među tzv. „nuklearne optimiste" u koje se svrstavaju znanstvenici, stručnjaci, futuristi i ostale osobe koje smatraju da će napredna nuklearna tehnologija jednoga dana pomoći riješiti probleme nedostataka energije te osigurati napredak i blagostanje cijeloga čovječanstva.

Vladimir Glumac umro je u Rijeci 1960. godine te je prebačen u Zagreb, gdje je na groblju Mirogoj pokopan 3. prosinca 1960. godine.

ZAKLJUČNE PRIMJEDBE

Dipl. phil. *Vladimir Glumac* (1904. - 1960.) široj akademskoj javnosti dosad je potpuno nepoznat iako svojim djelom nesumnjivo spada među hrvatske doajene znanosti o zračenju.

Glumac je izveo jedan od prvih projekata zaštite od rendgenskog zračenja (zagrebačka bolnica Sestre milosrdnice, 1931. godine), sustavno je obradio problematiku rendgenskih pregleda, a bavio se i dozimetrijom rendgenskog zračenja.

Glumac je bio i popularizator znanosti uključujući i znanost o zračenju. Vizionarski je predvidio da će nove naprave (povezane sa atomskom tehnologijom) omogućiti liječenje bolesti koje su se stoljećima opirale liječničkim tretmanima.

Pretraživanjem dostupnih arhiva i poznate literature pokušali smo rasvijetliti život i rad ovoga doajena hrvatske znanosti o zračenju te dobiti sustavniji uvid u do sada nepoznate detalje važne za povijest i razvoj znanosti o zračenju, zaštite od zračenja, kao i medicinske fizike.

Uvid u rad i djelo Vladimira Glumca pokazuje da su znanstvenici i stručnjaci koji su djelovali na području Hrvatske, od samoga početka ne samo slijedili najsuvremenije znanstvene spoznaje iz tih područja, već i njima aktivno pridonosili.

LITERATURA

[1] Arhivska građa pri knjižnici Arhitektonskog, Građevinskog i Geodetskog fakulteta

[2] Red predavanja na Sveučilištu u Zagrebu u ljetnom semestru šk. g. 1946.-1947., zimskom i ljetnom semestru šk. g. 1947.-1948., zimskom i ljetnom semestru šk. g. 1948.-1949.

[3] Glasnik matematičko-fizički astronomski, serija II, godina 1946.

[4] Glasnik matematičko-fizički astronomski, serija II, godina 1954.

[5] Glasnik matematičko-fizički astronomski, serija II, godina 1957.

[6] Hanžek B, Franić Z, Branica G. Znameniti radiofizičari i radiokemičari u Hrvatskoj do 1945. Arh Hig Rada Toksikol 2011;62:279-290.

[7] http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01339515

VLADIMIR GLUMAC - LIFE, WORK AND OPUS

Branko Hanžek[1] and Zdenko Franić[2]
[1]Department for History of Natural and Mathematical Sciences,
Institute for History and Philosophy of Science, Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb, Croatia
[2]Radiation Protection Unit,
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
bhanzek@hazu.hr

Vladimir Glumac (1904 - 1960) has so far been completely unknown to the wider academic public, even though his work undoubtedly makes him one of the leading figures of Croatian radiation science. His field of expertise primarily covered X-ray examinations, including dosimetry of X-rays.

Glumac performed one of the first projects to implement protection against X-rays (Zagreb Hospital Sisters of Charity, in 1931).

Glumac was also active in popularising science, including radiation science. As a true visionary, he predicted that new devices associated with atomic technology would in the future enable the treatment of diseases that had resisted medical treatments for centuries.

By searching through the available archives and known literature, we attempted to shed more light on the life and work of this distinguished expert and obtain a more systematic insight into the previously unknown details important for the history and development of radiation science, radiation protection, and medical physics.

The work and opus of Vladimir Glumac show that scientists and experts who worked in Croatia not only followed the most advanced scientific knowledge in these areas from the very beginning, but also actively contributed to them.

DOZIMETRIJA ZRAČENJA

RADIATION DOSIMETRY

AKTIVNOSTI EURADOS ORGANIZACIJE NA PODRUČJU DOZIMETRIJE ČVRSTOG STANJA U OKOLINI

Mária Ranogajec-Komor[1], Maria A. Duch[2], Thomas Haninger[3], Christian Hranitzky[4], Harald Dombrowski[5], Philip Kleinau[3], Željka Knežević[1], Stefan Neumaier[5] i Rafael Rodriguez[6]

[1]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
[2]Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španjolska
[3]Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Njemačka
[4]Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf, Austrija
[5]Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Njemačka
[6]CIEMAT, Madrid, Španjolska
marika@irb.hr

UVOD

EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) je osnovan 1981. godine, u svrhu unaprijeđenja istraživanja u području dozimetrije u Europi. U EURADOS-u je trenutno učlanjena 61 institucija s pravom glasa te više od 200 pojedinaca kao pridruženih članova. EURADOS danas djeluje preko osam radnih grupa koje su uglavnom formirane prema aktualnoj tematici u dozimetriji ionizirajućeg zračenja. Naziv i tema radne grupe 3 (Working Group 3 - WG3) je „Dozimetrija u okolini“ (Environmental dosimetry).

RADNA GRUPA3 (WG3)

WG3 koordinira istraživačke projekte za unapređenje znanstvene osnove dozimetrije u okolini, s posebnim naglaskom na promociji novih tehničkih dostignuća. Zadatak mjerenja malih dodatnih doza iz umjetnih izvora povrh prirodnih doza zračenja, je veliki izazov. Nadalje WG3 stimulira organizaciju interkomparacijskih programa kao i postavljanje standarda i preporuka u području monitoringa zračenja u okolini (MZO).

WG3 ima i značajnu ulogu u harmonizaciji mjernih postaja mreže Sustava pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću [1,2]. Danas približno 5000 postaja prosljeđuje, kontinuirano, brzinu ambijentalne gama doze zračenja u bazu podataka Europske Komisije. EURADOS je do sada

organizirao 6 interkomparacija gama spektrometrije u kojima su sudjelovale 42 institucije iz 19 zemalja (Hrvatska nije sudjelovala) [2].

2013. godine unutar WG3 formirana je podgrupa (subgroup: WG3 - SG1). Od tada, WG3 je uključena u istraživanje spektrometrijskih sustava koji se koriste i za dozimetrijsko i za spektrometrijsko praćenje zračenja u okolini. Poseban rezultat WG3 - SG1 je da su članovi pridonijeli i sudjeluju u novom europskom istraživačkom projektu: "Metrologija mreže Sustava pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću u Europi" (*Metrology for radiological early warning networks in Europe*) koji je započeo 2014. godine.

Druga podgrupa (WG3 - SG2) je osnovana 2014. godine, za primjenu pasivnih dozimetrijskih sustava za MZO. Podgrupa je za harmonizaciju dozimetrije u okolini postavila dva zadataka: prikupiti informacije o dozimetrijskoj praksi u Europi te organizirati interkomparaciju pasivnih dozimetara za mjerenja doza u okolini.

USPOREDBA PODATAKA O DOZIMETRIJSKOJ PRAKSI

Za pregled dozimetrijske prakse za MZO u Europi, radna grupa odlučila je sakupiti podatke iz različitih država Europe. Cilj tog posla je implementacija standardnih postupaka te harmonizacija i osiguranje kvalitete dozimetrije u okolini. Pojam "harmonizacija" ne znači jednakost postupaka dozimetrije, primjene standarda ili organizacije posla servisa, ali servisi moraju težiti tome da zadovoljavaju iste opće zahtjeve te da njihovi rezultati budu usporedivi. U tu svrhu grupa je pripremila upitnik. Upitnik je ispunilo 47 dozimetrijskih servisa, institucija, laboratorija iz 24 zemlje Europe.

Prvi dio upitnika tražio je informacije o dozimetrijskim sustavima kao što su mjerne količine, tip zračenja koje se mjeri, itd. Drugi dio bio je usmjeren na izračunavanja doza (korekcijski faktori, mjerna nesigurnost, itd.). Nadalje, upitnik je sadržavao pitanja vezana za osiguranje kvalitete, kao što su sljedivost, akreditacija, itd.

Jedan od rezultata bio je identifikacija nekih otvorenih pitanja, problema u monitoringu doza u okolini (na primjer terminologija, protokol u rutinskoj dozimetriji, procjena mjerne nesigurnosti) za koje su potrebna pojašnjenja zbog usklađivanja MZO pomoću pasivnih dozimetara. Obrada upitnika pokazala je da nema potpune usklađenosti u engleskoj terminologiji pojmova kao što su „ambient“, „environmental“, „area“ i „field dose“. Ova nejasnoća u terminologiji još više je naglašena u hrvatskoj terminologiji. Istovremeno upitnik je iskorišten da bi dobili podatak koliko je laboratorija

zainteresirano za interkomparaciju dozimetara u okolini. Na osnovu dobivenih odgovora iz ovog pregleda, radna grupa organizirala je interkomparaciju u 2014. godini.

INTERKOMPARACIJA PASIVNIH DOZIMETARA ZA MJERENJA U OKOLINI

Prva interkomparacija pasivnih prostornih/područnih (area) dozimetara organizirana je od proljeća do jeseni 2014. godine u Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB-u). Rezultati interkomparacije izraženi su kao ambijentalni dozni ekvivalent $H^*(10)$ prema Europskoj direktivi 96/29 [3].

Dozimetri su bili ozračeni tijekom 3 ili 6 mjeseci na tri referentne lokacije PTB-a. To su otvoreno referentno polje za određivanje zračenja u okolini PTB-a, plutajuća gumena platforma na jezeru za određivanje kozmičkog zračenja te izvor ^{137}Cs u primarnom standardnom laboratoriju PTB-a [4]. Na ^{137}Cs izvoru je dodatno ozračen dio dozimetara koji su bili na otvorenoj lokaciji s dozom 10 puta većom od doze na otvorenom [5]. Cilj interkomparacije je bio provjera kalibracije svakog laboratorija kao i provjera odziva korištenog dozimetrijskog sustava na kozmičko zračenje te na zračenja iz tla. 33 dozimetrijska sustava bila su uključena u istraživanja, a od svakog sustava 16 dozimetara bilo je ozračeno u različitim uvjetima. Specijalna pažnja bila je posvećena korekciji transportne doze.

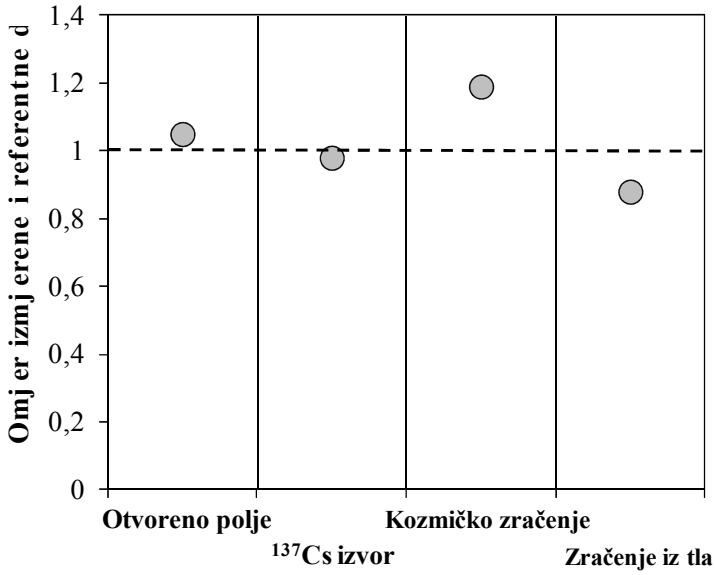
Prethodni rezultati, tj. usporedbe izmjerenih i referentnih vrijednosti, pokazali su da je odziv većine dozimetara bio oko 1 uz rasipanje unutar ± 20 %, ali za kozmičko zračenja većina sustava pokazala je veće doze u odnosu na referentnu. Detaljni rezultati svih sudionika biti će publicirani nakon konačne obrade. U ovom radu bit će prikazani samo rezultati Laboratorija za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD) Instituta Ruđer Bošković.

REZULTATI DOZIMETRIJSKIH SUSTAVA IRB-A U INTERKOMPARACIJI DOZIMETARA U OKOLINI

Integralni, pasivni dozimetri čvrstog stanja, kao što su termoluminescentni (TL) i radiofotoluminescentni (RPL), vrlo su učinkoviti u monitoringu doza zračenja u okolini [6] i koriste se već dugi niz godina u rutinskom monitoringu na IRB te su bili predmet međunarodnih istraživanja [5].

IRB je sudjelovao u međunarodnoj interkomparaciji EURADOS-a dozimetrijskim sustavom koja je sastavljen od tri TL detektora na bazi LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H), CaF_2:Mn i Al_2O_3:C, te od RPL staklenih

dozimetara tipa SC-1 [7]. Detaljni eksperimentalni postupak opisan je u radu [8]. Rezultati su prikazani na Slici 1.



Slika 1. Omjer izmjerene i referentne vrijednosti doze različitih komponenata zračenja

Rezultati IRB-a, u interkomparaciji dozimetara za mjerenja doza u okolini, pokazali su da je omjer izmjerene vrijednosti doze s TL i RPL dozimetrima prema referentnoj vrijednosti PTB-a unutar 20 %.

Zahvala

LRKD zahvaljuje Chiyoda Technol Corporation za donaciju RPL sustava. Prvi autor zahvaljuje EURADOS-u za financijsku potporu koja je omogućila sudjelovanje na radnim sastancima.

LITERATURA

[1] Wissmann F, Saez-Vergara JC. Dosimetry of environmental radiation - a report on the achievements of EURADOS WG3. Radiat Prot Dosim 2006;118:167-175.

[2] Zähringer M, Neumaier S, Fiederle M, eds. Joint International Workshop on off-site gamma dose rate and ground contamination measurements. Radiat Prot Dosim 2014;160:247-331.

[3] European Commission. Basic Safety Standards for the Protection of the Health of Workers and the General Public against the Dangers Arising from Ionizing Radiation. Council Directive 96/29/EURATOM Official Journal of the EC L159, Vol. 39, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1996.

[4] Dombrowski H; Neumaier S. PTB intercomparisons of passive *H**(10) area dosemeters for environmental monitoring. Radiat Prot Dosim 2014; 161(1-4):53-57.

[5] Ranogajec-Komor M, Knežević Željka, Dombrowski H, Neumaier S. Usporedba TL i RPL dozimetara za mjerenja doza u okolini. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zracenja; 10-12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ, 2013. str. 121-126.

[6] Ranogajec-Komor M. Passive solid state dosimeters in environmental monitoring. In: Aycick GA, ed. New techniques for the detection of nuclear and radioactive agents. Dordrecht, The Netherlands; Springer: 2009. pp. 97-112. ISBN 978-1-4020-9599-3.

[7] Ranogajec-Komor M, Knežević Ž, Miljanić S, Vekić B. Characterisation of radiophotoluminescent dosimeters for environmental monitoring. Radiat Meas 2008;43:392-396.

ACTIVITY OF EURADOS IN ENVIRONMENTAL SOLID STATE DOSIMETRY

Mária Ranogajec-Komor[1], Maria A. Duch[2], Thomas Haninger[3] Christian Hranitzky[4], Harald Dombrowski[5], Philip Kleinau[3], Željka Knežević[1], Stefan Neumaier[5] and Rafael Rodriguez[6]

[1]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
[2]Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain
[3]Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Germany
[4]Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf, Austria
[5]Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany
[6]CIEMAT, Madrid, Spain
marika@irb.hr

Working Group 3 (WG3) of the European Radiation Dosimetry Group (EURADOS) carries out research projects and coordinated activities to advance the scientific understanding of environmental dosimetry and especially to promote the technical development of new methods in environmental monitoring. In this field of dosimetry, the measurement of small additional doses caused by artificial radiation on top of the natural environmental radiation is a challenge. Further, WG3 stimulates the organisation of intercomparison programmes and the definition of standards and recommendations in the field of environmental radiation monitoring (ERM).

WG3 has played a significant role in the harmonisation of early warning dosimetry network stations in Europe and has organised 6 EURADOS intercomparison exercises; in which 42 institutions from 19 countries have participated. Today, about 5000 stations provide real-time dose rate data to a database run by the European Commission. Within WG3 a subgroup (S1) on spectrometry system was formed in 2013. Since then, WG3 has been involved in the field of spectrometry systems used both for dosimetric and spectrometric monitoring in the environment. A remarkable result of the WG3 - S1 is that many members contributed to the new European Joint Research Project "Metrology for radiological early warning networks in Europe" which started in 2014.

A second subgroup WG3 - S2 on passive dosimetry in ERM was inaugurated in 2014. To gain an overview of the passive dosimetry practice in ERM, WG3 - S2 decided to collect information by means of a questionnaire which has been send to European dosimetry services. One of the results was the identification of some open questions, problems in ERM (for example terminology, protocol of routine dosimetry, uncertainty assessment) which require clarification for harmonisation of ERM using passive dosimeters. Another result was that there exists a need for intercomparisons. The first intercomparison for passive H*(10) area dosimeters used for ERM (IC2014env) took place from spring to autumn 2014 at (PTB). Dosimeters were exposed at different PTB reference measuring sites to check the home calibration as well as the response of the dosimetry systems to cosmic and terrestrial radiation. 33 dosimetry systems were investigated in total by exposing 16 dosimeters per system under different conditions. Special attention was taken for the transport dose correction. Preliminary results demonstrated that the dosimeter response values were mostly around 1 in a band of ± 20 %, but a pronounced over-response to cosmic radiation has been observed.

PREKOMJERNE DOZE IZMJERENE OSOBNIM DOZIMETRIMA

Jerko Šiško, Marija Surić Mihić, Tomislav Meštrović i Ivica Prlić
Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju,
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
jsisko@imi.hr

UVOD

Prilikom provedbe osobnog dozimetrijskog nadzora povremeno se izmjere prekomjerne ili neuobičajene vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta *Hp (10)*. Prekomjernim vrijednostima se smatraju vrijednosti *Hp (10)* odnosno efektivne doze koje su veće od 3/10 graničnih vrijednosti definiranih zakonskom regulativom [1] i međunarodnim preporukama [2], 15 mSv odnosno 30 mSv, izmjerene u jednom mjernom razdoblju. Neuobičajenim se smatraju vrijednosti koje nisu očekivane za izloženog radnika u normalnim radnim uvjetima njegovog radnog mjesta, a nisu prekomjerne.

U slučaju prekomjernih i neuobičajenih doza iznimno je bitno razlikovati da li je takva izmjerena vrijednost stvarna doza od izlaganja izloženog radnika u normalnom radnom procesu, da li je posljedica izvanrednog događaja ili je samo dozimetar bio izložen ionizirajućem zračenju. Naime, ako je dozu primio izloženi radnik, takva prekomjerna doza upisuje se u evidenciju doza Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS) i povlači dodatne postupke kao što su izvanredni zdravstveni pregled, inspekcijski nadzor i slično. U slučaju kad izloženi radnik pouzdano nije nosio dozimetar, a očitanje dozimetra pokazuje dozu višu od 85 μSv, takva doza ne bi smjela biti upisana u evidenciju doza tog radnika. Pravilnikom [3] je propisano da se doze manje od 85 μSv ne reportiraju niti upisuju u evidenciju DZRNS.

U ovom radu predstavljeno je šest slučajeva prekomjernih ili neuobičajenih doza koje su izmjerene u Jedinici za dozimetriju i radiobiologiju Instituta za medicinska istraživanja i medicinu (IMI) rada koji je ovlašteni stručni tehnički servis za poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja.

MATERIJAL I METODE

Na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada dozimetrijski nadzor se provodi uporabom termoluminiscentnih dozimetara (TLD) s četiri TL elementa koji omogućavaju energijsku diskriminaciju [4]. Osobni dozni ekvivalent *Hp (10)* izloženih radnika određivan je uporabom TLD Panasonic sustava u sklopu akreditirane metode [5]. Vrijednost prirodnog pozadinskog zračenja, koja se oduzima od očitane vrijednosti na dozimetru, mjeri se u dozimetrijskom laboratoriju Jedinice za dozimetriju zračenja i radiobiologiju. Tijekom procesa očitanja dozimetara te proračuna *Hp (10)*, svaka doza veća od zadanog praga u metodi ili ona koja je veća od uobičajenih za pojedino radno mjesto dodatno se provjerava. Nakon provjere ispravnosti očitanja i ispravnosti samog dozimetra, provodi se daljnje istraživanje pojave prekomjerne ili neuobičajene doze. Istraživanje se sastoji od analize vrijednosti očitanja na svakom pojedinom TL elementu dozimetra kako bi se, ako je moguće, odredila energija izvora ionizirajućeg zračenja kojem je bio izložen dozimetar, kontaktiranja osobe odgovorne za zaštitu od ionizirajućeg zračenja nositelja odobrenja za djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja i radnika na čijem dozimetru je doza očitana te, ako je potrebno, ispitivanja radnog okoliša u kojem navedeni radnik radi.

U slučaju prekomjerne doze izloženog radnika koji radi s otvorenim radioaktivnim izvorima, ispituje se način rada, a radna okolina provjerava se uporabom pokretnog gamaspektrometrijskog uređaja za identifikaciju radionuklida Mirion Technologies SpIR ID, uzimanjem briseva radnih i ostalih površina za koje se sumnja da su mogle biti onečišćene radionuklidima te se provodi gamaspektrometrijska analiza akreditiranom metodom.

REZULTATI I RASPRAVA

U periodu od siječnja 2012. godine do prosinca 2014. zabilježeno je 20 slučajeva izmjerenih neuobičajenih ili prekomjernih vrijednosti *Hp (10)*. S obzirom da je u tom periodu napravljeno više od 64 000 dozimetrijskih mjerenja, udio prekomjernih doza je praktički zanemariv.

Izmjerene vrijednosti za pojedine slučajeve, djelatnost izloženih radnika te uobičajene vrijednosti *Hp (10)* tih radnika u normalnim uvjetima rada za jedno mjerno razdoblje prikazane su u Tablici 1.

Prvi slučaj je situacija u kojoj je najvjerojatnije ozračena čitava pošiljka sa dozimetrima. Analiza doza zabilježenih na svim elementima dozimetara pokazala je omjere među elementima takve [4] da je vidljivo da su dozimetri ozračeni rendgenskim snopom energije oko 140 kV što

odgovara energiji kabinetskih rendgenskih uređaja koji se koriste za provjeru pošiljki. Na svim dozimetrima je zabilježena slična doza što je ukazivalo na moguće istovremeno ozračivanje. Radi navedenoga posumnjali smo da se radi o ozračivanju koje nije uzrokovano djelatnošću u ustanovi. Tijekom akreditacijskom metodom propisanog telefonskog razgovora s izloženim radnicima te osobom odgovornom za zaštitu od zračenja ustanove, radnici su se izjasnili da su radili uobičajene poslove i nisu boravili u području posebnog nadgledanja u tom mjernom razdoblju. Radnici su dali izjave u kojima su se izjasnili da smatraju da nisu bili izloženi ionizirajućem zračenju i doze nisu upisane u registar doza pri DZRNS. Interno je zabilježeno je da je pošiljka dozimetara ozračena u nekom trenutku poštanske dostave i redovite rendgenske kontrole pošiljaka na pošti.

Tablica 1. Izmjerene prekomjerne vrijednosti *Hp (10)*

r.br. „slučaja“	***Hp (10)***	**Djelatnost koju radnik obavlja u ustanovi**	**uobičajene vrijednosti *Hp (10)* za radno mjesto / jednom mjernom razdoblju**
1.	134 mSv, 115 mSv, 129 mSv, 119 mSv, 111 mSv, 126 mSv	ispitivanje sadržaja sumnjivih predmeta prijenosnim rdg uređajem	do 100 μSv
2.	22 Sv i 59 Sv	ozračivanje bioloških uzoraka zatvorenim radioaktivnim izvorom u sklopu drugog uređaja	0 (< 85 μSv)
3.	29,5 mSv	servis rendgenskih uređaja	0 (< 85 μSv)
4.	8,8 mSv	radiološka dijagnostika	do 150 μSv
5.	150 mSv	linearni akcelerator u medicini	0 (< 85 μSv)
6.	19,9 mSv, 1 mSv	otvoreni radioaktivni izvori u nuklearnoj medicini	do 400 μSv

Drugi slučaj je situacija zlouporabe u kojoj su korisnici namjerno ozračili svoje osobne dozimetre pri čemu nisu bili svjesni kolika će doza biti zabilježena. Nakon potvrde ispravnosti očitanja dozimetara hitno je telefonski kontaktirana ustanova i izložene radnice koje su u početku negirale zlouporabu dozimetara. Ispitivanje radne okoline dalo je procjenu maksimalne vrijednosti efektivne doze u normalnim uvjetima rada od 50 μSv u jednom mjernom razdoblju, te je potvrđeno da dozimetri nikako nisu slučajno mogli završiti u uređaju za ozračivanje. Izložene radnice na čijim je osobnim dozimetrima zabilježena ekstremna doza priznale su namjerno ozračivanje jer su smatrale da njihove uobičajene vrijednosti

efektivne doze 0 (< 85 μSv, kako je zakonski propisano i mjeriteljski pouzdano) nisu dobro izmjerene, za razliku od vrijednosti 10 ili 20 μSv, koje je upisivao i u registar pri DZRNS prijavljivao njihov prethodni tehnički servis. Doze su prijavljene ali nisu upisane u registar DZRNS, a izložene radnice su snosile disciplinske mjere.

U trećem slučaju je izmjerena prekomjerna vrijednost *Hp (10)* od 29,5 mSv, na dozimetru izdanom serviseru rendgenskih uređaja. Provjera očitanja dozimetra pokazala je ispravno izmjerenu dozu, a analiza očitanja po TL elementima nije dala jednoznačan odgovor. Serviser se kategorički izjasnio da dozimetar nije ni nosio tijekom cijelog mjernog intervala budući da je bio na godišnjem odmoru. S obzirom na specifičnosti radnog mjesta, nije provedeno ispitivanje radnog okoliša te nije otkriveno na koji način je dozimetar zabilježio tu vrijednost. Izmjereni osobni dozni ekvivalent nije upisan u bazu DZRNS.

Četvrti slučaj je situacija u kojoj je zabilježena vrijednost osobnog doznog ekvivalenta *Hp (10)* od 8,8 mSv u jednom mjernom razdoblju koja nije prekomjerna u usporedbi sa zakonskim granicama, ali je bila neuobičajena za radno mjesto inženjera medicinske radiologije. Po obavljenoj potvrdi ispravnog očitanja kontaktirana je osoba odgovorna za zaštitu od zračenja ustanove i izloženi radnik te je ustanovljeno da se radi o stvarno primljenoj dozi. Tijekom mjernog intervala u kojem je zabilježena navedena vrijednost *Hp (10)*, u ustanovi se provodio servis rendgenskog uređaja i izloženi radnik je boravio u području izloženosti tijekom rada rendgenske cijevi. Vrijednost efektivne doze upisana je u bazu DZRNS.

U petom slučaju izloženi radnik je javio da mu je toga dana dozimetar ispao i ostao u prostoriji u kojoj je smješten linearni akcelerator te da je dozimetar bio izložen zračenju. Radniku je odmah nakon nezgode izdan zamjenski dozimetar. Na dozimetru je zabilježena vrijednost osobnog doznog ekvivalenta od 150 mSv, i takva doza, naravno, nije zabilježena u bazu DZRNS.

Zadnji slučaj dogodio se izloženom radniku na odjelu nuklearne medicine. Prvo je za jedno mjerno razdoblje zabilježena vrijednost 19,9 mSv. Po potvrdi ispravnosti očitanja odmah je kontaktirana osoba odgovorna za zaštitu od zračenja ustanove, izloženi radnik te je stručni suradnik Jedinice proveo ispitivanje radnog okoliša u kojem radi izloženi radnik. Ispitivanjem nije nađeno radioaktivno onečišćenje, a izloženi radnik se izjasnio da nije bilo nikakvih izvanrednih događaja tijekom mjernog razdoblja te da je dozimetar nosio redovito i na ispravan način. O izmjerenoj dozi obaviješten je DZRNS i medicina rada ustanove. Slijedeće mjerno

razdoblje na dozimetru za istog radnika zabilježena je vrijednost 1 mSv što je i dalje bilo značajno više od uobičajenih doza koje je primao taj radnik (do 400 μSv maksimalno). Ponovljena je provjera radnog okoliša, ali i dalje nije pronađen uzrok ozračivanja. Radnik je upućen na izvanredni zdravstveni pregled i slijedeća tri mjerna razdoblja nije radio u području izloženosti. Nad tim radnikom provodi se dodatna kontrola pri svakom očitanju dozimetra. Vrijednosti zabilježene efektivne doze unesene su u bazu DZRNS. Uzrok prekomjernog ozračenja nije nikada identificiran.

ZAKLJUČAK

U većini predstavljenih slučajeva nije došlo do prekomjernog ozračenja izloženog radnika nego isključivo osobnog dozimetra. Iznimno je bitno da se po očitanju prekomjernih ili neuobičajenih doza na dozimetrima poduzmu sve propisane sigurnosne mjere u cilju utvrđenja uzroka nastanka prekomjernog ozračenja i prevencije mogućeg budućeg izlaganja takvom ozračenju. Dozimetri se moraju pravovremeno vraćati na očitanje u stručno tehnički servis kako bi se u slučaju prekomjernih doza moglo što prije reagirati i ukloniti eventualni uzrok takve pojave bio on akcident, incident, nepravilno rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja ili dozimetrima, ili radioaktivno onečišćenje. Važno je uvijek nepobitno utvrditi da li je radnik bio izložen zračenju.

LITERATURA

[1] Pravilnik o granicama ozračenja. Narodne novine 59/13.

[2] European Commission. Radiation Protection No 160: Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation. Report EUR. Luxembourg:EC;2009.

[3] Pravilnik o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima. Narodne novine RH 41/12, 89/13.

[3] Type test Data for Panasonic UD-802AT Dosimeter in Pouch Holder; Radiation instruments department, Panasonic Industrial Europe, UK:2011.

[4] ME - 608 - 001 Određivanje *Hp (10)* korištenjem termoluminiscentnih dozimetara. Izdanje 1, revizija 4. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada. 2014.

EXCESSIVE DOSES RECORDED DURING PERSONAL DOSIMETRY MONITORING

Jerko Šiško, Marija Surić Mihić, Tomislav Meštrović and Ivica Prlić
Unit for Radiation Dosimetry and Radiobiology, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
jsisko@imi.hr

In personal dosimetry monitoring, occasionally excessive and unusual values of the personal dose equivalent *Hp (10)* are recorded. These excessive values comprise all measurements that surpass 3/10 of the dose limits defined by legislation and international recommendations.

In this work, six different cases of excessive and unusual values of personal dose equivalent *Hp (10)* are examined. All of the *Hp (10)* values were recorded while processing personal thermoluminescent dosimeters (TLD´s) at the Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb (Licensed Technical Service in the field of radiation protection).

After determining excessive or unusual values of *Hp (10)*, the investigation process regulated by accreditation manual was performed and the conclusion was that in most of, in this paper reported cases, only TLD´s were exposed. There were no real proofs that the workers were exposed too. It is very important to analyse the cause of the exposure of TLD´s so that similar incident situations could be prevented in the future. It is also very important that exposed workers return their personal dosimeters to the Technical service regularly and on time so that the technical service can act in a timely manner in the case of a real radiological accident, misconduct in handling ionizing radiation sources or dosimeters, or radioactive contamination.

KUTNA ZAVISNOST DETEKTORA U DOZIMETRIJI ZA GAMA-NOŽ RADIOKIRURGIJU

Hrvoje Hršak[1], Marija Majer[2], Timor Grego[1], Juraj Bibić[1] i Zdravko Heinrich[1]
[1]Klinički bolnički centar Zagreb
[2]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
hhrsak@kbc-zagreb.hr

UVOD

Radiokirurgija Leksellovim gama-nožem (engl. *Leksell Gamma-Knife* LGK) je metoda za precizno jednokratno ozračivanje malih intrakranijskih lezija visokom dozom ionizirajućeg zračenja [1]. U tu svrhu koriste se uski, konvergirajući fotonski snopovi ^{60}Co (n = 201) LGK uređaja, Model C (Elekta AB, Stockholm, Švedska). Snopovi se usmjeravaju kolimatorskim kacigama koje u izocentru gama-noža daju sferičnu raspodjelu doze promjera 18, 14, 8 i 4 mm.

Za točan račun doze i računalno planiranje radiokirurškog postupka nužno je točno određivanje dozimetrijskih značajki gama noža: izlaznih OF faktora (engl. *output factor*) i profila doze za svaku kolimatorsku kacigu. Dozimetrija fotonskih snopova gama-noža predstavlja poseban mjerni problem zbog narušenja lateralne elektronske ravnoteže i volumetrijskog učinka usrednjavanja mjerenog signala, te promjene odziva detektora u uskim fotonskim snopovima [2], što je posebice izraženo za 4 mm kolimatorsku kacigu gama-noža. Detektori stoga trebaju imati visoku prostornu razlučivost, linearni odziv na dozu i minimalnu kutnu zavisnost. Poluvodički detektori često se koriste za dozimetriju uskih fotonskih snopova zbog malog mjernog volumena, obično debljine par desetaka μm i promjera do 1 mm, a time i visoke prostorne razlučivosti, te visokog odziva signala na dozu [2,3]. Međutim oni pokazuju i značajnu kutnu zavisnost odziva (do 10 % razlike u visini mjerenog signala u rasponu kuteva upadnog snopa od 0° do 90°).

Do sada je objavljeno samo jedno istraživanje u kojem je proučavana kutna zavisnost odziva detektora koji se koriste u dozimetriji fotonskih snopova gama-noža [3]. U tom radu kutna zavisnost radiofotoluminiscentnog i poluvodičkog detektora određivana je simuliranjem fotonskih snopova gama-noža pomoću 6 MV snopova

linearnog akceleratora. U ovom radu kutna zavisnost odziva u fotonskim snopovima gama noža određivana je indirektnim mjerenjem za sve kolimatorske kacige i to za dvije vrste *p* - tip poluvodičkih detektora i PinPoint ionizacijsku komoricu za koju se općenito ne očekuje promjena odziva s promjenom upadnog kuta snopa.

MATERIJAL I METODE

Za LGK, Model C, izvori ^{60}Co raspoređeni su u pet prstenova (*A, B, C, D* i *E* prsten) (Slika 1) na polusferičnom plaštu, s međusobnim kutnim razmakom od 7,5˚ počevši od prstena *A* čiji snopovi su orjentirani pod kutem od 84° i završno s prstenom *E* čiji snopovi su orjentirani pod kutem od 54° u odnosu na *z* - os gama noža. Oni daju fotonske snopove (n = 201) koji se kolimatorskom kacigom usmjeravaju u zajedničku točku presjeka (engl. *unit centre point* UCP) - izocentar. Za sve snopove udaljenost od izvora do izocentra gama- noža je 40,3 cm. Svaki prsten ima fiksirani broj izvora (A = 44, B = 44, C = 39, D = 39 i E = 35).

Za mjerenje kutne zavisnosti odziva korištena su dva poluvodička *p* - tip silikonska detektora (oklopljena dioda Diode P PTW60016 i neoklopljena dioda Diode E PTW60017) (PTW Freiburg, Njemačka) s aktivnim volumenom u obliku diska promjera 1,1 mm i debljine 0,03 mm, te ionizacijska komorica PinPoint PTW31006 s cilindričnim aktivnim volumenom promjera 2 mm i duljine 5 mm, te elektrometar UNIDOS E (PTW Freiburg, Njemačka).

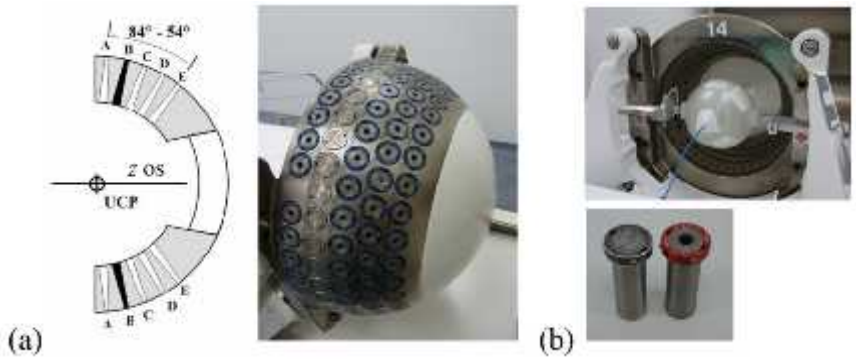
Sva mjerenja provedena su u sfernom tkivo-ekvivalentnom akrilnom fantomu promjera 16 cm (PTGR, Tübingen, Njemačka) (Slika 1), koji se sastoji od dvije polusfere s posebnim dosjedima za namještanje različitih vrsta detektora u središte fantoma, odnosno u izocentar gama-noža.

U postupku određivanja kutne zavisnosti detektora, signal koji odgovara kutu od interesa ($M_{A,B,C,D,E}$) mjeren je indirektno:

$$M_{A,B,C,D,E} = M - M_{1,2,3,4,5} \qquad (1)$$

gdje je M mjereni signal detektora kada su svi snopovi otvoreni, a $M_{1,2,3,4,5}$ je mjereni signal kada su snopovi koji pripadaju prstenu A, B, C, D ili E blokirani (Slika 1).

Za blokiranje individualnih fotonskih snopova korišteni su cilindrični blokovi od slitine volframa i željeza, duljine 6 cm (Slika 1).



Slika 1. Raspored prstenova s blokiranim prstenom *B* (44 fotonska snopa blokirana) *(a)* i sferni fantom namješten u izocentar gama-noža, te *(b)* blok od slitine volframa i željeza uz individualni kolimator

Relativna kutna zavisnost odziva detektora, koja je definirana kao kutno zavisni korekcijski faktor $f_{corr}^{A,B,C,D,E}$ odziva (po jednom izvoru), normirana je na odziv koji odgovara kutu od 84° (prsten A):

$$f_{corr}^{i} = \frac{M_i / N_i}{M_A / 44}, \quad i = A, B, C, D, E \qquad (2)$$

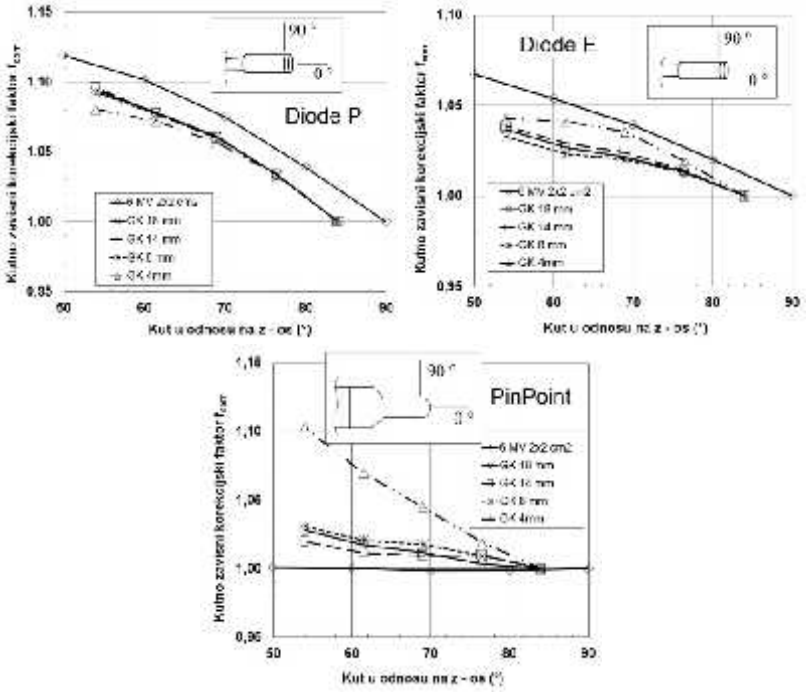
gdje je N_i broj izvora ^{60}Co koji pripadaju *i*-tom prstenu i $\sum_{i=A,B,C,D,E} N_i = 201.$

Kako bi se provjerila konzistentnost odziva detektora, u ovom radu određivana je i kutna zavisnost odziva za 6 MV fotonske snopove veličine 2 x 2 cm^2 linearnog akceleratora Siemens ONCOR Expression (Siemens AG, Erlangen, Njemačka) za sva tri detektora u istom sfernom fantomu (udaljenost od izvora do izocentra iznosila je 100 cm). Kako bi se izbjegle moguće geometrijske nesigurnosti u namještanju fantoma, nije korišten snop veličine manje od 2 × 2 cm^2, a ta je veličina snopa linearnog akceleratora u ovom radu smatrana sumjerljivom 18 mm snopu gama-noža. Dobiveni rezultati za linearni akcelerator uspoređeni su s kutnom zavisnošću odziva detektora u snopovima gama-noža. Vrijeme mjerenja iznosilo je t = 2 min za sve veličine fotonskih snopova.

REZULTATI I RASPRAVA

Kutno zavisni korekcijski faktori (2), odnosno relativna kutna zavisnost odziva za Diode P, Diode E detektor i PinPoint ionizacijsku

komoricu prikazani su na Slici 2. Razlika u relativnoj kutnoj zavisnosti odziva za Diode P detektor u kutnom intervalu 84° - 54° iznosi približno 9 % za 18,14 i 8 mm kolimator gama-noža i 8 % za 4 mm kolimator (Slika 2).



Slika 2. Relativna kutna zavisnost odziva, odnosno kutno zavisni korekcijski faktori odziva za poluvodičke silikonske *p* - tip detektore Diode P i Diode E i ionizacijsku komoricu PinPoint u fotonskim snopovima gama-noža i linearnog akceleratora.

Za Diode E ta razlika iznosi približno 4 % za sve kolimatorske kacige. Silikonski detektori pokazuju prekomjerni odziv na nisko energijske raspršene fotone [4]. Stoga je aktivni volumen za Diode P, koja je namjenjena za dozimetriju širih fotonskih snopova gdje je prisutno raspršeno nisko-energijsko zračenje, zaštićen metalnim oklopom kako bi se taj prekomjerni odziv kompenzirao. U usporedbi s neokloplјenim detektorom Diode E, koji je prvenstveno namijenjen za dozimetriju snopova elektrona, Diode P pokazuje veću kutnu zavisnost odziva za snopove gama - noža što se može objasniti povećanjem povratnog raspršenja sekundarnih elektrona od metalnog oklopa aktivnog volumena, jer sa smanjenjem upadnog kuta fotonskog snopa na disk aktivnog volumena više fotona upada

okomito na površinu diska. Za PinPoint komoricu razlika u kutnoj zavisnosti je manja od 3 % za 18, 14 i 8 mm kolimator, dok za 4 mm kolimator ona iznosi 10 % (Slika 2), što je posljedica promjene u volumetrijskom učinku usrednjavanja signala, obzirom da je za 4 mm snop samo dio aktivnog volumena komorice u snopu, a veličina tog dijela se mijenja s promjenom upadnog kuta fotonskog snopa.

Kutna zavisnost detektora određivana u 6 MV fotonskom snopu linearnog akceleratora pokazuje dosta dobro slaganje s vrijednostima dobivenim za 18 mm kolimator gama-noža za Diode P i Diode E, dok za PinPoint komoricu praktički nema kutne zavisnosti u snopovima 2×2 cm^2 (Slika 2).

ZAKLJUČAK

Oklopljeni poluvodički detektor Diode P PTW60016 i neoklopljeni detektor Diode E PTW60017 pogodni su za dozimetriju fotonskih snopova gama-noža zbog svoje visoke prostorne razlučivosti i visokog odziva signala. Međutim, oni su konstrukcijski izvedeni prvenstveno za dozimetriju snopova koji upadaju na aktivni volumen duž uzdužne osi detektora, odnosno okomito na silikonski disk, te pokazuju značajnu kutnu zavisnost odziva, posebno Diode P. PinPoint ionizacijska komorica PTW31006 nije pogodna za dozimetriju 4 mm fotonskih snopova gama-noža zbog izraženog učinka volumetrijskog usrednjavanja signala. U dozimetriji snopova gama - noža, koji na aktivni volumen upadaju u kutnom intervalu 84° - 54° u odnosu na uzdužnu os detektora, valja primijeniti korekciju mjerenog signala za kutnu zavisnost odziva kada se koriste poluvodički detektori i cilindrične ionizacijske komorice.

LITERATURA

[1] Verhey LJ, Smith V, Serago CF. Comparison of radiosurgery treatment modalities based on physical dose distributions. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1998;40:497-505.

[2] Mack A, Scheib SG, Major J, Gianolini S, Pazmandi G, Feist H, Czempiel H, Kreiner HJ. Precision dosimetry for narrow photon beams used in radiosurgery-determination of Gamma Knife output factors. Med Phys 2002;29:2080-2089.

[3] Araki F, Ikegami T, Ishidoya T, Kubo HD. Measurements of Gamma-Knife helmet output factors using a radiophotoluminescent glass rod dosimeter and a diode detector. Med Phys 2003;30:1976-1981.

[4] Cranmer-Sargison G, Weston S, Sidhu NP, Thwaites DI. Experimental small field 6 MV output ratio analysis for various diode detector and accelerator combinations. Radiother Oncol 2011;100:429-35.

DIRECTIONAL DEPENDENCE OF DETECTORS IN DOSIMETRY FOR GAMMA-KNIFE RADIOSURGERY

Hrvoje Hršak[1], Marija Majer[2], Timor Grego[1], Juraj Bibić and Zdravko Heinrich[1]
[1]University Hospital Centre Zagreb, Croatia
[2]Institute Ruđer Bošković, Zagreb, Croatia
hhrsak@kbc-zagreb.hr

Dosimetry of output factors and dose profiles for Gamma-Knife radiosurgery beams requires detectors with high spatial resolution, minimal angular dependence of signal and linear dose response. Angular dependence for shielded (PTW60016 Diode P) and unshielded (PTW60017 Diode E) *p* - type silicon detectors and PTW31006 PinPoint ionization chamber was measured indirectly with 18, 14, 8 and 4 mm collimator helmet for the Leksell Gamma Knife Model C. Relative angular dependence correction factors were calculated for each detector and collimator helmet. For Gamma-Knife beams angle range of 84° - 54° Diode P detector shows considerable angular dependence of 9 % and 8 % for the 18 mm and 14, 8, 4 mm collimator, respectively. For Diode E detector this dependence is about 4 % for all collimators. Compared to Diode E, Diode P shows stronger angular dependence which may be explained by the increase of electron backscattering from the metal shield of silicon active volume as the angle of incident photon beam decreases, i.e. more photons are entering silicon chip perpendicularly. PinPoint ionization chamber shows angular dependence of less than 3 % for 18, 14 and 8 mm helmet and 10 % for 4 mm collimator which is probably due to volumetric averaging effect in a small photon beam. Diodes P and E represent good choice for Gamma - Knife dosimetry, while PinPoint ionization chamber is not recommended for dosimetry with the 4 mm collimator helmets. When used for absolute and relative dosimetry of Gamma Knife beams, diodes and PinPoint ionization chamber response should be corrected for angular dependence.

MJERENJE PROFILA KOMPOZITNIH RASPODJELA DOZE GAMA-NOŽA - PRELIMINARNI REZULTATI

Timor Grego[1], *Hrvoje Hršak*[1] *Marija Majer*[2], *Juraj Bibić*[1]
i Zdravko Heinrich[1]
[1]Klinički bolnički centar Zagreb
[2]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
tgrego@kbc-zagreb.hr

UVOD

Radiokirurgija mozga Leksellovim gama-nožem (engl. *Leksell Gamma-Knife* LGK, Elekta AB, Stockholm) je metoda koja koristi uske fotonske snopove ^{60}Co (n=201) za precizno jednokratno ozračivanje malih intrakranijskih lezija visokom dozom ionizirajućeg zračenja [1]. Snopovi se usmjeravaju posebnim izmjenjivim kolimatorima koji u izocentru gama-noža daju približno sferičnu, kompozitnu raspodjelu doze promjera 18, 14, 8 i 4 mm.

Za točan račun doze u planiranju radiokirurškog postupka nužno je točno određivanje dozimetrijskih značajki gama-noža: izlaznih faktora (engl. *output factor*) i profila doze. Mjerenje profila doze gama- noža predstavlja dozimetrijski problem zbog volumnog učinka usrednjavanja mjerenog signala i narušenja lateralne elektronske ravnoteže [2], što je posebice izraženo za 4 mm kolimator. Detektori stoga trebaju imati visoku prostornu razlučivost i linearni odziv na dozu. Minijaturne ionizacijske komorice i poluvodički detektori često se koriste za dozimetriju uskih megavoltnih fotonskih snopova zbog malog mjernog volumena, promjera do 2 mm, a time i visoke prostorne razlučivosti, te visokog odziva signala na dozu [2,3].

Do sada su objavljena samo dva istraživanja u kojima su profili doze gama-noža mjereni cilindričnim detektorima, Bank [3] je mjerio samo lateralne profile doze malom ionizacijskom komoricom PinPoint (PTW, Freiburg) uz razlučivost 2 mm za 8, 14 i 18 mm kolimator i 1 mm za 4 mm kolimator, a Kindl et al. [4] mjerili su lateralne LL (x - smjer) i superior-inferior SI (z - smjer) profile doze gama noža poluvodičkim detektorom IN5408 (Westinghouse, Monroewille) s prostornom razlučivosti od 1 mm. U oba slučaja mjerenje je provedeno uz ručno namještanje sfernog polistirenskog fantoma.

U ovom radu LL i SI profili doze mjereni su za 18, 14, 8 i 4 mm kolimator gama - noža, Model C, pomoću Semiflex i PinPoint ionizacijske komorice i poluvodičkog detektora Diode P (PTW, Freiburg) uz visoku prostornu razlučivost od 0,2 mm. Mjerenje je provedeno uz automatsko namještanje sfernog fantoma pomoću robotiziranog automatskog sustava za namještanje (engl. *automatic positioning system* - APS).

MATERIJAL I METODE

Za LGK, Model C, izvori ^{60}Co raspoređeni su na polusferičnom plaštu, s međusobnim kutnim razmakom od 7,5˚ počevši od 84° i završno s 54° u odnosu na *z* - os gama noža. Oni daju fotonske snopove (n = 201) koji se kolimatorskom kacigom usmjeravaju u zajedničku točku presjeka (engl. *unit centre point* UCP) - izocentar (Slika 1). Za sve snopove udaljenost od izvora do izocentra gama-noža je 40,3 cm. Za mjerenje profila doze korištene su dvije ionizacijske komorice: PinPoint 31006 s aktivnim volumenom promjera 2 mm i duljine 5 mm i Semiflex 31010 s promjerom 5,5 mm i duljinom 6,5 mm, te poluvodička *p* - tip silikonska oklopljena dioda Diode P 60016 i elektrometar UNIDOS E (PTW Freiburg, Njemačka).

Sva mjerenja provedena su u sfernom tkivo- ekvivalentnom polistirenskom fantomu promjera 16 cm (Elekta, Stockholm) (Slika 1), koji se sastoji od dvije polusfere s posebnim dosjedima za namještanje različitih vrsta detektora u središte fantoma, odnosno u izocentar gama-noža.

Fantom je učvršćen u Leksellov stereotaktički okvir s četiri vijka na način da je uzdužna os detektora smještenog u fantomu orijentirana duž z-osi gama noža (Slika 1).

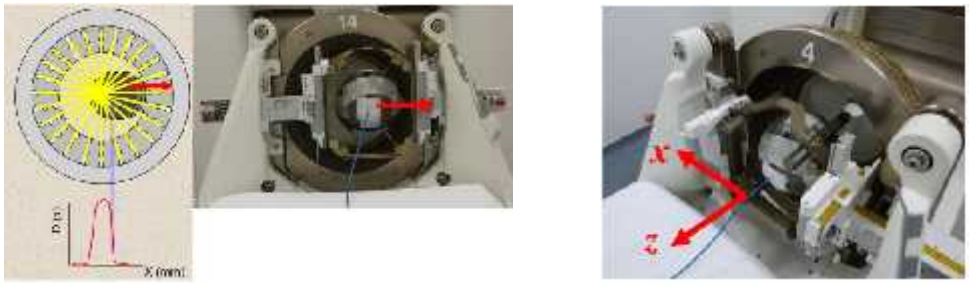
Okvir s fantomom je zatim namješten u APS i tijekom mjerenja pomican u LL i SI smjeru u koracima od 0,2 mm. Također, LL i SI profili računalno su simulirani u softveru za planiranje gama nož radiokirurgije LGP v.10.0 (engl. Leksell Gamma Plan), a simulacijski račun je proveden po vokselima veličine 1 mm3.

Mjereni i simulirani profili grafički su uspoređeni, te je za njih izračunata širina polusjene:

$$Pen^k = \left| x\left(P_{80}^k\right) - x\left(P_{20}^k\right) \right| \text{ , } (k = 18, 14, 8 \text{ i } 4 \text{ mm}) \qquad (1)$$

gdje je $x\left(P_{80}^k\right)$ udaljenost od izocentra u *x* smjeru, točke koja odgovara 80 % vrijednosti profila doze, a $x\left(P_{20}^k\right)$ je udaljenost od izocentra točke koja

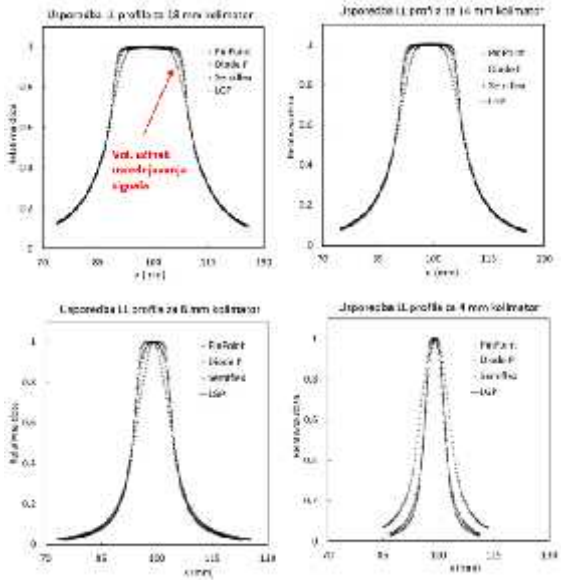
odgovara 20 % vrijednosti profila doze u izocentru. Vrijeme mjerenja iznosilo je t = 1 min za sve veličine fotonskih snopova.



Slika 1. Mjerenje LL profila doze pomicanjem sfernog polistirenskog fantoma APS-om u koracima od 0,2 mm.

REZULTATI I RASPRAVA

Usporedba mjerenih/simuliranih profila gama-noža pokazuje izraženi volumni učinak usrednjavanja signala za ionizacijske komorice (Slike 2 i 3).



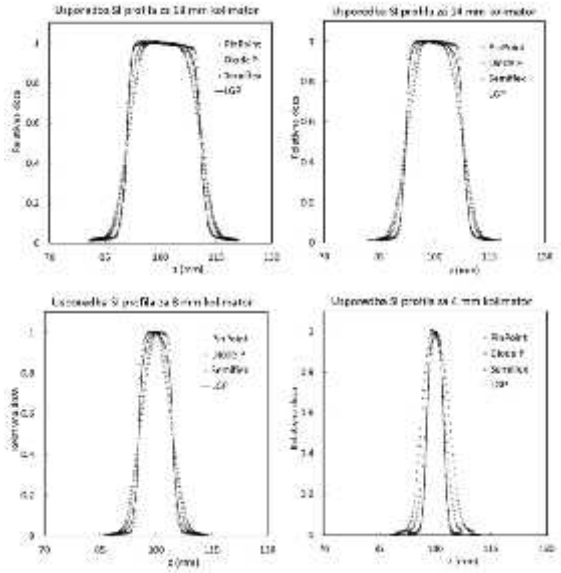
Slika 2. Usporedba mjerenih i simuliranih LL profila doze za sve kolimatore. Primjetno je širenje polusjene profila mjerenih komoricama

Volumni učinak usrednjavanja ovisi o relativnom odnosu veličine aktivnog volumena detektora i širine snopa. Taj je odnos najnepovoljniji za

najmanje, 8 i 4 mm kolimatore i ionizacijske komorice, te je za njih i najizraženije širenje polusjene (Tablica 1).

Tablica 1. Širina polusjene za LL i SI profile mjerene ionizacijskim komoricama Semiflex i PinPoint, te poluvodičkim detektorom Diode P

	Pen^k (mm) za LL profile doze				Pen^k (mm) za SI profile doze			
k	Semifl.	PinPoint	Diode P	LGP	Semifl.	PinPoint	Diode P	LGP
18 mm	11,2	10,5	9,9	10,0	5,0	3,8	2,0	2,1
14 mm	9,0	8,3	7,9	8,1	4,9	3,6	2,0	2,1
8 mm	6,7	5,4	4,8	5,1	4,5	3,3	1,3	1,7
4 mm	5,4	3,7	2,8	2,9	3,3	1,1	1,1	1,3



Slika 3. Usporedba mjerenih i simuliranih SI profila doze. Primjetno je širenje polusjene profila mjerenih komoricama za sve kolimatore.

Također, zbog znatno narušene lateralne elektronske ravnoteže u središnjem dijelu raspodjele za 4 mm kolimator, smanjen je i odziv za ionizacijske komorice, pa mjereni profili doze pokazuju i efektivno širenje same raspodjele (puna širina na pola maksimuma profila FWHMSemi (LL, 4 mm) = 9,5 mm i FWHMPinP (LL, 4 mm) = 6,1 mm, odnosno

FWHMSemi(SI, 4 mm) = 8,4 mm i FWHMPinP (SI, 4 mm) = 5,6 mm, nasuprot simuliranih profila za koje je FWHMLGP (LL, 4 mm) = 5,9 mm i FWHMLGP (SI, 4 mm) = 4,7 mm) (engl. *full width at half maximum* - FWHM). Za veće kolimatore nema efektivnog širenja profila. U odnosu na profile mjerene detektorom Diode P, simulirani profili pokazuju određeno širenje polusjene, što je očekivano, budući da je simulacijski račun proveden po vokselima konačne veličine od 1 mm^3, koji zapravo simuliraju detektor takve veličine. Poluvodički detektor Diode P se pokazuje kao najpovoljniji izbor za mjerenje profila doze gama-noža, dok je za ionizacijske komorice potrebno provesti dekonvoluciju prostornog utjecaja volumena detektora i korekciju odziva zbog narušene elektronske ravnoteže. Semiflex komorica zbog svojeg većeg volumena nije preporučena za dozimetriju 8 mm i 4 mm snopova gama - noža.

ZAKLJUČAK

Dozimetrija uskih fotonskih snopova koji se koriste u radiokirurgiji gama-nožem opterećena je problemom volumnog usrednjavanja mjerenog signala i narušenjem lateralne elektronske ravnoteže. U ovom radu prikazani su preliminarni rezultati mjerenja profila standardnim radioterapijskim ionizacijskim komoricama Semiflex i PinPoint i poluvodičkim detektorom Diode P. Rezultati upućuju na potrebu dekonvolucije prostornog utjecaja aktivnog volumena komorica koje pokazuju navedene dozimetrijske probleme kada se koriste za dozimetriju uskih snopova.

LITERATURA

[1] Verhey LJ, Smith V, Serago CF. Comparison of radiosurgery treatment modalities based on physical dose distributions. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1998;40:497-505.

[2] Mack A, Scheib SG, Major J, Gianolini S, Pazmandi G, Feist H, Czempeil H, Kreiner HJ. Precision dosimetry for narrow photon beams used in radiosurgery - Determination of Gamma Knife output factors. Med Phys 2002;29:2080-2089.

[3] Bank MI. Ion chamber measurements of transverse gamma knife beam profiles. J Appl Clin Med Phys 2002;3:12-18.

[4] Kindl P, Obenaus B, Feichtinger Kh, et al. High Resolution Measurement of Dose Distributions in the LEKSELL Gamma Knife. Z Med Phys 1994;4:215-219.

DOSE PROFILE MEASUREMENTS OF COMPOSITE GAMMA-KNIFE DOSE DISTRIBUTIONS - PRELIMINARY RESULTS

Timor Grego[1], Hrvoje Hršak[1] Marija Majer[2], Juraj Bibić[1] and Zdravko Heinrich[1]
[1]University Hospital Centre Zagreb, Croatia
[2]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
tgrego@kbc-zagreb.hr

Dose distributions for Leksell Gamma-Knife are small and of nearly spherical shape. They result from cross-firing of 201 individual small photon beams. In the radiosurgery, usage of radiation beams is essential dosimetry task for measurement and evaluation of dose profiles of clinical photon beams. Since the dosimetry of individual photon beams in Gamma - Knife radiosurgery is not possible, due to construction of Leksell Gamma - Knife Unit, only composite dose distributions could be measured and evaluated. In this work a simple method for high resolution dose profile measurements of composite Gamma-Knife dose distribution was proposed and the preliminary results of measurements were presented. For that purpose, dose profiles were measured in referent spherical phantom with three types of detectors (PTW Semiflex and PinPoint ionization chambers and *p* - type silicon detector PTW Diode P) for 18 mm, 14 mm, 8 mm and 4 mm helmet collimator. Profiles were scanned in lateral - lateral (LL) and superior-inferior directions (SI) with the resolution of 0.2 mm. The volumetric averaging effect of detectors response was observed especially for small collimators (8 mm and 4 mm helmet). The size of profiles (full width at half maximum, FWHM) and penumbra values (distance between 20 % and 80 % isodose) were compared to referent published values and the values simulated with Gamma-Knife treatment planning system (GK TPS). A possible deconvolution for correction of volumetric averaging effect was suggested.

3D CONFORMAL RADIATION THERAPY (3D - CRT) VERSUS INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY (IMRT) FOR ANAL CARCINOMA CASE AT UHC - ZAGREB

Lovro Barišić, Timor Grego, Juraj Bibić, Ana Buinac, Miljenko Murković, Nenad Kovačević, Julijan Babić and Hrvoje Hršak
Medical Physics Division, Department of Oncology,
University Hospital Centre Zagreb, Croatia
LBarisic@kbc-zagreb.hr

INTRODUCTION

Anal carcinomas are relatively rare. For example, in Croatia, in 2011 there were 24 cases of anal carcinoma from total of 20510 new cancer cases [1]. Due to its shape, the planning target volume (PTV) presents challenge for planning conformal radiation therapy. PTV forms are an elongated horseshoe shape that surrounds organs at risk (OARs). In this case OARs are bladder, intestines, small bowel, rectum, iliac bones, femoral heads and genitalia.

In this paper, 3D conformal radiation therapy (3D - CRT) technique is presented and compared with intensity modulated radiation therapy (IMRT). IMRT has been implemented at UHC - Zagreb since June 2012 mostly for head and neck (H & N) cancer cases [2].

MATERIAL AND METHODS

Radiation therapy treatment prescription. The prescription to PTV1 was 30.6 Gy in 17 fractions, to PTV2 39.6 Gy in 22 fractions and to PTV3 45 Gy in 25 fractions. Prescription was different for IMRT, it was prescribed in two Simultaneous Integrated Boost phases (SIB). First phase prescribed to PTV1 and PTV2 was 30.4 Gy in 19 fractions, and to PTV3 to 34.2 Gy in 19 fractions. Second phase prescribed 9.6 Gy in 6 fractions to PTV2 and 10.8 Gy in 6 fractions to PTV3.

Treatment planning. 3D conformal planning was made on Elekta/CMS XiO treatment planning system using superposition algorithm. Special seven field technique was developed and implemented (Figure 1a) in accordance with [3] and [4]. Beams of 18 MV were used at angles 0°, 32°, 90°, 147°, 212°, 270° and 327°. To develop horseshoe isodose shapes,

more weight was placed on anterior oblique fields with wedges and posterior oblique fields were added to compensate for missing dose. Oblique fields irradiated only half of the PTV closer to the source. Other three beams (angles 0°, 90° and 270°) were added to avoid hot spots in PTV. Also three small patch fields were added for better conformity. Beam arrangement for PTV2 on 39.6 Gy was the same as for PTV1 on 30.6 Gy while only one patch field was used. Conventional beam setup of 3 fields (posterior beam and two lateral beams with wedges) was used for PTV3 boost up to 45 Gy.

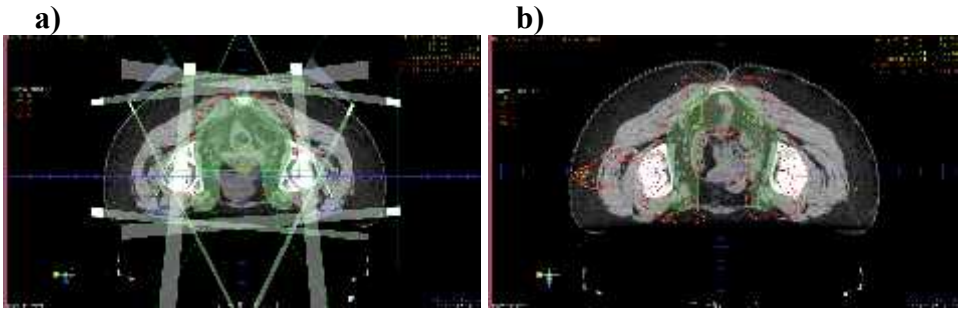


Figure 1. a) seven field 3DCRT technique, *b)* IMRT dose distribution

IMRT plan was created using seven coplanar field angles. The beams were positioned at angles 0°, 80°, 120°, 147°, 212°, 245° and 285°. Plan was created using step and shoot IMRT method with sliding window IMRT delivery technique. Requirement for minimum segment field size was 2 × 2 cm. No less than 5 MU per segment was allowed. IMRT isodose shapes are presented on Figure 1b.

Dosimetric verification. Dosimetric verification was performed for both plans. PTW 729 2D dosimetry array with 729 ionisation chambers was used. Distance between adjacent chambers is 1 cm and volume of each chamber is 0.125 cc. The 729 dosimetry system was placed in RW3 solid water phantom at depth of 15 cm. All fields were irradiated with gantry positioned at 0°. Calculated values from TPS were compared with measured values and gamma index evaluation method [5] was performed in PTW Verisoft software. Distance to agreement was 3 mm and dose difference was 3 %.

RESULTS

3D - CRT and IMRT plans were created and Dose Volume Histogram (DVH) comparison was performed (Figures 2 and 3). Both plans showed

similar results for bone structures (Figure 2a). 3D - CRT plan provided better sparing of intestines and rectum, but IMRT plan was better for bladder and colon (Figure 2b). PTV coverage was adequate for both plans (Figure 3), although there were higher maximums and lower conformity for 3D - CRT plan. Finally, total patient dose was lower for 3D - CRT plan than for IMRT plan due to the fact that only 6 MV beams were used to create IMRT plan. 3D - CRT plan was created with 18 MV beams which have better penetration than 6 MV beams.

Dosimetric verification for both 3D - CRT and IMRT plans is shown in Table 1 and Table 2, respectively. Increased tolerance was used for low dose points and points that had less than 5 % of dose maximum were suppressed.

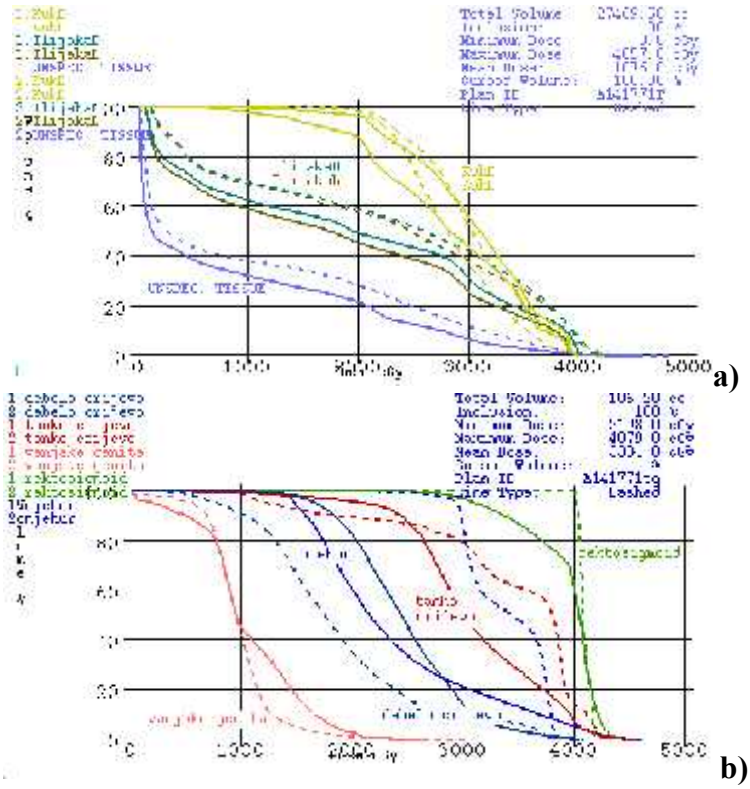


Figure 2. DVH comparison for OAR-s between 3D - CRT (solid line) and IMRT plan (dashed). *a)* presents comparison for bone structures and total patient volume (unspec. tissue); and *b)* for intestines, colon, rectum, bladder and external genitalia

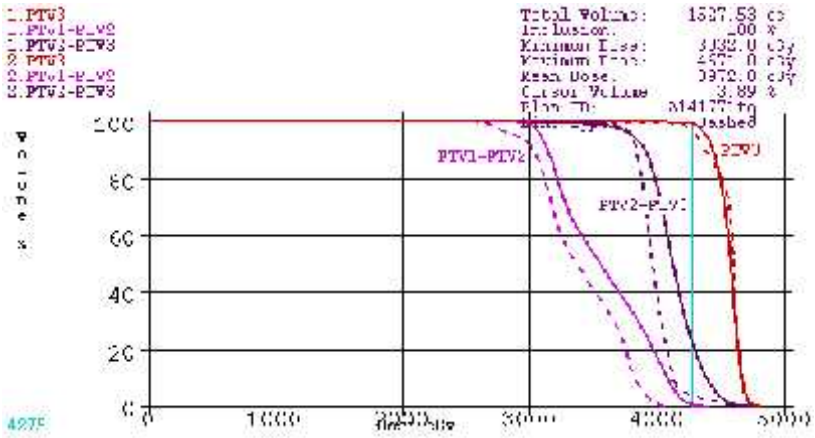


Figure 3. DVH comparison for PTV coverage between 3D - CRT (solid line) and IMRT plan (dashed)

Table 1. Gamma passing rates for 3D-CRT plan

Field Number	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Comment	PTV1	PTV1	PTV1	PTV1	PTV1	PTV1	PTV1
Gamma Index Passing Rate [%]	93.42	97.98	97.41	86.55	87.47	82.7	77.85
Field Number	8	9	10	11	12	13	14
Comment	patch	patch	patch	PTV2	PTV2	PTV2	PTV2
Gamma Index Passing Rate [%]	100	100	100	89.76	97.84	97.43	88.47
Field Number	15	16	17	18	19	20	21
Comment	PTV2	PTV2	PTV2	patch	PTV3	PTV3	PTV3
Gamma Index Passing Rate [%]	91.77	81.75	78.91	100	95.08	87.94	88.57

Table 2. Gamma passing rates for IMRT plan

Field Number	**1**	**3**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Comment	PTV1 PTV3	PTV1 PTV3	PTV1 PTV3	PTV1 PTV3	PTV1 PTV3	PTV1 PTV3	PTV1 PTV3
Gamma Index Passing Rate [%]	93.45	93.10	94.27	94.72	94.57	95.42	93.75
Field Number	8	9	10	11	12	13	14
Comment	PTV2 PTV3	PTV2 PTV3	PTV2 PTV3	PTV2 PTV3	PTV2 PTV3	PTV2 PTV3	PTV2 PTV3
Gamma Index Passing Rate [%]	90.07	90.89	89.71	94.53	92.02	85.61	90.02

Results in Tables 1 and 2 show that both planning techniques (3D - CRT and IMRT) produce results that pass our γ passing rate criterion (> 90 %) for most beams.

CONCLUSION

This was the first IMRT case for anal carcinoma at UHC - Zagreb. Although patient was irradiated using 3D - CRT technique, IMRT plan showed good results. The main drawback of our IMRT method is in using 6 MV beams instead of 9 or 10 MV beams which have better penetration and would lead to lower total patient dose.

REFERENCES

[1] Znaor A, ed. Cancer incidence in Croatia in 2011. Croatian National Cancer Registry, Bulletin No. 36, Zagreb, 2013.

[2] Grego T, Bibić J, Barišić L, Kovačević N, Hršak H. Intensity modulated radiation therapy with simultaneously integrated boost at University Hospital Centre Zagreb (KBC Zagreb). In: Knežević Ž, Majer M, Krajcar bronić I, eds. Proceedings of the 9th Symposium of Croatian Radiation Protection Association, April 10-12, 2013; Krk, Croatia. Zagreb: CRPA; 2013. pp.99-104.

[3] Sale C, Moloney P, Mathulum M. Carcinoma of the anal canal: Intensity modulated radiation therapy (IMRT) versus three-dimensional conformal radiation therapy (3DCRT). Journal of Medical Radiation Sciences 2013; 60: 145-155.

[4] Wiggenraad R, Mast M, van Santvoort J, Hoogendoorn M, Struikmans H. ConPas: a 3-D conformal parotid gland-sparing irradiation technique for bilateral neck treatment as an alternative to IMRT. Strahlenther Onkol 2005;181:673-682.

[5] ICRU-83. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 83: Prescribing, recording, and reporting intensity-modulated photon-beam therapy (IMRT). Journal of the ICRU, Volume 10 No 1, Oxford University Press, 2010.

3D CONFORMAL RADIATION THERAPY (3D - CRT) VERSUS INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY (IMRT) FOR ANAL CARCINOMA CASE AT UHC - ZAGREB

Lovro Barišić, Timor Grego, Juraj Bibić, Ana Buinac, Miljenko Murković, Nenad Kovačević, Julijan Babić and Hrvoje Hršak
Radiophysics Unit, Clinic of Oncology, University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia
LBarisic@kbc-zagreb.hr

Anal carcinomas are relatively rare. The shape of planning target volume (PTV) presents challenge for 3D - CRT due to its horseshoe shape. In this work 3D - CRT planning technique was presented and compared with IMRT technique for anal carcinoma case.

3D - CRT plan was made with 7 field technique with 18 MV beams. IMRT plan was made with 7 field setup and with 6 MV beams. IMRT was planned with step and shoot IMRT method. Dosimetric evaluations were performed for both plans.

Dose Volume Histogram (DVH) comparison showed similar PTV coverage and organs at risk (OAR) sparing for both plans. IMRT plan had higher conformality, but also had higher maximum dose. Dosimetric evaluations were in tolerances for both plans.

Although IMRT showed slightly better OAR sparing and conformality, total patient dose for IMRT was higher than for 3D - CRT, so patient was irradiated with 3D - CRT technique.

DOSIMETRIC EFFECTS OF DIFFERENT TREATMENT TABLES DURING RADIOTHERAPY

Miljenko Murković, Timor Grego, Juraj Bibić, Ana Buinac, Lovro Barišić, Julijan Babić, Nenad Kovačević and Hrvoje Hršak
Medical Physics Division, Department of Oncology,
University Hospital Centre, Zagreb, Croatia
mmurkovi@kbc-zagreb.hr

INTRODUCTION

Carbon fiber is the material of choice for radiotherapy treatment tables intended for patient treatment support and positioning, as it is light, strong and durable and it was assumed to be more or less transparent to mega-voltage photon beams [1,2], as compared to hardboard, copolyester and polymethylmethacrylate (PMMA) that were used in the past. However, number of studies [3-6] indicated that dose modifications due to such carbon fiber accessories can be significant. Reported effects include attenuation of the beam, reduction in skin sparing effect and a shift in the point of maximum dose. The biggest concern is that if attenuation characteristics of treatment table are not accounted for during treatment planning, that the effect of the table on delivered dose could exceed the suggested 5 % margin from prescribed to delivered dose [7,8].

The aim of our study was to quantify the effects due to treating patients through such accessories as well as to examine the ability of XiO (V4.70.02) treatment planning system in modelling these effects. Direct attenuation measurements were made for two different beam energies using two field sizes at different angles and compared to those predicted by XiO. Introduction of table top and base plate into treatment planning system (TPS) was done according to American Association of Physicists in Medicine (AAPM) recommendation [9].

MATERIAL AND METHODS

Treatment table and base plate. iBEAM evo table top of the Precise table supplied by Elekta consists of two thin carbon fiber plates, approximate thickness is 3 mm for the top plate and 4.5 mm for the bottom plate, sandwiching 44 mm of foam. Siemens T × T 550 table with TT - A table top has the same sandwich design featuring 3.5 mm top plate, 4 mm

bottom plate and 60 mm of foam filling. Orfit Base Plate (32301) is 30 mm thick and made from carbon fiber laminate.

Attenuation measurements. The attenuation measurements were made on Elekta Synergy linear accelerator for the Elekta table and on Siemens Oncor for the Siemens table using PTW Farmer type ionization Chamber (TM30013) and PTW Unidos Webline electrometer. The chamber was placed in PTW stationary Water Phantom (T41014) and positioned so that the center of the chamber was at the linear accelerators isocenter at source to axis distance (SAD) of 100 cm. Measurements were taken for two photon energies (6 MV and 18 MV), at two different field sizes (5×5 cm^2 and 10×10 cm^2) and for gantry angles ranging from 315° – 360° and 135° – 180° in 5° intervals. One set of measurements was done with base plate on the table, and other without it. Attenuation was calculated as the percentage difference of the dose measured with the table top in the path of the beam (posterior oblique gantry angles) to the dose measured with the table top out of the beams path (anterior oblique gantry angles).

Treatment planning system. In order to account for the effect of the table in XiO treatment planning system, customized table templates were developed using Elekta's distributed planning system Focal (V4.70.01). Table and base plate contours as well as respective relative electron density's to water (RED) were obtained on CT scanner. CT scan also showed that table tops and base plate are uniformly constructed. For the tables, two contours were created in Focal (one for the foam core filling and one for carbon fiber casing) and one contour for base plate. The average scanned REDs on Elekta table were 0.45 for carbon fiber, 0.04 for foam filling. Siemens table REDs were 0.60 for carbon fiber, 0.04 for foam filling. Base plate material's RED was 0.23. These REDs were forced to corresponding contours.

RESULTS

Attenuation measurements. When the Elekta table top with the base plate were in the beam's path, the maximum attenuation observed was 6.6 % for 6 MV, and 4.3 % for 18 MV at the gantry angle of 135° and the 5×5 cm^2 field size. At the same angle but for a 10×10 cm^2 field size, measured attenuation was 5.7 % for 6 MV and 3.8 % for 18 MV (Figure 1). Similar results were measured for the table without the base plate, 3.6 % for 6 MV and 2.3 % for 18 MV with a smaller 5×5 cm^2 field, and 3.2 % for 6 MV and 2.1 % for 18 MV with a larger 10×10 cm^2 field (Figure 2). When the Siemens table top with the base plate was in the beam's path, the maximum

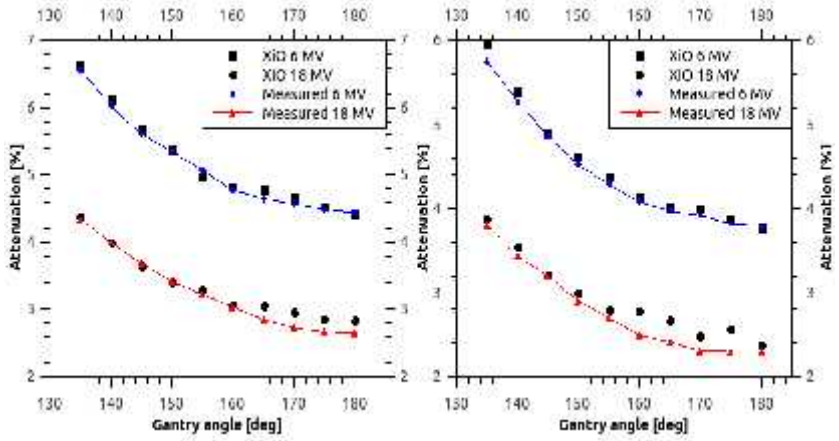


Figure 1. Measured and modeled attenuations for Elekta table top with the base plate on for 5 × 5 cm^2 field size - left, and 10 × 10 cm^2 field - right.

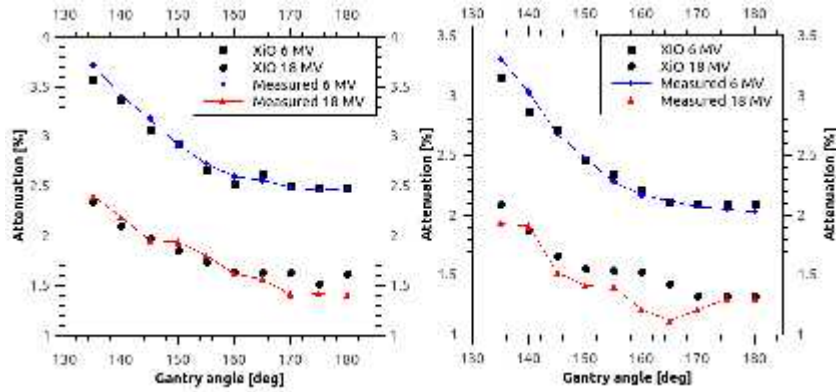


Figure 2. Measured and modeled attenuations for Elekta table top **without** the base plate on for 5 × 5 cm^2 field size - left, and 10 × 10 cm^2 field - right.

attenuation observed was 8.4 % for 6 MV, and 5.5 % for 18 MV at a gantry angle of 135° and a 5 × 5 cm^2 field size. For a 10 × 10 cm^2 field size at the same angle measured attenuation was 7.4 % for 6 MV and 4.4 % for 18 MV (Figure 3). Without the base plate measured attenuations were 5.9 % for 6 MV and 3.4 % for 18 MV with a smaller 5 × 5 cm^2 field, and 4.9 % for 6 MV and 3.0 % for 18 MV with a larger 10 × 10 cm^2 field (Figure 4). From these results we can conclude that attenuation due to table increases with decreasing field size, with decreasing energy and reaching the maximum at posterior oblique angles.

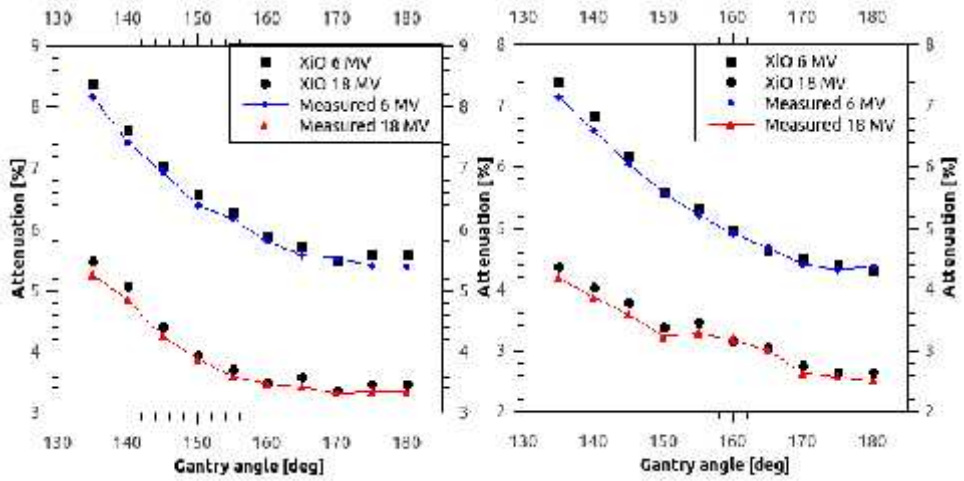


Figure 3. Measured and modeled attenuations for Siemens table top with the base plate on for 5 × 5 cm^2 field size - left, and 10 × 10 cm^2 field - right.

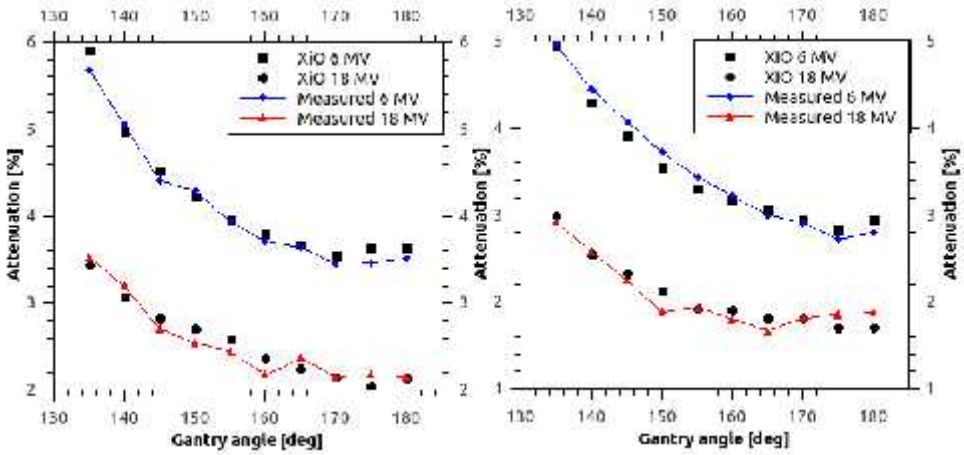


Figure 4. Measured and modeled attenuations for Siemens table top **without** the base plate on for 5 × 5 cm^2 field size - left, and 10 × 10 cm^2 field - right.

Attenuation modeling. When modeling the attenuation using thecustomized table and base plate templates, calculated values were within 0.2 % of measured values for 6 MV beams, and 0.3 % for 18 MV beams.

CONCLUSION

Table tops and immobilization devices such as base plate can significantly alter the dose to the patient. The largest effect was seen for oblique treatment angles using low energy and small field sizes. It has been shown that customized table templates introduced in the patient treatment plan can accurately model the attenuation due to presence of the table to within 0.3 %. This means that the introduction of customized table and base plate templates into TPS brings an important improvement to patient treatment planning, and should be included in dose calculations whenever possible.

REFERENCES

[1] De Ost B, Vanregemorter J, Schaeken B, Van den Weyngaert D. The effect of carbon fibre inserts on the build-up and attenuation of high energy photon beams. Radiother oncol 1997;45:275-277.

[2] Meara SJ, Langmack KA. An investigation into the use of carbon fibre for megavoltage radiotherapy applications. Phys med biol 1998;43:1359.

[3] McCormack S, Diffey J, Morgan A. The effect of gantry angle on megavoltage photon beam attenuation by a carbon fiber couch insert. Med phys 2005;32:483-487.

[4] Mihaylov IB, Corry P, Yan Y, Ratanatharathorn V, Moros EG. Modeling of carbon fiber couch attenuation properties with a commercial treatment planning system. Med phys 2008;35:4982-4988.

[5] Smith DW, Christophides D, Dean C, Naisbit M, Mason J, Morgan A. Dosimetric characterization of the iBEAM evo carbon fiber couch for radiotherapy. Med phys 2010;37:3595-3606.

[6] Mihaylov IB, Bzdusek K, Kaus M. Carbon fiber couch effects on skin dose for volumetric modulated arcs. Med phys 2011;38:2419-2423.

[7] Mijnheer BJ, Battermann JJ, Wambersie A. What degree of accuracy is required and can be achieved in photon and neutron therapy?. Radiother oncol 1987;8:237-252.

[8] Brahme A. Dosimetric precision requirements in radiation therapy. Acta Oncol, 1984;23:379-391.

[9] Olch AJ, Gerig L, Li H, Mihaylov I, Morgan A. Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: report of AAPM Task Group 176. Med phys 2014;41:061501.

DOSIMETRIC EFFECTS OF DIFFERENT TREATMENT TABLES DURING RADIOTHERAPY

Miljenko Murković, Timor Grego, Juraj Bibić, Ana Buinac, Lovro Barišić, Julijan Babić, Nenad Kovačević and Hrvoje Hršak
Medical Physics Division, Department of Oncology,
University Hospital Centre, Zagreb, Croatia
mmurkovi@kbc-zagreb.hr

The aim of our study was to measure the effect of mega-voltage photon beam attenuation when treating patients through carbon fibre treatment table with and without the carbon laminate base plate on it. We also examined the ability of XiO treatment planning system in modelling this effect. Direct attenuation measurements were made for two treatment tables, Siemens TxT 550 treatment table with TT-A table top and Elekta Precise table with iBEAM evo table top. On both treatment tables we used Orfit Base Plate (32301). Measurements were taken for two photon energies (6 MV and 18 MV), at two different field sizes (5 x 5 cm^2 and 10 x 10 cm^2) and different gantry angles in 5^o intervals using stationary water phantom and Farmer type ionization chamber. These values were compared to values calculated in XiO. In order to account for the effect of table and base plate during treatment planning in XiO, customized table and base plate templates were develop in Focal planning system. To construct these customized templates, table and base plate contours as well as respective relative electron density's to water were obtained on CT scanner. The largest attenuation effect was seen for oblique treatment angles using low energy and small field sizes, 6.6 % for the Elekta table top and 8.4 % for Siemens table top. In this paper we show that customized table and base plate templates introduced in the patient treatment plan can accurately model the attenuation due to their presence to within 0.3 %. Since dose modifications due to such carbon fiber accessories can be significant, it can be concluded that introduction of customized table and base plate templates into TPS brings an important improvement to patient treatment planning, and should be included in dose calculations whenever possible.

BIOLOŠKI UČINCI ZRAČENJA

BIOLOGICAL EFFECTS OF RADIATION

ADAPTIVNI ODGOVOR KOŠTANE SRŽI PIJETLOVA NAKON OZRAČIVANJA GAMA ZRAČENJEM

Slavko Žužul[1], Jadranka Pejaković-Hlede[1], Ivona Žura Žaja[1], Marija Majer[2] i Marinko Vilić[1]
[1]Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
[2]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
mvilic@vef.hr

UVOD

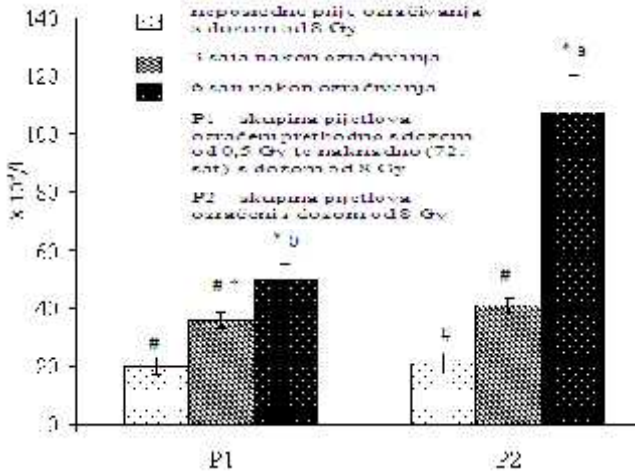
Pod adaptivnim odgovorom podrazumijevamo pojavu da organizam očituje veću otpornost prema nastanku radijacijskih ozljeda ako je neposredno prije ozračivanja velikim dozama ionizirajućeg zračenja bio ozračen malim dozama ionizirajućeg zračenja [1]. Među prvim autorima koji su opisali pojavu adaptivnog učinka bio je Olivieri [2]. Između ostalog, on je dokazao da je broj kromosomskih aberacija u ljudskih T-limfocita manji kada su limfociti ozračeni prethodno malim dozama u odnosu na pojavu aberacija u limfocita koji su ozračeni samo velikim dozama. Nakon navedenog pokusa načinjena su brojna istraživanja adaptivnog odgovora na različitim vrstama stanica u smislu praćenja kromosomskih aberacija i mutacija [3]. Usprkos tome još i danas postoje mnoge nejasnoće i kontroverze vezane uz razumijevanje učinaka malih doza ionizirajućeg zračenja na živi organizam. Tako primjerice prema BEIR VII [1] jedan od glavnih ciljeva istraživanja učinaka malih doza ionizirajućeg zračenja je procjena značajnosti adaptivnog odgovora stanica s osobitim osvrtom na kancerogenezu. S druge pak strane zbog vrlo velike osjetljivosti hematopoetskog sustava te mogućih štetnih posljedica po organizam nakon terapijske primjene velikih doza ionizirajućeg zračenja neophodno je dobro poznavanje bioloških učinaka takvog zračenja vezano uz hematopoezu osobito u ranim vremenskim intervalima nakon ozračivanja. Naime, o tim podacima uvelike ovisi težina oštećenja stanica te prognoza, a posljedično tome i adekvatna terapija. Budući da su se dosadašnja istraživanja učinaka malih doza ionizirajućeg zračenja u peradi temeljila na promatranjima proizvodnih parametara, valivosti pilića, tjelesnoj masi i konverziji hrane cilj našega rada bio je utvrditi postoji li adaptivni odgovor hematopoetskog sustava peradi nakon ozračivanja gama-zračenjem.

MATERIJAL I METODE

Pokus smo načinili na pijetlovima lake pasmine (n = 14) u dobi od 42 dana, podijeljenima u dvije skupine (n = 7 / skupini). Prvu skupinu pijetlova ozračili smo s dozom od 0,5 Gy te nakon 72 sata s dozom od 8 Gy (P 1). Drugu skupinu pijetlova ozračili smo s dozom od 8 Gy (P 2). Kao izvor gama-zračenja korišten je kobalt - 60 (^{60}Co) panoramskog tipa aktivnosti oko 3 PBq i brzine doze od 0,0117 Gy/s. Od obje skupine pijetlova, neposredno prije ozračivanja s dozom od 8 Gy te trećeg i šestog sata nakon ozračivanja s dozom od 8 Gy, uzimana je punkcijom vene *jugularis* krv za brojanje krvih stanica i njihovo diferenciranje. Dobiveni rezultati prikazani su kao srednja vrijednost (SV) i standardna pogreška srednje vrijednosti (SE). Značajnost razlike unutar skupine provjerena je ANOVA testom za ponovljena mjerenja i Tukey *post hoc* testom, a značajnost razlike između skupina u pokusu provjeriena je *t* - testom po Studentu statističkim programom Statistica Ver. 8.0. software (StatSoft Inc. SAD). Značajne razlike rezultata prikazane su na razini vjerojatnosti $P < 0,05$.

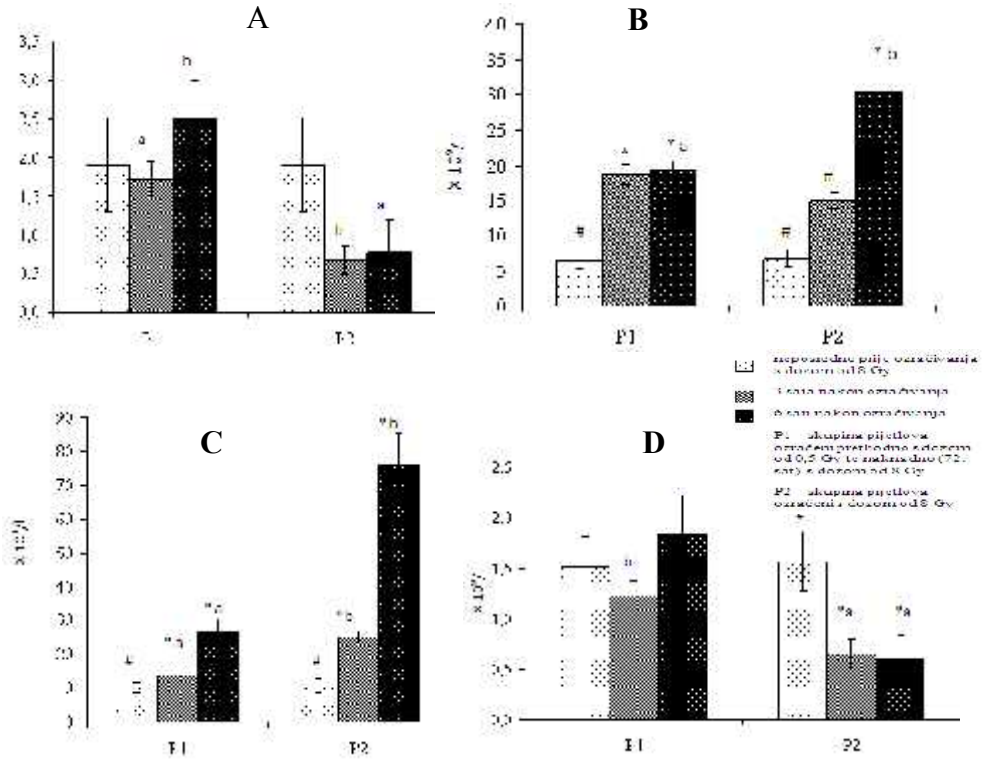
REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati ukupnog broja leukocita te broja pojedinih morfoloških oblika leukocita u krvi pijetlova neposredno prije ozračivanja te trećeg i šestog sata poslije ozračivanja s dozom od 8 Gy gama-zračenja prikazani su na Slikama 1 i 2.



Slika 1. Ukupan broj leukocita u krvi pijetlova P1 (0,5 + 8 Gy) i P2 (8 Gy) neposredno prije i nakon ozračivanja s dozom od 8 Gy gama-zračenja

#, * - statistički značajna razlika rezultata ($P<0,05$) unutar skupine označena je različitim znakom
a,b – statistički značajna razlika rezultata ($P<0,05$) između skupina označena je različitim slovom



Slika 2. Ukupan broj monocita (A), limfocita (B), heterofila (C) i eozinofila (D) u krvi pijetlova P1 (0,5 + 8 Gy) i P2 (8 Gy) neposredno prije i nakon ozračivanja s dozom od 8 Gy gama-zračenja

#, * - statistički značajna razlika rezultata (P<0,05) unutar skupine označena je različitim znakom

a,b – statistički značajna razlika rezultata (P<0,05) između skupina označena je različitim slovom

Rezultati istraživanja pokazali su da ozračivanje cijelog tijela pijetlova malom dozom zračenja od 0,5 Gy te naknadno ozračivanje dozom od 8 Gy uzrokuje promjene vrijednosti hematoloških pokazatelja u perifernoj krvi pijetlova u odnosu na broj krvnih stanica u pijetlova ozračenih jednokratnom dozom od 8 Gy. Iz literature je poznato da klasični hematološki pokazatelji imaju značajnu važnost za potpuno razumijevanje patofiziologije razvoja niza simptoma hematopoetskog sustava nakon akutnog ozračivanja cijelog tijela ionizirajućim zračenjem. Osim navedenog, neophodno je poznavati ukupan broj krvnih stanica te pojedinačnu vrijednost neutrofila i limfocita kao i njihov omjer [4]. Promjena apsolutnog broja limfocita jedan je od glavnih pokazatelja za

utvrđivanje stupnja oštećenja stanica i apsorbirane doze zračenja [5]. Osim toga, važno je istaknuti da broj krvnih stanica u perifernoj krvi nakon ozračivanja ovisi o dozi, brzini doze kao i o vrsti životinje [6]. Dobiveni rezultati našeg istraživanja razlikuju se od istraživanja dobivenih na stanicama krvi sisavaca nakon ozračivanja velikim dozama ionizirajućeg zračenja. Naime, poznato je da ozračivanje miševa dozom od 6 do 7 Gy uzrokuje oštećenje koštane srži i pad krvnih stanica, a osobito limfocita [7]. U skladu s tim rezultatima je i rezultat Dainiaka [8]. Naime, on je dokazao da kod ljudi doza ionizirajućeg zračenja od 3 Gy uzrokuje pad svih krvnih stanica a osobito pad limfocita. Prema tome, koji je pravi uzrok povećanju ukupnog broja leukocita te osobito limfocita, bazofila i heterofila u krvi ozračenih pijetlova trećeg i šestog sata nakon ozračivanja u oba slučaja, odnosno, kada su pijetlovi ozračeni samo dozom od 8 Gy te istom dozom uz prethodno ozračivanje dozom od 0,5 Gy teško je pouzdano reći. Između ostalog, jedan od mogućih razloga mogao bi biti obrambeni mehanizam odnosno mobilizacija stanica koštane srži nakon ozračivanja ionizirajućim zračenjem. Nadalje, razlog bi mogao biti vezan za vrstu životinja, dob, spol i specifičnosti hematopoeze ptica [9]. Naime, dobro je poznato da se u peradi hematopoeza nakon valjenja primarno odvija u koštanoj srži kralješaka i dugih kostiju te da se pri stresu, uzrokovanim različitim čimbenicima, povećava broj heterofila i limfocita [10]. Unatoč tome, uloga koštane srži u limfopoezi ptica nije dovoljno razjašnjena i pretpostavlja se da nije kao kod sisavaca primarni organ limfopoeze. Međutim, koštana srž ptica može sadržavati malu populaciju timusnih i post-burzalnih matičnih stanica koji osiguravaju izvor za samoobnavljanje [10].

Budući da su dobiveni rezultati pokazali kako doza od 0,5 Gy gama-zračenja uzrokuje kvantitativne promjene hematoloških pokazatelja, smatramo da bi svakako trebalo načiniti daljnja istraživanja u tom pravcu te pri tome utvrditi kvalitativne osobine promatranih pokazatelja, osobito limfocita, i tako unijeti više svjetla u ovaj problem.

ZAKLJUČAK

Ozračivanje pijetlova prethodnom dozom od 0,5 te naknadnom dozom od 8 Gy gama-zračenja uzrokuje povećanje broja ukupnih leukocita te limfocita, monocita, heterofila i bazofila tijekom prvi šest sati nakon ozračivanja.

LITERATURA

[1] National Research Council. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press. 2006.

[2] Olivieri G, Bodycote J, Wolff S. Adaptive response of human lymphocytes to low concentrations of radioactive thymidine. Science 1984;223:594-597.

[3] Streffer C. Bystander effects, adaptive response and genomic instability induced by prenatal irradiation. Mutat Res 2004;568:79-87.

[4] Moroni M, Lombardini E, Salber R, Kazemzedeh M, Nagy V, Olsen C, Whitnall MH. Hematological changes as prognostic indicators of survival: similarities between Göttingen minipigs, humans, and other large animal models. PLoS One 2011;6:e25210.

[5] Težak S. Akutni radijacijski sindrom. U: Radijacijske ozljede. Ur. Dodig D, Ivančević D, Popović S. Medicinska naklada, Zagreb. 2002.

[6] Gridley D, Pecaut S, Miller MJ, Moyers GM, Nelson MF. Dose and dose rate effects of whole-body gamma-irradiation: II. Hematological variables and cytokines. In Vivo 2001;15:209-216.

[7] Yarmonenko SP. Radiobology of Humans and Animals. Mir publisher, Moscow. 1988.

[8] Dainiak N. Hematologic consequences of exposure to ionizing radiation Exp Hematol 2002;30:513-528.

[9] Šimpraga M. Učinak radioaktivnog fosfora ^{32}P na neke hematološke i biokemijske pokazatelje u krvi pilića. Doktorska disertacija. Veterinarski fakultet. Zagreb. 1993.

[10] Feldman BF, Zinkl JG, Jain NC. Schalm's Veterinary Hematology Fifth Edition. Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia, Pennsylvania. 2000.

ADAPTIVE RESPONSE OF HEMATOPOIETIC SYSTEM OF CHICKENS AFTER EXPOSURE TO GAMMA RADIATION

Slavko Žužul[1], Jadranka Pejaković-Hlede[1], Ivona Žura Žaja[1], Marija Majer[2] and Marinko Vilić[1]
[1]Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb
[2]Ruđer Bošković Institute
Zagreb, Croatia
mvilic@vef.hr

The aim of this study was to investigate the adaptive response effect of gamma-radiation on circulating blood cells after whole-body irradiation of chicken. Male chickens (n = 7) were irradiated with either a priming dose of 0.5 Gy and challenging dose of 8 Gy (0.5 + 8 Gy) or with a dose of 8 Gy from a ^{60}Co source. Blood samples were taken from the jugular vein on 3 and 6 hour after irradiation. The analyses of blood cells were observed in blood leukocyte counts and count of heterophils, eosinophils, basophils, monocytes and lymphocytes. The number of leukocytes such as lymphocytes, monocytes, heterophils, basophils in blood of chickens irradiated with dose of 0.5 + 8 Gy and dose of 8 Gy were significantly increasd during the first six hours after irradiation while the number of eosinophils was decreased. The data demonstrated that the priming dose of 0.5 Gy to challenging dose of 8 Gy may cause different response of hematopoietic system in the early hour after irradiation.

TITAR PROTUTIJELA ZA VIRUS NEWCASTLESKE BOLESTI U PILIĆA LAKE PASMINE NAKON OZRAČIVANJA GAMA ZRAKAMA

Jadranka Pejaković-Hlede[1], Jelena Dotur[1], Selim Pašić[1], Željko Gottstein[1], Marija Majer[2] i Marinko Vilić[1]
[1]Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
[2]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
jadranka.pejakovic@vef.hr

UVOD

Učinak ionizirajućeg zračenja na imunosni sustav predmet je brojnih istraživanja posljednjih nekoliko desetljeća, a osobito se istražuje osjetljivost limfocita kako na velike tako i na male doze ionizirajućeg zračenja. Poznato je da srednje i velike doze zračenja uzrokuju imunosupresiju. Suprotno tome, ozračivanje malim dozama ionizirajućeg zračenja može dovesti do imunostimulirajućih učinaka koji se mogu očitovati u vrlo kratkom vremenu po ozračivanju. Učinci malih doza ionizirajućeg zračenja na imunosni sustav jako ovise o rasponu doze i brzini doze, vrsti životinje te vrsti limfocita [1]. Primjerice, najosjetljivije stanice na ionizirajuće zračenje su B-stanice imunosnog sustava, a osjetljivost im ovisi o stupnju diferencijacije. Manje osjetljive stanice su T-limfociti, a njihova osjetljivost ovisi o stadiju aktivacije. Tako su neaktivirani T-limfociti osjetljiviji od aktiviranih T-limfocita dok su prirodne "stanice ubojice" (*natural killer*, NK) najotpornije. Polazeći od činjenice da u literaturi postoje malobrojni rezultati glede učinka male doze ionizirajućeg zračenja na imunosni sustav peradi cilj rada bio je istražiti titar protutijela za virus newcastleske bolesti u krvi pilića lake pasmine nakon akutnog ozračivanja dozama od 0,05 i 0,8 Gy.

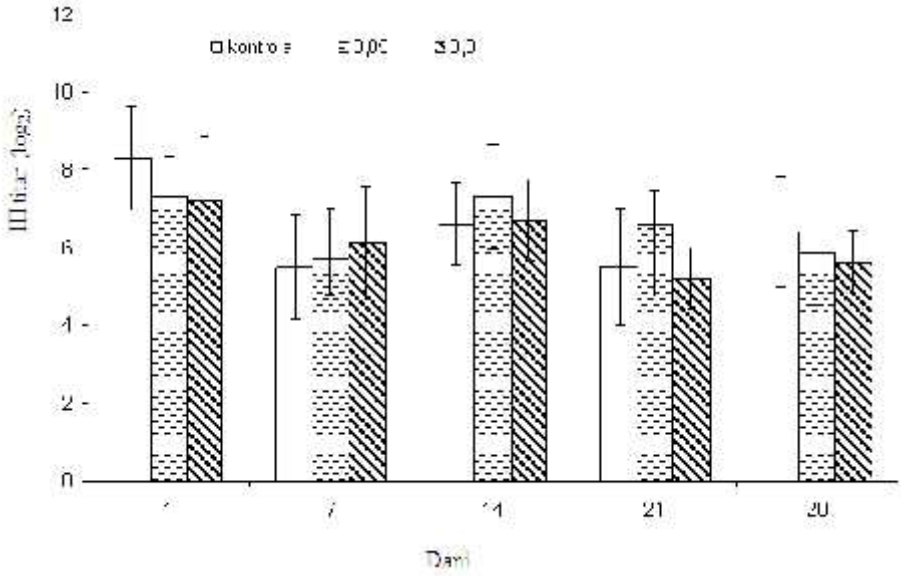
MATERIJAL I METODE

Istraživanje je načinjeno na muškim pilićima lake pasmine u dva nezavisna pokusa (I. pokus i II. pokus). U prvom pokusu pilići su ozračeni neposredno nakon valjenja, a u drugom pokusu pilići su ozračeni 3. dana života dozom od 0,05 Gy i 0,8 Gy gama-zračenja iz radioaktivnog izvora ^{60}Co panoramskog tipa (n = 7 pilića / dozi). Brzina doze iznosila je 0,0117 Gy/s. Pilići kontrolne i obje pokusne skupine cijepljeni su komercijalnim

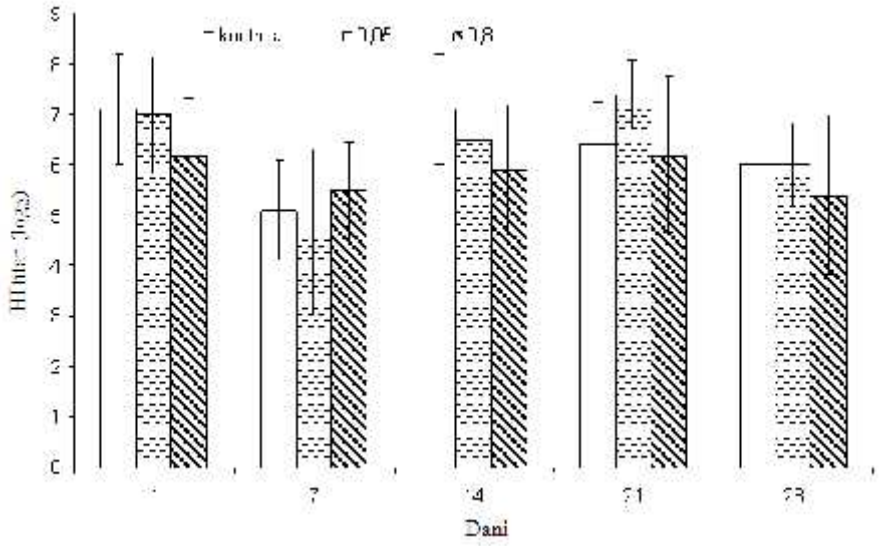
cjepivom (PESTIKAL®La Sota SPF, Genera d.o.o., Zagreb, Hrvatska) postupkom nebulizacije prvog dana života. Titar protutijela za virus newcastleske bolesti u pokusnoj i kontrolnoj skupini određen je postupkom inhibicije hemaglutinacije u krvnom serumu pilića 1., 7., 14., 21., i 28. dana nakon cijepljenja. Proba je provedena standardnim beta-postupkom [2], na mikrotitracijskim pločama od 96 jažica s U dnom, kako je propisano od službenih tijela [3,4], pri čemu smo kao antigen koristili cjepni soj La Sota (PESTIKAL®La Sota SPF, Genera d.o.o., Zagreb, Hrvatska). Dobiveni rezultati prikazani su kao srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). Značajnost razlika među rezultatima pokusa provjerili smo ANOVA testom koristeći se statističkim programom Statistica Ver. 7 software (StatSoftInc. SAD).

REZULTATI

Rezultati titra protutijela za virus newcastleske bolesti u krvnom serumu pokusne i kontrolne skupine pilića nakon ozračivanja prvog (I. pokus) odnosno trećeg dana (II. pokus) života dozama od 0,05 i 0,8 Gy te cijepljenih neposredno nakon valjenja prikazani su na Slikama 1 i 2.



Slika 1. Titar protutijela za virus newcastleske bolesti u krvnom serumu pokusne i kontrolne skupine pilića nakon ozračivanja prvog dana dozama od 0,05 i 0,8 Gy i cijepljenih neposredno nakon valjenja



Slika 2. Titar protutijela za virus newcastleske bolesti u krvnom serumu pokusne i kontrolne skupine pilića nakon ozračivanja trećeg dana dozama od 0,05 i 0,8 Gy i cijepljenih neposredno nakon valjenja

Rezultati pokusa pokazali su da se titar protutijela za virus newcastleske bolesti u krvnom serumu pilića, ozračenih dozom od 0,05 Gy i 0,8 Gy neposredno nakon valjenja i trećeg dana života te cijepljenih prvog dana života, statistički značajno ne mijenja tijekom prva četiri tjedna života u odnosu na titar protutijela u krvnom serumu kontrolne skupine. Iako je poznato da ozračivanje sisavaca velikim dozama ionizirajućeg zračenja uzrokuje smanjenje obrambene sposobnosti protiv infekcija zbog smanjenja proizvodnje protutijela, ozračivanje sisavaca malim dozama ionizirajućeg zračenja može uzrokovati povećanje proizvodnje protutijela. Tako primjerice, Anderson i Lefkovits [5] prvi opisuju povećanje protutijela (humoralne imunosti) pri akutnom ozračivanju dozom od 5 do 25 cGy nakon cijepljenja. Naši rezultati razlikuju se, međutim, od rezultata učinka male doze ionizirajućeg zračenja na imunost dobivenih u pokusima na sisavcima. Mogući razlog razlikama naših rezultata u odnosu na rezultate istraživanja načinjenih na sisavcima mogao bi biti slijed odnosno vremenski razmak između ozračivanja i cijepljenja. Naime, poznato je da učinci malih doza ionizirajućeg zračenja na imunost u različitih životinjskih modela ovise, osim doze, brzine doze i o vremenskom razmaku između ozračivanja i unosa stranog agensa u organizam [6]. Tako primjerice doza od 4 Gy u

miševa koji su cijepljeni u kraćem vremenskom razmaku nakon ozračivanja uzrokuje značajniji pad titra protutijela. Međutim, kako se razmak između ozračivanja i cijepljenja povećava tada se i razlika vrijednosti titra protutijela ozračenih i neozračenih jedinki smanjuje, a izjednačuje se u slučaju kada se miševi cijepe 30 dana nakon ozračivanja [7]. I konačno, kao mogući uzrok razlici dobivenih rezultata u usporedbi s rezultatima pokusa načinjenih na sisavcima ne isključuje niti specifičan način nastanka protutijela u peradi [8].

ZAKLJUČAK

Na osnovi rezultata načinjenog pokusa može se zaključiti da ozračivanje pilića lake pasmine dozom od 0,05 i 0,8 Gy gama - zračenja prvog odnosno trećeg dana nakon cijepljenja pilića protiv newcastleske bolesti ne uzrokuje statistički značajne promjene titra protutijela za virus newcastleske bolesti u krvnom serumu ozračenih pilića.

LITERATURA

[1] Manda K, Glasow A, Paape D, Hildebrandt G. Effects of ionizing radiation on the immune system with special emphasis on the interaction of dendritic and T cells. Front Oncol 2012;2:102.

[2] Allan WH, Gough RE. A standard haemagglutination inhibition test for Newcastle disease. 1. A comparison of macro and micro methods. Vet Rec 1974;95:120-123.

[3] Anonymus. Council directive 92/66/EEC introducing Community measures for the control of Newcastle Disease. The Council of the European Communities. Official Journal L. 1992;260:1-20.

[4] Anonymus. Pravilnik o mjerama kontrole newcastleske bolesti. Narodne novine 2007;9.

[5] Anderson, RE, Lefkovits I. *In Vitro* Evaluation of Radiation-Induced Augmentation of the Immune Response. Am J Pathol 1979;97:456-472.

[6] Safwat A. The immunobiology of low-dose Total-Body irradiation: more questiones than Answers. Radiat Res 2000;153:599-604.

[7] Smirnova OA. A Dynamical Modeling Approach. In: Environmental radiation Effects on Mammals. Springer Science+Business Media, LLC, 2010.ISBN978-1-4419-7212-5

[8] Ratcliffe, MJH. Antibodies, immunoglobulin genes and the bursa of fabricius in chicken B cell development. Dev Comp Immunol 2006;30:101-118.

ANTIBODY LEVEL UPON NEWCASTLE DISEASE VIRUS IN CHICKEN AFTER EXPOSURE TO GAMMA RADIATION

Jadranka Pejaković-Hlede[1], Jelena Dotur[1], Selim Pašić[1], Željko Gottstein[1], Marija Majer[2] and Marinko Vilić[1]
[1]Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb
[2]Ruđer Bošković Institute
Zagreb, Croatia
jadranka.pejakovic@vef.hr

The aim of this study was to investigate the effect of gamma radiation upon Newcastle disease virus antibody level after acute exposure with dose of 0.05 Gy and 0.8 Gy gamma radiation. The experiment was made on light chicken breeds irradiated with dose of 0.05 Gy and 0.8 Gy gamma radiation with dose rate of 0.0117 Gy/s on the first and on the third day after hatching. Chicken were vaccinated by nebulization on the first day after hatching. Antibody level upon Newcastle disease in blood serum of chicken was quantified by hemagglutination inhibition assay on 1^{th}, 7^{th}, 14^{th} and 28^{th} day after vaccination. Results demonstrate that antibody titre against Newcastle disease in blood serum of chicken irradiated with dose of 0.05 Gy and 0.8 Gy gamma radiation on the first and on the third day after hatching was not statistically significant. Therefore, these results suggest that irradiation of light chicken breeds on the first and third day after vaccination with dose of 0.05 Gy and 0.8 Gy does not change antibody titre upon Newcastle disease.

THE ROLE OF SEVOFLURANE AND IONISING RADIATION ON THE LEVEL OF PRIMARY DNA DAMAGE MEASURED IN BLOOD AND DIFFERENT ORGANS OF SWISS ALBINO MICE BY THE ALKALINE COMET ASSAY

Vesna Benković[1], Mirta Milić[2], Anica Horvat Knežević[1], Sanja Halovanović[1], Nikola Borojević[3] and Nada Oršolić[1]
[1]Division of Animal Physiology Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb
[2]Mutagenesis Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
[3]Department of Radiology, Zabok General Hospital, Zabok, Croatia
mmilic@imi.hr

INTRODUCTION

Sevoflurane is general anaesthetic suitable for short surgical procedures due to its quick induction of anaesthesia, maintaining spontaneous breathing frequency and hemodynamic stability of patients [1,2]. However, it can produce toxic metabolites into the body and influence on hepatic function and the induction of malignant hyperthermia [3,4]. It can directly trigger the formation of peroxynitrite, significantly increase intracellular levels of H_2O_2, peroxide, superoxide anion and nitric oxide in peripheral polymorphonuclear neutrophils 1h after the treatment; lowering the levels of intracellular glutathione, and increase radiosensitivity of cells also exposed to IR [5], due to similar mechanism of action [6].

The aim of the study was to evaluate the level of synergistic effect and possible radiosensitivity by measuring DNA damage in blood, and different organs of Swiss albino mice after exposure to both sevoflurane and the 1Gy gamma-ray radiation generally used in diagnostic purposes in different time intervals that were already established in the previous study (0, 2, 6 and 24 hours after the treatment and exposure [7]) with alkaline comet assay, a microgel electrophoresis technique that can detect DNA damage at the single cell level and be measured in any organ in experimental animals, regardless of the extent of mitotic activity.

MATERIAL AND METHODS

After approval of Ethical Committees of Faculty of Medicine and Faculty of Science, animal studies were designed according to the Croatian Animal Welfare Act [8] and the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals [9]. 25 male, 60 ± 5 days old Swiss albino CBA mice weighing from 20 g to 22 g were kept in Plexiglass® cages under controlled conditions (room temperature 22 ± 1 °C, 50-70 % humidity, 12-h light/12-h dark cycle, free access to water, standard diet for laboratory rodents-4 RF 21, Mucedola s.r.l., Italy) and treated for two hours with mixture of inhalation anaesthetic sevoflurane (Sevorane®, Abbot Laboratories Ltd, Queenborough, United Kingdom; 2.4 % v/v) and oxygen (3 L/min) produced in Sulla 800 Dräger (Germany) and divided randomly into 5 groups. First group (control) was excluded from further treatment: whole-body irradiation with 1 Gy of ^{60}Co gamma-ray source (Theratron Phoenix teletherapy unit, Atomic Energy Ltd., the Clinical Hospital Sveti Duh, Zagreb, Croatia). Source to-skin distance was 291 cm, and the dose rate was 1.88 Gy/min. Animals were sacrificed with cervical dislocation in different time periods: *immediately*: control and second group treated with sevoflurane and IR (S+IR0h); *2 hours after the treatment*- third group treated with sevoflurane and IR (S+IR2h); *6 hours after the treatment*- fourth group treated with sevoflurane and IR (S+IR6h); *24 hours after the treatment*: fifth group treated with sevoflurane and IR (S+IR24h). Samples of brain, kidney and liver were taken (1 g of tissue/1 mL of mincing buffer 0.075 M NaCl (Kemika), 0.024 M Na_2EDTA (Sigma), pH 7.5, 4 °C) and processed until single cell suspension. Blood samples were collected from the umbilical vein into heparinised tubes.

Alkaline comet assay was carried out according to Singh et al. [10]. All fully frosted slides were prepared in duplicate, slides with cells were kept in standard lysis solution for 24 hours at 4 °C, denaturation lasted for 20 minutes, and also electrophoresis was done for 20 minutes on 25 V, with initial 300 mA. After, standard neutralisation was done three times and slide staining was performed with ethidium bromide (20 μg/mL). Slides were examined with fluorescence microscope (Leitz, Germany; 250x; 515-560 nm excitation filter; 590 nm barrier). 50 comets per animal were scored (25 from each of the two replicates) and in total 250 comets were represented for every studied period and group. Comets were captured with white and black camera and measured with a computer-based image analysis system (Comet Assay IV, Perceptive Instruments Ltd. Suffolk, UK). Comet Tail length (μm) and tail intensity (% Tail DNA) were parameters of interest. Due to unequal distribution of the results (zero values in % Tail DNA), data

were log-transformed. Statistical analysis was done with Statistica 9.0 software (StatSoft, Tulsa, USA). Every time period was characterized for the mean (±standard deviation of the mean), median and range for the comet parameters measured. Multiple comparisons between groups were done by means of the analysis of variance (ANOVA), post - hoc analysis of differences was done by Scheffé test. The level of statistical significance was set at $P < 0.05$.

95^{th} percentile of the distribution of the tail length among controls was calculated and cells in all groups were classified as damaged or undamaged in respect to the threshold level for a long - tailed nucleus (LTN) and χ^2 - test was used for statistical evaluation of LTN comet frequency.

RESULTS

As shown in Table 1, combined exposure to sevoflurane (2.4 %, 50:50) and IR has demonstrated synergistic effect. Due to metabolising of the sevoflurane, there was different sensitivity between blood, liver, kidney and brain cells. Two hours after the combined exposure, brain cells showed significantly higher levels of DNA damage (TL and % Tail DNA), although LTN values were already significantly higher immediately after the combined treatment. Liver cells started to show significantly higher DNA damage two hours after the combined treatment (LTN values), with significantly higher TL and % Tail DNA values only 24 hours after the treatment. In brain cells, LTN values were also significantly higher after 2 hours from combined treatment, but only %Tail DNA showed significantly higher DNA values 24 hours from the combined treatment.

CONCLUSION

Combined exposure to sevoflurane and 1Gy of ionising radiation has demonstrated synergistic effect. Due to metabolising of the sevoflurane, there was different sensitivity between blood, liver, kidney and brain cells.

Acknowledgements

This study was supported by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia (Grants No. 022-0222148-2137 and No. 119-0000000-1255).

Table 1. Results of comet assay parameters sampling (tail length - TL, tail intensity - % Tail DNA and long tailed nuclei - LTN) with means, standard deviation (SD), median and range, in blood, liver, kidney, and brain cells of Swiss Albino mice after different time points (0, 2, 6, 24 hours) from exposure to combined treatment of sevoflurane (S) and 1 Gy of ionising radiation (IR)

	Parameter	Control	S+IR0h	S+IR2h	S+IR6h	S+IR24h
				Blood		
TL (µm)	**Mean±SD**	12.53±1.4	15.80±4.49[a]	18.33±5.61[a.b]	21.40±5.13[a. b.c]	20.00±6.30[a.b]
	Median	12.82	15.42	16.46	20.83	20.21
	Range	9.62-16.67	8.75-29.17	9.17-38.33	10.42-44.17	7.50-37.92
	LTN	3	102[a]	124[a.b]	184[a.b.c]	170[a.b.c.d]
% Tail DNA	**Mean±SD**	1.13±2.41	4.99±8.73[a]	3.79±5.09[a]	3.77±4.73[a]	4.71±5.09[a]
	Median	0.26	2.21	1.12	1.50	2.77
	Range	0.00-19.76	0.00-100.00	0.01-23.04	0.01-21.01	0.01-19.14
				Liver		
TL (µm)	**Mean±SD**	17.05±5.39	17.18±7.26	15.53±6.68	15.68±7.13[b.c]	18.35±7.34[a.b.c]
	Median	16.25	12.92	13.33	16.67	19.17
	Range	7.92-33.75	7.92-49.58	7.92-39.17	7.92-37.50	7.92-39.58
	LTN	10	9	51[a.b]	11[c]	16[c]
% Tail DNA	**Mean±SD**	3.46±6.21	3.58±5.18	3.85±5.20	5.18±7.17[a]	5.37±6.96[a]
	Median	0.29	0.90	1.40	1.99	2.57
	Range	0.00-35.46	0.00-24.95	0.00-22.83	0.00-37.83	0.00-34.23
				Kidney		
TL (µm)	**Mean±SD**	17.23±5.84	17.91±7.42	17.70±7.08	17.04±7.35	16.75±6.70
	Median	0.26	2.21	1.12	1.50	2.77
	Range	7.92-35.83	7.92-42.08	8.33-36.67	7.50-40.83	8.33-42.08
	LTN	8	14	49[a.b]	6[e]	12[e]
% Tail DNA	**Mean±SD**	6.12±9.26	7.66±10.11	8.80±10.42	6.81±8.61	7.58±7.37[a]
	Median	1.05	2.59	4.16	2.60	5.86
	Range	0.00-47.51	0.00-39.81	0.00-39.67	0.01-36.68	0.01-33.88
				Brain		
TL (µm)	**Mean±SD**	26.78±4.52	25.70±8.45	34.49±9.07[a.b]	33.37±8.27[a.b]	24.36±9.03[c.d]
	Median	27.08	24.58	35.00	33.96	23.33
	Range	16.25-35.4	7.50-41.25	15.00-50.83	9.58-48.33	7.92-44.17
	LTN	9	112[a]	91[a.b]	152[a.b.c]	26[a.e.f.g]
% Tail DNA	**Mean±SD**	13.23±9.70	15.66±11.18	20.82±11.90[a.b]	18.59±11.10	13.54±11.13[c.d]
	Median	11.90	13.51	20.22	18.38	11.26
	Range	0.58-38.61	0.01-39.27	0.39-39.47	0.13-39.03	0.00-37.99

Significantly higher ($P < 0.05$) than: [a]control; [b]S+IR0h;[c]S+IR2h;[d]S+IR6h; significantly lower ($P < 0.005$) than: [e]S+IR2h; [f]S+IR0h; [g]S+IR6h

REFERENCES

[1] Michel F, Constantin JM. Sevoflurane inside and outside the operating room. Expert Opin Pharmacother 2009;10:861-887.

[2] Goa KL, Noble S, Spencer CM. Sevoflurane in paediatric anaesthesia: a review. Paediatr Drugs 1999;1:127-153.

[3] Karabiyik L, Sardas S, Polat U, Kocaba SNA, Karakaya AE. Comparison of genotoxicity of sevoflurane and isoflurane in human lymphocytes studied *in vivo* using the comet assay. Mutat Res 2001;492:99-107.

[4] Migita T, Mukaida L, Kobayashi M, Hamada H, Kawamoto M. The severity of sevoflurane-induces malignant hyperthermia. Acta Anaesthesiol Scand 2012;56:351-356.

[5] Wong CH, Liu TZ, Chye SM, Lu FJ, Liu YC, Lin ZC, Chen CH. Sevoflurane-induced oxidative stress and cellular injury in human peripheral polymorphonuclear neutrophils. Food Chem Toxicol 2006;44:1399-1407.

[6] Alcaraz M, Quesada S, Armero D, Martin-Gíl R, Olivares A, Achel GD. Genotoxicity and cytotoxicity of sevoflurane in two human cell lines in vitro with ionizing radiation. Colomb Med (Cali) 2014;5:104-109.

[7] Brozovic G, Orsolic N, Rozgaj R, Kasuba V, Knezevic F, Knezevic AH, Benkovic V, Lisicic D, Borojevic N, Dikic D. DNA damage and repair after exposure to sevoflurane *in vivo*, evaluated in Swiss albino mice by the alkaline comet assay and micronucleus test. J Appl Genet 2010;51:79-86.

[8] Zakon o dobrobiti životinja [Animal Welfare Act, in Croatian]. Narodne novine 1999;19:505-10., 2006 NN135/06.

[9] Institute of Laboratory Animals Resources (ILAR). Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. Washington (DC): National Academy Press; 1996.

[10] Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider LL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. Exp Cell Res 1988;75:184-191.

THE ROLE OF SEVOFLURANE AND IONISING RADIATION ON THE LEVEL OF PRIMARY DNA DAMAGE MEASURED IN BLOOD AND DIFFERENT ORGANS OF SWISS ALBINO MICE BY THE ALKALINE COMET ASSAY

Vesna Benković[1], Mirta Milić[2], Anica Horvat Knežević[1], Sanja Halovanović[1], Nikola Borojević[3] and Nada Oršolić[1]

[1]Division of Animal Physiology Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb

[2]Mutagenesis Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

[3]Department of Radiology, Zabok General Hospital, Zabok, Croatia

mmilic@imi.hr

Sevoflurane is general anaesthetic suitable for short surgical procedures due to its quick induction of anaesthesia, maintaining spontaneous breathing frequency and hemodynamic stability of patients. However, it can directly trigger the formation of peroxynitrite, significantly increase intracellular levels of H_2O_2, peroxide, superoxide anion and nitric oxide in peripheral polymorphonuclear neutrophils 1h after the treatment; lowering the levels of intracellular glutathione, and increase radiosensitivity of cells also exposed to ionising radiation (IR). We wanted to evaluate the level of sinergistic effect and possible radiosensitivity DNA damage in blood, and different organs of Swiss albino mice after exposure to both sevoflurane (2.4 %, 50:50) and the 1Gy gamma-ray radiation generally used in diagnostic purposes after 0, 2, 6 and 24 hours from the combined treatment with alkaline comet assay. Combined exposure to sevoflurane and IR has demonstrated synergistic effect. Due to metabolising of the sevoflurane, there was different sensitivity between blood, liver, kidney and brain cells.

POSSIBLE RADIO - MODULATING PROPERTIES OF SODIUM COPPER CHLOROPHYLLIN

Marko Gerić[1], Goran Gajski[1], Branka Mihaljević[2], Saveta Miljanić[2] and Vera Garaj-Vrhovac[1]
[1]Institute for Medical Research and Occupational Health
[2]Ruđer Bošković Institute
Zagreb, Croatia
vgaraj@imi.hr

INTRODUCTION

Radiotherapy is one of the most effective types of cancer treatment, but at the same time there is an issue of normal tissue toxicity. Modulation of effects caused by exposure to ionizing radiation is necessary in order to protect patients' healthy tissue during the course of radiotherapy. Therefore three classes of modulators are present: a) radioprotectors that are given before or during radiation exposure, b) mitigators of normal tissue that are delivered at the time or after irradiation, but before manifestation of normal tissue toxicity, c) treatments that ameliorate normal tissue toxicity [1].

Many novel molecules that have radioprotective properties are being developed every day, but many of them do not reach clinical trials due to their excessive toxicity [2]. Chlorophyllin (CHL) is a semi-synthetic mixture of water-soluble sodium copper salts derived from chlorophyll, widely used as food colorant [3]. So far, CHL demonstrated several beneficial properties such as antimutagenicity, anticarcinogenicity and immunostimulatory on different experimental models. At the same time it did not show toxic effects on human tissues, which makes it a good candidate for chemopreventive agent [3-5].

Although there are some data about CHL radioprotective properties on animal models [2], the effects of CHL on human cells after radiation exposure are lacking. Therefore the aim of this study was to determine the ability of CHL to modulate γ - radiation response on DNA level. To achieve our aim, human peripheral blood lymphocytes (HBPLs) were pre-treated with two different concentrations of CHL and then irradiated with dose of 5 Gy. After γ-irradiation, comet assay was conducted to evaluate DNA damage.

SUBJECTS AND METHODS

Peripheral blood was taken from a healthy, male (age 27), non-smoking donor. A volume of 100 μL of CHL was added to a blood volume of 900 μL to make final concentrations of 10 and 100 μg/mL, whereas distilled water was used for negative control. The samples were placed into the incubator at 37 °C in an atmosphere with 5 % CO_2 (Heraeus Heracell 240 incubator, Germany) and incubated for 2 h for pre-treatment. Samples were irradiated using Gammacell 220 (Atomic Energy of Canada Ltd., Canada), containing ^{60}Co as a source of γ-radiation, with the dose rate of 1.163 mGy/s. After irradiation time of 4296 s samples absorbed total dose of 5 Gy.

Cytotoxicity was determined by differential staining with acridine-orange and ethidium-bromide staining and by fluorescence microscopy [6]. A total of 100 cells per repetition were examined. The cells were divided in two categories: live cells with a functional membrane and with uniform green staining of the nucleus and dead with uniform red staining of the nucleus.

The alkaline comet assay was performed according to Singh [7] with minor modifications, during which 3 layer-agarose-samples were placed in freshly prepared lysis solution and left overnight. The slides were kept in denaturation for 20 min in electrophoresis buffer followed by another 20 min of electrophoresis at 25 V (300 mA). The slides were then washed with Tris HCl, stained with 10 μg/mL ethidium bromide and stored at 4 °C prior to analysis. A total of 100 randomly captured nuclei per slide were analyzed in duplicate using the Comet Assay II (Perceptive Instruments Ltd., UK) image analysis software. For data presentation we chose the tail intensity, as it corresponds to percentage of DNA that migrated from the main nuclei.

Statistical analysis was done using the STATISTICA 12 software package. Break-down ANOVA was performed to compare variances of each sample with Scheffé *post-hoc* test and significance set at $P < 0.05$.

RESULTS

Cell viability testing showed that peripheral blood lymphocytes from all samples had more than 90 % viable cells, suggesting that possible observed effects in genotoxicity studies did not appear as the result of cytotoxicity.

The comet assay results (Figure 1) showed that CHL at concentrations 10 and 100 μg/mL cannot induce DNA damage. On the other hand, irradiated blood sample showed 12.77 - fold increase of DNA damage in

HPBLs. Lower concentration of CHL (10 μg/mL) managed to reduce levels of induced DNA damage of irradiated HPBLs by 19.31 % compared to 5 Gy irradiated sample, but it still did not reach statistical significance. However, the addition of higher CHL concentration (100 μg/mL) resulted in 27.36 % less DNA damage compared to 5 Gy irradiated sample and that decrease was statistically significant ($P < 0.05$).

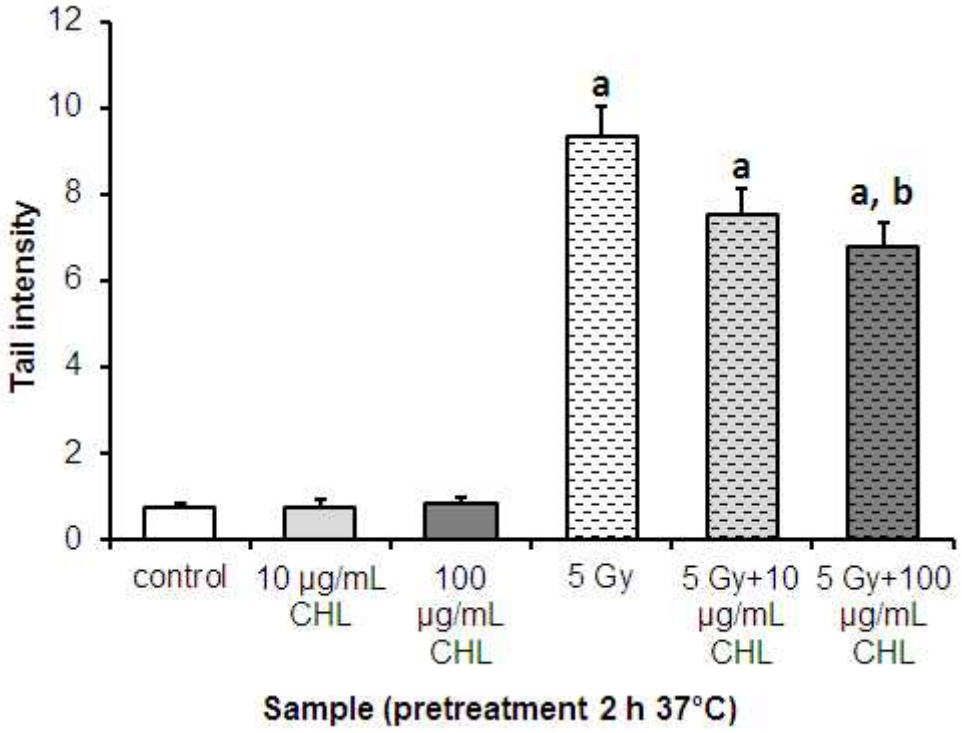


Figure 1. The effect of γ-radiation at absorbed dose of 5 Gy on human peripheral blood lymphocytes in absence and after addition of sodium copper chlorophyllin (CHL) at concentrations 10 and 100 μg/mL.
a - represents significant increase from vehicle control ($P < 0.05$)
b - represents significant decrease from 5 Gy treated sample ($P < 0.05$)

CONCLUSION

The results of this study showed that CHL in higher tested dosage has the capacity to reduce γ-radiation - induced DNA damage on HPBLs *in vitro*. Another important property of CHL is that it might be considered safe in tested concentrations from the aspect of genotoxicity.

Similar radioprotective effects were reviewed in different cell and animal models both *in vivo* and *in vitro* where CHL managed to reduce levels of DNA damage, ROS and lipid peroxidation by induction of cell's antioxidant mechanisms - production of GSH and increase in SOD activity [2, 8-10].

The quest for ideal radioprotective molecule is still on and the active ingredients or related compounds from natural products, particularly plants, represent a good base of potential radioprotectors. Those compounds are usually non-toxic to humans and might act as a radioprotectors, adaptogens or adsorbents [2].

So far there are several ways to minimize toxic effects of radiotherapy which include: hyperfractionation of therapy dose, use of modern medical equipment that is more accurate in receiving dose, and more educated medical stuff that uses virtual simulations in calculation of therapy doses [11]. Still there is a need for better normal tissue protection when receiving radiotherapy and further development of radiomodulating agents can be expected.

Apart from being used in radiotherapy CHL has potential to be used in radioprotection of occupationally exposed population such as technicians working with radiation sources or researchers on long space missions, as well as protection of employees during unexpected accidents [12].

Acknowledgments

We wish to thank the Institute for Medical Research and Occupational Health and Ruđer Bošković Institute, Zagreb for financial support for the experimental part of the study.

REFERENCES

[1] Citrin D, Cotrim AP, Hyodo F, Baum BJ, Krishna MC, Mitchell JB. Radioprotectors and mitigators of radiation-induced normal tissue injury. Oncologist 2010;15:360-371.

[2] Mayura DK, Devasagayam TPA, Nair CKK. Some novel approaches for radioprotection and the beneficial effects of natural products. Ind J Exp Biol 2006;44:93-114.

[3] Tumolo T, Lanfer-Marquez U M. Copper chlorophyllin: A food colorant with bioactive properties? Food Res Int 2012;46:451-459.

[4] Domijan AM, Gajski G, Novak Jovanović I, Gerić M, Garaj-Vrhovac V. *In vitro* genotoxicity of mycotoxins ochratoxin A and fumonisin B1 could be prevented by sodium copper chlorophyllin - Implication to their genotoxic mechanism. Food Chem 2015;170:455-462.

[5] John K, Keshava C, Richardson DL, Weston A, Nath J. Transcriptional profiles of benzo(a)pyrene exposure in normal human mammary epithelial cells in the absence or presence of chlorophyllin. Mutat Res 2008;640:145–152.

[6] Duke RC, Cohen JJ. Morphological and biochemicalassays of apoptosis. In: Coligan, J.E., Kruisbeal, A.M. (Eds.), Current Protocols in Immunology. 1992. John Willey & Sons, NewYork, pp. 1-3.

[7] Singh NP, McCoy M, Tice R, Schneider E. A simple technique for quantification of low levels of DNA damage in individual cells. Exp Cell Res 1988;175:184-191.

[8] Morales-Ramírez P, Vallarino-Kelly T, Rodríguez-Reyes R. Effects of chlorophyllin on gamma ray induced micronuclei in polychromatic erythrocytes of murine peripheral blood determined by ABC strategy. Mutat Res 1996;367:51-56.

[9] Boloor KK, Kamat JP, Devasagayam TPA. Chlorophyllin as a protector of mitochondrial membranes against γ-radiation and photosensitization. Toxicology 2000;155:63-71.

[10] Kamat JP, Boloor KK, Devasagayam TPA. Chlorophyllin as an effective antioxidant against membrane damage *in vitro* and *ex vivo*. Biochim Bioph Acta 2000;1487:113-127.

[11] Maier P, Wenz F, Herskind C. Radioprotectors of normal tissue cells. Strahlenther Onkol 2014;190:745-752.

[12] Vasin MV. Comments on the mechanisms of action of radiation protective agents: basis components and their polyvalence. Springerplus 2014;3:414.

POSSIBLE RADIO - MODULATING PROPERTIES OF SODIUM COPPER CHLOROPHYLLIN

Marko Gerić[1], *Goran Gajski*[1], *Branka Mihaljević*[2], *Saveta Miljanić*[2] *and Vera Garaj-Vrhovac*[1]
[1]Institute for Medical Research and Occupational Health
[2]Ruđer Bošković Institute
Zagreb, Croatia
vgaraj@imi.hr

The current issues in radiotherapy are dealing with minimizing normal tissue toxicity and at the same time keeping the levels of radiotherapy effectiveness. Radiomodulation is one of the ways how clinicians can achieve such effects. The use of radioprotectors in radiotherapy is today limited to only one approved agent-amifostine whereas there are many agents that are used as radiomitigators.

Chlorophyllin (CHL) is a derivate of natural plant pigment chlorophyll and it is used in food production as a food dye. It has also shown several beneficial effects on different experimental models which makes it interesting molecule to study its radiomodulating properties.

Using human peripheral blood lymphocytes as a model system we examined the possible radioprotective properties of CHL. From the irradiated samples pre-treated for 2 h with CHL concentrations of 10 and 100 μg/mL, using comet assay, we managed to detect 19.31 % and 27.36 % reduction in DNA damage, respectively, compared to 5 Gy irradiated sample. However, only the latter concentration managed to reach statistical significance. At the same time CHL alone, at tested concentrations, did not induce DNA damage.

Taken together, obtained results indicate that CHL is a molecule with potential radioprotective properties which at the same time is not toxic to human cells *in vitro*. Therefore, further studies are required in order to detect optimal radioprotective CHL concentration, its mechanisms of action and comparison to known radioprotectors.

SHORT - TERM EXPOSURE TO VISIBLE AND ULTRAVIOLET LIGHT MODULATES DACARBAZINE TOXICITY TO HUMAN BLOOD CELLS *IN VITRO*

Nevenka Kopjar, Suzana Žunec, Ana Lucić Vrdoljak,
Davor Želježić and Marin Mladinić
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
nkopjar@imi.hr

INTRODUCTION

The term phototoxicity describes a phenomenon when a compound absorbs ultraviolet (UV) or visible light (wavelengths 200 - 800 nm) and causes cellular damage [1,2]. Among photosensitizer compounds, there are several classes of prescription drugs, but also some vitamins and dietary supplements [1]. A typical example is dacarbazine (DTIC), i.e. 5-(3,3-dimethyltriazeno)imidazol-4-carboxamide, an alkylating cytostatic used in the treatment of various types of human cancer [3]. Photodegradation products of DTIC have caused adverse reactions in patients [4]. Previous studies pointed to photodynamically induced changes in human erythrocyte AChE activity [5]. It is also known that UV and visible radiation, together with appropriate photosensitizers and molecular oxygen, can produce oxidative injury through photodynamic action [6].

To further elucidate the relationships between photogenotoxicity, lipid peroxidation and AChE activity, we studied various endpoints on DTIC-treated human blood *in vitro* after short term illumination with visible and UV light.

MATERIAL AND METHODS

Dacarbazine (DTIC) was purchased from Pliva (Croatia), and other chemicals and reagents from Sigma-Aldrich Co. (USA). Venous blood (V = 60 ml) was collected under sterile conditions in heparinized vacutainers (Becton Dickinson, USA) from a healthy non-smoker female aged 38 years.

Experimental design: whole blood or isolated lymphocytes in RPMI-1640 medium were placed in 24 well cell culture plates and treated with DTIC applied at 200 mg/m^2 and 350 mg/m^2 (therapeutically relevant concentrations) for 30 and 60 minutes at 37 °C, with and without photoactivation. For the illumination, visible white light (OSRAM lamp, 9 W) and UV light (57415P/40 Philips lamp, 15 W) were used. During treatment,

the distance between cell culture plates and both light sources was 10 cm. Identical DTIC-treated samples were kept in dark. Corresponding negative controls (both illuminated and non-treated) were also included. Three independent experiments were conducted and data were pooled.

AChE activity was determined in erythrocytes using the method by Ellman et al. [7]. Concentration of thiobarbituric reactive substances (TBARS; considered as a measure of lipid peroxidation) was determined in plasma using a modification of the method by Drury et al. [8]. All spectrophotometric measurements were performed on a Cecil 9000 spectrophotometer (Cecil Instruments Limited, UK).

Peripheral blood lymphocytes were isolated using the Histopaque® 1077 reagent [9]. The fluorescent dye exclusion method [9] was employed for studying cell death and morphological changes in the lymphocyte nuclei after staining with ethidium bromide and acridine orange. Percentages of viable, apoptotic and necrotic cells were determined. Primary DNA damage in lymphocytes was studied by alkaline comet assay immediately after treatment and 60 minutes after. Slides were prepared according to standard protocol [10], stained with ethidium bromide and analysed using a fluorescence microscope (Leitz, Germany) and a computer - based image analysis system (Comet Assay II, Perceptive Instruments Ltd., UK). DNA damage was estimated based on tail intensity (DNA% in the comet tail), and tail length (expressed in μm).

Statistical analyses were performed using descriptive statistics, ANOVA with *post - hoc* Scheffé test and Mann - Whitney U- test (Statistica 10.0 software; StatSoft, USA). Statistical significance was set at $P < 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

The lowest AChE activity was measured in erythrocytes exposed to DTIC for 60 minutes in dark. Exposure of DTIC-treated erythrocytes to visible and UV light for 30 minutes slightly impaired AChE activity (Figure 1A). Longer illumination with both light sources caused a restoration in AChE activity (Figure 1B), possibly due to the deactivation of the parent drug. From the obtained results, we can conclude that the parent drug had a higher AChE-inhibiting ability than its degradation products, but that it has to be studied further on a much broader DTIC concentration range. Considering that the molecular structure of DTIC involves carbamate moiety, the effects on AChE can be anticipated, since many structurally related compounds are known to be anticholinesterases.

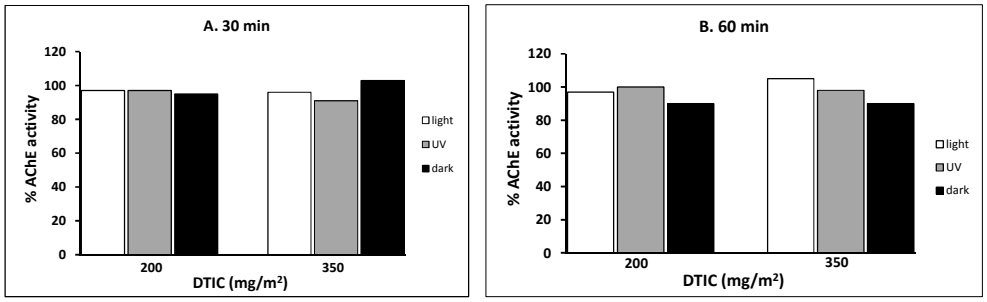


Figure 1. AChE activity in human erythrocytes treated *in vitro* with DTIC

Figure 2 reports the results of plasma lipid peroxidation (LPO) determined after *in vitro* treatment of whole blood with DTIC.

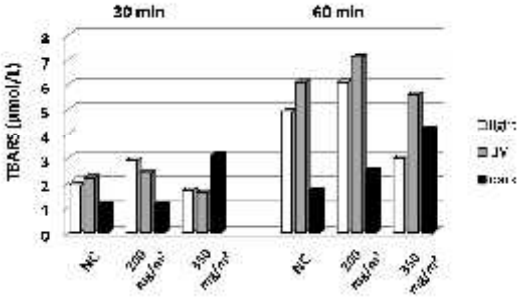


Figure 2. Changes in plasma lipid peroxidation after *in vitro* treatment with DTIC

An increase of LPO in plasma of negative control was noticed after longer exposure to UV and visible light. In samples incubated in dark, DTIC caused a dose- and time-dependent increase of LPO. Treatment with 200 mg/m^2 of DTIC induced LPO after 30 and 60 minutes of illumination with visible and UV light. However, exposure to higher dose of DTIC decreased LPO, which could have been influenced by the degradation of the parent drug and interactions with other cellular compounds/processes. Furthermore, the uptake of the drug and its degradation products into cells might have also contributed to the obtained results.

Table 1 reports the results of the alkaline comet assay. The values of the comet parameters measured immediately after treatment pointed to a dose-dependent photogenotoxicity of DTIC and its degradation products. The pattern of DNA damage was similar as in previous studies with DTIC, UV and visible light [3,12]. Due to the generation of pyrimidine dimers and cross-linking within and/or between DNA strands, which impaired DNA migration, the values of TL/TI measured in UV-treated samples were relatively low.

Table 1. Results of the alkaline comet assay on human lymphocytes

Exposure (min) **Parameter**			**Visible light**	**UV**	**Dark**	**Visible light**	**UV**	**Dark**
			Immediately after treatment			**60 minutes after treatment**		
DTIC 200 mg/m^2	30’	TL	22.31±0.40 20.51 **u,d** 12.18-43.59	13.36±0.16 12.50 10.26-26.28	12.90±0.10 12.82 9.62-20.51	17.44±0.33 15.70 **u,d** 10.26-41.67	15.10±0.22 14.10 8.33-28.85	14.50±0.12 14.10 10.26-23.08
		TI	3.80±0.28 2.16 **u,d** 0-34.40	0.38±0.06 0.00 0-9.11	3.80±0.28 2.16 **v** 0-34.40	2.70±0.28 0.72 **u,d** 0-33.63	0.78±0.16 0.00 0-24.37	0.36±0.06 0.00 0-9.59
	60’	TL	21.96±0.46 19.23 **u,d** 10.26-46.15	15.01±0.15 14.74 10.26-28.20	15.07±0.15 14.74 10.26-30.13	18.80±0.44 16.35 **u,d** 10.26-48.72	16.45±0.18 16.03 **d** 10.26-28.20	13.57±0.12 13.46 9.62-21.15
		TI	3.29±0.30 1.06 **u,d** 0-34.06	0.31±0.05 0.00 0-8.96	0.85±0.11 0.02 **v** 0-11.59	2.63±0.26 0.55 **u,d** 0-25.26	0.44±0.06 0.00 0-5.73	1.52±0.16 0.21 **u** 0-16.31
DTIC 350 mg/m^2	30’	TL	22.05±0.40 20.51 **u,d** 11.54-44.87	13.50±0.16 12.82 9.62-28.20	13.84±0.15 13.46 8.97-28.20	18.82±0.40 16.67 **u,d** 10.26-57.05	14.24±0.20 13.46 9.62-35.26	15.84±0.14 15.38 **u** 10.26-26.28
		TI	4.22±0.32 2.08 0-42.20	0.61±0.14 0.00 0-28.43	1.21±0.15 0.09 0-17.09	3.39±0.28 1.27 **u** 0-30.16	1.02±0.16 0.00 **d** 0-22.83	0.94±0.11 0.05 0-15.32
	60’	TL	20.46±0.37 19.23 **u,d** 10.90-46.79	14.55±0.17 14.10 10.26-28.20	17.40±0.22 16.67 **v** 9.62-36.54	20.23±0.45 17.31 **u,d** 10.90-46.79	16.01±0.17 15.38 **d** 10.26-28.85	14.81±0.15 14.10 8.97-27.56
		TI	2.38±0.19 1.20 **u,d** 0-23.79	0.51±0.08 0.00 0-15.25	1.18±0.16 0.15 **v** 0-19.16	2.75±0.26 0.69 **u,d** 0-26.18	0.40±0.05 0.00 0-5.17	1.35±0.15 0.13 **v** 0-16.01
NC	30’	TL	11.70±0.06 11.54 9.62-14.74	12.91±0.10 12.82 **v,d** 9.62-18.59	11.62±0.07 11.54 8.97-15.38	11.78±0.07 11.54 9.62-15.38	13.38±0.09 13.46 **v,d** 9.62-18.59	12.54±0.06 12.82 **v** 9.62-16.67
		TI	0.21±0.02 0.02 0-1.69	0.19±0.03 0.00 0-4.00	0.16±0.02 0.00 0-1.83	0.19±0.02 0.02 0-1.50	0.30±0.04 0.00 0-4.49	0.21±0.02 0.00 0-2.24
	60’	TL	11.80±0.07 11.54 9.62-17.31	13.65±0.10 13.46 **v,d** 9.62-19.23	12.17±0.08 12.18 **v** 8.97-16.03	11.79±0.08 11.54 8.97-16.67	13.50±0.11 13.46 **v,d** 9.62-21.15	12.51±0.08 12.18 **v** 8.97-16.67
		TI	0.23±0.02 0.01 0-3.43	0.18±0.03 0.00 0-4.11	0.23±0.02 0.00 0-2.25	0.24±0.03 0.00 0-3.43	0.39±0.05 0.00 **d** 0-7.56	0.14±0.02 0.00 0-1.98

300 comets per sample per experimental point were measured. Results are expressed as mean ± standard error of the mean (first row), median (second row) and range of values measured (third row). DTIC - dacarbazine; NC - negative control; TL - tail length; TI - tail intensity. Significantly increased differences ($P<0.05$, ANOVA with *post-hoc* Scheffé test) were: u - *vs.* UV-illuminated sample; v - *vs.* sample illuminated with visible light (VL); d - *vs.* sample kept in the dark (D). Mann-Whitney U-test was used to evaluate the significance of differences between samples exposed for the same duration measured immediately (I) and 60 minutes after treatment (II). Statistically significant ($P<0.05$) for exposure time 30 minutes were: in UV-DTIC 200 mg/m^2 I_{TL} *vs.* II_{TL}; in UV-DTIC 350 mg/m^2 I_{TL} *vs.* II_{TL}; in UV-NC $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in VL-DTIC 200 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in VL-DTIC 350 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in D-DTIC 200 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in D-DTIC 350 mg/m^2 I_{TL} *vs.* II_{TL}; in D-NC I_{TI} *vs.* II_{TI}. Statistically significant ($P<0.05$) for exposure time 60 minutes were: in UV-DTIC 200 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in UV-DTIC 350 mg/m^2 I_{TL} *vs.* II_{TL}; in UV-NC I_{TI} *vs.* II_{TI}; in VL-DTIC 200 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in VL-DTIC 350 mg/m^2 I_{TL} *vs.* II_{TL}; in D-DTIC 200 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in D-DTIC 350 mg/m^2 $I_{TL,TI}$ *vs.* $II_{TL,TI}$; in D-NC I_{TL} *vs.* II_{TL}. Mann-Whitney U-test was also used to evaluate significance of the differences between samples exposed for different durations and measured immediately and 60 minutes after treatment. Statistically significant ($P<0.05$) differences between samples evaluated immediately after treatment were: in UV-DTIC 200 mg/m^2 $30'_{TL,TI}$ *vs.* $60'_{TL,TI}$; in UV-DTIC 350 mg/m^2 $30'_{TL}$ *vs.* $60'_{TL}$; in UV-NC $30'_{TL}$ *vs.* $60'_{TL}$; in VL-DTIC 200 mg/m^2 $30'_{TL,TI}$ *vs.* $60'_{TL,TI}$; in VL-DTIC 350 mg/m^2 $30'_{TL,TI}$ *vs.* $60'_{TL,TI}$; in D-DTIC 200 mg/m^2 $30'_{TL}$ *vs.*$60'_{TL}$; in D-DTIC 350 mg/m^2 $30'_{TL}$ *vs.* $60'_{TL}$;; in D-NC $30'_{TL}$ *vs.* $60'_{TL}$. Statistically significant ($P<0.05$) differences between samples evaluated 60 minutes after treatment were: in UV-DTIC 200 mg/m^2 $30'_{TL}$ *vs.* $60'_{TL}$; in UV-DTIC 350 mg/m^2 $30'_{TL}$ *vs.* $60'_{TL}$; in VL-DTIC in VL-DTIC 350 mg/m^2 $30'_{TL,TI}$ *vs.* $60'_{TL,TI}$; in D-DTIC 200 mg/m^2 $30'_{TL,TI}$ *vs.* $60'_{TL,TI}$; in D-DTIC 350 mg/m^2 $30'_{TL,TI}$ *vs.* $60'_{TL,TI}$; in D-NC $30'_{TI}$ *vs.* $60'_{TI}$.

The DNA damage pattern in nucleoids measured 60 minutes after treatment was highly affected by the repair processes (Table 1). Furthermore, due to cell death, the measured damage level seems to be lower than it actually was.

Exposure to UV light slightly diminished lymphocyte viability in negative control (NC), while visible light (VL) did not exert a similar effect (Figure 3). Treatment with DTIC decreased lymphocyte viability in a dose-dependent manner, both with and without photoactivation. Cytotoxicity increased with longer illumination, especially after exposure to UV light. Apoptosis was a predominant type of cell death. Cell viability in all of the treated samples was significantly lower than in the corresponding negative controls ($P<0.05$, Chi-square test). Most of the differences between DTIC-treated samples as well as between two exposure times were also statistically significant.

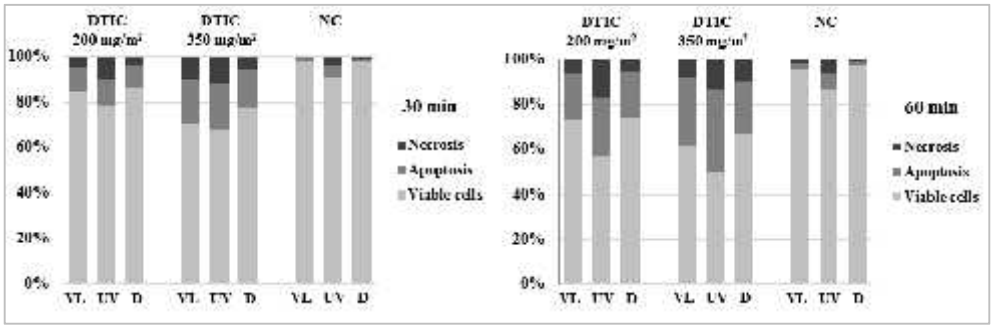


Figure 3. Viability of human peripheral blood lymphocytes after DTIC treatment
VL - visible light; UV - ultraviolet light; D - dark; NC - negative control

CONCLUSIONS

Short-term exposure to UV and visible light modulated DTIC toxicity in human blood cells *in vitro*. Most of the effects were dose-dependent. The obtained results suggest that photodegradation products, together with the parent compound, were responsible for increased LPO in plasma, along with cytotoxicity and infliction of primary DNA damage in lymphocytes. Erythrocyte AChE activity, on the other hand, was strongly impaired by the parent drug. Our findings suggest the need for a simultaneous evaluation of cyto-/genotoxicity and biochemical markers, as such an approach would provide much better insight into the mechanisms underlying drug toxicity.

Acknowledgment
This study was supported by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia (Grants No. 022-0222148-2139 and 022-0222148-2137).

REFERENCES

[1] Drug-Induced Photosensitivity. Available at: http://www.wellnesspharmacy.net/photosensitivity.pdf
[2] Takamura-Enya T, Ishii R, Oda Y. Evaluation of photo-genotoxicity using the *umu* test in strains with a high sensitivity to oxidative DNA damage. Mutagenesis 2011;26:499-505.
[3] Iwamoto T, Hiraku Y, Okuda M, Kawanishi S: Mechanism of UVA dependent DNA damage induced by an antitumor drug dacarbazine in relation to its photogenotoxicity. Pharmaceut Res 2008;25:598-604.
[4] Asahi M, Matsushita R, Kawahara M, Ishida T, Emoto C, Suzuki N, Kataoka O, Mukai C, Hanaoka M, Ishizaki J, Yokogawa K, Miyamoto K, Causative agent of vascular pain among photodegradation products of dacarbazine. J Pharm Pharmacol 2002;54:1117-1122.
[5] Sadowska M, Krajewska E, Bryszewska M. Photodynamically induced changes of acetylcholinesterase activity from human erythrocytes. Lasers Med Sci 2001;16:10-15.
[6] Girotti AW. Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effect or action in biological systems. J Lipid Res 1998;39:1529-1542.
[7] Ellman GL, Courtney KD, Andres VJ, Featherstone RM. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. Biochem Pharmacol 1961;7:88-95.
[8] Drury JA, Nycyk JA, Cooke RWI. Comparison of urinary and plasma malodialdehyde in preterm infants. Clin Chim Acta 1997;263:177-185.
[9] Histopaque®-1077 (Procedure No. 1077). Available at: http://www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Sigma/General_Information/1/1077.Par.0001.File.tmp/1077.pdf
[10] Duke RC, Cohen JJ. Morphological and biochemical assays of apoptosis. In: Coligan JE, Kruisbeal AM, eds. Current Protocols in Immunology; New York: John Willey and Sons; 1992. pp. 1-3.
[11] Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider LL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. Exp Cell Res 1988;175:184-191.
[12] Kielbassa C, Roza L, Epe B. Wavelength dependence of oxidative DNA damage induced by UV and visible light. Carcinogenesis 1997;18:811-816.

SHORT - TERM EXPOSURE TO VISIBLE AND ULTRAVIOLET LIGHT MODULATES DACARBAZINE TOXICITY TO HUMAN BLOOD CELLS *IN VITRO*

Nevenka Kopjar, Suzana Žunec, Ana Lucić Vrdoljak,
Davor Želježić and Marin Mladinić
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
nkopjar@imi.hr

Dacarbazine (DTIC), i.e. 5-(3,3-dimethyltriazeno)imidazol-4-carboxamide, is an alkylating cytostatic used in the treatment of various types of human cancer. It is prone to photodegradation, the products of which cause adverse effects in treated patients. In the present study, we evaluated the relationships between photogenotoxicity, cytotoxicity, lipid peroxidation and AChE activity in *in vitro* DTIC - treated human blood after illumination with visible and ultraviolet light for 30 and 60 minutes. AChE activity was measured in erythrocytes. The extent of lipid peroxidation was measured in plasma. Cell death and morphological changes in the nuclei were studied in isolated peripheral blood lymphocytes using the fluorescent dye exclusion method. Primary DNA damage in lymphocytes was studied by alkaline comet assay immediately after treatment and 60 minutes later. The obtained results suggest that short-term exposure to UV and visible light modulated DTIC toxicity. Most of the effects were dose-dependent. We assume that photodegradation products, together with the parent compound, were responsible for increased LPO in plasma, along with cytotoxicity and infliction of primary DNA damage in lymphocytes. Erythrocyte AChE activity, on the other hand, was strongly impaired by the parent drug. Our findings suggest the need for a simultaneous evaluation of cyto-/genotoxicity and biochemical markers, as such an approach would provide much better insight into the mechanisms underlying drug toxicity in general.

EFFECTS OF LOW DOSE RADIATION

Margit Osvay
Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences
Budapest, Hungary
osvay.margit@energia.mta.hu

INTRODUCTION

Ever since nuclear energy was first applied for peaceful purposes, radiation and effects of low dose radiation have been of great importance for the general public as well. There is a high responsibility for us to provide objective and honest information.

People are much more interested in effects of low dose, because of increased number of occupational exposure at workplaces and the frequency of low dose medical diagnostic investigations. Fortunately the wars and radiation accidents are rare.

What is the low dose? Low dose means: < 100 mSv. Occupational radiation exposure may accumulate to 100 mSv over 5 years.

This paper will be given on two approaches concerning the effects of low radiation dose:

- risk estimation was calculated using time relating average annual dose (suggested by ICRP [1]) of a group of workers of the Institute of Isotopes of the Hungarian Academy of Sciences
- another approaching was provided on the Winter School in the course of Annual Meeting of the EURADOS AM2009 [2] using the new results of epidemiological investigations. The topic of Low- Dose Radiation Effects was covered by tutorial lectures given by renowned experts.

METHODS AND RESULTS

The number of the occupational exposed workers of Hungary is about 16 000. The limit of annual dose is 20 mSv/year (100 mSv/5 years).

Evaluation of annual doses confirmed, that the external exposures were low:

- about 94 % less than 2 mSv
- about 2 % of data higher (5 - 20 mSv), having high standards of safety.

Risk estimation (suggested by ICRP [1]) using time related average annual dose over period of working time was calculated at the Institute of Isotopes. Personal dose data from external radiation recorded during 19 year period by the highest exposed group of the 293 workers of the Institute was investigated [3].

The risk levels were estimated from 25-year-lifetime doses by using "time - related" average annual doses. The risk of the highest exposed group (occupation of the 83 workers: maintenance, packaging, transportation, average annual dose equivalent: 5.9 mSv/year) was assessed to be $1.2\ 10^{-3}$ fatalities per working lifetime. It may be concluded that in each occupational group of the Institute the mortality risk of radiation induced cancer is lower than the hazards in non-radiation occupations having high standards of safety.

It is worth mentioning that the average annual dose equivalents significantly decreased with the increased time of practice at the Institute.

Another approach concerning the effects of low radiation dose was the new results of epidemiological investigations.

The 3rd Winter school of the EURADOS AM2009 on "Low - Dose Radiation Effects" provided information on the European Low Dose Risk Research and on the international studies using epidemiological method [2].

What is the epidemiology? It means biostatistics, risk estimation on dose-effect corrections using a very large number of data.

It followed frequency of a disease on 40000 workers of 14 countries working in the nuclear industry in comparison with a control group.

Results of epidemiological studies indicated, that sensitivity to ionizing radiations depends on:

- age (the sensitivity is higher for children and young people, but new results confirm, that older age groups (> 50) have higher sensitivity compared to middle-aged adults)
- gender (sensitivity is two times higher for women compared to man). Figure 1 shows a comparison of cancers for women and men. (Source of data: United Nation Scientific Committee on Effect of Atomic Radiation [4]). These data lead to the effect that dose limits are reached earlier by women than men.
- individual sensitivity exists (depending on the genetic predisposition, repair characteristics).

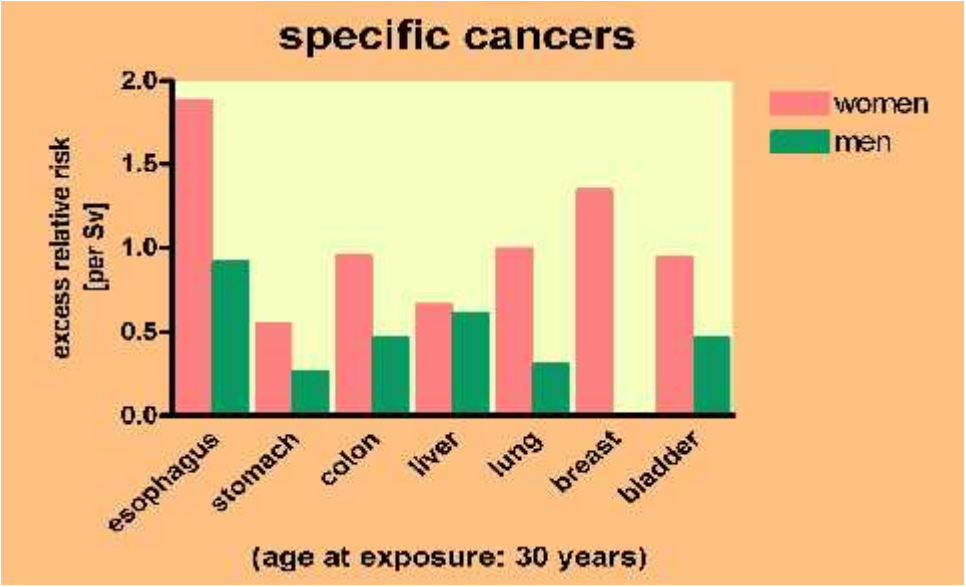


Figure 1. Higher radiation risk for women (UNSCEAR 2000, [4])

On the other hand, the results indicate that after exposure at age 30 with low doses, there is an excess relative risk for solid cancer incidence at 50 - 60 age.

Studies of the Japanese A-bomb survivors were important for risk estimation, because 48 % were still alive in 1997, having great age. Data were significant in determining lifetime cancer risks for those exposed when young. The investigation provided considerable information on the long-term health effects of radiation exposure in a population of all ages and both genders. It has been shown from analyses of incidence data that the solid cancer rates increase by about two times for women at age 70 for those exposed at young age.

CONCLUSION

Results achieved on two approaches concerning the effects of low radiation dose (< 100 mSv) indicate the following:

- additional risk of radiation induced cancer using time relating average annual dose (suggested by ICRP) is much lower than the cancer risk in non - radiation occupation.
- on the other hand epidemiological studies confirm, that deterministic effect is not achieved at low dose, but if the exposed group of

individuals is large enough, a significant excess of induced cancer over sporadic can be observed, moreover the effect is two times higher for women compared to man.

Results of epidemiological risk estimation provided more “tinged effects” on low dose. It may form the basis of current radiation risk estimates of the International Commission on Radiological Protection (ICRP).

Dose threshold of stochastic effects, the late effects of low dose is still a matter of research [5].

REFERENCES

[1] International Commission on Radiological Protection, Recommend. of the ICRP, ICRP Publ. 26, Pergamon Press, Oxford;1977.

[2] EURADOS Annual Meeting (AM2009) Winter school on Low-Dose Radiation Effects Braunschweig, 2009 (lecturers: H. Zeeb, DE, W. Zhang, UK, P. Jacob, DE, R. Shore, Japan, W. U. Müller, DE).

[3] Bojtor I, Golder F, Osvay M. Retrospective evaluation of occupational annual doses received by workers producing radioactive sources. Acta Phys Hung 1982;52:311-316.

[4] United Nations Scientific Committee on Effect of Atomic Radiation, (UNSCEAR) Sources of Effects on Ionizing Radiation, Report, U.N., New York, p.425;2000.

[5] Matsubara J, Re-examination of the Linear No Threshold (LNT) hypothesis, and a trial for public to comprehend the reality of the low-dose effects of radiation. Int J Low Radiat 2006;3:241-254.

EFFECTS OF LOW DOSE RADIATION

Margit Osvay
Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences
Budapest, Hungary
osvay.margit@energia.mta.hu

Ever since nuclear energy was first applied for peaceful purposes, radiation and effects of low dose radiation have been of great importance for the general public as well. There is a high responsibility for us to provide objective and honest information.

People are much more interested in effects of low dose, because of increased number of occupational exposure at workplaces and the frequency of low dose medical diagnostic investigations. Fortunately the wars and radiation accidents are rare.

What is the low dose? Low dose means: < 100 mSv. Occupational radiation exposure may accumulate to 100 mSv over 5 years.

The paper will be given on two approaches concerning the effects of low radiation dose.

Deterministic effect is not produced at low dose, but if the exposed group of individuals is large enough, results of epidemiological investigations indicated a significant increase of induced cancer over the spontaneous one.

Cancer risk of radiation workers larger than expected?

IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA ZRAČENJU

PUBLIC EXPOSURE

RADIOAKTIVNA KONTAMINACIJA SRDELA I PAPALINA KONZUMIRANIH U REPUBLICI HRVATSKOJ

Zdenko Franić, Gordana Marović, Gina Branica i Jasminka Senčar
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
zdenko.franic@imi.hr

UVOD

Uz prirodne radionuklide prisutne u biosferi, intenzivne atmosferske probe nuklearnog oružja koje rezultiraju globalnim radioaktivnim oborinama (*fallout*) i različita (slučajna ili rutinska) ispuštanja radioaktivnog materijala glavni su razlozi kontaminacije okoliša umjetno stvorenim radionuklidima. Većina takvog materijala različitim putovima translokacije kroz biosferu završi u morima i oceanima.

Radionuklidi cezija i stroncija, posebice ^{137}Cs i ^{90}Sr, zbog relativno dugačkih vremena poluraspada (30 i 29 godina) te kemijskih i metaboličkih sličnosti s kalijem i kalcijem predstavljaju naročitu opasnost za žive organizme. U vodenom okolišu, oba ova radionuklida imaju tendenciju nagomilavanja u ribama, bilo hranom ili kroz škrge.

Kako je riba važna komponenta prehrane ljudi, ispitivanje koncentracija aktivnosti fisijskih produkata u pojedinim vrstama riječnih i morskih riba je sastavni dio programa istraživanje i nadzora stanja radioaktivnosti okoliša u Republici Hrvatskoj koji je započet još godine 1959. [1]. Program se danas provodi pod nadzorom Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, a harmoniziran je s EU praksom, odnosno preporukama Europske komisije iz 2000. godine o primjeni Članka 36 Ugovora Euratom [2].

U Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu od morskih riba sustavno se prati radioaktivnost jadranske srdele (*Sardina pilchardus sardina* (Risso, 1827)), a sporadično se ispituje i radioaktivnost papalina (*Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758)). Obje vrste spadaju u tzv. sitnu plavu ribu koja se hrani planktonom.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja radioaktivnosti fisijskih radionuklida (^{134}Cs, ^{137}Cs i ^{90}Sr) u srdelama i papalinama u 2013. godini. Naglasak je u radu stavljen na činjenicu da su srdele podrijetlom iz Jadranskoga mora dok su papaline uvezene iz Poljske i pretpostavka je da su

podrijetlom iz Sjevernoga i/ili Baltičkoga mora. Procijenjene su efektivne doze zračenja za stanovništvo Republike Hrvatske od ingestije spomenutih vrsta morskih riba.

MATERIJAL I METODE

Koncentracije aktivnosti radiocezija u ribama ispitivane su visokorezolucijskom gamaspektrometrijskom metodom, akreditiranom sukladno zahtjevima Norme HRN EN ISO/IEC 17025, korištenjem germanijevih detektora spojenih na računalni sustav za analizu spektra.

Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr su nakon radiokemijske pripreme uzoraka određivane mjerenjem na beta brojaču RISØ niske osnovne aktivnosti.

REZULTATI I RASPRAVA

Proces procjene rizika kako za ljude tako i za biocenozu nakon oslobađanja radioaktivnog materijala u okoliš zahtijeva točnu kvantifikaciju koncentracija aktivnosti u okolišnim medijima i organizmima.

Koncentracije aktivnosti fisijskih radionuklida u papalinama i srdelama za godinu 2013. prikazane su u Tablici 1.

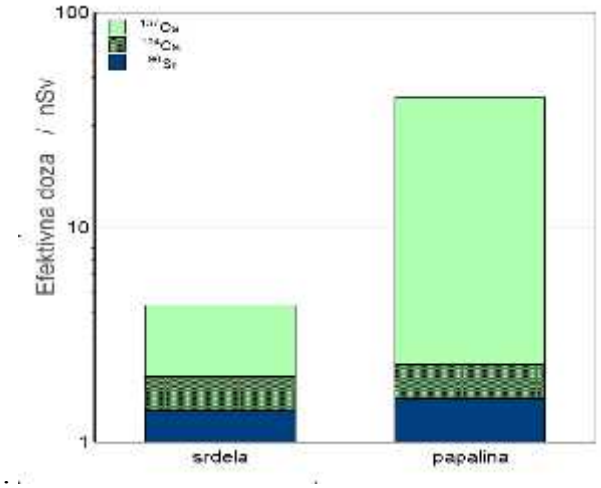
Tablica 1. Koncentracije aktivnosti fisijskih produkata u srdelama i papalinama

	Koncentracija aktivnosti (Bq/kg)		
	^{137}Cs	^{134}Cs	^{90}Sr
Srdele	0,177 ± 0,009	0,033 ± 0,015	0,014 ± 0,012
Papaline	2,921 ± 0,519	0,036 ± 0,011	0,021 ± 0,006

Iz Tablice 1 vidljivo je da su izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs u papalinama uvezenima iz Poljske sukladne vrijednostima postavljenima u Uredbi vijeća (EZ) br. 733/2008 od 15. srpnja 2008. godine o uvjetima koji uređuju uvoz poljoprivrednih proizvoda podrijetlom iz trećih zemalja nakon nesreće u nuklearnoj elektrani u Černobilu [3]. Prema toj uredbi najviša dopuštena akumulirana razina radioaktivnosti za ^{137}Cs i ^{134}Cs u prehrambenim proizvodima iznosi 600 Bq/kg odnosno 370 Bq/kg za mlijeko i mliječne proizvode. Iako se radi o koncentracijama aktivnosti koje su daleko ispod vrijednosti najviše dopuštene razine u proizvodima, moramo naglasiti da uvezeni proizvod doprinosi daleko većoj izloženosti

prosječnoga stanovnika Republike Hrvatske, budući da je koncentracija ^{137}Cs u papalinama za red veličine veća od one u srdelama (gotovo sedamnaest puta).

Na osnovu podataka iz Tablice 1 te doznih konverzijskih faktora za ^{137}Cs ($1{,}3 \times 10^{-8}$ Sv/Bq), ^{134}Cs ($1{,}9 \times 10^{-8}$ Sv/Bq) i ^{90}Sr ($2{,}8 \times 10^{-8}$ Sv/Bq) [4] procijenjena je efektivna doza koju je 2013. godine primio odrasli stanovnik Republike Hrvatske konzumacijom 1 kg srdela i papalina (Slika 1).



Slika 1. Jedinična efektivna doza za odraslu osobu uslijed ingestije ^{137}Cs, ^{134}Cs i ^{90}Sr konzumacijom 1 kg srdela i papalina

Kao što je iz Slike 1 vidljivo, ukupno procijenjena doza temeljem pretpostavljenog unosa jednog kilograma srdele i papaline je mala, za srdele iznosi 3,3 nSv, a za papaline 39,3 nSv. Međutim, jasno je vidljivo da je doza u slučaju papalina red veličine veća od one procijenjene unosom srdele.

Razlike u koncentracijama aktivnosti fisijskih radionuklida u ispitivanim srdelama i papalinama mogu se objasniti činjenicom da potječu iz različitih mora. Također, valja napomenuti da su srdele površinske ribe, dok papaline najčešće obitavaju između 30 i 70 m dubine, ali se ponekad povlače do 150 m. U tom kontekstu valja napomenuti da vertikalna distribucija radionuklida u stupcu morske vode nije uniformna.

Procijenjena efektivna doza od unosa radioaktivnosti hranom uvelike ovisi i o procjeni unosa pojedine namirnice od strane izložene skupine stanovništva. Potrošnja ribe u kućanstvima, izračunata "po glavi"

stanovnika, pokazuje kako Hrvatska nije ribarska nacija. Prema tim brojkama, koje pokazuju da svaki stanovnik Hrvatske pojede oko devet kilograma ribe u godini dana (od čega oko 3 kg srdela), na začelju smo zemalja Europske unije [5,6] budući da se u EU prosječno godišnje konzumira 21 kg ribe [6]. To je konzistentno sa statističkim podatcima da je npr. godine 2013. u Hrvatskoj ulovljeno tek oko 53085 tona srdela [7] što bi, zanemarujući izvoz i uporabu u druge svrhe (npr. prehranu tuna, preradu u riblje brašno) iznosilo oko 13 kg po glavi stanovnika (pretpostavljajući da Hrvatska ima između 4 i 4,5 milijuna stanovnika). Procijeni li se efektivna doza za odraslog stanovnika Hrvatske (starijeg od sedamnaest godina) temeljem gornjih podataka o unosu radiocezija srdelama, dobiva se za 2013. godinu vrijednost u lijepom slaganju s objavljenim istraživanjima o postčernobilskoj aktivnosti radiocezija u srdelama Jadranskoga mora [4]. Procijenjena pak vrijednost za papaline za red veličine premašuje procijenjenu efektivnu dozu od unosa radiocezija srdelama.

ZAKLJUČNE PRIMJEDBE

Kontrolom radioaktivnosti morskih i slatkovodnih riba može se zaključiti da konzumacija riba ne predstavlja kritični put za ozračivanje stanovništva Republike Hrvatske fisijskim radionuklidima. Razlog tome su ne samo niske koncentracije aktivnosti fisijskih radionuklida u ribama već i vrlo mala konzumacija riba, po čemu je Hrvatska na samom začelju zemalja Europske unije.

Usporedba koncentracija aktivnosti fisijskih radionuklida (^{137}Cs, ^{134}Cs i ^{90}Sr) jadranskih srdela i uvoznih papalina pokazuje znatnu razliku među njima, što se posljedično odražava na efektivnu dozu koju primi prosječan odrasli stanovnik Republike Hrvatske uslijed konzumacije ribe. Za jedinični unos, efektivna doza uslijed konzumacije papalina je jedanaest puta veća od efektivne doze uslijed konzumacije srdele. U tom kontekstu, valjalo bi sustavnije istražiti i koncentracije aktivnosti fisijskih produkata u jadranskim papalinama, kao drugim vrstama plave ribe kao biondikatora radioaktivne kontaminacije jadranskog područja. Time bi se osigurala dodatna kvaliteta i razina pouzdanosti postojećeg programa nadzora radioaktivnosti okoliša u Republici Hrvatskoj i radioekološke osjetljivosti Jadrana.

LITERATURA

[1] Marović G. i sur. Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Godišnji izvještaji. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, 1986-2015.

[2] 2000/473/Euratom: Commission recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as a whole (notified under document number C(2000)1299) Official Journal L191, 27/07/2000 P.0037 - 0046

[3] Službeni list Europske unije, L 201/1 (eng) / 11/Sv. 111 (hrv). Uredba vijeća (EZ) br. 733/2008 od 15. srpnja 2008. o uvjetima koji uređuju uvoz poljoprivrednih proizvoda podrijetlom iz trećih zemalja nakon nesreće u nuklearnoj elektrani u Černobilu.

[4] International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standard. GRS Part 3 (Interim). IAEA, Vienna, 2011.

[5] Franić Z, Petrinec B, Branica G, Marović G, Kubelka D Franić Z. Post-Chernobyl Investigations of Radiocaesium Activity Concentrations in the Adriatic Sea Pilchards. Radiat Protect Dosim 2012;151:314-322.

[6] Portal "Ja trgovac". Sve manji uzgoj slatkovodne ribe. 27.10.2014. Dostupno na: http://www.jatrgovac.com/tag/potrosnja-ribe/

[7] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske (DZS). Statistički ljetopis Republike Hrvatske za godinu 2013. DZS, Zagreb, 2014.

RADIOACTIVE CONTAMINATION OF PILCHARDS AND SPRATS CONSUMED IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Zdenko Franić, Gordana Marović, Gina Branica and Jasminka Senčar
Institute for Medical Research and Occupational Health,
Zagreb, Croatia
zdenko.franic@imi.hr

Radioecological investigations regarding fission products in foodstuffs, in Croatia are implemented as part of an extended and still ongoing radioactive contamination monitoring programme of the human environment. These investigations also include some sea-water fish species. Regarding Adriatic fish, systematically are monitored pilchards (*Sardina pilchardus sardina* (Risso, 1827)).

This paper presents some results regarding investigations of Adriatic pilchards and imported sprats (*Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758)).

Effective radiation doses due to caesium and strontium, received by the adult Croatian population by fish consumption (pilchards and sprats), are estimated to be very low, even though the doses received through imported sprats (~ 39,3 nSv) are eleven times higher than doses received through ingestion of pilchards (~ 3 nSv). In this context, it would be useful to continue or even intensify radioactive monitoring of imported fish.

ESTIMATION OF EFFECTIVE DOSE IN INGESTION OF FOOD CROPS FOR ^{137}Cs

Aleksandra Angeleska, Elizabeta Dimitrieska-Stojkovic, Risto Uzunov, Zehra Hajrulai-Musliu, Biljana Stojanovska-Dimzoska, Dean Jankuloski and Radmila Crceva-Nikolovska
Food Institute, Faculty for Veterinary Medicine
University Ss. Cyril and Methodius, Skopje, Macedonia
mizasandra@fvm.ukim.edu.mk

INTRODUCTION

Radionuclides reach the surface of the soil in a form of solid particles or with the rains, in dissolved or undissolved state. The ones that come in a form of solid particles are mechanically retained on the surface, while the ones that are dissolved with the process of filtration, penetrate the soil and most of them connect to its surface layer. ^{137}Cs reaches the soil in a form that is soluble in water. Hence, after contamination, it has been determined that it is present on the surface layer with 85 %, from 5-10 cm: 12 %, and from 10-15 cm: 3 %. The accumulation of caesium on the ground depends on numerous factors (type of soil), and numerous researches have proved that it is mostly retained in the layer at 10 cm from the surface of the ground, because its penetration rate through the ground is 1-3 cm/g. Still, the speed will depend on the type of ground and the quantity of precipitation [1]. The transfer of ^{137}Cs in the ground is also affected by the form in which it is found. If it is present as part of the anion, the soil will poorly absorb it because it will migrate in plants intensively. This migration ability is also affected by potassium, as well as the stable caesium (their excess slows the migration). According to some data, it has been concluded that ^{137}Cs is mostly fixed on the ground permanently, whereby during the first year of its arrival, it is retained on the surface of the soil, and the speed of its migration according to depth is several cm per year, which is also conditioned by the type and the properties of the soil [2]. The radioactivity in the Earth's crust is transferred in small quantities in the plants that grow in different soils. The intake of ^{137}Cs in plants depends on different factors such as: soil type, texture, pH, conductivity, carbonate and sulphate contents etc. However, the radioactive contamination of the plant organisms is formed with continuous dynamical common action of the atmosphere, the pedosphere and the hydrosphere.

If radioactive surface occurs during the season of growth, the plants will be polluted directly on the leaves. Part of the pollutant will be absorbed through the leaves. The type of dust, i.e. wet or dry sediment, and the form, the structure, the leave surface and the development stage, all determine the contamination rate [3].

It is considered that these factors will lose their relevance as time goes by and the main contamination path will be by intake through the root of the soil [4]. Something that is quite important is that the specificity of ^{137}Cs is such that is acts in the human organism same as potassium, meaning that it is in every cell of the organism, i.e. it is equally distributed in all organs. This element is also the cause for great radiologic risks [5].

The measurement of radioactivity in soil provides information about the natural resources; thereby it is important for the measurement of the radiation dose for the general population and monitoring of radiation. The familiarity with the concentration of the radioactivity of our environment is essential in the assessment of the dose which is accumulated in the population and also for the formation of the basis for assessment of the level of radioactive pollution or environmental pollution in the future.

Taking into consideration the relevance of the distribution and the transfer of radionuclides from the soil to the crops, the objective of this paper was to assess the effective dose in ingestion of separate crops for ^{137}Cs. The effective dose was determined by means of already familiar transfer factors from the soil to the plants and measured concentrations of soil activities from specific locations in the surrounding of the city of Skopje. Agricultural crops that are most commonly used for analysis include vegetables, legumes and root crops in the R. Macedonia.

MATERIAL AND METHOD

In order to assess the effective dose in ingestion of specific crops for ^{137}Cs, primarily data were used from already calculated specific activity of ^{137}Cs for soil samples, taken from different locations in the surrounding of the city of Skopje. Each sample is taken by means of a special dosing container, including 3 - 4 samples according to the recommendations of IAEA [6]. The spectral analysis of the radionuclides of these samples was conducted by applying a spectrometer for γ-rays for high-purity germanium (HPGe) detector with 30 % relative efficiency and energy resolution (FWHM) of 1.8 keV for 1.33 MeV reference transition of ^{60}Co [7]. The effective dose was determined by means of already known transfer factors from the soil to the plants (F_v) and measured activity concentrations of soil

from specific locations in the surrounding of the city of Skopje (A_{ps}). Agricultural crops that are most commonly used for analysis include vegetables, legumes and root crops in the R. Macedonia.

The assessment of effective dose D_{ef} in the human body (Table 1) during ingestion of food products that contain a specific concentration of radionuclides is calculated according to the following equation: [8-10].

$$D_{ef} = \Sigma\,(A_{ps} \times F_v \times I_{af}) \times e \times 1000 \quad [\text{mSv/y}] \qquad (1)$$

where I_{af} is annual ingestion per person and e is the dose coefficient.

RESULTS AND DISCUSSION

The level of radioactive contamination with ^{137}Cs depends on the intensity and the radioactivity, the meteorological, the hydrological, the agrochemical and other factors. In addition, among the separate crops, there are important differences in the sensitivity to ^{137}Cs. The total dose of ^{137}Cs in this research is 0.0051 mSv/year. The assessed effective dose would imply for adults who intake the mentioned quantities that are produced in the mentioned locations, that is, in the region of Skopje.

Table 1. Assessed effective dose by ingestion of separate crops for ^{137}Cs

^{137}Cs						***e* (1.3E-8)** for adults
Location	**Specific activities in soil** (Bq/kg))	**Specific activity in crops** (Bq/kg)				**Assessed effective dose D_{ef}** (mSv/year)
		Grains wheat. wheat products etc.	**Vegetables** tomato. cabbage. peppers. spinach. lettuce etc.	**Legumes** beans. peas. lentils etc.	**Root crops** potato. onion. carrot etc.	
		$F_v = 2.9\times10^{-2}$	$F_v = 6.0\times10^{-1}$	$F_v = 4.0\times10^{-2}$	$F_v = 3.5\times10^{-2}$	
Petrovec	15.21	0.44	9.13	0.61	0.53	0.0060
Belinbegovo	11.98	0.35	7.19	0.48	0.42	0.0048
Aracinovo	18.42	0.53	11.05	0.74	0.64	0.0073
Radisani	18.75	0.54	11.25	0.75	0.66	0.0074
Cucer	18.13	0.53	10.88	0.73	0.63	0.0072
Vizbegovo	11.2	0.32	6.72	0.45	0.39	0.0044
Bardovci	11.43	0.33	6.86	0.46	0.40	0.0045
Saraj	15.39	0.45	9.23	0.62	0.54	0.0061
Nerezi	12.72	0.37	7.63	0.51	0.45	0.0051
Lisice	10.21	0.30	6.13	0.41	0.36	0.0041
Dracevo	7.58	0.22	4.55	0.30	0.27	0.0030
Pintija	8.15	0.24	4.89	0.33	0.29	0.0032
Batinci	10.67	0.31	6.40	0.43	0.37	0.0042
Volkovo	11.06	0.32	6.64	0.44	0.39	0.0044
Mean value	**12.92**	**0.37**	**7.75**	**0.52**	**0.45**	**0.0051**

Highest level of ^{137}Cs was found in the vegetables with mean value of 7.75 Bq/kg while the level is lowest in grains 0.37 Bq/kg. This occurrence is

explained by the fact that most of this radionuclide is retained on the surface part of the soil at a depth of 5 cm, whereby the vegetables have shallower root unlike the root crops and the grains [11]. If comparison is made regarding the accumulation of ^{137}Cs, in terms of its highest accumulation, the data is in accordance with the literature data [12].

Relevant data during the analysis of the transfer factor of ^{137}Cs include also the weather conditions during the year when research has been conducted. Since it was a matter of a dry year without a lot of precipitation, the root system penetrates in greater depths in order to reach moisture, which would imply lower intake of ^{137}Cs. The opposite would have happened under humid conditions because the root system will be shallower and in this manner, most part of the roots will be present in the upper layer where most of the pollutant is located. The intake of ^{137}Cs usually decreases as time goes by. The reduction is particularly noticed in soil with high clay content which is due to the fixation of caesium by clay minerals, still, the numerous organic matters increase caesium intake in the root, however they may also have an opposite effect; the excess of potassium dissolves the caesium ions, which decreases the intake, but that may also cause accumulation of fixed caesium which increases the intake. Hence, the very low quantity of caesium in the current research may be due to the high concentration of ^{40}K. Since ^{137}Cs is a synthetic element, its presence in plants may be dangerous. ^{137}Cs firmly attaches to clay mineral soil which is available for the plant. The cesium absorption rate is inversely proportional to potassium in the soil.

Table 2 shows the average annual intake for adults of separate crops, as well as the aggregate quantities represented by groups which are required for dose assessment.

Table 2. Average annual intake of separate crops for adults

Crops	Wheat (bread) kg	Wheat kg	Tomato kg	Pepper kg	Cabbage kg	Lettuce kg	Spinach kg	Beans kg	Peas kg	Lentils kg	Potato kg	Onion kg	Carrot kg
Average intake for adults	70.1	5.6	13.4	17.0	10.6	1.4	2.1	5.8	1.1	1.4	27.4	7.2	2.9
Groups	**Grains**		**Vegetable**					**Legumes**			**Root crops**		
Aggregate amounts per groups	75.7		44.5					8.3			37.5		

CONCLUSION

The different lifestyle and the different nutrition habits contribute for the differences in the assessment of the effective dose. From the very research and the presented tables, one may perceive that the level of radioactive contamination in different crops is not equal considering the fact that the crops have different TF. From radiological and health point of view, of all analysed crops, the most intensive accumulation of crops is present in vegetables, for all analysed radionuclides. However, the obtained total assessed effective dose is lower than the recommended dose of 1 mSv/year. It is worth mentioning that until recently it was considered that the flora and the fauna are protected if the human is protected.

LITERATURE

[1] Krstić D, Nikezic D, Srevanovic N, Jelic M. Vertical profile of ^{137}Cs in soil. Applied Radiation and Isotopes 2004;61:1487-1492.

[2] Mirković G. Prilog ispitivanja uticaja meteroloških faktora na akutnu radiokontaminaciju različitih zemljišta u BIH u toku 1986-1987. (Enclosure of investigations of the impact of meteorological factors on acute radioactive contamination in different soils in B&H in1986-1987). Master's work.

[3] Andersson I, Bergman R, Enander A, Finck R, Johanson K.J, Nylén T, Preuthun J, Rosén K, Sandstorm B, Svensson K, Ulvsand T. Food production at the fallout of radioactive substances. 2002. SLU, FOI, SSI, SJV, LMV.

[4] Rosén K. Field studies on the behaviour of radiocaesium in agricultural environments after the Chernobyl accident. Ph D Thesis. Report SLU-REK-78, Department of Radioecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 1996.

[5] NCRP, (Nacional Council on Radiation Protection and Measurments), Report No 110, 49. 1991.

[6] Measurement of Radionuclides in Food and the Environment A Guidebook, Technical Reports Series No. 295, 1989.

[7] Verdoya M, Chiozzi P, De Felice P, Pasquale V, Bochiolo M, Genovesi I. Natural gamma-ray spectrometry as a tool for radiation dose and radon hazard modeling. Applied Radiation and Isotopes 2009;67/5:964-968.

[8] Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh water environments. IAEA-Technical Reports Series No.472, 2010.

[9] ICRP 2012– Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60 Ann. ICRP 119.

[10] Household Consumption in the Republic of Macedonia. Statistical review: Incomes, Expenditures and Prices.2013;61-68.

[11] IAEA; The use of Gamma Ray Date to Define the Natural Radiation Environment. IAEA-TECDOC-556, 1990. ISSN 1011-4289.

[12] Foth H D. Fundamentals of soil science. 1978 (John Wiley, New York).

ESTIMATION OF EFFECTIVE DOSE IN INGESTION OF FOOD CROPS FOR ^{137}Cs

Aleksandra Angeleska, Elizabeta Dimitrieska-Stojkovic, Risto Uzunov, Zehra Hajrulai-Musliu, Biljana Stojanovska-Dimzoska, Dean Jankuloski and Radmila Crceva-Nikolovska
Food Institute Faculty for Veterinary Medicine
University Ss. Cyril and Methodius, Skopje, Macedonia
mizasandra@fvm.ukim.edu.mk

The interaction of the ionizing radiation with the human body leads to various biological effects which afterwards can be manifested as clinical symptoms. The nature and the seriousness of the symptoms depend on the absorbed dose, as well as the dose rate, and many diseases which were supposed to be effectively managed if information for the radiation level of an environment was available. The knowledge of the concentration of radioactivity of our environment is of essential relevance in the assessment of the dose that is accumulated in the population, as well as for the formation of the basis for estimation of the level of radioactive contamination or contamination in the environment in future.

Taking into consideration the relevance of the distribution and the transfer of radionuclides from the soil to the crops, this work was aimed to estimate the effective dose in ingestion of separate crops for ^{137}Cs. The effective dose was determined by means of already known transfer factors from the soil to the plants and measured concentrations of activities of soil from specific locations in the surrounding of the city of Skopje. The agricultural crops used for analysis are the most commonly applied crops (vegetables, legumes, root crops) in Republic of Macedonia.

The radiometric analysis of these samples was conducted by applying a spectrometer for γ-rays with Germanium with high purity (HPGe). The estimated effective dose would apply for adults who ingested the mentioned crops which were produced at the mentioned locations, that is, in the region of Skopje.

These data can be the basis for estimation of risk for radioactive contamination of the population, received by ingestion of produced food.

RADIOACTIVITY LEVELS AND GAMMA DOSE RATE IN SOIL SAMPLES FROM FEDERATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

Delveta Deljkić, Irma Kadić, Zorana Ilić and Alfred Vidic
Institute for Public Health of Federation of Bosnia and Herzegovina
Sarajevo, Bosnia and Hercegovina
d.deljkic@zzjzfbih.ba

INTRODUCTION

In this study soil samples were collected from different regions of Federation of Bosnia and Herzegovina and activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs were obtained by using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma-ray spectrometry analysis system at the Institute for Public Health of Federation of Bosnia and Herzegovina (Radiation Protection Center).

It was found that the soil activity concentrations ranges from 24.59 to 161.20 Bq/kg for ^{226}Ra, from 17.60 to 66.45 Bq/kg for ^{232}Th, from 179.50 to 598.04 Bq/kg for ^{40}K and from 11.13 to 108.69 Bq/kg for ^{137}Cs. Findings are in good agreement with the published results of neighbouring areas [1-3]. The absorbed gamma dose rate (*D*) in air and the annual effective dose of soil samples were calculated to be 79.72 nGy/h and 0.15 mSv/y, respectively. All the soil samples have radium equivalent activities lower than the limit set in the OECD report (370 Bq/kg) [4].

The measurements were made within the monitoring of Federation of Bosnia and Herzegovina (FBiH).

MATERIALS AND METHODS

Soil samples were collected during 2009 from 10 locations in FBiH. All soil samples taken from 0 - 15 cm depth were dried up to 105 °C, sieved, placed in plastic 500 cm^3 Marinelli beakers and left for four weeks to reach radioactive equilibrium [5].

The samples were counted using a high purity germanium detector (HPGe) with relative efficiency of 32 % and energy resolution of 1.8 keV for the 1332 keV ^{60}Co peak. The spectra were analyzed using the GENIE program.

The activity of ^{226}Ra and ^{232}Th was determined by their decay products: ^{214}Bi, ^{214}Pb and ^{228}Ac, respectively. The activity of ^{137}Cs was determined from its 662 keV γ - line. The activities of ^{40}K were measured from its 1461 keV γ - line. Counting time interval was 86000 seconds. The background spectrum was recorded immediately after or before the sample counting.

Based on the obtained concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs, radium equivalent activity (Ra_{eq}), gamma dose rate (D) in air, the annual effective dose and external hazard index (H_{ex}) were calculated [6-8].

RESULTS

The results of measurements for soil samples collected at different locations in FB&H are presented in Table 1. The man-made radioisotope ^{137}Cs was identified in all samples and these values are in good agreement with the values obtained in neighbouring countries [1-3]. Radioisotope ^{137}Cs originates from nuclear weapons test fall - out and after 1986, mostly from the accident of the nuclear power plant ″Lenin″ in Chernobyl.

Table 1. Activity concentrations of radionuclides in soil samples at different locations in FBiH

Location	**Activity concentrations of radionuclides** (Bq/kg)			
	^{226}Ra	**^{232}Th**	**^{40}K**	**^{137}Cs**
Sarajevo	33.74	44.75	401.74	39.41
Mostar	161.20	66.45	400.12	60.96
Bihać	88.52	52.39	466.68	48.80
Tuzla	27.17	33.32	434.62	28.43
Livno	112.79	60.15	414.70	75.63
Jajce	24.59	17.60	179.50	83.38
Gradačac	40.11	48.04	444.83	11.13
Sanski Most	59.70	59.10	598.04	36.14
Zenica	37.29	48.57	393.82	22.33
Stolac	38.30	39.30	193.59	108.69
Average	62.34	46.97	392.76	51.49
Min	24.59	17.60	179.50	11.13
Max	161.20	66.45	598.04	108.69
Range	24.59 - 161.20	17.60 - 66.45	179.50 - 598.04	11.13 - 108.69

The values obtained for radium equivalent activity (Ra_{eq}), absorbed gamma dose rate (D) in air, the annual effective dose and external hazard index (H_{ex}) are presented in Table 2. The radium equivalent activity (Ra_{eq}) values for the soil samples varied from 63.58 to 287.03 Bq/kg. These values are lower than 370 Bq/kg, get in the OECD report [4]. The mean absorbed gamma dose in air was calculated as 73.67 nGy/h and it is insignificantly higher than the world average of 57 nGy/h [6]. The calculated values of external hazard index obtained of this study range from 0.17 to 0.78. Since these values are lower than unity, we can say that the radiation hazard is low. The calculated values of annual effective dose range from 0.10 to 0.22 mSv/y, with a mean value of 0.15 mSv/y which is lower than the world average of 0.48 mSv/y [6].

Table 2. Radium equivalent activity (Ra_{eq}), absorbed gamma dose rate (D) in air, the annual effective dose and external hazard index (H_{ex})

Location	$\boldsymbol{Ra_{eq}}$ (Bq/kg)	$\boldsymbol{D}$ (nGy/h)	**Annual effective dose** (mSv/y)	$\boldsymbol{H_{ex}}$
Sarajevo	128.67	59.73	0.13	0.35
Mostar	287.03	131.42	0.22	0.78
Bihać	199.37	92.14	0.17	0.54
Tuzla	108.28	50.93	0.11	0.29
Livno	230.74	105.85	0.20	0.62
Jajce	63.58	29.52	0.10	0.17
Gradačac	14.06	66.23	0.13	0.39
Sanski Most	190.26	88.40	0.16	0.51
Zenica	137.07	63.10	0.13	0.37
Stolac	109.02	49.40	0.13	0.29
Average	159.71	73.67	0.15	0.43
Min	63.58	29.52	0.10	0.17
Max	287.03	131.42	0.22	0.78
Range	63.58 - 287.03	29.52 - 131.42	0.10 - 0.22	0.17 - 0.78

CONCLUSIONS

The present study leads to the following conclusions.

a) Mean values of activity concentration of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs are 62.34; 46.97; 392.76 and 51.49 Bq/kg, respectively. Findings are in good agreement with the published results of neighbouring areas. [1-3].

b) All values obtained for radium equivalent activity are lower than 370 Bq/kg, which are acceptable for safe use as stated by OECD 1979. The calculated values of external hazard index obtained in this study range from 0.17 to 0.78 (all calculated values are lower than unity), which means that the radiation hazard is insignificant for the population living in the investigated area [4].

c) Mean value of absorbed gamma dose rate in air is 73.67 nGy/h, which generates annual effective radiation dose of 0.15 mSv/y. This is much below the limit of 1 mSv/y recommended by the ICRP for general population.

REFERENCES

[1] Janković M, Todorović D, Savanović M. Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska. Radiat Measur 2008;43:1448-52.

[2] Bikit I, Slivka J, Čonkić Lj, Krmar M, Vesković M, Žikić-Todorović N, Varga E, Ćurčić S, Mrđa D. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). J Environ Radioact 2005;78:11-19.

[3] Cesar D, Sokolović E, Kovač J. Radioactivity of soil in Croatia. In: Franić Z, Kubelka D, Eds. Proceedings of the Second Symposium of the Croatian Radiation Protection Association; 23-25 November 1994; Zagreb, Croatia. Zagreb: CRPA; 1994. pp. 107-114.

[4] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials. Report by Group Experts of the OECD Nuclear Energy Agency. Paris, France; 1979.

[5] HASL-300. Procedures Manual, EML, New York, 1983

[6] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. Report of the UNSCEAR to the General Assembly. United Nations, New York, USA; 2000.

[7] Beretka J, Mathew PJ. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. Health Physics 1985;48:87-95.

[8] Yu KN, Guan ZJ, Stokes MJ, Young ECM. The assessment of the natural radiation dose committed to the Hong Kong people. J Environ Radioact 1992;17:31-48.

RADIOACTIVITY LEVELS AND GAMMA DOSE RATE IN SOIL SAMPLES FROM FEDERATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

Delveta Deljkić, Irma Kadić, Zorana Ilić and Alfred Vidic
Institute for Public Health of Federation of Bosnia and Herzegovina,
Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
d.deljkic@zzjzfbih.ba

Activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs in soil samples collected from different regions of Federation of Bosnia and Herzegovina have been measured by gamma-ray spectrometry. The measured activity concentrations for these radionuclides are compared with the reported data from different other countries and it is found that measured activity concentrations are comparable with the worldwide measured average values reported by the UNSCEAR. Experimental results were obtained by using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma - ray spectrometry analysis system at Institute for Public Health FBiH (Radiation Protection Center). The measuring time of all soil samples was 86000 seconds. It was found that the soil specific activity ranges from 24.59 to 161.20 Bq kg^{-1} for ^{226}Ra, from 17.60 to 66.45 Bq kg^{-1} for ^{232}Th, from 179.50 to 598.04 Bq kg^{-1} for ^{40}K and from 11.13 to 108.69 Bq/kg for ^{137}Cs with the mean values of 62.34; 46.97; 392.76 and 51.49 Bq/kg, respectively. The radium equivalent activity in all the soil samples is lower than the safe limit (370 Bq/kg), ranges from 63.58 to 287.03 Bq/kg with the mean value of 159.71 Bq/kg. Man-made radionuclide ^{137}Cs is also present in detectable amount in all soil samples. Presence of ^{137}Cs indicates that the samples in this area also receive some fallout from nuclear accident in Chernobyl power plant in 1986. The value of external radiation hazard indices is found to be less than unity (mean value of 0.43). Absorbed dose rates and effective dose equivalents are also determined for the samples. The concentration of radionuclides found in the soil samples during the present study does not pose any potential health hazard to the general public.

RADON ACTIVITY CONCENTRATION AND ESTIMATE OF THE ANNUAL EFFECTIVE DOSE RATE IN AIR OF MINERAL AND THERMAL SPRINGS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

Amela Kasić, Feriz Adrović, Amira Kasumović and Ema Hankić
Department of Physics, Faculty of Science, University of Tuzla,
Tuzla, Bosnia and Herzegovina
amela.dedic@untz.ba

INTRODUCTION

Natural radioactivity is mainly composed of primordial radionuclides ^{238}U, ^{235}U and ^{232}Th and their descendants. Their descendants reach the atmosphere by diffusion of radioactive gases radon and thoron [1,2].

Radon is a radioactive gas produced by the decay of uranium found in nearly all soils. Decay of ^{238}U produce ^{226}Ra, which also decomposes by alpha-decay and which directly gives ^{222}Rn [3]. An important property of radon is also its solubility in various kinds of liquids and gases, for example in water and natural gas, so that it can be transferred on large distances through soil, and in special cases the concentration radon in comparison to total concentration of air indoors, can be of great importance. Radioactive gas radon, when water is stirred up, is slowly released in closed or open area, which contributes to the total concentration of radon in space [4].

Mineral waters are those that have more than one gram of soluble mineral matters in one liter, which gives them a specific taste and smell. Thermal waters occur more often in nature, since they are coming from the greater depth, and on their way they are heated up by warm rocks and they dissolve minerals. Spas are settlements near thermal wells whose water is used for the medical treatment and tourism purposes [5].

MATERIAL AND METHODS

For measurement of the radon activity concentration in outdoors air we used the AlphaGUARD PQ2000PRO measuring system, with a 10 minute measurement cycle. Measuring range for radon activity concentration of this device is 2 - $2 \cdot 10^6$ Bq/m^3 while the temperature range is from - 10 to 50 °C. The system besides radon simultaneously measures air temperature, atmospheric pressure and relative humidity, that is, those

meteorological parameters which are in the deep correlation with the distribution of radon [6]. During outdoor measurements, near the sources, AlphaGuard was placed immediately next to the sources. Figure 1 shows installation of measuring instruments in the research areas.

Figure1. Placement of the measuring instrument at the research sites, AlphaGuard placed near the source (Voda Ljepotica-Srebrenica)

Based on the results of outdoor radon activity concentration the values of annual effective dose received by the population due to inhalation of radon were estimated using following equation:

$$H_{out} = C_{Rn} \cdot F \cdot T \cdot 0.2 \cdot D \qquad (1)$$

H_{out} is the of annual effective dose (in mSv), C_{Rn} is the outdoor radon activity concentration (in Bq/m^3), F = 0.6 is the ^{222}Rn equilibrium factor outdoors, T = 8760 h per year, 0.2 is the outdoor occupancy factor and D is the dose conversion factor (9 nSv/h per Bq/m^3).

RESULTS

Experimental results of the measurement of radon activity concentration in the air outdoors at the investigated sites near mineral and thermal springs in Bosnia and Herzegovina, which were obtained by AlphaGUARD system, are shown in Table 1. Measurements were taken at the following locations: Slatina Spa, Reumal Spa, Mali Guber, Očna Voda, Voda Ljepotica, Terme, Bazeni Slavinovići, Toplice, Muška Voda, Voda Miladije, Petrak, Princess, Kiseljak Teslić, Kiseljak Kozluk, Kiseljak Husino, Panonika Tuzla, Sarajevski Kiseljak, Kiseljak Dubnica.

The highest value was in the location of Očna Voda (67 ± 19) Bq/m^3 (No. 4, Table 1, Figure 2), and the lowest at the site Kiseljak, Husino (11 ±

7) Bq/m^3 (No. 15, Table 1, Figure 2). The conditions that favor the accumulation of radium from which by the alpha decay becomes radon, for the mineral water are elevated mineralization, increased acidity, increased content as well as the presence of chemical analogues of radium, for example calcium.

Table 1. Radon activity concentration outdoors beside the investigated mineral and thermal springs in Bosnia and Herzegovina

No.	**Locality**	**Place of measurements**	**Measurement values of outdoor radon activity concentration** (Bq/m^3)		
			max	**mean**	**min**
1.	Slatina Spa	spring	59 ± 26	33 ± 14	14 ± 16
2.	Reumal Spa	spring	14 ± 6	10 ± 5	4 ± 3
3.	Mali Guber	spring	53 ± 17	24 ± 10	9 ± 8
4.	Očna Voda	spring	67 ± 19	37 ± 12	53 ± 16
5.	Voda Ljepotica	spring	26 ± 10	21 ± 8	15 ± 7
6.	Terme	swimming pool	19 ± 8	12 ± 6	7 ± 4
7.	Bazeni Slavinovići	swimming pool	22 ± 6	11 ± 5	4 ± 3
8.	Toplice	spring	57 ± 15	35 ± 12	9 ± 5
9.	Muška Voda	spring	12 ± 6	8 ± 5	4 ± 3
10.	Voda Miladije	spring	19 ± 8	12 ± 6	7 ± 4
11.	Petrak	spring	39 ± 13	21 ± 8	13 ± 6
12.	Princess	spring	35 ± 12	24 ± 9	11 ± 6
13.	Kiseljak, Teslić	spring	11 ± 6	7 ± 4	4 ± 3
14.	Kiseljak, Kozluk	spring	36 ± 12	25 ± 9	13 ± 6
15.	Kiseljak,Husino	spring	11 ± 6	7 ± 4	4 ± 3
16.	Panonika, Tuzla	spring	19 ± 8	12 ± 7	4 ± 3
17.	Sarajevski Kiseljak	spring	16 ± 7	10 ± 5	7 ± 4
18.	Kiseljak, Dubnica	spring	59 ± 18	32 ± 11	4 ± 3

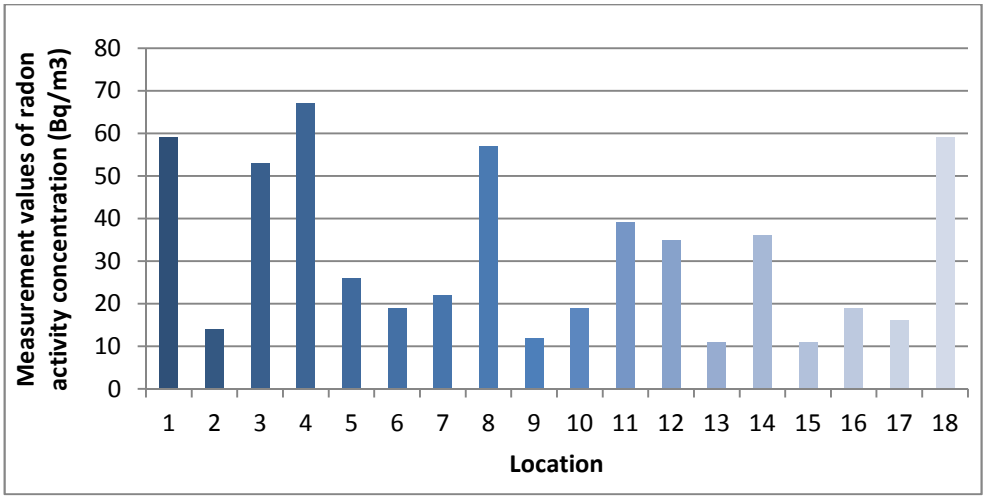


Figure 2. The values of the radon activity concentration outdoors on the investigated localities

Table 2. The estimated annual effective dose, beside the investigated mineral and thermal springs in Bosnia and Herzegovina

No.	Locality	Place of measurements	H_{out} (mSv)
1.	Slatina Spa	spring	0.31
2.	Reumal Spa	spring	0.09
3.	Mali Guber	spring	0.22
4.	Očna Voda	spring	0.35
5.	Voda Ljepotica	spring	0.19
6.	Terme	swimming pool	0.06
7.	Bazeni Slavinovići	swimming pool	0.05
8.	Toplice	spring	0.33
9.	Muška Voda	spring	0.07
10.	Voda Miladije	spring	0.11
11.	Petrak	spring	0.19
12.	Princess	spring	0.22
13.	Kiseljak, Teslić	spring	0.06
14.	Kiseljak, Kozluk	spring	0.23
15.	Kiseljak,Husino	spring	0.06
16.	Panonika, Tuzla	spring	0.02
17.	Sarajevski Kiseljak	spring	0.09
18.	Kiseljak, Dubnica	spring	0.30

The annual effective dose was calculated on the basis of maximum radon activity concentration, shown in Table 1. According to UNSCEAR report (2000) the annual effective dose for inhalation of radon outdoors is 0.095 mSv, if the assessment takes into account that the average activity concentration in the air is 10 Bq/m^3.The calculated annual efective doses are in the range of (0.02 - 0.35) mSv/y, with the mean value of 0.16 mSv/y. The highest value is at the site of Očna Voda, Srebrenica, with a value of 0.35 mSv/y (No. 4, Table 2), the lowest on the site of Panonika lakes, Tuzla 0.02 mSv/y (No. 16, Table 2).Očna Voda contains the different minerals such as iron, copper, cobalt, nickel. But the main content of this water is a ferrous iron. Očna Voda helps with a various eye diseases and significantly improves eyesight.

CONCLUSION

The presented results show the radon activity concentration and estimated annual effective dose in the air outdoors at the investigated localities of Bosnia and Herzegovina. The highest value of radon activity concentration was 57 Bq/m^3. The radon activity concentration differ widely at the surveyed sites. The differences are possibly due to different depths origins and pathways of the outflowing water. This paper presents a very important information for visitors of these mineral and thermal springs in Bosnia and Herzegovina. These measurements present the first measurements of outdoors radon activity concentration beside the mineral and thermal springs in Bosnia and Herzegovina with the AlphaGUARD measuring system.

REFERENCES

[1] Jevtić M, Vesković M, Mirosavljev M, Bikit I, Čonkić Lj. Značaj istraživanja izloženosti stanovništva radonu i njegovim potomcima. Med Pregl 2001;54:140-145.

[2] Cortes G, Sempau J, Ortega X. Automated measurement of radon daughters Bi-214 and Pb-214 in rainwater. Nukleonika 2001;46:161-164.

[3] Khalifa NA. Natural Radioactivity of Ground and Drinking Water in Some Areas of Upper Egypt. Turk J Eng Env Sci 2004;28:345-354.

[4] Sabol J, Weng P. S. Introduction to radiation protection dosimetry, World Scientific Publishing, 1995. ISBN 981-02-2116-9.

[5] Dragišić V. Osnovi hidrogeologije, Mineralne vode, http://www.rgf.bg.ac.yu

[6] AlphaGUARD, Portable Radon Monitor, User manual, Genitron Instruments Germany

RADON ACTIVITY CONCENTRATION AND ESTIMATE OF THE ANNUAL EFFECTIVE DOSE RATE IN AIR OF MINERAL AND THERMAL SPRINGS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

Amela Kasić, Feriz Adrović, Amira Kasumović and Ema Hankić
Department of Physics, Faculty of Science, University of Tuzla,
Tuzla, Bosnia and Herzegovina
amela.dedic@untz.ba

Radon, a natural radioactive gas, takes an importmant part in public exposure. Radon is a colorless, odorless and chemically inert gas. It is generated through the disintegration of the ^{238}U series. Its parent nucleus ^{226}Ra is present in soil, waters and rocks. Radon and its radioactive progenies are recognized as the main source of public exposure from the natural radioactivity.

In general, the concentration of radon depends on four factors: nature of the source, power of emanation, transport properties of the medium and dispersion properties of the environment. Due to its relatively long half - life (3.82 days), radon can stay relatively long in the atmosphere before it decomposes. Radon and its progenies are very important from radiation protection point of view.

In this paper are presented the results of radon activity concentration and estimate of the annual effective dose rate in air of mineral and thermal springs of Bosnia and Herzegovina. Measurements were taken at the following locations: Slatina Spa, Reumal Spa, Mali Guber, Očna Voda, Voda Ljepotica, Terme, Bazeni Slavinovići, Toplice, Muška Voda, Voda Miladije, Petrak, Princess, Kiseljak Teslić, Kiseljak Kozluk, Kiseljak Husino, Panonika Tuzla, Sarajevski Kiseljak, Kiseljak Dubnica.

Radon activity concentration at outdoor speces of the surveyed mineral and thermal sources was in the interval of 11-67 Bq/m^3. The annual effective dose for radon outdoors, was in the interval of 0.02-0.35 mSv/y.

The measurements where being done by AlphaGUARD radon portable measuring system.

MJERENJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U PREDŠKOLSKIM I ŠKOLSKIM USTANOVAMA NA PODRUČJU OPĆINE BOSANSKA KRUPA

Irma Kadić, Delveta Deljkić i Zorana Ilić
Zavod za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine,
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
i.kadic@zzjzfbih.ba

UVOD

Udisanje kratkoživućih produkata raspada radioaktivnog gasa radona čini oko 50 % efektivne ekvivalentne doze koju čovjek prima od svih prirodnih izvora zračenja [1]. Te doze pod određenim uslovima mogu biti drastično prevaziđene i onda su opasne po zdravlje ljudi [2].

Izlaganje stanovništva visokim koncentracijama uslijed udisanja gasa radona, kao i unošenje velikih koncentracija aerosola kratkoživućih produkata raspada radona, dovodi do ozračivanja prvenstveno organa za disanje, koje može prouzrokovati rak. Smatra se da je radon, poslije pušenja, drugi najveći uzročnik raka pluća. U mnogim razvijenim zemljama svijeta pokrenuti su veliki nacionalni projekti koji obuhvataju mjerenja koncentracije aktivnosti radona i njegovih produkata raspada u stambenim i radnim prostorima, gdje čovjek prosječno provodi oko 80 % svoga vremena.

Radon je radioaktivan, plemenit gas, hemijski inertan i pokretan na sobnoj temperaturi. To je bezbojan gas, bez mirisa, ali svojstvo radio-aktivnosti omogućava da se detektuje i mjeri dvjema tehnikama - pasivnom i aktivnom. U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu zatvorenog prostora u predškolskim i školskim ustanovama na području općine Bosanska Krupa. Za određivanje koncentracije aktivnosti radona korištena je pasivna metoda mjerenja.

Mjerenja su vršena na visokorezolucijskom gama spektrometru Ortec relativne efikasnosti 30 % sa inegrisanim elektroničkim sistemom (Ortec) i software-om za obradu spektara, analizu i evaluaciju rezultata mjerenja GAMMA VISION (Ortec). Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona kretale su se od 25 Bq/m^3 do 831 Bq/m^3.

Cilj rada je bio da se detektuju nivoi radona, u cilju zaštite najmlađe populacije u slučaju visokih koncentracija aktivnosti radona u boravišnim prostorijama.

MATERIJAL I METODE

Istraživanja su vršena u zatvorenim prostorijama (podrumi, učionice, kabineti, prostorije za spavanje, prostorije za radno osoblje kao i prostorije predviđene za dnevni boravak u vrtiću) predškolskih i školskih ustanova na području općine Bosanska Krupa u aprilu 2013. godine. Da bi se u prostorijama u kojima se mjerila koncentracija aktivnosti radona uspostavila ravnoteža između radona i njegovih produkata raspada, svaka prostorija se držala zatvorena najmanje 12 sati prije početka mjerenja kao i u toku samog procesa mjerenja.

Korištena je pasivna metoda mjerenja koncentracije aktivnosti radona – kanisteri sa aktivnim ugljem. Radon iz vazduha difuzijom dospijeva u kanister i adsorbuje se na aktivnom uglju, koji ima visok afinitet prema nekoliko gasova i para, uključujući i ^{222}Rn. Radon adsorbovan u granulama aktivnog uglja raspada se na kratkoživuće potomke: ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po i ^{210}Pb. Radonovi potomci ^{214}Pb i ^{214}Bi emituju gama zračenje, što omogućava određivanje koncentracije aktivnosti radona gama-spektrometrijski preko navedenih prelaza, jer se već nakon tri sata uspostavi sekularna ravnoteža radona i potomaka.

Mjerenja su vršena na visokorezolucijskom gama spektrometru Ortec relativne efikasnosti 30 % sa inegrisanim elektroničkim sistemom (Ortec) i software-om za obradu spektara, analizu i evaluaciju rezulata mjerenja GAMMA VISION (Ortec).

Kanisteri sa aktivnim ugljem, prije postavljanja na unaprijed utvrđenim mjestima, su kondicionirani za uzorkovanje i kasnije mjerenje. Za samu pripremu, rad i dalje mjerenje korištena je preporuka Međunarodne agencije za zaštitu okoliša [3]. Vrijeme eksponiranja svih kanistera je bilo 48 sati.

Sveobuhvatna analiza je izvršena u laboratoriji Centra za zaštitu od zračenja Zavoda za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine u Sarajevu.

REZULTATI

Za određivanje koncentracije aktivnosti radona korištene su dvije energetske linije u gama spektru i to 352 keV (^{214}Pb) i 609 keV (^{214}Bi). Vrijeme snimanja spektra bilo je dva sata, a u slučajevima visoke koncentracije aktivnosti radona bilo je i kraće. Za proračun korištena je preporučena metoda Međunarodne agencije za zaštitu okoliša [3]. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu prostorija predškolskih i školskih ustanova prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati mjerenja koncentracije aktivnosti radona u predškolskim i školskim ustanovama na području općine Bosanska Krupa

Period uzorkovanja: **08.04.2013. - 10.04.2013.**		
Redni broj kanistera	**Lokacija**	**Aktivnost ^{222}Rn** (Bq/m^3)
1	PRVA OSNOVNA ŠKOLA BOSANSKA KRUPA - Kabinet K3, Prizemlje	151 ± 9
2	PRVA OSNOVNA ŠKOLA BOSANSKA KRUPA - Prvačići, Prizemlje	100 ± 6
3	PRVA OSNOVNA ŠKOLA BOSANSKA KRUPA - Likovno/Muzičko, Prizemlje	209 ± 13
4	OPĆA GIMNAZIJA BOSANSKA KRUPA - Zbornica, Sprat I	70 ± 4
5	OPĆA GIMNAZIJA BOSANSKA KRUPA - Kabinet njemačkog jezika, Prizemlje	106 ± 6
6	OPĆA GIMNAZIJA BOSANSKA KRUPA - Učionica II5, Prizemlje	76 ± 5
7	SREDNJA MJEŠOVITA ŠKOLA "SAFET KRUPIĆ" - Učionica 1AM/ZV, Prizemlje	25 ± 2
8	SREDNJA MJEŠOVITA ŠKOLA "SAFET KRUPIĆ"- Učionica II MT PC NC, Prizemlje	33 ± 2
9	JASLICE - Sprat I	348 ± 21
10	JASLICE - Sprat II	295 ± 18
11	KANCELARIJA VRTIĆ - Direktor, Sprat I	163 ± 10
12	IGRAONICA KLACKALICA -Sprat I	318 ± 19
13	IGRAONICA TRAMPOLINA - Sprat I	262 ± 16
14	SOBA ZA RADNO OSOBLJE - Sprat I	190 ± 11
15	ČETVRTA SOBA, IGRAONICA - Prizemlje	270 ± 16
16	STARIJA ODGOJNA GRUPA - Prizemlje	206 ± 12
17	HOL VRTIĆA - Prizemlje	211 ± 13
18	LEPTIRIĆ - Spavaona, Sprat I	169 ± 10
19	JASLICE - Prizemlje	160 ± 10
20	KANCELARIJA - Sekretar, Sprat I	102 ± 6
21	SOBA ZA RADNO OSOBLJE - Prizemlje	80 ± 5
22	KUHINJA - Prizemlje	360 ± 22
23	TRPEZARIJA, - Prizemlje	182 ± 11
24	STARIJA GRUPA, TOALET - Prizemlje	831 ± 50
25	MAGACIN - Podrum	250 ± 15

Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona kretale su se od minimalnih 25 Bq/m^3 do maksimalnih 831 Bq/m^3. Dobivene vrijednosti mogu se smatrati dosta visokim u odnosu na referentne nivoe koje preporučuju Svjetska zdravstvena organizacija (100 Bq/m^3) kao i Međunarodna agencija za zaštitu okoliša (150 Bq/m^3) [3,4].

ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada bila je detekcija koncentracije aktivnosti radona u predškolskim i školskim ustanovama. Ovo su ujedno i prva mjerenja koncentracije aktivnosti radona na području općine Bosanska Krupa. Ovakva istraživanja treba uvijek raditi i prije konstrukcije novih objekata, da bi se spriječila njihova gradnja na mjestima sa kojih bi radon iz zemlje mogao da prodre u potencijalno velikim koncentracijama.

Predškolski objekat - "vrtić Bosanska Krupa" bio je od posebnog interesa jer se nalazi u užem jezgru grada. Mjerenja u ovom objektu vršena su u svim prostorijama. Maksimalna koncentracija aktivnosti radona iznosila je 831 Bq/m^3. Ovako visoka vrijednost bila je razlog da se ovom objektu obezbijede sredstva za građevinsku rekonstrukciju prostora i uvođenje dodatnih mjera (prozračivanje, ventilacija) u cilju smanjenja koncentracije aktivnosti radona. Samim tim su se stvorili uslovi da najkritičnija populaciona grupa boravi u prostoru bitno smanjenog rizika po zdravlje. Ovim su ujedno stvoreni i preduslovi za buduća istraživanja koja Zavod za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine planira provoditi.

Bosna i Hercegovina nema zakonsku regulativu vezanu za radon. Međutim, ova istraživanja mogu biti podsticaj i prvi korak ka zakonskom regulisanju ovog segmenta u našoj zemlji, kao i uvođenju obaveznog mjerenja koncentracije aktivnosti radona, a u cilju smanjenja rizika po zdravlje stanovništva.

LITERATURA

[1] UNSCEAR: Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation. New York, 2000.

[2] NRC (National Research Council), Committee on Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI) and Commission on Live Sciences, Health Effects of Exposure to Radon.

[3] U.S. Environmental Protection Agency. National Residential Radon Survey: Summary Report. EPA-402-R-92-0004.1992.

[4] WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organisation.

RADON MEASUREMENTS IN PRESCHOOL AND SCHOOL FACILITIES IN THE MUNICIPALITY OF BOSANSKA KRUPA

Irma Kadić, Delveta Deljkić and Zorana Ilić
Institute for Public Health of Federation of Bosnia and Herzegovina
Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
i.kadic@zzjzfbih.ba

Radon is a radioactive noble gas, chemically inert and motile at room temperature. It is a colorless and odorless gas, but the characteristic of radioactivity enables us to detect it and measure it by two methods - the passive and the active one. The results of a research on concentration of radon activity in the air of preschool's and school's indoors in the area of the municipality of Bosanska Krupa in 2013 is shown in this work. To determine radon concentration, passive measuring method was used, canisters of radon with active carbon, with correction for the air humidity. The active carbon is placed into a canister that is opened during measurements and placed on the wanted location. Radon from the air arrives into the canister and is adsorbed on the active carbon which has high affinity towards few gases and steams, including ^{222}Rn. Adsorbed radon in granules of active carbon is decomposed to short-living progeny: ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po and ^{210}Pb. Radon's progeny ^{214}Pb and ^{214}Bi emit gamma-rays, it permits determination of the radon concentration via gamma-spectrometry through mentioned transitions, because three hours later the equilibrium between radon and its progeny in the carbon has already been established. The measurements have been conducted on high-resolution gamma spectrometer Ortec with 30 % relative efficiency, integrated electronic system (Ortec) and GAMMA VISION (Ortec) software for spectra processing, analysis and evaluation of the results of measurements. The purpose of this work was to detect the levels of radon, targeting the protection of the youngest population in case of high radon concentrations in residential areas.

KONCENTRACIJE RADONA U ŠKOLAMA I VRTIĆIMA U LIČKO - SENJSKOJ I KARLOVAČKOJ ŽUPANIJI

Vanja Radolić, Denis Stanić, Igor Miklavčić, Marina Poje, Matko Mužević, Ivana Krpan i Branko Vuković
Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek
vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon (^{222}Rn) je plemeniti, radioaktivni plin koji nastaje radioaktivnim raspadom radija (^{226}Ra) uz emisiju alfa čestice. Poznato je da radon i njegovi kratkoživući potomci daju najveći doprinos efektivnoj dozi koju stanovništvo primi od prirodnih izvora zračenja [1]. Dugotrajna ekspozicija visokim razinama radona povećava rizik nastanka karcinoma pluća. Nedavna epidemiološka istraživanja sumirana u [2] pokazala su da rizik od radona postoji i pri vrijednostima za koje se ranije smatralo da je zanemariv. Tako je povećanje koncentracije radona za 100 Bq m^{-3} povezano s približno 16 % -tnim povećanjem vjerojatnosti incidencije karcinoma pluća [3]. Pritom je rizik od nastanka karcinoma pluća viši za djecu nego za odrasle [2,4]. S obzirom da djeca veći dio vremena osim u kući provedu u vrtiću odnosno školi, mnoge zemlje su provele sustavna mjerenja radona u vrtićima i školama s različitim ciljevima kako na nacionalnoj razini tako i unutar radonski interesantnih područja [5]. U Hrvatskoj je prije 20-tak godina mjeren radon u nekim vrtićima i školama u Osijeku i Zagrebu [6-8]. U ovom su radu prikazani rezultati mjerenja radona u vrtićima i školama Ličko-senjske (L-S) i Karlovačke (KA) županije koja su izvedena u sklopu redovnog programa praćenja stanja radionuklida u okolišu RH u koordinaciji s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS).

MATERIJAL I METODE

Mjerenje koncentracije radona u zraku u vrtićima i školama izvedeno je pasivnom metodom s odvojivim (engl. *strippable*) detektorima nuklearnih tragova LR - 115 tip II (proizvođač: Kodak - Pathé, Francuska). Cilindrični plastični nosač detektora, RadonOS-Z (posuda promjera 11 cm i visine 7 cm), prekriven je na vrhu filtar papirom površinske gustoće 0,078 kg m^{-2}. Unutar nosača, se nalazi jedan film LR - 115 tip II, veličine 3 × 3 cm^2, koji

služi kao difuzni detektor. Drugi je film pričvršćen na vanjsku stjenku plastičnog nosača i služi kao otvoreni detektor. Pritom, difuzni detektor bilježi samo tragove alfa čestica emitirane od radona, dok otvoreni detektor bilježi ukupan broj alfa čestica koje potječu i od radona i od njegovih kratkoživućih potomaka. Ova metoda s dva detektora omogućava i određivanje ravnotežnog faktora, *F* između radona i njegovih kratkoživućih potomaka u zraku, kao i bolju procjenu primljene radonske doze zračenja [9]. Nakon izlaganja, detektori su kemijski obrađeni (jetkani) u 10 % vodenoj otopini NaOH na 50 ºC u trajanju od 150 minuta, a potom su tragovi brojani pomoću brojača iskri, AIST - 2V (proizvođač: V. Khlopkin Radium Institute, Sankt Petersburg, Rusija).

Koeficijent osjetljivosti, *K* određen je kalibracijom filmova u radonskoj komori PTP BEV (Physikalisch - technischer Prüfdienst pri Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Beč, Austrija) te u bivšoj radonskoj komori Zavoda za fiziku Pedagoškog fakulteta Sveučilišta u Osijeku. Za odvojive LR - 115 II filmove iznosi: $K = 65 \pm 23$ Bq m^{-3} / tr cm^{-2} d^{-1}.

U školama i vrtićima u L-S i KA županiji detektori su izlagani godinu dana u razdoblju od rujna 2012. do svibnja 2014., a najčešće su postavljeni u prizemlju (90 % svih detektora) u učionicama i uredima na 2 m visine. Broj i raspodjela detektora u školama je uvelike ovisila o rasporedu učionica, dok su u vrtićima detektori postavljeni u svim odgojnim skupinama.

REZULTATI

Broj postavljenih detektora u vrtićima i školama L-S i KA županije i statistička analiza dobivenih rezultata prikazana je u Tablici 1. U 10 vrtića u L - S županiji postavljen je 41 detektor (4,1 u prosjeku po vrtiću), dok je u 26 škola postavljeno 134 detektora (5,2 detektora po školi). U KA županiji je u prosjeku postavljeno 5,5 detektora u svaki vrtić (88 detektora u 17 vrtića), a 4,4 detektora u škole (334 detektora u 73 škole).

Prosječna koncentracija radona u vrtićima i školama L-S županije iznosi 318 odnosno 317 Bq m^{-3}, a u Karlovačkoj županiji 228 odnosno 304 Bq m^{-3}. U 30 % vrtića i škola, prosječne vrijednosti koncentracije radona premašuju preporučenu referentnu vrijednost za radna mjesta od 300 Bq m^{-3} (što odgovara primljenoj dozi od 6 mSv) iz EU BSS [10] koja se tek treba implementirati u hrvatski pravni okvir. Nadalje, postoje tri škole u KA županiji (Prva osnovna škola u Ogulinu, OŠ Slunj, OŠ Generalski Stol) u kojima je prosječna vrijednost koncentracije radona viša od 1000 Bq m^{-3}, što je vrijednost pri kojoj se u Hrvatskoj preporuča poduzimanje

intervencijskih mjera [11]. Također, postoje prostorije unutar vrtića i škola u kojima su koncentracije radona više od 1000 Bq m^{-3}. Takvih je u vrtićima L-S županije 2,5 %, a 2,4 % u KA županiji. U školama L-S županije je u 4 % izmjerenih prostorija koncentracija radona bila viša od 1000 Bq m^{-3}, a u Karlovačkoj županiji u čak 7 % izmjerenih učionica i ureda.

Tablica 1. Skupni rezultati mjerenja radona u vrtićima i školama Ličko-senjske i Karlovačke županije.

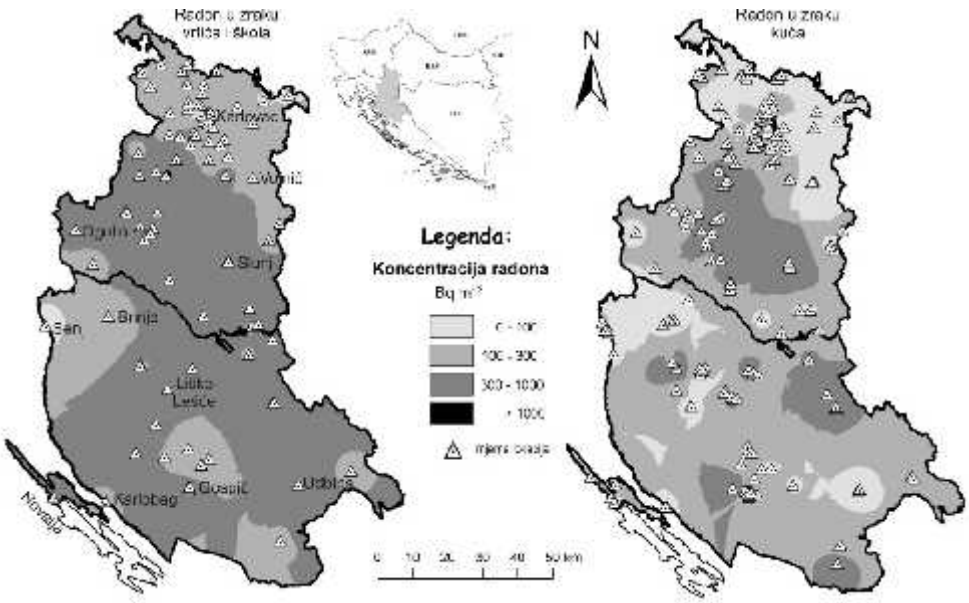
Županija	**Ličko - senjska**		**Karlovačka**	
	Vrtići	*Škole*	*Vrtići*	*Škole*
Broj lokacija	10	26	17	73
Broj postavljenih detektora	41	134	88	334
Broj prikupljenih detektora	39	123	82	285
Postotak izgubljenih detektora	4,9 %	8,2 %	6,8 %	14,7 %
AM / Bq m^{-3}	**318**	**317**	**228**	**304**
SD / Bq m^{-3}	296	300	271	367
Medijan / Bq m^{-3}	199	220	107	159
GM / Bq m^{-3}	**217**	**200**	**132**	**180**
GSD	2,4	2,8	2,7	2,7
MIN - MAX / Bq m^{-3}	**57-1078**	**15-1492**	**27-1125**	**27-1738**
Postotak vrtića i škola kojima je srednja koncentracija radona				
<100 Bq m^{-3}	23,8 %			
100 - 300 Bq m^{-3}	46,0 %			
300 - 1000 Bq m^{-3}	27,8 %			
>1000 Bq m^{-3}	2,4 %			

Usporedba dobivenih rezultata s prijašnjim mjerenjima u vrtićima [7] i školama u Osijeku i okolici [8] odnosno u Zagrebu [6] pokazuje da su prosječne koncentracije radona 3 do 5 puta više u L-S i KA županiji nego u navedenim gradovima što otprilike odgovara i omjeru radonskih koncentracija u kućama [12]. Jedan od razloga leži i u činjenici da u ranijim mjerenjima detektori nisu izlagani godinu dana, a nije rađena sezonska korekcija rezultata.

Na Slici 1, prikazan je zemljovid ove dvije županije s lokacijama mjerenja radona u vrtićima i školama, ali i zemljovid koncentracije radona u kućama [13]. Sivim nijansama obojena su područja predviđene koncentracije radona tehnikom determinističke prostorne interpolacije - inverzne udaljenosti (engl. *Inverse Distance Weighting*). Ova metoda

procjenjuje vrijednosti u nekoj točki prema utjecaju svake mjerne lokacije i to obrnuto proporcionalno njezinoj udaljenosti od lokacije. U obje županije su identificirana područja s povišenom koncentracijom radona kako u školama i vrtićima tako i u kućama i to u naseljima: Korenica, Ličko Lešće, Generalski Stol, Slunj, Ogulin.

Predlaže se da se u tim naseljima, odnosno općinama/gradovima, u dogovoru s lokalnom upravom, ponove mjerenja prvenstveno u vrtićima i školama, a onda i u kućama.



Slika 1. Prostorna raspodjela koncentracija radona u vrtićima i školama te kućama u Ličko-senjskoj i Karlovačkoj županiji.

Zahvala

Rad je načinjen u okviru DZRNS projekta „Mjerenje radona u kućama, školama i vrtićima Ličko-senjske i Karlovačke županije“ te se autori zahvaljuju DZRNS-u na financijskoj potpori.

LITERATURA

[1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionising Radiation. Volume I: Sources. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with scientific annexes. United Nations, New York. 2000.

[2] World Health Organization (WHO). WHO Handbook on indoor radon: A public health perspective. WHO, Geneva. 2009.
[3] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann H-E, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. Brit Med J 2005;330:223-226.
[4] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press, ICRP Publication 65. 1994.
[5] Vaupotič J. Radon in kindergartens in schools: A review, Chapter 22 In: Li Z, Feng C, Eds. Handbook of Radon: Properties, Applications and Health, Nova Science Publishers, Inc., New York, 477-523; 2012. ISBN 978-1-62100-177-5 (hardcover).
[6] Lokobauer N, Senčar J, Franić Z, Bauman A, Erceg J, Gajer-Pjacun Đ. Radon u dječjim vrtićima, školama i pripadajućim skloništima na području Zagreba. U: Zbornik radova Prvog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 24-26. studeni 1992; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 1992. str. 321-326.
[7] Planinić J, Kobal I, Vaupotič J. Radon concentrations in kindergartens of Osijek and Ljubljana, J Radioanal Nucl Chem 1993;175:103-111.
[8] Planinić J, Šmit G, Šuveljak B, Vuković B, Radolić V. Radon in schools and dwellings of Osijek, J Radioanal Nucl Chem 1995;191:45-51.
[9] Planinić J, Radolić V, Faj Z, Šuveljak B. Radon equilibrium factor and aerosols, Nucl Instrum Methods Phys Res A, 1997;396:414-417.
[10] Council directive 2013/59/EURATOM of laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Office Journal of the European Union, 5 December 2013; L13: 1-73.
[11] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Pravilnik o granicama ozračenja, NN59/13, članak 22., str. 7.
[12] Radolić V, Vuković B, Stanić D, Katić M, Faj Z, Šuveljak B, Lukačević I, Faj D, Lukić M, Planinić J. National survey of indoor radon levels in Croatia, J Radioanal Nucl Chem 2006;269:87-90.
[13] Radolić V Miklavčić I, Stanić D, Poje M, Krpan I, Mužević M, Petrinec B, Vuković B. Identification and mapping of radon-prone areas in Croatia - preliminary results for Lika-Senj and the southern part of Karlovac Counties, Radiat Prot Dosim 2014;162:29-33.

CONCENTRATIONS OF RADON IN KINDERGARTENS AND SCHOOLS IN LIKA - SENJ AND KARLOVAC COUNTIES

Vanja Radolić, Denis Stanić, Igor Miklavčić, Marina Poje, Matko Mužević, Ivana Krpan and Branko Vuković
Department of Physics, University of Osijek, Osijek, Croatia
vanja@fizika.unios.hr

Measurements of radon concentrations in schools and kindergartens were performed by means of passive, strippable, nuclear track etched detectors LR - 115 type II (Kodak - Pathé, France). The detectors are paired in the way that one detector (open detector), placed on the circumferential side of the plastic detector vessel, registers total number of alpha particles from radon and its short-lived progenies. At the same time, the other detector (diffusion detector) is placed inside the vessel and it registers only alpha particles emitted by radon.

The average radon concentrations in kindergartens and schools of Lika-Senj County are 318 and 317 Bq m^{-3} while for Karlovac County they are 228 and 304 Bq m^{-3} respectively. Moreover, there are three schools in Karlovac County with the average radon concentration higher than 1000 Bq m^{-3}, which represents the action level for intervention measures in Croatia. Even more, there are 2.5 % of rooms in kindergartens and 4 % of rooms in schools in Lika - Senj County with measured radon concentrations higher than 1000 Bq m^{-3}. In Karlovac County there are 2.4 % of such rooms in kindergartens and 7 % in schools.

Maps of spatial distribution of indoor radon concentrations for homes as well as for kindergartens and schools were created by using the Inverse Distance Weighting interpolation method. This is one of the useful methods for identifying radon prone areas.

The authors propose a repetition of measurements in those kindergartens, schools and homes with higher radon concentrations in coordination with the local government.

MJERENJE RADONA NA SVEUČILIŠTU U OSIJEKU I VELEUČILIŠTIMA U SLAVONIJI

Denis Stanić, Vanja Radolić, Marina Poje, Igor Miklavčić, Matko Mužević, Ivana Krpan, Ana Pavlačić i Branko Vuković
Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek
dstanic@fizika.unios.hr

UVOD

Radon (^{222}Rn) je plemeniti radioaktivni plin koji nastaje alfa raspadom radija (^{226}Ra) koji se nalazi uglavnom u tlu i građevinskom materijalu. Radon difundira u atmosferu i sa svojim kratkoživućim potomcima predstavlja najvažniji izvor prirodnog zračenja u zraku. Dulje ekspozicije radonu i njegovim potomcima, alfa emiterima, povećavaju rizik za pojavu plućnog karcinoma među populacijom koja boravi u prostorima s povećanom razinom radona [1]. Istraživanje najosjetljivijeg dijela populacije (djece predškolske i školske dobi) obavljeno je ranije mjerenjem koncentracije radona u vrtićima i školama grada Osijeka [2,3]. U ovom radu istražujemo doze koje prime studenti i djelatnici Sveučilišta u Osijeku i veleučilišta u Slavoniji.

MATERIJAL I METODE

Koncentraciju radona u zraku mjerili smo pasivnom metodom, razvijenom na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Osijeku, korištenjem odvojivih (engl. strippable) detektora nuklearnih tragova LR-115 tip II (proizvođač Kodak-Pathé, Francuska). Detektori se postavljaju na nosač detektora RadonOS-Z (cilindrična plastična posuda promjera 11 cm i visine 7 cm), koji je s gornje strane prekriven filtar papirom površinske gustoće 0,078 kg m^{-2}. Jedan film LR-115 tip II, veličine 3 × 3 cm^2, postavlja se unutar nosača i služi kao difuzni detektor. Drugi film pričvršćen je na vanjsku stjenku nosača detektora i služi kao otvoreni detektor. Ovi filmovi izloženi su različitim atmosferama i stoga prikupljaju različite podatke. Tako otvoreni detektor bilježi ukupan broj alfa čestica koje potječu i od radona i od njegovih kratkoživućih potomaka, dok difuzni detektor (zaštićen filtar papirom) bilježi samo tragove alfa čestica emitirane od radona. Ova metoda s dva detektora omogućava i određivanje ravnotežnog faktora, *F* između radona i njegovih kratkoživućih potomaka u

zraku, kao i bolju procjenu primljene radonske doze zračenja [4]. Nakon izlaganja, detektori su jetkani u 10 % vodenoj otopini NaOH na 50 ºC u trajanju od 150 minuta, a potom su tragovi alfa čestica brojani pomoću brojača iskri, AIST-2V (proizvođač: V. Khlopkin Radium Institute, Sankt Petersburg, Rusija).

Koeficijent osjetljivosti K određen je kalibracijom filmova u radonskoj komori PTP BEV (Physikalisch-technischer Prüfdienst pri Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Beč, Austrija) te u tadašnjoj radonskoj komori Zavoda za fiziku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Osijeku. Za odvojive LR-115 II filmove iznosi: $K = 65 \pm 23$ Bq m^{-3} / tr cm^{-2} d^{-1}.

Detektori su izlagani na svim sastavnicama Sveučilišta u Osijeku i Veleučilištima u Slavoniji u trajanju od godine dana u razdoblju od prosinca 2013. do prosinca 2014. Broj i raspodjela detektora po sastavnicama uvelike je ovisila o rasporedu prostorija, a najčešće su postavljeni na ormare, na 2 m visine, uglavnom u prostorijama u kojima borave studenti i djelatnici (predavaonice, laboratoriji, uredi).

REZULTATI

Na sastavnicama Sveučilišta u Osijeku i veleučilištima u Slavoniji (ukupno 24 ustanove) postavili smo ukupno 320 detektora, što u prosjeku iznosi 13,3 detektora po ustanovi. Ukupno smo prikupili i obradili 308 detektora ili 96,3 %. Većina detektora postavljena je u gradu Osijeku (OS) jer se u njemu nalazi 17 sastavnica Sveučilišta u Osijeku. Osječko Sveučilište također u svome sastavu ima i fakultete u Slavonskom Brodu (SB), Đakovu te Vinkovcima. Rezultati mjerenja koncentracije radona na pojedinoj ustanovi dani su u Tablici 1. Može se uočiti da srednja vrijednost koncentracije radona niti na jednoj ustanovi ne prelazi 300 Bq m^{-3}, što je preporučena referentna vrijednost po EU BSS [5]. Međutim, na četiri institucije u pojedinim prostorijama izmjerene su vrijednosti koncentracije radona veće od 300 Bq m^{-3}. To su, tabličnim redom, Elektrotehnički fakultet u Osijeku (zgrada u Kampusu, prizemlje i 1. kat, c = 305 i 347 Bq m^{-3}), Katolički bogoslovni fakultet u Đakovu (3 prostorije u prizemlju, c = 487, 960 i 452 Bq m^{-3}), Poljoprivredni fakultet u Vinkovcima (3 prostorije u prizemlju, c = 847, 453 i 311 Bq m^{-3}) te Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu (2 prostorije u prizemlju, c = 347 i 1077 Bq m^{-3}). Vrijednost koncentracije radona u jednoj prizemnoj prostoriji na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu čak premašuje iznos od 1000 Bq m^{-3}, što je vrijednost pri kojoj se u Hrvatskoj preporuča poduzimanje intervencijskih mjera [6].

Tablica 1. Broj postavljenih detektora i statistička obrada podataka mjerenja koncentracije radona ($c \pm \sigma_c$) na Sveučilištu u Osijeku (OS) i Veleučilištima u Požegi, Vukovaru i Slavonskom Brodu (SB).

	Naziv ustanove	br. det.	c Bq m^{-3}	σ_c Bq m^{-3}	medijan Bq m^{-3}	min-max Bq m^{-3}
1.	Ekonomski fakultet OS	14	83	53	57	18-169
2.	Elektrotehnički fakultet OS	22	89	84	56	21-347
3.	Filozofski fakultet OS	13	38	18	37	11-73
4.	GISK (knjižnica) OS	10	52	15	51	27-65
5.	Građevinski fakultet OS	20	66	64	35	14-218
6.	Katolički bogoslovni fakultet, Đakovo	14	249	255	178	51-960
7.	Medicinski fakultet OS	19	33	15	32	11-71
8.	Odjel za fiziku OS	10	44	45	30	10-164
9.	Odjel za biologiju OS	9	46	14	48	25-69
10.	Odjel za kemiju OS	11	83	55	68	31-188
11.	Odjel za matematiku OS	12	81	45	67	30-177
12.	Odjel za kulturologiju OS	12	27	12	24	10-45
13.	Poljoprivredni fakultet OS	22	39	12	37	16-60
14.	Poljoprivredni fakultet – Vinkovci	11	273	221	248	90-847
15.	Pravni fakultet OS	9	99	67	90	31-257
16.	Prehrambeno-tehnološki fakultet OS	15	62	34	58	21-116
17.	Rektorat Sveučilišta OS	10	35	15	29	19-59
18.	Učiteljski fakultet OS	19	58	41	40	22-175
19.	Umjetnička akademija OS	21	74	31	69	31-153
20.	Veleučilište u Požegi	8	252	38	254	207-293
21.	Veleučilište u Vukovaru	10	77	62	50	22-213
22.	Veleučilište u SB	4	84	7	83	76-93
23.	Učiteljski fakultet u SB	8	76	27	74	37-124
24.	Strojarski fakultet SB	17	228	244	142	49-1077

Budući je tlo glavni izvor radona, za očekivati je da će upravo u prizemnim i podrumskim prostorijama koncentracija radona biti najveća, što su naša mjerenja i potvrdila. Navedene četiri ustanove s povišenom koncentracijom radona nemaju podrum ispod zgrade i prizemlje je prva etaža zgrade najbliža tlu. Razlog povećane koncentracije radona može biti zbog postojanja pukotina u građevinskoj strukturi zgrade kroz koje radon advekcijom olakšano ulazi u prostoriju. Drugi razlog je slaba ventilacija navedenih prostorija koje se vjerojatno ne koriste svaki dan, ili se nastava u njima odvija samo u jednom semestru.

Srednja vrijednost koncentracije radona na 17 sastavnica osječkog Sveučilišta smještenih u gradu Osijeku iznosi 59 Bq m^{-3} uz standardnu devijaciju od 48 Bq m^{-3} te raspon vrijednosti od 10 do 347 Bq m^{-3}. Ovi rezultati u skladu su s prijašnjim mjerenjima u vrtićima, školama i kućama grada Osijeka [2,3,7]. Uzmemo li u obzir sve promatrane institucije iz Tablice 1, ukupna aritmetička sredina koncentracije radona iznosi 88 Bq m^{-3} uz standardnu devijaciju od 117 Bq m^{-3} i raspon vrijednosti od 10 do 1077 Bq m^{-3}. Dobivena aritmetička sredina slaže se s prosječnom vrijednosti od 81,5 Bq m^{-3} za koncentraciju radona u kućama u četiri slavonske županije u kojima se nalaze spomenute ustanove [8].

Srednja efektivna doza za djelatnike koji na radnom mjestu godišnje provedu 2000 sati iznosi 0,8 mSv, a za studente 0,3 mSv uz pretpostavku o godišnjem boravku na fakultetu od 900 sati (prosječno 6 sati dnevno) [9]. No, zbog povećane koncentracije radona u prizemnim prostorijama nekih institucija, srednja efektivna doza za te djelatnike je puno veća od prosječne (za maksimalnu izmjerenu koncentraciju radona od 1077 Bq m^{-3} srednja efektivna doza iznosi 9,5 mSv). Stoga predlažemo ponavljanje mjerenja u svima institucijama s povećanom koncentracijom radona u pojedinoj prostoriji iznad 300 Bq m^{-3}.

Zahvala

Autori zahvaljuju Sveučilištu J. J. Strossmayera u Osijeku na financijskoj potpori pri izradi ovoga rada koji je načinjen u okviru projekta Mjerenje radona na Sveučilištu u Osijeku i veleučilištima u Slavoniji.

LITERATURA

[1] Planinić J, Faj D, Vuković B, Faj Z, Radolić V, Šuveljak B. Radon exposure and lung cancer. J Radioanal Nucl Chem 2003;256:349-352.

[2] Planinić J, Kobal I, Vaupotič J. Radon concentrations in kindergartens of Osijek and Ljubljana. J Radioanal Nucl Chem 1993;175:103-111.

[3] Planinić J, Šmit G, Šuveljak B, Vuković B, Radolić V. Radon in schools and dwellings of Osijek. J Radioanal Nucl Chem 1995;191:45-51.

[4] Planinić J, Radolić V, Faj Z, Šuveljak B. Radon equilibrium factor and aerosols. Nucl Instrum Methods Phys Res A, 1997;396:414-417.

[5] Council directive 2013/59/EURATOM of laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Office Journal of the European Union, 5 December 2013;L13:1-73.

[6] Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Pravilnik o granicama ozračenja, NN59/13, članak 22., str. 7.

[7] Planinić J, Faj Z, Radolić V, Šmit G, Faj D. Indoor radon dose assessment for Osijek. J Enviroment Radioact 1999;44:97-106

[8] Radolić V, Vuković B, Stanić D, Katić M, Faj Z, Šuveljak B, Lukačević I, Faj D, Lukić M, Planinić J. National survey of indoor radon levels in Croatia. J Radioanal Nucl Chem 2006;269:87-90.

[9] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press, ICRP Publication 65. 1994.

MEASUREMENT OF RADON AT UNIVERSITY OF OSIJEK AND COLLEGES OF APPLIED SCIENCES IN SLAVONIJA REGION

Denis Stanić, Vanja Radolić, Marina Poje, Igor Miklavčić, Matko Mužević, Ivana Krpan, Ana Pavlačić and Branko Vuković
Department of Physics, University of Osijek, Osijek, Croatia
dstanic@fizika.unios.hr

The aim of this research was to determine the indoor radon concentration at the University of Osijek (at all its faculties and departments) and colleges of applied sciences in Slavonia region (in cities Požega, Slavonski Brod and Vukovar). Integrated measurements of radon concentrations in the air were performed by means of passive, strippable, nuclear track etched detectors LR-115 type II (Kodak-Pathé, France). The LR-115 detectors were exposed in the air for one year and then etched in 10 % NaOH aqueous solution at 50 °C for 150 minutes. Afterwards, the detector tracks were automatically counted using the AIST-2V spark counter (V.G. Khlopkin Radium Institute, St. Petersburg, Russia).

The arithmetic means of indoor radon concentration in all institutions do not exceed the 300 Bq m^{-3}, which is the recommended referent value according to EU BSS. The average annual effective dose from radon for employees (assuming 2000 working hours/year) is 0.8 mSv and 0.3 mSv for students (900 working hours/year). However, there are four faculties in which radon concentrations in some rooms, mostly in ground floor, exceeded the mentioned recommended value. In these rooms, the radon concentrations were in range from 305 to 1077 Bq m^{-3} which correspond to annual effective dose for employees from 2.7 to 9.5 mSv, respectively. Thus, we propose repeating the measurements at these faculties with higher radon concentrations.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI

RADIATION PROTECTION IN MEDICINE

EFEKTI NISKIH DOZA ZRAČENJA NA TIMUS U PEDIJATRIJSKOJ RADIOLOGIJI

Đurđica Milković[1], Mária Ranogajec-Komor[2], Srđan A. Anzić[1] i Iva Žagar[3]
[1]Dječja bolnica Srebrnjak, Zagreb
[2]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
[3]Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb
durdica.milkovic@gmail.com

UVOD

Timus ili prsna žlijezda je organ smješten u prednjem gornjem dijelu prsnog koša odnosno medijastinuma. Žlijezda je obično građena od dvaju režnjeva. Posebno je važna uloga timusa u ranoj životnoj fazi jer je taj organ središnji dio imunološkog sustava. Gubitak timusa u dječjoj dobi može rezultirati teškom imunodeficijencijom i infekcijama [1]. Žlijezda timus igra vitalnu ulogu u limfatičnom i endokrinom sustavu. Isto tako ima veliku odgovornost u zaštiti tijela od autoimunih bolesti.

U dojenačkoj dobi i kod male djece timus je dobro razvijen, dok poslije puberteta dolazi do njegove involucije i pretvaranja u masno tkivo.

Radiološka slika timusa može biti trokutastog oblika i izgledati kao slika jedra ili kao nazubljena sjena. U pubertetu dosiže svoju maksimalnu veličinu, a u trećem desetljeću zbog involucije postupno dolazi do smanjenja njegove veličine. Nakon rođenja masa timusa je oko 15 g, u pubertetu doseže do 35 g, a u dobi od 25 godina u prosjeku oko 25 g. Nakon 60. godine života masa timusa je manja od 15 g, a u sedamdesetim je oko 5 g.

Radiološka slika timusa u dječjoj dobi izgleda različito zbog dobi djeteta kao i zbog razvojnog procesa unutar same žlijezde [2]. Budući da su u dječjoj dobi najčešće bolesti upravo bolesti respiratornog sustava, pa su i snimke pluća najčešće, timus zbog svoje lokacije nužno ulazi u ozračeni dio toraksa.

Dobro je poznato iz literature djelovanje ionizirajućeg zračenja na nestanak timusa zbog radioterapije [3] dok nema podataka o utjecaju malih doza zračenja na timus u dijagnostičke svrhe. Prije 1950. godine radioterapija bila je metoda koja se upotrebljavala za smanjenje veličine timusa u dječjoj dobi. Adam i autori opisali su porast rizika oboljenja od karcinoma kao posljedicu zračenja uvećanog timusa [4].

Nakon dugogodišnjeg rada i iskustva u dječjoj torakalnoj radiologiji zapazili smo smanjenje veličine timusa na kontrolnim radiogramima pluća. Zbog ovog empirijskog iskustva pristupili smo analizi prve i kontrolne snimke pluća djece s povećanim timusom da bismo ustanovili kakva je učestalost smanjenja sjene timusa u odnosu na prvu snimku nakon izloženosti malim dozama zračenja.

MATERIJAL I METODE

Radiogrami pluća učinjeni su na 150 kV Shimadzu CH - 200M uređaju u dvije projekcije, u postero-anteriornoj te profilnoj. Dojenčad i mala djeca su snimana u tzv. *Baby - fix*-u, a veća djeca na rotacijskom stolcu. *Baby - fix* je plastični polucilindar u kojeg se stavi dijete, fiksira uzicama i objesi pred cijev [5-6]. Svako je dijete pri snimanju imalo zaštitnu pregaču za gonade.

Doze zračenja smo mjerili termoluminiscentnim (TL) i radiofotoluminiscentnim (RPL) dozimetrima koji su sastavljeni od TL detektora na bazi LiF:Mg,Cu,P i LiF:Mg,Ti, te od RPL tipa GD-352M [7]. Detaljni eksperimentalni postupak opisan je u radovima [5-7].

REZULTATI I RASPRAVA

20 bolesnika bilo je podijeljeno u dvije grupe od 0 do 3 i od 3 do 6 godina. Dozimetri su bili postavljeni na mjestu ulaznog snopa na leđima, na sternumu (prsnoj kosti), štitnoj žlijezdi, u području pazušne jame, na desnom oku te desnoj gonadi. Rezultati su prikazani u Tablici 1.

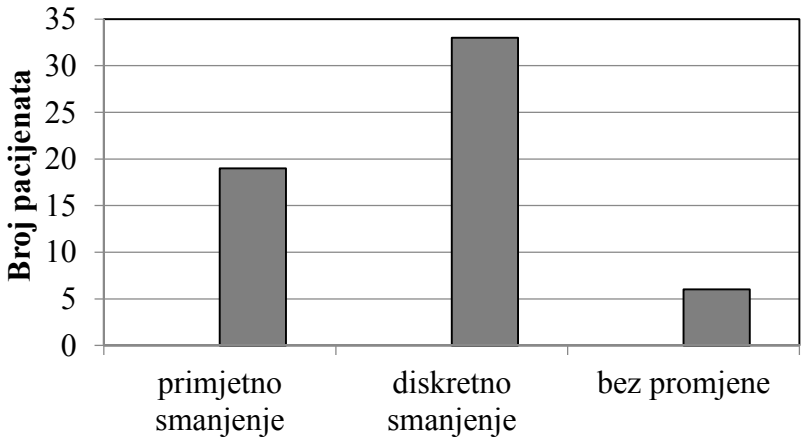
Tablica 1. Izmjerene doze zračenja kod snimanja toraksa djece

Dob	**Doza** (mSv)			
godine	**Leđa**	**Sternum**	**Štitnjača**	**Pazuh**
0-3	0,12	0,07	0,08	0,05
3-6	0,17	0,15	0,12	0,10
Srednja vrijednost	0,15	0,11	0,10	0,08

U godinu dana (9./2013. do 8./2014.) u dječjoj bolnici Srebrnjak snimljen je toraks 3093 djece. Obzirom na razvoj timusa u dječjoj dobi izabrali smo pacijente od 0 do 5 godine, njih je bio 1972. Zbog opravdane medicinske indikacije 119 je naših malih pacijenata došlo na kontrolu.

Na prvom radiogramu pluća 58-ero djece je imalo radiološke znakove uvećanog timusa, dok kod njih 60-ero takav nalaz nije nađen. Na prvom kontrolnom radiogramu od 58 pacijenata 52 su imala radiološki nalaz smanjenja sjene timusa od kojih je 19 imalo primjetno smanjenje (Slika 1), 33 je imalo malo, a kod 6 bolesnika nije bilo promjena (Slika 2).

Slika 1. Usporedba prvog i kontrolnog radiograma istog pacijenta. Datumi snimanja su: 6.11.2013. te 9.12.2013.



Slika 2. Raspodjela broja pacijenata prema promjenama na kontrolnoj snimci

Ipak, u grupi od 60 bolesnika na kontrolnom radiogramu nađena je čak i jedna inverzija, tj. sjena timusa je bila veća nego na prvoj snimci.

Poticaj ovom istraživanju bio je posjet Fukushimi prošle godine te Minamisoti godinu ranije (2013.) [8]. Tijekom posjete području zahvaćenom katastrofom zbog visokog vala izazvanog potresom te posljedičnom nuklearnom kalvarijom postavilo se pitanje u kolikoj je mjeri pučanstvo izloženo radijaciji. Više radova je opisalo promjene na štitnjači kao vrlo radiosenzibilnom organu te riziku oboljenja od maligne bolesti, no autore ovog rada je zanimalo i stanje timusa koji je u blizine štitne žlijezde.

Otvara se novo polje istraživanja koje povezuje dozimetriju i medicinu napose pedijatriju, imunologiju te dermatologiju, budući da su neke kožne bolesti poput atopijskog dermatitisa vezne uz funkciju timusa [9].

U daljnjem istraživanju očekujemo da će veći statistički uzorak potkrijepiti naše nalaze. Željeli bismo procijeniti efekte različitog zračenja koje služi u medicinske svrhe, ali i ovisnost smanjenja timusa o dozi zračenja. Otvara se i niz pitanja kao što je utjecaj smanjenja veličine timusa na proizvodnju T-limfocita. Izazovi u daljnjem istraživanju će nam biti kako objasniti inverziju tj. uvećanje sjene timusa na kontrolnoj snimci te naći poveznicu između varijacija u veličini sjene timusa i dermatoloških promjena.

ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir da je timus vrlo važan organ u stvaranju T-limfocita i razvoju imunološke tolerancije organizma, ovo empirijsko znanje o redukciji veličine timusa kao posljedice zračenja malim dozama u radiološkoj dijagnostici plućnih bolesti je osobito važno u zaštiti od ionizirajućeg zračenja.

Zahvala

Autori Đ.M. i M.R-K. zahvaljuju Chiyoda Technol Corporation za donaciju RPL sustava.

LITERATURA

[1] Miller JF. The discovery of thymus function and of thymus-derived lymphocytes. Imunol Rev 2002;185:7-14.

[2] Raos M, Marković J. Hiperplazija timusa-oponašanje tumora prednjeg sredoprsja. Paediatr Croat 2008;2:253-256.

[3] Jacobs MT, Frush DP, Donnelly LF. The right place at the wrong time: historical perspective of the relation of the thymus gland and pediatric radiology. Radiology, 1999;210:11-16.

[4] Adams MJ, Shore RE, Dozier A, Lipshultz SE., Schwartz RG, Constine LS, Pearson TA, Stovall M, Thevenet-Morrison K, Fisher SG. Thyroid cancer risk 40+ years after irradiation for an enlarged thymus: an update of the Hempelmann cohort. Radiat Res 2010;174:753-762.

[5] Milković Đ, Ranogajec-Komor M, Krstić-Burić M, Hebrang A: Mit Thermolumineszenz-Dosimetern gemessene Hautdosen bei Thorax-Rontgenaufnahmen von Kindern und Jugendlichen. Atemw-Lungenkrkh 1991;17:B67-B72.

[6] Milković Đ. Izloženost zračenju, mogućnosti zaštite i procjena rizika pri snimanju dišnih puteva djece. Doktorski rad. Zagreb:Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu;1999.

[7] Knežević Ž, Beck N, Milković Đ, Miljanić S, Ranogajec-Komor M. Characterization of RPL and TL dosimetry systems and comparison in medical dosimetry applications. Radiat Meas 2011;46:1582-1585.

[8] Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Knežević Ž, Milković Đ, Osvay M. Osvrt na posjet dekontaminacijskoj lokaciji u prefekturi Fukushima. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10-12. travnja 2013; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ, 2013. str. 70-75.

[9] Kataoka, Y. Thymus and activation-regulated chemokine as a clinical biomarker in atopic dermatitis. J Dermatol 2014;41:199-232.

EFFECT OF SMALL DOSES ON THE THYMUS IN PEDIATRIC CHEST X - RAY

Đurđica Milković[1], Mária Ranogajec-Komor[2], Srđan A. Anzić[1] and Iva Žagar[3]
[1]Children Hospital Srebrnjak, Zagreb, Croatia
[2]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
[3]Clinical Hospital Center Zagreb, Zagreb, Croatia
durdica.milkovic@gmail.com

The thymus, pyramid-shaped lymphoid organ is immediately beneath the breastbone at the level of the heart, therefore chest X-ray covers the position of thymus. The thymus is divided into two lobes, lying on either side of the midline of the body. Unlike most other lymphoid structures, the thymus grows rapidly and attains its greatest size relative to the rest of the body during fetal life and the first years after birth. The thymus is a specialized organ of the immune system. It has big responsibility helping the body protect itself against autoimmunity diseases.

It is well known from literature data that thymus size reduced at radiotherapy irradiation. After many years of experience in X-ray chest diagnostics with children a fairly regular thymus size reduction after exposure to diagnostic low doses was noticed. Therefore it was analysed at what percentage of children patients their control radiograms would exhibit a thymus shade decrease compared to the primary image taken at the illness out-set.

In the Children Hospital Srebrnjak in one year 1972 children in the age group 0 - 5 years underwent X-ray exam. In our earlier study at PA and profile projections of lung examinations of this age group 0.15 mSv and 0.11 mSv average doses were measured on the back and on the chest, respectively. From this group the radiograms of those 119 children were analysed who were exposed, according to medical indication, to control examinations. 58 of the investigated patients showed enlarged thymus at the first exam. It could be seen from the control radiogram that 52 children of these 58 patients had significant or discrete decrease in size of thymus

Taking into account that thymus has very important role in maturity of T-lymphocytes and development of immunology tolerance these empiric statements are important for radiation protection of children in X-ray diagnostic of chest.

ORGAN DOSES AND ASSOCIATED CANCER RISKS FOR CT EXAMINATIONS OF THORAX

Jelena Popić Ramač[1], Marija Majer[2], Željka Knežević[2], Hrvoje Hršak[3] and Saveta Miljanić[2]
[1]Clinical Hospital Merkur, Zagreb, Croatia
[2]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
[3]Clinical Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia
jelena.popic.ramac@gmail.com, mmajer@irb.hr

INTRODUCTION

Dose reduction and radiation protection in CT are topics of scientific and public concern. The most important principles which have to be followed are appropriate justification of every CT scan and optimization of all technical parameters in such way that the image quality is obtained keeping the dose and potential risk as low as possible. It was shown in previous study [1] that low dose CT technique can be equally capable of demonstrating mediastinal pathology for follow up of patients with malignant lymphomas compared to the standard dose CT technique. Due to effective treatment these patients have a life expectancy similar to the healthy population and therefore risk of long term effects of ionizing radiation associated with multiple CT scans has to be considered and minimized.

The aims of the present study were to measure organ doses in an anthropomorphic Rando phantom during the standard and low dose CT protocols of thorax and, taking into consideration an average number of multiple CT scans required for selected population, to estimate lifetime attributable risk (LAR) of cancer incidence. In addition, doses on the surface of the phantom during both protocols were measured and compared to the surface doses measured on 60 patients from [1] using same CT device.

MATERIALS AND METHODS

The phantom used for this study was the anthropomorphic male Rando Alderson Phantom (175 cm height, 73.5 kg weight) which consists of 35 axial segments with a width of 2.5 cm containing a human skeleton and tissue equivalent material. Inside the phantom dosimeters can be put into the holes located in different organs/tissues.

The doses in/on phantom were measured with well known, thermoluminescent dosimeters (TLD) based on LiF:Mg,Ti (TLD - 100, Harshaw), and radiophotoluminescent glass dosimeters (RPL) [2]. The totals of 58 dosimeters were placed inside the phantom on the selected organ positions (thyroid, lung, breast, liver and colon) which are determined by consulting an atlas of sectional anatomy. The measurements during each of two protocols were performed first with RPL and after that with TL dosimeters. The entrance surface dose (ESD) was measured during both protocols on the surface of the phantom on the positions of eye lens, thyroid, breasts and gonads bilaterally. In order to obtain better accuracy of dose measurements and taking into consideration an average number of required CT scans for patients with lymphoproliferative disorders during therapy, five expositions together with five topograms were made in order to simulate the conditions same as it had been done previously on patients.

Measured doses were expressed as "absorbed dose to water" using the conversion factor from kerma "free in air" (K_{air}) to "absorbed dose to water" (D_w): $D_w/K_{air} = 1.112$ [3]. The tissue/organ doses measured with TLDs or RPLs were calculated according to the following formula:

$$D_i = \frac{1}{n}\sum_j^n D_{ij} \quad (1)$$

where D_i is the dose in I - organ and n is number of TLDs or RPLs in i - organ. Final results of organ doses, D_T are calculated as a mean value of RPL and TLD organ doses.

Cancer risks, in the form of LAR of cancer incidence were estimated by applying the methods introduced in Biological Effects of Ionizing Radiation [4]. It should be noted that subject of this study is low LET radiation and in that case equivalent dose (in sieverts) equals the absorbed dose (in grays). LAR is defined as the probability that an irradiated person could develop a radiation-induced cancer during lifetime. Assuming "linear no-threshold" (LNT) dose - risk relationship, the LARs for measured organ doses (D_T) in this study were calculated with linear extrapolation of LAR data from BEIR VII table 12D - 1. When necessary, linear interpolation for age at exposure was applied. To estimate radiation risk for multiple CT scans assumption of risk additivity was applied as suggested in BEIR VII report (NRC 2006) [4]. As patients with lymphoprofilerative disorders undergo multiple thorax CT scans in a short time (1 - 2 years), LAR for single irradiation was multiplied by average number of CT scans to obtain LAR for multiple irradiation.

RESULTS

Comparison of doses for standard and low dose CT protocols measured in the phantom for 5 consecutive expositions is given in Figure 1. For the standard protocol, as well as for the low dose protocol, the highest doses were measured on the position of the breast and were 94 ± 4 mGy and 17.2 ± 0.2 mGy, respectively. The mean doses measured during the standard protocol in different organs were on average 5 times (range 4.3 to 6.1) higher in comparison to the low dose protocol.

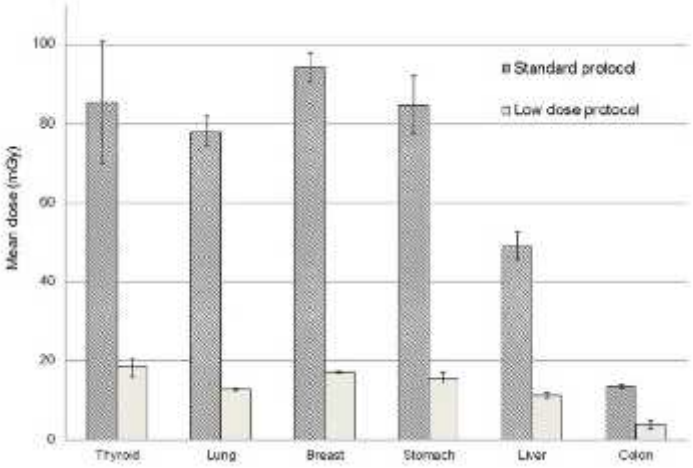


Figure 1. Comparison of mean organ doses with standard deviations for 5 exposures measured in the Rando phantom during the standard and the low dose CT protocols.

LARs of developing radiation-induced cancer associated with five exposures to standard CT protocol for 20 and 56 year old persons were calculated and presented in Table 1. The age of 56 was chosen because average patient's age in the previous study [1] was 56 years. Average age of the youngest group of patients was 20. Average number of required CT examinations was assumed to be five. Low dose protocol reduces doses, associated LARs and effective risk by the average factor of 5.

ESDs measured on the phantom were in the range of ESDs measured on patients from the study made by Popić Ramač et al. [1].

Table 1 Lifetime attributable risk (LAR) of developing radiation-induced cancer associated with five exposures to standard CT protocol for 20 and 56 year old persons

Cancer site	D_T (mGy)	LAR[a]			
		20 years		56 years	
		Male	Female	Male	Female
Thyroid	85	18	96	1	2
Lung	78	116	270	73	166
Liver	52	12	5	6	3
Stomach	85	34	46	19	25
Colon	16	28	18	16	11
Breast	94	-	401	–	44

[a]Number of cancer cases per 10^5 exposed persons

DISCUSSION

Limitations of dose measurement and cancer risk estimate should be mentioned. Firstly, depending on the size and position of the particular organ, inhomogeneity of dose distribution in the particular organ can be high causing higher uncertainties of organ doses. An additional uncertainty arises for organs around the border of the scan volume. Secondly, cancer risk models have limitations [4]. It will be mentioned here only that the base for risk assessment is the LSS cohort of Japanese atomic bomb survivors exposed mainly to γ-rays and BEIR VII transported results to US population (transport is in general one of the most important sources of uncertainties). Finally, controversy concerning use of LNT model for low doses and low dose rates [5,6] is beyond this study but should be mentioned. Doses in this study are above very delicate region below 10 mSv (where radiation-cancer relationship is not clear) and it was assumed as a reasonable to consider LNT model. Nevertheless, whatever the risk model, measured doses are valuable information and it is always reasonable to consider dose reduction if it is medically justified especially in patients that require multiple irradiations which consequently lead to higher cumulative dose.

CONCLUSION

Comparison of the results for standard and low dose protocols revealed that the low dose protocol yielded in the reduction of organ doses (and risks) by the average factor of 5 (5.1 ± 0.7). As shown in [1] low dose CT technique can be equally capable of demonstrating mediastinal pathology for follow up of this group of patients. Therefore use of low dose protocol is highly recommended as alternative in routine clinical practice.

REFERENCES

[1] Popić Ramač J, Knežević Ž, Hebrang A, Radić Krišto D, Vidjak V, Slavica M, Ranogajec-Komor M. Radiation dose reduction by using low dose CT protocol of thorax. Radiat Meas 2013;55:46-50.

[2] Knežević Ž, Beck N, Milković Đ, Miljanić S, Ranogajec-Komor M. Characterisation of RPL and TL dosimetry systems and comparison in medical dosimetry applications. Radiat Meas 2011;46:1582-1585.

[3] NIST 2008. Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients. National Institutes of Standards and Technology. Available at: http://physics.nist.gov/PhysRefData/

[4] NRC 2006. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionising Radiation. BEIR VII phase 2 (Washington, DC: The National Academies Press) Andrade M E A, Borras C, Khoury HJ, Dias S K, Barros VSM. Organ doses and risks for computed tomography examinations in Recife. Brazil J Radiol Prot 2012;32:251-260.

[5] Little MP, Wakeford R, Tawn EJ, Bouffler SD, Berrington de Gonzalez A. Risks Associated with Low Doses and Low Dose Rates of Ionizing Radiation: Why Linearity May Be (Almost) the Best We Can Do. Radiology 2009;251:6-12.

[6] Tubiana M, Feinendegen LE, Yang C, Kaminski JM. The Linear No-Threshold Relationship is Inconsistent with Radiation Biologic and Experimental Data. Radiology 2009;251:13-22.

ORGAN DOSES AND ASSOCIATED CANCER RISKS FOR CT EXAMINATIONS OF THORAX

Jelena Popić Ramač[1], Marija Majer[2], Željka Knežević[2], Hrvoje Hršak[3] and Saveta Miljanić[2]
[1]Clinical Hospital Merkur
[2]Ruđer Bošković Institute
[3]Clinical Hospital Centre Zagreb
Zagreb, Croatia
jelena.popic.ramac@gmail.com, mmajer@irb.hr

The use of computed tomography (CT) is increasing rapidly and doses are not negligible especially when medical procedures require more than one CT scan. The objectives of the present study were to measure doses in/on an anthropomorphic Rando phantom during standard and low dose CT protocols of thorax and to estimate radiation risks for adult patients that undergo multiple CT scans of thorax. Thermoluminescent (TL) and radiophotoluminescent (RPL) dosimeters were used for dose measurements. Radiation risks of cancer incidence, in the form of lifetime attributable risk (LAR), were estimated using BEIR VII model. For five exposures with standard protocol mean organ doses were 94 mGy (breast), 85 mGy (stomach), 85 mGy (thyroid), 78 mGy (lung), 52 mGy (liver) and 16 mGy (colon). For the standard CT protocol associated LARs were found to be up to 0.401 % (401 breast cancers per 10^5 exposed patients) and 0.116 % (116 lung cancers per 10^5 exposed patients) for women and men, respectively. The low dose protocol reduces doses (and risks) by the average factor of 5 and therefore the use of the low dose protocol is recommended whenever it is medically justified.

SEKUNDARNO ZRAČENJE U PROTONSKOJ RADIOTERAPIJI - PRELIMINARNI REZULTATI MJERENJA S PASIVNIM DOZIMETRIMA

Željka Knežević, Marija Majer i Saveta Miljanić
u ime EURADOS radne grupe 9
Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
zknez@irb.hr

UVOD

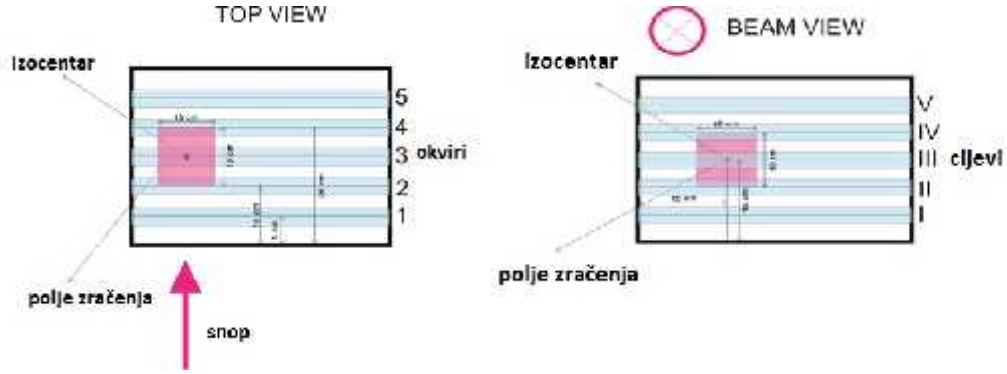
Radioterapija tumora snopom protona, (engl. *Proton Beam Therapy*, PBT) omogućava apsorpciju maksimalne doze zračenja u tumorsko tkivo, uz minimalno zračenje okolnog zdravog tkiva. Predstavlja zračenje visokog linearnog prijenosa energije koje gubi manji dio energije pri ulasku u ozračeni biološki sustav, a zatim gubi gotovo svu energiju u vrlo malom volumenu. Upravo zbog puno manjih absorbiranih doza u okolnom tkivu u blizini ciljanog volumena nego kod klasičnih terapija fotonima i elektronima radioterapija protonima sve se više koristi u liječenju karcinoma. Područje maksimalne deponirane energije (područje u kojem je učinak terapije tumora najveći) naziva se Braggov vrh, i ovisi o vrsti i energiji primijenjene čestice odnosno iona. Interakcija protona s materijom rezultira u stvaranju sekundarnog zračenja koje najvećim dijelom čine neutroni i gama zračenje. Doze zračenja koje se apsorbiraju dalje od ciljanog volumena, tj izvan područja radioterapijskog tretmana mogu dovesti do povećanja vjerojatnosti kasnih učinaka radioterapije, kao i do sekundarnih malignih oboljenja.

U okviru EURADOS (*European Radiation Dosimetry Group*) radne grupe 9, podgrupe 2 (Hadronska radioterapija) napravljena su dozimetrijska mjerenja sekundarnog zračenja kod terapije protonima s različitim pasivnim i aktivnim detektorima. Eksperimenti su uključivali mjerenja gama i neutronske doze zračenja: 1. unutar fantoma i 2. u okolini (unutar terapijske sobe protonskog uređaja). U ovom radu će biti prikazani preliminarni rezultati mjerenja doza zračenja različitim pasivnim dozimetrima unutar fantoma.

MATERIJAL I METODE

Eksperimenti su napravljeni u Protonskom radioterapijskom centru u Trentu u Italiji na protonskom uređaju s aktivnim skeniranjem, IBA, 230 MeV. Dozimetri su zračeni unutar vodenog fantoma dimenzija 60 cm × 30 cm × 30 cm. Veličina ciljanog volumena bila je 10 × 10 × 10 cm^3 (1 L), distalni domet protona iznosio je 19,95 cm, a proksimalni 9,86 cm. Energija protona bila je u rasponu od 115-120 MeV do 175-180 MeV. Izocentar je bio na dubini od 15 cm unutar vodenog fantoma. Nominalne doze u ciljanom volumenu iznosile su 100 Gy (± 1,5 %). Mjerena je raspodjela doza na različitim udaljenostima duž osi snopa (na 5 različitih dubina duž osi snopa) te profili doza na različitim dubinama (5 cijevi po okviru okomito na put snopa) (Slika 1 i Slika 2).

Slika 1. IBA protonski uređaj i vodeni fantom



Slika 2. Položaji okvira, cijevi i izocentra unutar vodenog fantoma

Za mjerenja doza unutar fantoma korišteni su termoluminescentni dozimetri (TLD) - Institut Fizyki Jadrowej (IFJ), Krakow, Nuclear Physics Institute (NPI), Prague i Institut Ruđer Bošković (IRB), Zagreb te

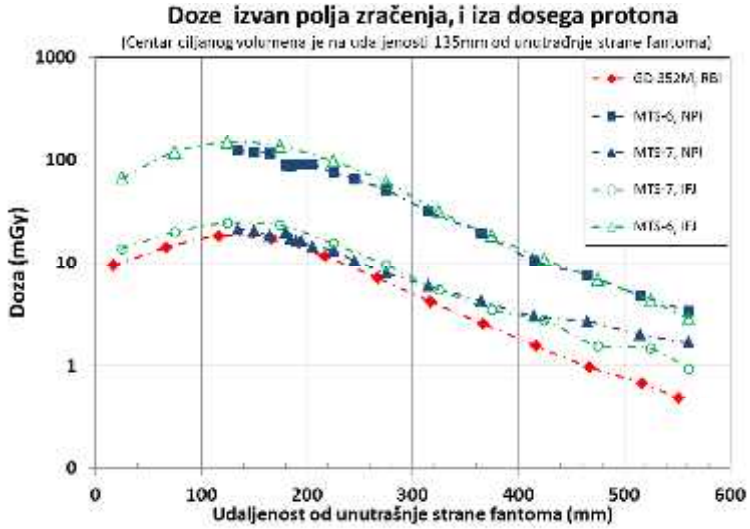
radiofotoluminescentni (RPL) dozimetri - IRB, Zagreb. Svi dozimetri kalibrirani su na izvoru ^{60}Co, a doze su izražene kao apsorbirana doza u vodi. Vrste i karakteristike dozimetara prikazane su u Tablici 1. Detaljna svojstva korištenih dozimetara kao i parametri evaluacije i kalibracije opisani su u ranijim radovima [1-2].

Tablica 1. Karakteristike različitih dozimetara korištenih u eksperimentima

Detektor	**Materijal**	**Oblik**	**Dimenzije** (mm)
MTS-7	^{7}LiF: Mg, Ti,	pellet	Φ 4,5 × 0,9
MTS-6	^{6}LiF: Mg, Ti,	pellet	Φ 4,5 × 0.9
MTS-N	^{nat}LiF: Mg, Ti,	pellet	Φ 4,5 × 0,9
TLD-700	^{7}LiF: Mg, Ti	pellet	Φ 4,5 × 0,9
RPL (GD-352M) With Sn filter	Ag activated Phosphate glass	rod holder	Φ 1,5 × 12 Φ 4,3 × 14,5
RPL (GD-302M) Without filter	Ag activated Phosphate glass	rod holder	Φ 1,5 × 12 Φ 2,8 × 13

REZULTATI

Rezultati mjerenja doza unutar ciljanog volumena pokazali su dobra slaganja između nominalne i mjerene doze za RPL i TLD (MTS - 7) detektore. Za RPL detektore preliminarni rezultati pokazali su da je mjerena doza iznosila: D_{mjerena} = (94,6 Gy ± 2,4 %) a za MTS - 7 D_{mjerena} = (105,0 Gy ± 1,14%). Preliminarni rezultati mjerenja doze sekundarnog zračenja s lateralnom udaljenosti od ruba polja (18,5 cm od unutrašnje površine fantoma; okvir 5, cijev 4) prikazani su na Slici 3. Slika 3 prikazuje doze zračenja izvan dometa protonskog snopa. Preliminarni rezultati mjerenja doza za fotone pokazuju smanjenje doze s 22 mGy (MTS - 7) i 18 mGy (GD - 352M), na udaljenosti od otprilike 13 cm od unutrašnje strane fantoma, na 1 mGy (MTS - 7) i 0,5 mGy (GD - 352M) na udaljenosti od 56 cm.



Slika 3. Smanjenje doze sekundarnog zračenja s lateralnom udaljenosti od ruba polja mjerenog s različitim pasivnim dozimetrima

Tablica 2. Omjer izmjerenih doza TL i RPL dozimetrima unutar cijevi 1 i 5 u okviru 4 u vodenom fantomu

Udaljenost od unutrašnje strane fantoma (mm)	D_w**(TLD - 700)/**D_w **(GD - 352M)**	
	Cijev 1	**Cijev 5**
25	1,22	1,37
75	1,27	1,32
125	1,33	1,49
175	1,37	1,38
225	1,23	-
275	1,32	1,26
325	1,42	1,33
375	1,36	1,35
425	1,47	1,31
475	-	1,37
525	1,67	1,39
559,8	1,57	1,57
Srednja vr.	**1,39**	**1,38**
SD (%)	10,1	6,3

Omjer doze mjerene sa TLD i RPL dozimetrima unutar cijevi 5 u okviru 4 koji se nalazi izvan dometa snopa protona prikazan je u Tablici 2. TLD-ovi (obogaćeni ^{7}Li) pokazali su više doze u usporedbi s RPL dozimetrima zbog veće osjetljivosti TLD-ova na sekundarne neutrone u odnosu na RPL-ove [3]. Rezultati su pokazali sustavno smanjenje gama - ekvivalentne neutronske doze s povećanjem udaljenosti. Preliminarni rezultati su također pokazali da mjerene vrijednosti odgovaraju relativnim razlikama u osjetljivosti odziva pojedinih dozimetara na neutrone, a daljnja analiza zajedno sa Monte Carlo simulacijama dat će prave vrijednosti.

ZAKLJUČAK

Preliminarni rezultati mjerenja pokazali su da je sekundarno zračenje unutar vodenog fantoma manje za radioterapiju skenirajućim protonskim snopovima (*active-scanning proton beam radiotherapy*) u odnosu na konvencionalnu radioterapiju (WG 9 rezultati, Radiat. Meas. Vol 57, 2013) [4-5]. Detaljna analiza rezultata kao i planirane buduće Monte Carlo simulacije dat će vrijedan doprinos i informacije o dozama raspršenog zračenja na udaljenostima od ciljanog volumena.

LITERATURA

[1] Knežević Ž, Stolarczyk L, Bessieres I., Bordy J-M, Miljanić S., Olko P. Photon dosimetry methods outside the target volume in radiation therapy: Optically stimulated luminescence (OSL), thermoluminescence (TL) and radiophotoluminescence (RPL) dosimetry. Radiat Meas 2013;57:9-18.

[2] Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Knežević Ž, Vekić B. Main dosimetric characteristics of some tissue-equivalent TL detectors. Radiat Prot Dosim 2002;100:437-442.

[3] Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Blagus S, Pálfalvi JK, Pázmándi T, Deme S, Szántó P. Response of radiophotoluminescent dosimeters to neutrons. Radiat Meas 2008;43:1068-1071.

[4] Bordy J-M, Bessieres I, d' Agostino E, Domingo C, d'Ericco F, Di Fulvio A, Knežević Ž, Miljanić S, Olko P, Ostrowski A, Poumarede B, Sorel S, Stolarczyk L, Vermesse D. Radiotherapy out-of-field dosimetry: Experimental and computational results for photons in a water tank. Radiat Meas 2013;57:29-34.

[5] Miljanić S, Bessieres I, Bordy J-M, d'Ericco F, Di Fulvio A, Kabat D, Knežević Ž, Olko P, Stolarczyk L, Tana L, Harrison R. Clinical simulations of prostate radiotherapy using BOMAB-like phantoms: Results for photons. Radiat Meas 2013;57:35-47.

SECONDARY RADIATION IN PROTON RADIOTHERAPY – PRELIMINARY RESULTS FOR MEASUREMENTS WITH PASSIVE DOSIMETERS

Željka Knežević, Marija Majer and Saveta Miljanić
On behalf of EURADOS working group 9
Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
zknez@irb.hr

Proton therapy is increasingly used in cancer treatment because of the possibility of sparing healthy tissue close to the target volume. However, the interactions of protons with matter result in the production of secondary radiation comprised mostly of neutrons and gamma radiation. Unwanted doses, deposited distantly from the target volume, may lead to an increasing probability of the late effects of radiotherapy including the generation of secondary cancers.

The EURADOS WG9 measurement campaign is designed to investigate the secondary radiation generated by a scanning proton beam. Experiments were carried out in the IBA (230 MeV) active-scanning proton beam therapy facility in Trento, Italy. Dosimeters were irradiated inside a water phantom ($60 \times 30 \times 30$ cm^3) uniformly to a dose of 100 Gy. Depth dose distributions along the beam axis and profiles at various depths were measured. The following dosimeters were used: thermoluminescent (TLD-700, MTS-7, MTS-6 and MTS-N), radiophotoluminescent (GD-352M and GD302-M). The results obtained within the irradiated volume show good agreement between prescribed and measured dose with RPLs (94.6 Gy ± 2.4 %) and for MTS-7 (105.0 Gy ± 1.1 %). For photons, doses decrease from 22 mGy and 18 mGy at distance approximately 13 cm from the inner surface of phantom, to 1 mGy and 0.5 mGy at distance approximately 56 cm for MTS-7 and GD-352M respectively. Higher doses for TLDs compared with RPLs are observed due to higher sensitivity of TLDs to secondary neutrons in comparison to RPLs. The detailed analysis of results combined with future Monte Carlo calculations will give valuable information about doses from scattered radiation distant from the target volume.

PERIFERNE DOZE PRI RADIOTERAPIJSKIM TRETMANIMA KARCINOMA MOZGA KOD DJECE

Marija Majer, Željka Knežević i Saveta Miljanić
u ime Radne grupe 9 EURADOS-a
Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
mmajer@irb.hr

UVOD

Tijekom radioterapijskih tretmana neizbježno je da tkivo izvan ciljanog volumena (tumora) primi određene doze zračenja. To su tzv. periferne doze. Poznato je da doze zračenja koje primi zdravo tkivo pacijenta tijekom tretmana zračenjem povećavaju vjerojatnost za nastanak sekundarnih karcinoma. Mogući nastanak takvih karcinoma može se očekivati tek nakon dužeg razdoblja (najmanje nekoliko godina) nakon zračenja. Zbog pretpostavke da će doživjeti dob kada se mogu javiti sekundarni karcinomi uzrokovani zračenjem, kao i veće osjetljivosti na zračenje u odnosu na odraslu populaciju, dozimetrijska mjerenja i mogućnost procjene rizika za dječju populaciju su iznimno važna.

U okviru Radne grupe 9 EURADOS-a (*European Radiation Dosimetry Group*, http://www.eurados.org/en) napravljen je niz eksperimenata radi proučavanja perifernih doza kod djece tijekom radioterapije i radiokirurgije. U ovom radu prikazan je dio preliminarnih rezultata dozimetrijskih mjerenja tijekom dva različita radioterapijska tretmana karcinoma mozga u dva antropomorfna dječja fantoma.

MATERIJAL I METODE

Mjerenja su napravljena u Centru za onkologiju, Krakow, Poljska. Tretiranje karcinoma u mozgu (kugla promjera 6 cm, iznad lijevog oka) ostvareno je uporabom dvije radioterapijske tehnike: trodimenzionalnom konformalnom (3D *Conformal radiotherapy,* 3D CRT) i radioterapijom moduliranog intenziteta (*Intensity Modulated Radiation Therapy*, IMRT). U oba slučaja korišteni su 6 MV fotonski snopovi dobiveni linearnim akceleratorom Varian Clinac 2300. Radioterapijski plan za IMRT uključivao je devet koplanarnih polja raspoređenih tako da je razmak susjednih polja bio 40° s 50-tak monitorskih jedinica (MU) po polju. 3D

CRT je uključivao zračenje s tri nekoplanarna polja čiji su podaci prikazani u Tablici 1. Doza u tumoru za oba fantoma bila je 2 Gy, a svi dozimetrijski rezultati su preračunati i prikazani za dozu od 1 Gy u tumoru.

Tablica 1. Podaci o zračenju tehnikom 3D CRT za oba fantoma

Kut postolja (smjer snopa)	Broj MU	Modifikatori snopa
Petogodišnji fantom		
90°	78	Dinamički klin, 45°
270°	84	Dinamički klin, 30°
50°	174	Mehanički klin, 45°
Desetogodišnji fantom		
90°	102	Dinamički klin, 30°
270°	82	Dinamički klin, 30°
40°	68	Dinamički klin, 45°

Doze su mjerene u dječjim CIRS fantomima koji imaju organe ekvivalentne tkivu. Fantomi odgovaraju desetogodišnjem (tip 706D) i petogodišnjem (tip 705D) djetetu i sastoje se od 32, odnosno 26 sloja debljine oko 25 mm (Slika 1).

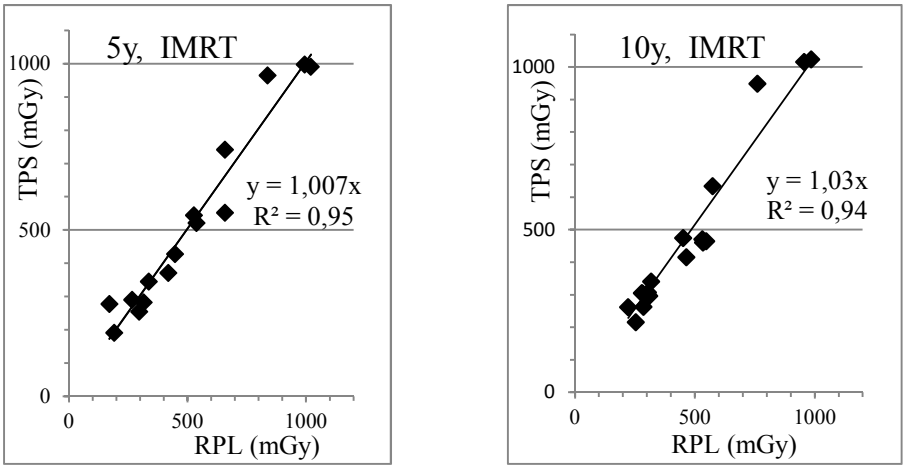
Slika 1. Antropomorfni dječji fantomi (lijeva slika) i pogled odozgo na sloj oba fantoma u kojem je smješteno središte tumora (desna slika). Brojevi označavaju rupe u koje se smještaju dozimetri. Kružnica je granica tumora

Mjerenja su napravljena s dvije vrste dozimetara: termoluminescentnim (TL) i radiofotoluminescentnim (RPL) [1]. Korišteni su TL dozimetri u obliku tabletica na osnovi ^{7}LiF:Mg,Ti (MTS - 7). RPL

dozimetri su napravljeni u obliku štapića od srebrom aktiviranog fosfatnog stakla i stavljaju se u plastične držače. Za mjerenja je korišten tip GD - 352M čiji držači imaju s unutarnje strane kositreni filter. Doza za pojedini organ dobivena je usrednjavanjem mjerenih vrijednosti dozimetara koji su bili postavljeni na pozicije koje odgovaraju tom organu.

REZULTATI

Usporedbom preliminarnih rezultata mjerenja koja su napravljena s obje vrste dozimetara dobiveno je zadovoljavajuće slaganje u cijelom području mjerenih doza (mGy - 2Gy). Za ovaj rad izdvojeni su uglavnom samo rezultati s RPL dozimetrima koje je koristio naš laboratorij.

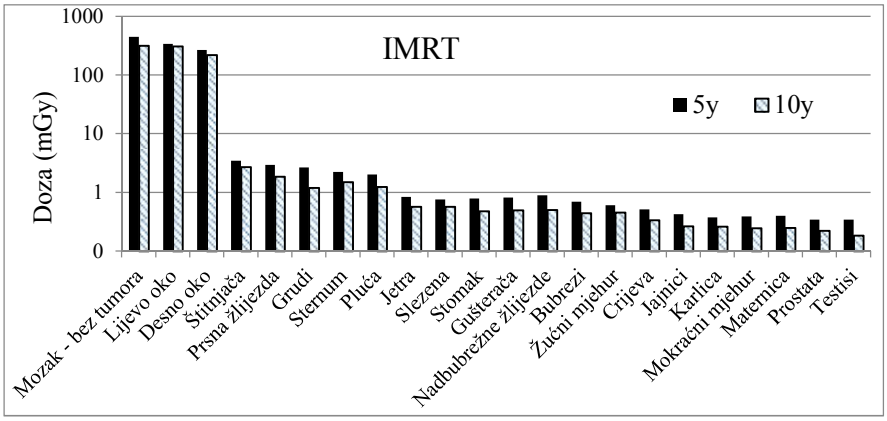


Slika 2. Usporedba mjerenih vrijednosti (RPL) za petogodišnji (5y) i desetogodišnji (10y) fantom s rezultatima TPS-a za IMRT

Rezultati mjerenja uspoređeni su s vrijednostima koje daje sustav za planiranje (*Treatment Planning System*, TPS). TPS-om je bilo moguće dobiti vrijednosti doza samo za glavu (područje tumora i bliskog okolnog tkiva). Za obje tehnike i obje vrste dozimetara dobiveno je dobro slaganje. Slika 2 prikazuje usporedbu mjerenih rezultata (RPL) s rezultatima TPS-a. Za oba fantoma slaganje je zadovoljavajuće s tim da u prosjeku RPL dozimetri pokazuju nešto manje vrijednosti od onih predviđenih TPS-om. Najveće odstupanje mjerene vrijednosti od TPS-vrijednosti iznosilo je 15 %.

Slika 3 prikazuje raspodjelu mjerenih perifernih doza. Očekivano, doze opadaju s udaljenošću organa od tumora i zbog manjih dimenzija petogodišnjeg fantoma, pa time veće blizine tumoru, isti organi primili su

manju dozu kod desetogodišnjeg fantoma nego kod petogodišnjeg. Prosječno smanjenje je oko 30 % za tehniku IMRT i oko 60 % za 3D CRT.

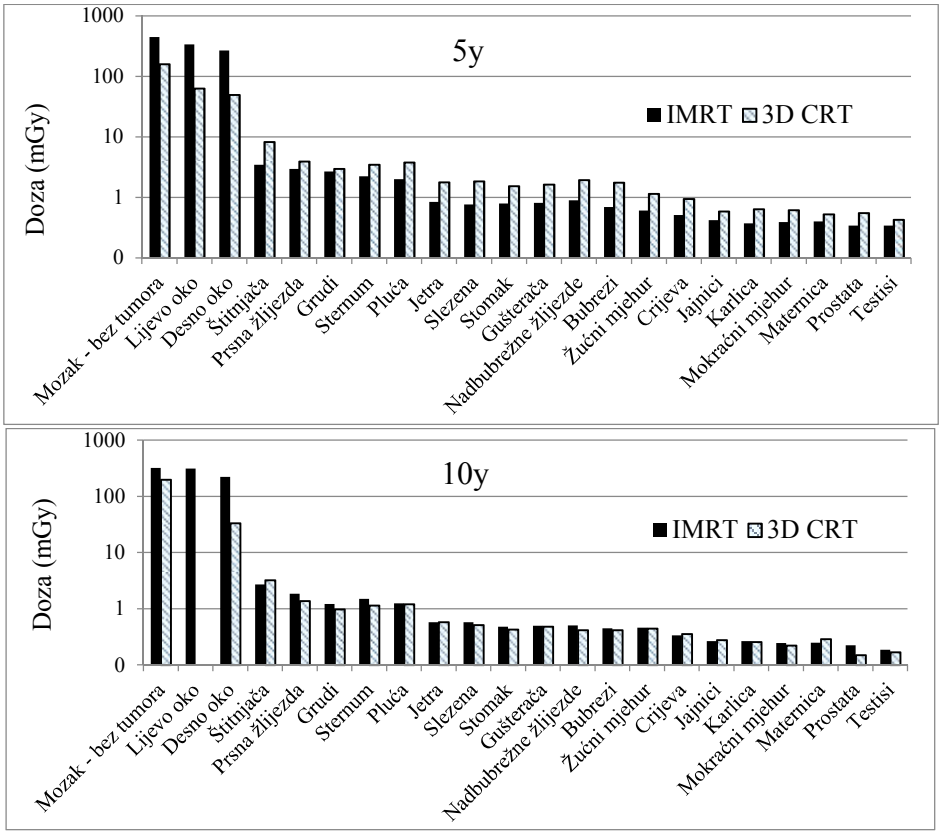


Slika 3. Raspodjela perifernih doza u organima petogodišnjeg (5y) i desetogodišnjeg (10y) fantoma pri zračenju tehnikom IMRT

Usporedba dviju radioterapijskih tehnika prikazana je na Slici 4. Za oba fantoma u području glave tehnici IMRT odgovaraju veće periferne doze. U organima tijela kod petogodišnjeg fantoma mjerene su veće periferne doza za 3D CRT u odnosu na IMRT, dok su za desetogodišnji fantom izmjerene podjednake periferne doze za obje radioterapijske tehnike. Moguće objašnjenje različitih odnosa doza dviju tehnika kod različitih fantoma mogli bi biti različiti uvjeti zračenja za tehniku 3D CRT (Tablica 1: različit odnos MU za iste smjerove, te uporaba različitih klinova) no za konačne zaključke neophodna je daljnja analiza rezultata.

ZAKLJUČAK

Preliminarni rezultati potvrdili su da su oba dozimetrijska sustava pogodna za mjerenje perifernih doza [2,3], ali i doza u području ciljanog volumena. Slaganje mjerenih rezultata s TPS-om je zadovoljavajuće. Za obje radioterapijske tehnike doze u organima očekivano opadaju s udaljenošću od tumora. U glavama fantoma periferne doze za IMRT su veće nego za 3D CRT. Za organe u tijelu situacija obrnuta (petogodišnji fantom) ili su doze podjednake (desetogodišnji fantom). U tijeku su daljnja analiza i dodatna mjerenja koja bi mogla objasniti dobivene odnose doza.



Slika 4. Usporedba doza pri 3D CRT i IMRT za petogodišnji (5y) i desetogodišnji (10y) fantom

LITERATURA

[1] Knežević Ž, Stolarczyk L, Bessieres I, Bordy J M, Miljanić S, Olko P. Photon dosimetry methods outside the target volume in radiation therapy: Optically stimulated luminescence (OSL), thermoluminescence (TL) and radiophotoluminescence (RPL) dosimetry. Radiat Meas 2013;57:9-18.

[2] Bordy J-M, Bessieres I, d' Agostino E, Domingo C, d'Ericco F, Di Fulvio A, Knežević Ž, Miljanić S, Olko P, Ostrowski A, Poumarede B, Sorel S, Stolarczyk L, Vermesse D. Radiotherapy out-of-field dosimetry: Experimental and computational results for photons in a water tank. Radiat Meas 2013;57:29-34.

[3] Miljanić S, Bessieres I, Bordy J-M, d'Ericco F, Di Fulvio A, Kabat D, Knežević Ž, Olko P, Stolarczyk L, Tana L, Harrison R. Clinical simulations of prostate radiotherapy using BOMAB-like phantoms: Results for photons. Radiat Meas 2013;57:35-47.

OUT-OF-FIELD DOSE MEASUREMENTS FOR RADIOPTHERAPY OF BRAIN TUMORS IN PAEDIATRIC PATIENTS

Marija Majer, Željka Knežević and Saveta Miljanić
on behalf of EURADOS Working group 9
Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
mmajer@irb.hr

Radiotherapy inevitably brings irradiation of tissue outside the target volume (tumor). It has been known for many years that out-of-field radiation doses to normal tissues may be associated with an increased risk of secondary cancers. Paediatric patients are of particular concern due to their longer life expectancy and higher organ radiosensitivities compared to adult patients and higher organ doses due to their smaller body size. The motivation of EURADOS (European Radiation Dosimetry Group, http://www.eurados.org/en) Working group 9 (WG 9) is to assess unwanted, non-target patient doses in radiotherapy.

The purpose of the phantom study, whose some preliminary results are shown in this paper, was to measure out-of-field organ doses using 5 and 10 year-old anthropomorphic phantoms for different modern radiotherapy techniques. The treatment of a spherical brain tumor with a diameter of 6 cm was simulated with 6 MV photon beams for Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) and 3D Conformal Radiotherapy (3D CRT). Radiophotoluminescent (RPL) and thermoluminescent (TL) dosimeters placed in organs were used for dose measurements. Agreement of both dosimetry systems with TPS (Treatment Planning System) values was satisfied. For both techniques organ doses decrease with distance from the target volume. Doses measured in 5 year-old phantom were on average 30 % and 60 % higher than doses for the 10 year-old phantom for IMRT and 3D CRT respectively. For organs further than thyroid, out-of-field doses are higher for 3D CRT comparing to IMRT, and comparable for both techniques for 5 and 10 year old phantom respectively. Possible explanation for different dose relationship is subject of further analysis.

ODREĐIVANJE ATENUACIJE SUSTAVA ZA POSTAVLJANJE BOLESNIKA U RADIOTERAPIJI

Mihaela Mlinarić, Mirjana Budanec, Marin Gregov, Iva Mrčela, Tomislav Bokulić i Zvonko Kusić
Klinika za onkologiju i nuklearnu medicinu
KBC "Sestre milosrdnice", Zagreb
mihaela.mlinaric@kbcsm.hr

UVOD

Uspješna provedba radioterapije zahtjeva točnost isporučene doze unutar 3 % do 5 % [1]. Pri tom su obuhvaćene nepouzdanosti cijelog radioterapijskog lanca: od umjeravanja uređaja za zračenje, preko CT simulacije i ocrtavanja ciljnih volumena, do samog zračenja. Reproducibilnost položaja bolesnika pri terapiji također je jedan od uvjeta za postizanje potrebne preciznosti. U tu svrhu koriste se pojedinačno prilagođena ili generička pomagala za učvršćivanje bolesnika.

U našoj instituciji koristi se Orfit All In One (AIO) Solution set za fiksiranje položaja bolesnika. Sastoji se od osnovne ploče (AIO Base Plate) s utorima i indeksima položaja, te bojom kodiranih setova podložaka za različita sijela zračenja. Dodatno se koristi i šest podložaka za glavu, različitih dimenzija te blokovi i klinovi za podizanje i promjenu nagiba glave bolesnika, kako bi položaj bolesnika pri radioterapiji bio što udobniji. Osnovna ploča postavlja se na ležaj, a potom se na nju postavljaju podlošci za udobnost i reproducibilnost položaja. Za imobilizaciju bolesnika u području glave i vrata te zdjelice upotrebljavaju se termoplastične maske pričvršćene za ploču.

Terapijski ležaj s podlošcima utječe na dozimetrijska svojstva snopa zračenja. Zbog atenuacije zračenja u podlozi, apsorbirana doza u bolesniku je smanjena, a u slučaju bliskog kontakta podloge i bolesnika raste i površinska doza na kožu. S obzirom na visoke zahtjeve za preciznost u radioterapiji, ovi utjecaji ne smiju se zanemariti [1]. Izbjegavanje ležaja s podlošcima na putu snopa zračenja često nije moguće, zbog položaja rizičnih organa ili oblika ciljnog volumena. Specifičan primjer su bolesnici s tumorima glave i vrata. Uobičajena metoda konformalnog zračenja tih bolesnika u našoj instituciji uključuje kosa stražnja polja velike težine, kako bi se poštedio rizični organ - kralježnična moždina. S obzirom na učestalost

primjene takvih polja, potrebno je uključiti podlogu u proces izrade plana zračenja, da bi se izbjeglo podoziranje ciljnog volumena i previsoka doza na kožu.

Cilj ovog rada je odrediti atenuaciju zračenja u podlozi i ispitati točnost računa sustava za planiranje s uključenom podlogom u planu zračenja.

MATERIJAL I METODE

Zračenje se provelo na Elekta Synergy S linearnom akceleratoru s dostupnim fotonskim energijama nominalnog potencijala 6 MV i 18 MV. Mjerenje je provedeno ionizacijskom komoricom Farmerovog tipa 30013 i elektrometrom Unidos E (sve PTW), u antropomorfnom fantomu za glavu i vrat jednolike gustoće (CIRS). Terapijski ležaj pridružen linearnom akceleratoru je iBeam evo Couchtop EP, uz produžetak iBeam evo Extension 415 za zračenje glave i vrata (Medical Intelligence, Elekta). Ležaj je građen od dvije ploče od karbonskih vlakana debljine 1,2 mm po središnjem dijelu između kojih je umetak od pjene te rubova karbonskih vlakana debljine 4,5 mm. Širina ležaja je 530 mm, dužina 2000 mm, a debljina na središnjem dijelu 50 mm [2,3]. Produžetak je dugačak 415 mm, debljine 20 mm te širine i građe jednake ležaju. Ležaj i produžetak spojeni su sustavom utora i kopčama od plastike visoke gustoće. AIO ploča je građena od karbonske ljuske i nepoznate ispune, dužine 1350 mm, širine 544 mm i debljine 30 mm [4]. U mjerenju je ispitivan ležaj s pričvršćenom AIO osnovnom pločom na položaju koji odgovara zračenju glave i vrata. Za točnu rekonstrukciju kontura podloga, provedena je CT simulacija ležaja s pričvršćenom pločom. Fantom je također simuliran na CT uređaju. Korišten je Aquillion 16-slojni CT uređaj (Toshiba). Simulacije su provedene po kliničkom protokolu za područje glave i vrata (120 kV, debljina slojeva 3 mm, vidno polje veličine 700 mm). Konture su određene autosegmentacijom na stanici za konturiranje Focal 4.80.2 (CMS, Elekta). Račun planova zračenja proveden je sustavom za planiranje XiO 4.80.3 (CMS, Elekta).

Fantom je postavljen tako da se mjerna točka komorice podudarala s izocentrom uređaja. Polja su oblikovana na veličinu 10×10 cm^2, s kutom kolimatora 0°. Zračenje se provodilo sa 100 monitorskih jedinica. Mjerena je apsorbirana doza u središtu fantoma za obje energije, za vrijednosti kuta stativa između 90° i 270° svakih 10°, te za referentni kut na 0°. Doza za referentni kut proglašena je referentnom dozom D_{ref}, dok je za ostale kutove

doza mjerenja nazvana *D*. Atenuacija *X* za dani kut računata je prema izrazu:

$$X = \left[1 - \frac{D}{D_{ref}}\right] \cdot 100\ \% \qquad (1)$$

Analogno mjerenju, računala se atenuacija u sustavu za planiranje. Konture podloge dobivene su na temelju CT simulacije ležaja i ploče. Odvojeno su konturirani dijelovi različitih gustoća. U plan zračenja fantoma potom su uključene konture ležaja uz pridružene relativne elektronske gustoće 0,6 za ljusku od karbonskih vlakana i 0,01 za spužvasti dio unutar ljuske, za obje komponente. Kako bi ležaj bio uključen u račun sustava za planiranje, vanjskom konturom proglašena je kontura dobivena zbrajanjem konture ležaja i vanjske konture fantoma. Načinjen je plan zračenja za smjerove polja koji su mjereni, te je očitan doprinos dozi u mjernoj točki za pojedino polje. Izračunata je atenuacija prema izrazu (1).

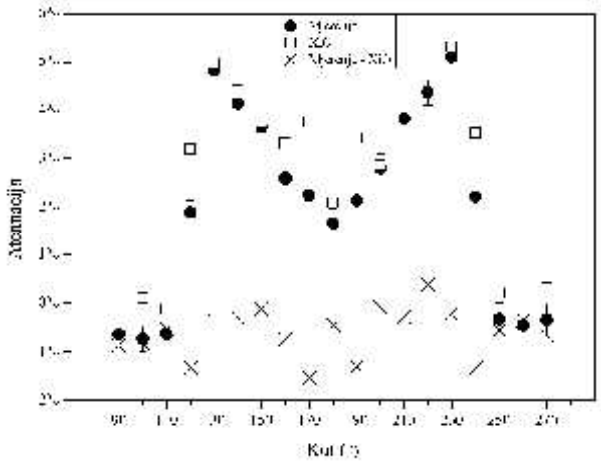
REZULTATI

Rezultati mjerenja i računa grafički su prikazani za obje ispitane energije na Slikama 1 i 2. Najveća atenuacija je dobivena za kut stativa 230° za obje fotonske energije i iznosi 5,1 % ± 0,2 % za 6 MV odnosno 3,2 % ± 0,2 % za 18 MV. Nepouzdanosti su dobivene kao rezultat više mjerenja i ne uključuju doprinose od drugih nepouzdanosti. Modeliranjem ležaja u planu zračenja, sustav za planiranje dao je rezultate koji se za najviše 1,5 % i 1,2 % razlikuju u odnosu na mjerenja za 6 MV odnosno 18 MV snopove. Razlika u računu za kose kutove posljedica je izraženih nehomogenosti na putu snopa za slučaj prolaska kroz rub ležaja. Odstupanja u računu za kutove bliske okomitom upadu snopa posljedica su nepravilne konture ležaja, točnije AIO osnovne ploče, dobivene autosegmentacijom po CT slojevima.

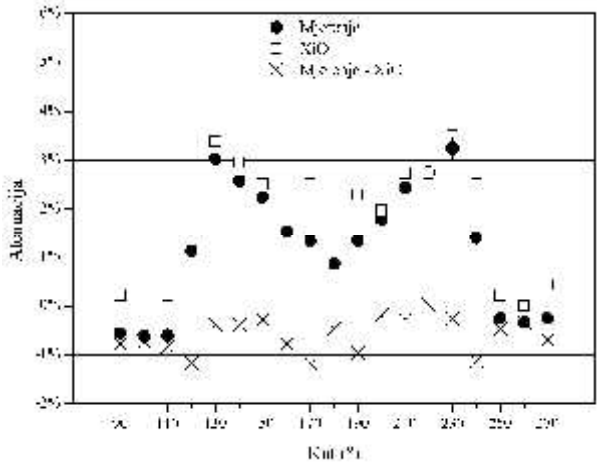
Tablica 1. Usporedba dostupnih proizvođačkih podataka s rezultatima mjerenja atenuacije 6 MV i 18 MV snopova

	6 MV	**10 MV**	**15 MV**	**18 MV**
Orfit AIO osnovna ploča	1,4 %	-	1,2 %	-
iBeam evo Extension 415	1,5 %	1,3 %	-	-
Mjerena atenuacija za okomiti upad	1,7 %	-	-	0,9 %
Prosjek mjerene atenuacije	3,2 %	-	-	2,0 %

Izravna usporedba s podacima proizvođača nije moguća jer nisu dostupni podaci za obje ispitane energije te su mjerenja provedena samo za slučaj kombinacije osnovne ploče i ležaja. Dostupni podaci i dobiveni rezultati uspoređeni su u Tablici 1. Za produžetak ležaja dana je atenuacija pri okomitom upadu snopa, ali za AIO ploču proizvođač ne navodi detalje mjerenja. Stoga su uspoređeni podaci s mjerenjem za 180° i prosjekom mjerenja za kutove pri kojima snop prolazi kroz ležaj (120° do 240°).



Slika 1. Ovisnost izmjerene i izračunate atenuacije za 6 MV snopove o kutu upada



Slika 2. Ovisnost izmjerene i izračunate atenuacije za 18 MV snopove o kutu upada

ZAKLJUČAK

Mjerenjem atenuacije dobili smo rezultate u skladu s dostupnima u literaturi [1,3,5-6] i donekle u skladu s podacima dostupnim od proizvođača. Predloženi model ležaja u sustavu za planiranje daje prihvatljivo slaganje između mjerene i računate atenuacije. Ranijim je mjerenjima utvrđena granica pouzdanosti računa apsorbirane doze sustava za planiranje za slučaj doze na osi jednostavnog polja od 1,6 % [7]. S obzirom na to da je mjerenje apsorbirane doze s kosim upadom snopa u antropomorfnom fantomu znatno kompliciraniji postav mjerenja od mjerenja u vodi, slaganje računa i mjerenja s razlikom manjom od 1,5 % smatramo vrlo dobrim. Buduća istraživanja trebala bi uključiti mjerenja postotnih dubinskih doza. S obzirom na znatno odstupanje nekih rezultata od proizvođačkih podataka, potrebno je provesti provjere atenuacije u ovisnosti o kutu upada snopa i za ostala pomagala za postavljanje bolesnika.

Zahvala

Autori zahvaljuju Centru za medicinsku fiziku, KBC-a Rijeka na posudbi antropomorfnog fantoma za glavu i vrat (CIRS).

LITERATURA

[1] Olch AJ, Gerig L, Li H, Mihaylov I, Morgan A. Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: Report of AAPM Task Group 176. Med Phys 2014;41:061501.

[2] iBeam evo Couchtop: User Manual. Document no. P10105-152 Rev. 8, 07/2008 (Medical Intelligence, Elekta).

[3] Smith DW, Christophides D, Dean C, Naisbit M, Mason J, Morgan A. Dosimetric characterization of the iBeam evo carbon fibre couch for radiotherapy. Med Phys 2014;37:3595-3606.

[4] Orfit All-In-One Solution base plate in carbon fiber laminate; Instructions for use. http://www.orfit.com/gallery/documents/ifu-rt/31881-32301-aio.pdf

[5] Poppe B, Chofor N, Rühmann A, Kunth W, Djouguela A, Kollhoff R, Willborn KC. The Effect of a Carbon-Fiber Couch on the Depth-Dose Curves and Transmission Properties for Megavoltage Photon Beams. Strahlenther Onkol 2007;183:43-48.

[6] Roche M, Mahou-Lago SM, Crabtree T. Accounting for the effects of carbon fibre treatment couches in the XiO treatment planning system. XVII International Conference on the Use of Computers in Radiation Therapy (ICCR 2013). J Phys Conference Series 489 2014:012022.

[7] Mlinarić M, Budanec M, Mrčela I, Gregov M, Bokulić T, Fröbe A, Kusić Z. Provjera računa apsorbirane doze u XiO računalnom sustavu za planiranje radioterapije. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 10-12. travnja 2013, Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2013, str. 93-98.

ASSESSMENT OF ATTENUATION BY PATIENT IMMOBILIZATION SYSTEM IN RADIOTHERAPY

Mihaela Mlinarić, Mirjana Budanec, Marin Gregov, Iva Mrčela, Tomislav Bokulić and Zvonko Kusić
Department of Oncology and Nuclear Medicine
University Hospital Center "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia
mihaela.mlinaric@kbcsm.hr

Patient immobilization and repositioning in radiotherapy is one of the prerequisites for successful treatment. This is achieved by using custom or generic cushions and thermoplastic masks. Presence of such devices as well as the couch top in beam path causes absorbed dose attenuation and higher skin dose. Both effects are undesirable for a successful treatment but sometimes are unavoidable due to required beam gantry angles. Effort should be made to assess these effects in such cases.

Modern treatment planning systems allow physicists to include other elements in close proximity to the patient in the treatment planning procedure. XiO treatment planning system enables loading presets of couch and cushion contours into the patient's contour set, thus enabling inclusion of the patient support system in the treatment planning process.

In this work, absorbed dose measurements were made with CIRS head and neck anthropomorphic phantom for a range of posterior oblique angles, in a simple simulation of a head and neck patient radiotherapy position. The results are compared with treatment planning system and vendor specifications.

Beam attenuation was observed of up to 5.1 % and 3.2 % for 6 MV and 18 MV beams, respectively. Difference between calculated attenuation, with models of couch and base plate, and measured values was within 1.5 %. This level of agreement is more than enough to enable physicists and physicians to correctly estimate the dosimetric effects of patient positioning system in the planning phase of radiotherapy.

ANALIZA ODSTUPANJA POLOŽAJA PACIJENTA U RADIOTERAPIJI GLAVE I VRATA

Marin Gregov, Tomislav Bokulić, Mirjana Budanec, Iva Mrčela, Mihaela Mlinarić i Zvonko Kusić
Klinika za onkologiju i nuklearnu medicinu
KBC „Sestre milosrdnice“, Zagreb
marin.gregov@kbcsm.hr

UVOD

U vanjskoj 3D konformalnoj radioterapiji glavni cilj je uniformno dostavljanje propisane doze zračenja u određeni volumen, uz maksimalnu poštedu zdravih tkiva i organa. Volumen koji treba primiti propisanu dozu zračenja naziva se klinički ciljni volumen *CTV* (engl. *Clinical Target Volume*), a konačni volumen koji se zrači naziva se planirani ciljni volumen *PTV* (engl. *Planning Target Volume*) i geometrijski je koncipiran kao $PTV = CTV + M$ pri čemu je M sigurnosna margina [1]. Dodavanjem margine osigurava se ozračenje većeg volumena kako bi *CTV*, unatoč nepouzdanostima koje se javljaju u procesu zračenja, ostao unutar područja koje prima klinički važnu dozu. Volumeni se iscrtavaju u sustavu za konturiranje te se zatim izrađuje plan zračenja u sustavu za planiranje. Plan se zatim šalje na uređaj za zračenje, linearni akcelerator, i na sustav za slikovnu provjeru položaja pacijenta prije zračenja, koji je integriran u sustav linearnog akceleratora. Slikovnim provjerama dobivaju se odstupanja trenutnog položaja neposredno prije provođenja terapije, od referentnog položaja pacijenta, dobivenog na CT-u prilikom simulacije postupka zračenja. Odstupanja su rezultat sistematskih i slučajnih nepouzdanosti. Slučajne nepouzdanosti smanjuju ukupnu srednju dozu na *CTV* dok sistematske nepouzdanosti dovode do pomaka ukupne doze u određenom smjeru [2]. Nepouzdanosti je potrebno utvrditi i korigirati te se njihovom analizom može izračunati iznos margine M.

MATERIJAL I METODE

Analizirano je 245 slikovnih provjera za grupu od 35 pacijenata s tumorom u području glave i vrata. Za svakog pacijenta analizirano je sedam slikovnih provjera, provjere za prve tri frakcije te naredne četiri tjedne provjere tijekom pet tjedana zračenja. Propisana doza za sve pacijente bila je

50 Gy u 25 frakcija. Pacijenti su prilikom CT simulacije i zračenja bili imobilizirani s *Orfit 5-points* termoplastičnom maskom. U sustavu za konturiranje (Focal, CMS) iscrtani su *CTV* i rizični organi. U sustavu za planiranje (XiO, CMS**)** kreiran je *PTV* s marginom od 0,5 cm. Svi pacijenti su prije zračenja snimljeni pomoću kilovoltnog CT-a konusnog snopa (engl. *Cone Beam CT*) linearnog akceleratora (Synergy S, Elekta). Dobiveni CT slojevi uspoređeni su sa slojevima dobivenim prilikom simulacije postupka zračenja s CT simulatorom (Aquillion, Toshiba). Usporedba, registracija, izvršena je u programu XVI R5.0 (Elekta). XVI program koristi Chamfer algoritam koji pri registraciji, kao objekte, koristi koštane strukture unutar prethodno definiranog područja od interesa [3]. Za sve pacijente, kao područje od interesa, odabran je dio kralježnice u području vrata. Nakon provedene registracije program je dao translacijska odstupanja u 3 smjera: *x* - os (latero - lateralni smjer - LL), *y* - os (kranio - kaudalni smjer - CC) i *z* - os (anteriorno - posteriorni smjer - AP). Translacijska odstupanja korigirana su, temeljem dobivenih registracijskih podataka, pomakom stola za iznos odstupanja, u suprotnom smjeru, za odstupanja veća od 2 mm. Ako su odstupanja bila veća od 1 cm tada je pacijent bio ponovno namješten i imobiliziran. Odstupanja u rotaciji oko sve tri osi bila su manja od 3° za sve pacijente te ona nisu uzeta u obzir u ovoj analizi.

REZULTATI

Margina koja se dodaje na *CTV* obuhvaća sistematske i slučajne nepouzdanosti, a izračun iznosa margine ovisi o konačnim ciljevima koji se žele postići. Ako se želi postići da više od 99 % *CTV*-a primi jednaku ili veću dozu od 95 % propisane doze tada se margina računa po Stroomovoj jednadžbi [4]

$$M = 2\Sigma + 0.7\sigma \qquad (1)$$

Za postizanje uvjeta da 90 % pacijenata u grupi prime najmanju ukupnu dozu na *CTV* jednaku ili veću od 95 % propisane doze, margina se računa po van Herkovoj jednadžbi [5]

$$M = 2.5\Sigma + 0.7\sigma \qquad (2)$$

Standardna devijacija sistematskih nepouzdanosti za sve pacijente, Σ, i standardna devijacija slučajnih nepouzdanosti, σ, definirane su jednadžbama

$$\Sigma = \sqrt{\frac{1}{N(P-1)}\sum_{p=1}^{P} r_p\left(m_p - m_{pop}\right)^2} \qquad (3)$$

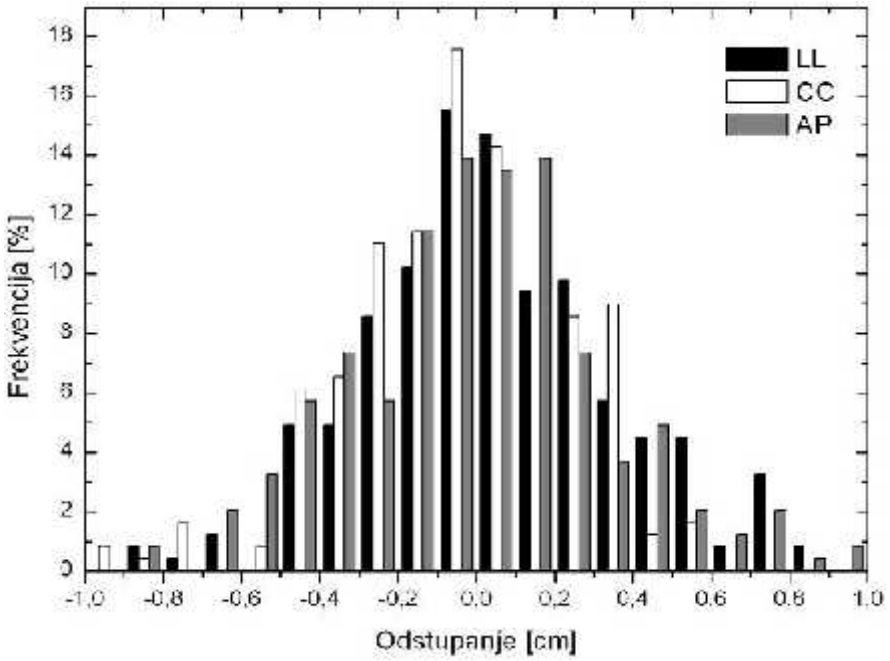
$$\sigma = \sqrt{\frac{P}{N-P}\sum_{p=1}^{P}\sigma_p^2(r_p - 1)} \quad (4)$$

pri čemu su P i N ukupan broj pacijenata u grupi i ukupan broj akvizicija, a m_p, σ_p i r_p sistematska i slučajna nepuzdanost te broj slikovnih akvizicija za jednog pacijenta [2]. Ukupna srednja sistematska nepouzdanost za sve pacijente u grupi dana je s m_{pop}. Rezultati za ukupne sistematske i slučajne nepouzdanosti te iznosi margina izračunatih jednadžbama (1) i (2) prikazani su u Tablici 1.

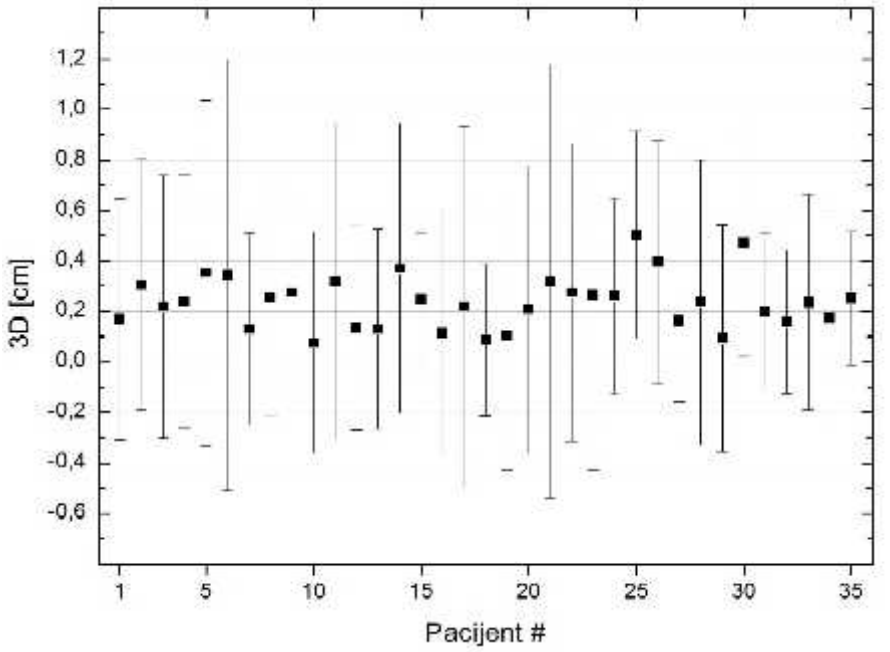
Tablica 1. Sistematske i slučajne nepouzdanosti i iznosi margina (*cm*)

	LL	**CC**	**AP**
m_{pop}	0,06	-0,04	0,01
Σ	0,16	0,14	0,14
σ	0,28	0,24	0,29
***M* (Stroom)**	0,52	0,45	0,48
***M* (van Herk)**	0,59	0,52	0,55

Standardne devijacije sistematskih i slučajnih nepouzdanosti manje su od 0,2 cm odnosno 0,3 cm. Za iznose margina, u literaturi se navode rezultati od 0,36 - 0,56 cm [6] što se slaže s rezultatima iz Tablice 1. Rezultati koji su dobiveni slažu se i s iznosom margine od 0,5 cm koja se inače primjenjuje u našoj klinici za pacijente s tumorom glave i vrata. Na Slici 1 prikazana je normalna raspodjela iznosa odstupanja u ovisnosti o učestalosti pojavljivanja u ukupnom broju analiziranih odstupanja, a na Slici 2 ukupni 3D vektor odstupanja za svakog pojedinog pacijenta s pripadnom standardnom devijacijom. 3D vektor odstupanja izračunat je kao zbroj kvadrata srednjih odstupanja u sva tri smjera. Najveći ukupni iznos 3D vektora iznosi 0,5 cm.

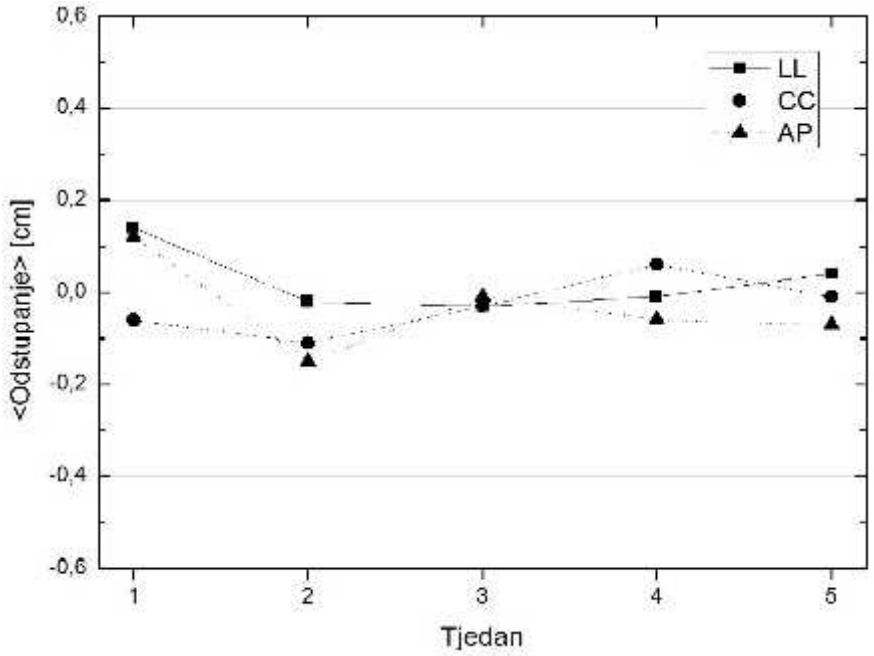


Slika 1. Raspodjela odstupanja u LL, CC i AP smjeru



Slika 2. Ukupni srednji 3D vektori odstupanja

Na Slici 3 prikazane su srednje vrijednosti odstupanja za sve pacijente, za svaki pojedini tjedan trajanja terapije. Pacijent za vrijeme trajanja terapije može značajno izgubiti na težini te se tumor može smanjiti ali te promjene ne utječu na iznose odstupanja jer XVI program pri registraciji ne uzima u obzir promjene mekih tkiva već samo koštane strukture. U slučaju da nema većih pomaka glave ili kralježnice pacijenta, pomaci će ostati isti bez obzira na fizičke promjene pacijenta.



Slika 3. Srednje vrijednosti odstupanja za tri smjera za sve pacijente u ovisnosti o vremenu trajanja terapije

Odstupanja značajno ovise o samom sustavu za imobilizaciju glave i vrata. Termoplastična *Orfit 5 - points* maska pri fiksiranju obuhvaća glavu, vrat i ramena pacijenta s tri točke za fiksaciju na glavi i vratu i dvije na području ramena. U literaturi se navodi da se najveća odstupanja kod takvih maski za imobilizaciju dobivaju u LL smjeru [7] što se slaže s dobivenim rezultatima navedenim u Tablici 1. Za „*5 - points"* maske sistematske nepouzdanosti su manje u odnosu na „*3 - points"* i „*4 - points"* maske, ali su slučajne nepouzdanosti veće.

ZAKLJUČAK

U radu je prikazana analiza sistematskih i slučajnih nepouzdanosti koje se javljaju u procesu zračenja pacijenata s tumorom glave i vrata te njihov utjecaj na *CTV* - *PTV* marginu. Iznos margine ovisi o iznosima nepouzdanosti te o unaprijed postavljenim ciljevima koji se žele ostvariti. Dobiveni iznosi margina od 0,52 - 0,59 cm odgovaraju iznosima margina koji se koriste u kliničkoj praksi i na temelju rezultata ovog rada nije moguće dodatno smanjiti njihov iznos. Precizniji rezultati dobili bi se analizom većeg broja akvizicija za veći broj pacijenata, ali i primjenom metoda za registraciju s više područja interesa. Unatoč tome, rezultati se slažu s navedenim rezultatima u literaturi. Konačna analiza nepouzdanosti za sve regije koje se zrače u nekoj klinici treba biti provedena u zajedničkom radu fizičara, liječnika i radioloških tehnologa te posebnu detaljnu analizu treba napraviti prilikom uvođenja novih promjena kako bi se izbjegli novi uzroci nepouzdanosti.

LITERATURA

[1] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU Report 62: Prescribing, recording and reporting photon beam therapy, 1999.

[2] The Royal College of Radiologists, On Target: ensuring geometric accuracy in radiotherapy, London: The Royal College of Radiologists, 2008.

[3] Elekta XVI R5.0 User's Manual.

[4] Stroom JC. Inclusion of geometrical uncertainties in radiotherapy treatment planning by means of coverage probability. Int J Rad Oncol Biol Phys 1999;43:905-919.

[5] Van Herk M. The probability of correct target dosage: dose population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2000;47:1121-1135.

[6] Qi XS, Hu AY, Lee SP, Lee P, DeMarco J, Li XA, Steinberg ML, Kupelian P, Low D. Assesment of Interfraction Patient Setup for Head and neck IMRT Using Multiple CT-based image guidance. Int J Rad Oncol Biol Phys 2013;86:432-439.

[7] Gilbeau L, Octave-Prignot M, Loncol T, Renard L, Scalliet P, Grégoire V. Comparison of setup accuracy of three different thermoplastic masks for the treatment of brain and head and neck tumors. Radiother Oncol 2001;58:155-162.

ANALYSIS OF PATIENT SET-UP ERRORS IN HEAD AND NECK RADIOTHERAPY

Marin Gregov, Tomislav Bokulić, Mirjana Budanec, Iva Mrčela, Mihaela Mlinarić and Zvonko Kusić
Department of Oncology and Nuclear Medicine,
University Hospital „Sestre milosrdnice“, Zagreb, Croatia
marin.gregov@kbcsm.hr

In radiotherapy, main goal is to maximize the dose to target volume while sparing nearby normal tissue and healthy organs. Prescribed dose must be delivered to clinical target volume (*CTV*) and to achieve this goal total dose is delivered to planning target volume (*PTV*). *PTV* is geometrical concept created as $PTV = CTV + M$. Margin *M* ensures that, despite of set-up errors, prescribed dose is delivered to *CTV*.

A total of 245 image acquisitions for group of 35 patients with head and neck cancer were analysed. Prescribed dose for all patients was 50 Gy in 25 fractions. Images were acquired with kVCBCT at linear accelerator Synergy S (Elekta). Images were registered in XVI software for registration with spinal cord as region of interest. Registration results were set - up errors in LL, CC and AP direction. Set-up errors are the results of systematic and random errors. Standard deviations of population systematic and random errors were calculated for all three directions. Margins were calculated for Stroom's and van Herk's margin models. Distribution of errors, magnitudes of 3D vectors for each patient and mean errors for each direction for total treatment time were also calculated.

Results show that obtained set-up errors are same in all three directions. Calculated margins are comprised between 0.52 cm and 0.59 cm and this result is in agreement with margins that are used in our standard clinical practice. All results are in a good agreement with the results from similar studies found in literature.

RADIOEKOLOGIJA

RADIOECOLOGY

RADIOEKOLOŠKI ASPEKTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Gina Branica, Zdenko Franić i Gordana Marović
Jedinica za zaštitu od zračenja
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
gbranica@imi.hr

UVOD

ICRP pristup zaštiti od zračenja ljudi i okoliša

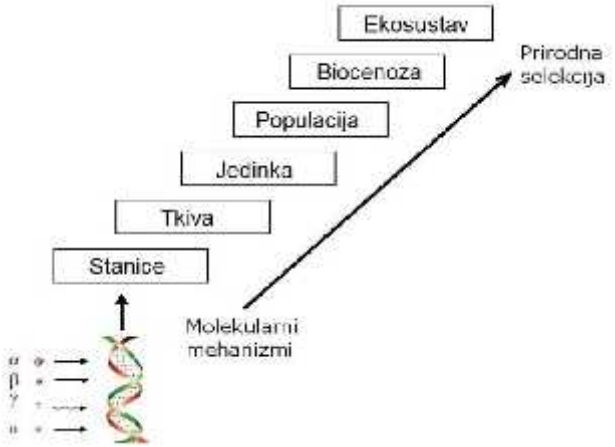
Radioekologija je grana ekologije koja se bavi proučavanjem radioaktivnih tvari i njihovim utjecajem u prirodi, kao i mehanizmima koji utječu na kretanje tih tvari u ekosustavima i njihovim unosom u prehrambene lance. Radioekološka istraživanja uključuju terenska uzorkovanja, terenske i laboratorijske pokuse te razvoj prediktivnih simulacijskih modela. Tehnike baznih polja znanosti kao što su fizika, kemija, matematika i biologija koriste se za dobivanje rezultata istraživanja na koje se primjenjuju koncepti zaštite od zračenja. Radioekološke studije čine bazu za procjenu rizika odnosno određivanje doza i procjenu posljedica radioaktivnosti na ljudsko zdravlje i okoliš. Tradicionalno, okviri zaštite od zračenja uglavnom su bili usmjereni na zaštitu ljudi, s posebnim naglaskom na ljudsko zdravlje. Takav stav je vidljiv iz publikacije svjetski relevantne institucije za zaštitu od zračenja, The International Commission on Radiological Protection (ICRP), čija je doktrina bila: "*if man is adequately protected from ionizing radiation, then other living things are also likely to be sufficiently protected*" [1] ("*...ako je ljudsko biće primjereno zaštićeno, onda je za očekivati da su i ostala živa bića dovoljno zaštićena.")*.

Posljedično, glavni fokus radioekoloških istraživanja bio je predvidjeti utjecaj radioaktivnosti na zdravlje ljudi, odnosno procijeniti moguće doze radioaktivnog zagađenja na ljudsku populaciju. Posljednjih godina, posebno nakon istraživanja posljedica na okoliš havarije u Černobilu, vjerodostojnost ovakve pretpostavke je postala upitna, posebno za područja gdje nema ljudi. To je potaknulo međunarodni interes prema istraživanjima i razvoju propisa koji posebno istražuju i zaštićuju upravo takva područja.

Budući da se nekoliko međunarodnih projekata bavilo ovom temom sa ciljem razvoja sustava određivanja doza u biocenozi, The International Commission on Radiological Protection [2], International Atomic Energy Agency (IAEA) i nekoliko nacionalnih organizacija raznih država kao što je

U.S. Department of Energy (DOE), preporučuju novi pristup za specifična određivanja radiološkog rizika za izloženu biocenozu. Ipak, mora se spomenuti da pri nižim dozama, koje mogu biti vrlo malene, čak i u nekim slučajevima nuklearnih havarija, a čije su posljedice vidljive samo kod najosjetljivijih vrsta i sustava, prag za statistički značajne efekte u većini studija je postuliran na oko 10^2 μGy h^{-1} [3].

Međutim, to se pokazalo kao vrlo složeni problem zbog kompleksnih referentnih točaka u opisivanju utjecaja radijacijskih doza na žive organizme, pogotovo za životinje i biljke, budući da su se utjecaji radioaktivnosti na ljude do sada više istraživali (Slika 1).



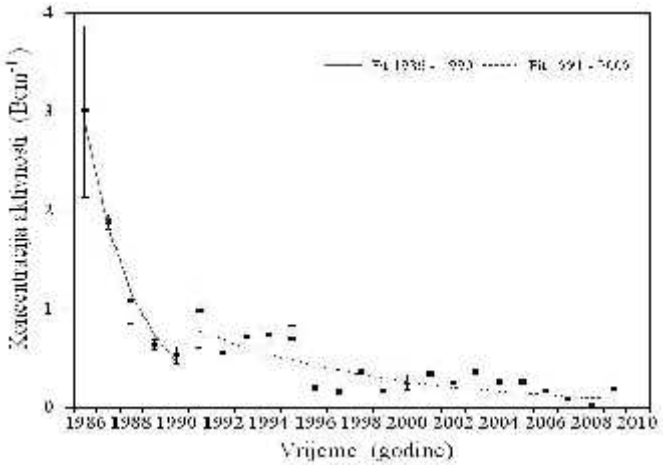
Slika 1. Učinci ionizirajućeg zračenja

Prvi korak pri procjeni rizika, odnosno procjeni doza, jesu terenska radioekološka istraživanja u različitim ekosustavima te mjerenje brzine doze. Dakle, radiološki i radiobiološki podaci moraju se smjestiti u konzistentan logički kontekst poznatih preporuka o deponiranju radionuklida u okoliš kako bi se provela procjena mogućih učinaka zračenja na sva živa bića.

U tom kontekstu, potrebno je naglasiti da se namjernim ili slučajnim unosom radionuklida u okoliš mijenjaju radiološki uvjeti u ovisnosti o vremenu (kao kod havarija u Černobilu i Fukushimi), što rezultira izvanredno složenim ponašanjem određenih radionuklida. Na primjer, vremenski tijek prosječne koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u raznim prehrambenim proizvodima poslije havarije u Černobilu rezultirao je brzim eksponencijalnim padom ^{137}Cs nekoliko godina poslije nesreće i puno

sporijim eksponencijalnim smanjivanjem u godinama koje su uslijedile. To je pokazano na primjeru jadranske srdele (Slika 2) [4].

Također, raspodjela koncentracije aktivnosti određenog radionuklida može pokazivati tzv. bimodalno ponašanje odražavajući različite izvore unosa radionuklida u okoliš.



Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u jadranskim srdelama *Sardina pilchardus sardina* (Risso, 1827)

Može se zaključiti da su populacije živih bića iz nekog ekosustava adekvatno zaštićene ako su brzine doza kod maksimalno izloženih jedinki iz neke populacije ispod određene granice. Hipoteza, je li doza koju primi maksimalno izložena jedinka prihvatljiva može biti ispitana pomoću podataka iz prirodnih populacija.

Zbog teškoće uzorkovanja maksimalno izložene jedinke unutar kontaminiranog okoliša, procjenitelji rizika koriste razne pristupe. To se može načiniti na više načina, od čega su najvažniji: promjena paradigme i primjena preporučene granice brzine doze, uzimajući interval pouzdanosti od 95 percentila srednje vrijednosti populacijskog uzorka koji predstavlja reprezentativni uzorak maksimalno izloženih jedinki.

Ponekad se za stvaranje "populacija" doza s poznatim distribucijskim kvalitetama koriste tehnike računalnih simulacija (*Monte Carlo* metode) te se onda statističkim metodama "uzorkuje" dio populacije doza kako bi se usporedila mogućnost raznih statističkih obrada u procjenjivanju reprezentativnog uzorka maksimalno izloženih jedinki.

Kao primjer, spomenimo rad Hintona i Wilsona [5] koji opisuju kvantificiranje odstupanja vezanih uz nekoliko pristupa korištenih za određivanje usuglašenosti s kriterijem brzine doze kod zaštite biocenoze. Njihovi rezultati ukazuju da ukoliko je 1 % najizloženijih jedinki (a ne maksimalno izložena jedinka) populacije izloženo brzinama doza manjim ili jednakim dozama postavljenim u regulativi, onda je populacija odgovarajuće zaštićena.

Rezultati njihovog istraživanja su također važni kod određivanja doze za kritične grupe ljudi čiji je način života takav da su doze koje oni prime među najvećima u populaciji.

Monitoring radioaktivne kontaminacija okoliša u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj istraživanja koncentracija aktivnosti fisijskih i prirodnih radionuklida provodi Jedinica za zaštitu od zračenja, Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada, kao dio ekstenzivnog programa nadzora radioaktivne kontaminacija okoliša u Republici Hrvatskoj koji je započet još godine 1959. Program se danas provodi pod nadzorom Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost i usaglašen je s EU praksom, odnosno preporukama Europske komisije iz 2000. godine o primjeni Članka 36 Ugovora Euratom [6]. Međutim, valja napomenuti da ovaj program još uvijek nije usaglašen s najnovijim promjenama u stavovima ICRP-a o zaštiti okoliša, koji se još usuglašavaju. Općenito, buduća upotreba bilo kojih nuklearnih tehnika u EU i u svijetu zahtijevat će rješenja usuglašena sa zahtjevima zaštite od zračenja i radioekologije.

Naime, takve nuklearne tehnike moraju biti kompatibilne sa sustavnim pripremama na razini bilo kojeg ekološkog sustava za svaki nekontrolirani odnosno neplanirani ispust radioaktivnosti i sa pripadnim planom nadzora (*radioekologija*) kao i zaštitom ljudskog zdravlja i okoliša (*zaštita od zračenja*). To je posebno važno u Republici Hrvatskoj zbog raznolikosti njenih zemljopisnih regija.

Centar za zdravstvenu i medicinsku ekologiju i zaštitu od zračenja

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, kao znanstvena poluga doktrine javnoga zdravstva, pokrenuo je projekt uspostave Istraživačko edukacijskog Centra za zdravstvenu i medicinsku ekologiju i zaštitu od zračenja. Jedan od ciljeva djelovanja budućeg Centra jest funkcionalna integracija radioekoloških istraživanja i nove doktrine zaštite od zračenja koja učinkovito štiti i ljude i okoliš.

ZAKLJUČAK

Kako bi se razvio okvirni program procjene učinaka zračenja na okoliš, potrebno je utvrditi vezu između izlaganja zračenju (brzine doze, efektivne doze) i učinaka koje zračenje izaziva kod biljaka i životinja.

Iako je program monitoringa radioaktivnog zagađenja ljudskog okoliša u EU, pa tako i u Hrvatskoj, općenito implementiran prema preporukama Komisije iz 8. lipnja 2000. godine prema članku 36 Euratom sporazuma, a koji se tiče praćenja razina zračenja u okolišu zbog procjene izlaganja čitave ljudske populacije, morat će se usklađivati s budućim ICRP preporukama.

Hrvatska se već može početi pripremati za novi pristup problematici funkcionalnog integriranja radioekologije i zaštite od zračenja, bez obzira što se konačne preporuke još utvrđuju i razvijaju.

LITERATURA

[1] The International Commission on Radiological Protection (ICRP). Recommendations of the ICRP Publication Ann. ICRP 26, Oxford Pergamon Press (Oxford), 1977.

[2] The International Commission on Radiological Protection (ICRP). Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Publication 108, Ann. ICRP 38 (4-6), Oxford Pergamon Press (Oxford), 2008.

[3] Real A, Sundell-Bergman S, Knowles J F, Woodhead D S, Zinger I. Effects of ionising radiation exposure on plants, fish and mammals: relevant data for environmental radiation protection. J Radiol Protect 2004;24(4A):A123-A137.

[4] Franić Z, Branica G, Marović G, Petrinec B, Kubelka D, Franić Z. Post-Chernobyl Investigations of Radiocaesium Activity Concentrations in the Adriatic Sea Pilchards. Radiat Prot Dosim 2012;151:314-322.

[5] Hinton TG. Human nd Ecological Risks from Radioactive Contaminants. Available at: http://srel.uga.edu/facstaffpages/hinton_risks.html

[6] Commission recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as a whole (C1299/2000). European Commission, 2000/473/Euratom.

THE RADIOECOLOGICAL ASPECTS OF RADIATION PROTECTION

Gina Branica, Zdenko Franić and Gordana Marović
Radiation Protection Unit
Institute for Medical Research and Occupational Health
Zagreb, Croatia
gbranica@imi.hr

This paper discusses the links between radioecology and radiation protection. The traditional radiation protection framework of the International Commission Radiological Protection (ICRP), adopted by the legislation of most countries, is shifting from the paradigm that "*if man is adequately protected from ionizing radiation, then other living things are also likely to be sufficiently protected*" towards more efficient protection of non-human biota. However, the estimation of radiation doses, especially low ones, to non-human organisms is very complex issue since they have been studied to a far lesser extent compared to human doses. The first step in dose calculations (i.e. risk assessment) is the measurement of real field data for various radionuclides in various compartments of the biosphere as well as dose rate measurements. Once we obtain relevant data, it is reasonable to argue that biota is adequately protected if the dose rates to the maximally exposed individual from this population are below a certain (safe) limit. The problem arises when one attempts to identify such an individual within a contaminated environment described by measured radioecological parameters. Computer simulation techniques, like *Monte Carlo* methods are used to generate a "population" of doses with known distributional qualities. Then, using statistical methods, a part of this population is mathematically "sampled" to compare the ability of the various statistics at estimating the representative sample of maximally exposed individuals. This exposure, depending on environmental conditions is subject to radioecological investigations. Radioecological investigations regarding fission products in Croatia are implemented as part of an extended and still ongoing radioactive contamination monitoring programme of the human environment that has been fully harmonized with European legislation, i.e. the European Commission's recommendation of June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty.

ONEČIŠĆENJA ZRAKA U PLANINSKO - URBANOM PODRUČJU

Ivana Jakovljević, Gordana Pehnec, Vladimira Vađić, Gordana Marović, Marija Surić Mihić, Jasminka Senčar, Ranka Godec i Silvije Davila
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
ijakovljevic@imi.hr

UVOD

Onečišćenja zraka posljedica su brojnih ljudskih aktivnosti; mogu nastati prirodnim putem prilikom velikih šumskih požara i vulkanskih erupcija ili tijekom različitih industrijskih procesa [1]. Izloženost ionizirajućem zračenju jedna je od mogućih noksi u okolišu. Promotrimo li je u svjetlu noksi kojima smo izloženi onečišćenjem zraka, dobiva se složenija slika onečišćenja nekog prostora. Jedno od mogućih onečišćenja je i benzo[a]piren (BaP), najpoznatiji i najviše proučavan spoj iz skupine policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAU ili PAH, od engl. *polycyclic aromatic hydrocarbons*). Često se rabi kao indikator prisutnosti PAU u hrani i zraku. BaP nije nužno i najzastupljeniji spoj, ali se uvijek javlja kad su prisutni PAU [2-4]. Kućna ložišta jedan su od glavnih izvora raznih onečišćenja, a samim time i BaP, osobito ako se kao gorivo rabe drvo ili ugljen [5]. BaP se sastoji od pet međusobno povezanih benzenskih prstenova, nalazi se u zraku uglavnom vezan na lebdeće čestice [6-9].

Zbog svog geografskog položaja i raznovrsnog eko sustava, Gorski Kotar je zanimljiv za istraživanja onečišćenja zraka. U radu su prikazani rezultati istovremenog određivanja brzine ambijentalnog ekvivalenta doze, *H*(10)/t*, i istraživanja koncentracije BaP u zraku. Istraživanja su proveli suradnici Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu kao dio proširenog programa praćenja onečišćenja i radioaktivnosti životne sredine na području Republike Hrvatske.

MATERIJALI I METODE

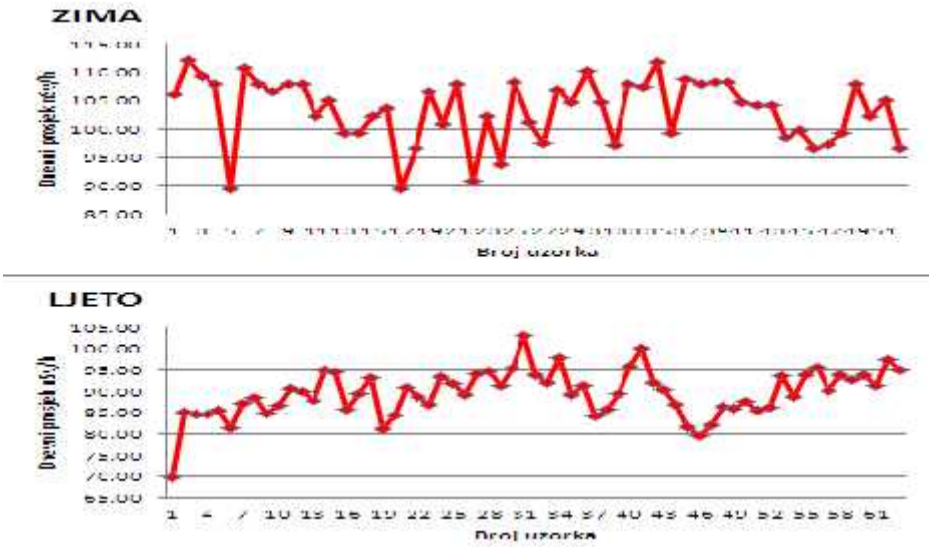
U vidu istraživanja onečišćenja zraka u Gorskom Kotaru uzorkovane su lebdeće čestice PM_{10} (ekvivalentnog aerodinamičkog promjera manjeg od 10 μm). Uzorkovanje se provodilo 60 dana u ljetnom i 60 dana u zimskom periodu godine prosisavanjem zraka tijekom 24 sata kroz filtarski papir pomoću Sven Leckel uzorkivača s malim protokom zraka (~ 55 m^3)

[10,11]. Analiza BaP u lebdećim česticama rađena je tekućinskom kromatografijom visoke djelotvornosti s fluorescentnim detektorom promjenjivih valnih duljina ekscitacije i emisije.
Tijekom uzorkovanja lebdećih čestica provodilo se i određivanje brzine ambijentalnog ekvivalenta doze, *H*(10)/t* neprekidnim mjerenjem brzine doze zračenja elektroničkim dozimetrima *ALARA*.

Iz neprekidno skupljanih podataka u deset-minutnim intervalima tijekom cijelog vremena izloženosti instrumenta, određuje se brzina ambijentalni ekvivalent doze u nSv/h. IMI je akreditiran sukladno zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007, HAA br.1288, i u području određivanja brzine ambijentalnog ekvivalenta doze, *H*(10)/t*.

REZULTATI

Opterećenje ionizirajućim zračenjem, vrijednost ambijentalnog ekvivalenta doze, *H*(10)*, određena je neposrednim neprekidnim mjerenjem elektroničkim dozimetrima *ALARA*. Izračunate su vrijednosti dnevnog prosjeka brzine doze, *H*(10)/t*, te su prikazane na Slici 1.



Slika 1. Dnevne vrijednosti prosjeka *H*(10)/t* u nSv/h tijekom ljetnog i zimskog perioda mjerenja onečišćenja

Izračunate prosječne vrijednosti za razdoblje ispitivanja prikazane su u Tablici 1. Prikazani rezultati mjerenja uklapaju se u sezonsku periodičnost potvrđenu analizom dugogodišnjih podataka o brzini doze u zraku kada su

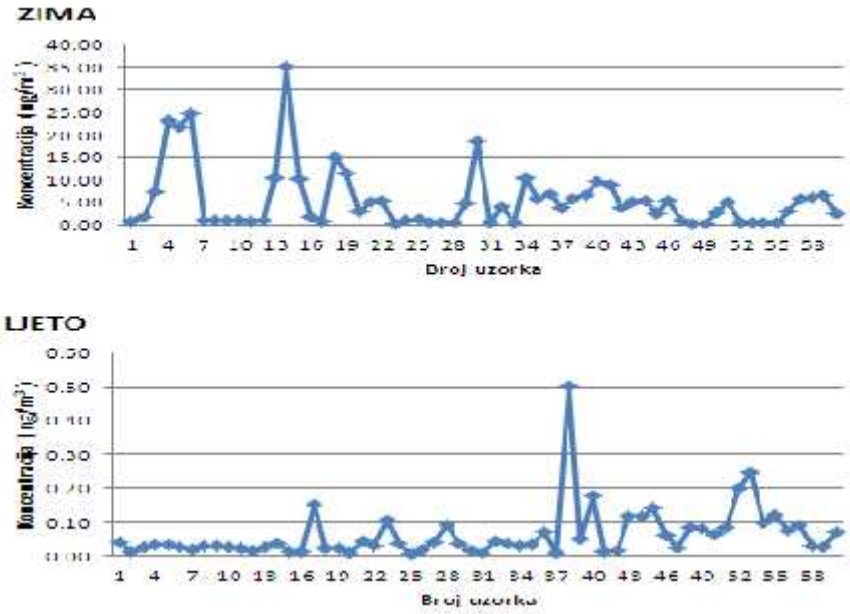
uočene i definirane periodičnosti u osnovnom zračenju, terestrijalnog i kozmičkog podrijetla [12].

Iz prikazanih rezultata moguće je procijeniti opterećenje prostora ionizirajućim zračenjem kao godišnju ekvivalentnu dozu za mjereno područje i ona iznosi 860 μSv, što je nešto niža vrijednosti od procijenjene za prostor Republike Hrvatske u 2010. godini, 890 μSv [13].

Tablica 1. Prosječne vrijednosti brzine doze

		H*(10)/t (nSv/h)
Prosjek	**Zima**	103 ± 11
	Ljeto	89 ± 11
Prosjek		96 ± 18

Rezultati mjerenja koncentracije BaP u planinsko urbanom području prikazani su na Slici 2.



Slika 2. Dnevne vrijednosti koncentracije benzo[a]pirena tijekom ljetnog i zimskog mjerenja

Za vrijeme ljetnog perioda izmjerena je najviša dnevna vrijednost benzo[a]pirena 0,50 ng/m^3, dok u zimskom periodu postoji pet maksimuma u izmjerenim koncentracijama (veći od 15 ng/m^3) i to sva pet u prvoj polovici mjerenja. Ovi rezultati mogu se objasniti drugačijim vremenskim uvjetima (druga polovica bila je toplija i bliža proljetnom razdoblju). Najviše izmjerena dnevna vrijednost bila je 35,2 ng/m^3. Srednja vrijednost izmjerenih koncentracija iznosila je 5,46 ng/m^3 za zimu i 0,06 ng/m^3 za ljeto.

ZAKLJUČAK

Opterećenje ionizirajućim zračenjem prikazano u ovom radu i procijenjeno kao ambijentalna ekvivalentna doza, *H*(10)*, u suglasju je s vrijednosti prosječne izloženosti na prostoru Republike Hrvatske [13]. Koncentracije benzo[a]pirena izmjerene tijekom zime prelaze ciljnu vrijednost za BaP propisanu Uredbom [14] za godišnji prosjek (1 ng/m^3), dok su koncentracije za vrijeme ljetnog perioda bile ispod 0,5 ng/m^3. S obzirom na činjenicu da se u istraživanom području stanovništvo grije na drva i da je blizu drvna industrija kao mogući onečišćivač, procjenjuje se da su povišene razine BaP u planinsko urbanom području posljedica izgaranja drva tijekom ogrjevne sezone što potvrđuju i visoke koncentracije tijekom zime.

LITERATURA

[1] Bjørseth A, Ramdahl T. Sources and emissions of PAH. U: Bjørseth A, Ramdahl T, urednici. Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Vol. 2. Chapter 1. New York (NY): Marcel Dekker Inc.; 1985.

[2] Lee LM, Novotny VM, Bartle DK. Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds. New York (NY): Academic Press; 1981.

[3] World Health Organization (WHO). Regional Office for Europe. Air Quality Guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: WHO; 2000.

[4] International Agency for Research on Cancer (IARC). Environmental Carcinogens: Selected Methods of Analysis. Vol. 3. Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Samples. Lyon: IARC; 1979.

[5] Choi MPK, Kang YH, Peng XL, Ng KW, Wong MH. Stockholm Convention organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in Hong Kong air. Chemosphere 2009;77:714-719.

[6] Beak SO, Goldstone ME, Kirk PWW, Lester IN, Perry R. Concentrations of particulate and gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons in London air following a reduction in the lead content of petrol in the United Kingdom. Sci Total Environ 1992;111:169-199.

[7] International Programme on Chemical Safety (IPCS). Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Health Criteria 202. Geneva: WHO; 1998.
[8] Callen MS, de la Cruz MT, Lopez JM, Murillo R, Navarro MV, Mastral AM. Some inferences on the mechanism of atmospheric gas/particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) at Zaragoza (Spain). Chemosphere 2008;73:1357-1365.
[9] Possanzini M, Di Palo V, Gigliucci P, Tomasi Sciano MC, Cecinato A. Determination of phase-distributed PAH in Rome ambient air by denunder/GC-MS method. Atmos Environ 2004;38:1727-1734.
[10] Li Z, Porter EN, Sjodin A, Needham LL, Lee S, Russell AG, Mulholland JA. Characterization of PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Atlanta - Seasonal variations at urban, suburban, and rural ambient air monitoring sites. Atmos Environ 2009;43:4187-4193.
[11] Šišović A, Pehnec G, Jakovljević I, Šilović Hujić M, Vađić V, Bešlić I. Polycyclic aromatic hydrocarbons at different crossroads in Zagreb, Croatia. Bull Environ Contam Toxicol 2012;88:438-442.
[12] Babić D, Senčar J, Petrinec B, Marović G, Bituh T, Skoko B. Fine structure of the absorbed dose rate monitored in Zagreb, Croatia, in the period 1985-2011. J Environ Radioactiv 2013;118**:**75-79.
[13] IMI-CRZ-91; Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj (Izvješće za 2010. godinu). G. Marović i sur 2011.
[14] Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku, Narodne novine 117/12.

AIR POLLUTION IN THE MOUNTAIN - URBAN AREAS

Ivana Jakovljević, Gordana Pehnec, Vladimira Vađić, Gordana Marović, Marija Surić Mihić, Jasminka Senčar, Ranka Godec and Silvije Davila
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
ijakovljevic@imi.hr

Pollution of the environment is characterized, among others, by ionizing radiation burden and air pollution. Ambient dose equivalent, *H*(10)*, is operational quantity for area monitoring due to ionizing radiaton exposure. One of air pollution sources is benzo[a]pyrene (BaP) as the most commonly measured polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) and is used as an indicator of carcinogenic hazard in polluted environments. PAHs are widely distributed in the atmosphere and were among the first pollutants identified as potential carcinogens. PAHs are products of the incomplete combustion of fossil fuels and other organic materials. More than 500 PAHs have so far been identified in the air.

Sampling of airborne particles PM_{10} was carried out in a mountain area in Gorski Kotar, Croatia during 60 days in the winter and 60 days in the summer period of the year. During the sampling of airborne particles, the ambient dose equivalent rate was also measured using an electronic dosemeter ALARA device.

High performance liquid chromatography with fluorescence detector was used for BaP analysis. BaP concentrations showed strong seasonal variations. During winter, the average BaP concentrations were significantly higher (5.46 ng/m^3) than in the summer (0.06 ng/m^3). Ambient dose equivalent rate in winter period was a little higher than in summer. Ambient dose equivalent was calculated on a yearly base. Yearly ambient dose equivalent was 860 μSv which is slightly lower than the average value for Croatia (890 μSv).

RADIOACTIVITY OF ATMOSPHERIC AEROSOLS IN SARAJEVO

Zorana Ilić, Alfred Vidic, Delveta Deljkić and Irma Kadić
Institute for Public Health of FB&H, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
z.ilic@zzjzfbih.ba

INTRODUCTION

Radioactive substances enter the atmosphere from both natural and anthropogenic sources. Natural radionuclides in the atmosphere have two principal sources: radon and its progeny derived from Earth's surface (^{210}Pb) and cosmic-ray-produced nuclides (^{7}Be). Dust from the resuspension of soils can also provide secondary sources (^{40}K). Anthropogenic radioactivity in the atmosphere on global scale originates mainly from nuclear weapons testing or accidents of nuclear power plants (^{137}Cs).

Air radioactivity monitoring in urban areas (due to high population density, heavy traffic and industrial plants located in the outskirt) has become a part of the pollution monitoring program in most of the European countries [1].

The aim of this work was to asses, with the use of ASS 500 sampling station, the concentration of radioactive isotopes in the near ground level air in Sarajevo (N 43,86530; E 18,41525), Bosnia and Herzegovina. The ASS-500 is aimed on the monitoring of air contamination in both normal and emergency situations. Collection of aerosols from the air volume of the order of tens of thousand m^3 enables accurate spectrometric measurements of natural and artificial radionuclides in the wide range of their concentration. Collection is carried out in changing atmospheric conditions of humidity, dustiness, temperature, etc.

MATERIAL AND METHODS

In scope of our monitoring programme, air filter samples were collected as standard environmental media for radioactive emission monitoring. Air sampler is located within the urban area of Sarajevo at the Institute for Public Health, Radiation Protection Centre, at location with very low traffic.

During the period of four year study, between January 2010 and August 2013, aerosol samples have been collected using high volume air

sampler ASS-500. The station utilizes a Petrianov filter revealing very good aerosol collecting properties [2,3]. The Petrianov FPP-15-1.5 type filter with collection area about 0.2 m^2 and high collection efficiency is routinely used. Its aerosol collection efficiency is from 96 to 99 % for aerosols of diameter ranging from 0.3 to 1.25 μm at a linear flow rate varying from 0.25 to 4 m/s with pressure drop at the filter Δp from 500 to 9300 Pa [4]. The flow and quantity of air flowing through the installation are measured by the TFC-1 flow counter. The filters are changed every week and about 10000 - 100000 m^3 of ambient air is pumped through the filters. Dust contents were determined by weighting the filters before exposure and after exposure under the same conditions. The difference between the two weights gives specific aerosol mass concentrations ($\mu g/m^3$). After sampling, the monthly samples (filters) were accumulated, transferred in an appropriate measurement container (250 mL volume-for which the efficiency calibration of the detector exists) and counted with high resolution germanium detectors.

The measurement of the activity concentration of the radionuclides deposited on the filter is performed by means of the HPGe detector, relative efficiency 30 % and resolution of 1.9 keV at 1.33 MeV. The efficiency calibration of the detector is performed using a volume standard mix - γ source (Czech Metrological Institute, Praha, type ERX) containing several isotopes emitting gamma radiation (^{241}Am, ^{109}Cd, ^{139}Ce, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{88}Y, ^{113}Sn, ^{85}Sr, ^{137}Cs and ^{203}Hg). Since the atmospheric activity concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K are very low, the cumulated monthly samples (cumulated four or five week samples) were used for the measurement. Measurement time was 200000 seconds, two days after sampling has been completed to allow the decay of the radon daughters [4].

RESULTS

In this work, a comparison of dustiness and concentration of ^{7}Be, ^{137}Cs and ^{40}K in the near ground air layer was performed.

The activity concentrations of ^{7}Be, ^{137}Cs, ^{40}K and aerosol mass concentration in Sarajevo atmosphere for the time period of January 2010 to August 2013 are presented in Figures 1, 2, 3 and 4. Means of about 2890 ± 75 $\mu Bq/m^3$, 2.58 ± 0.13 $\mu Bq/m^3$, 19.1 ± 4.2 $\mu Bq/m^3$ and 52.30 $\mu g/m^3$ were found for activity concentration of ^{7}Be, ^{137}Cs, ^{40}K and aerosol mass concentration, respectively, averaged over four years. The monthly activity concentrations of ^{7}Be in air were in range from 236 to 4781 $\mu Bq/m^3$. Higher values in spring/summer comparing to autumn and winter season are

connected to air mass exchange by the heating of the Earth's surface, since the stratosphere and the lower troposphere are reservoirs of the cosmogenic radionuclides (Figure 1).

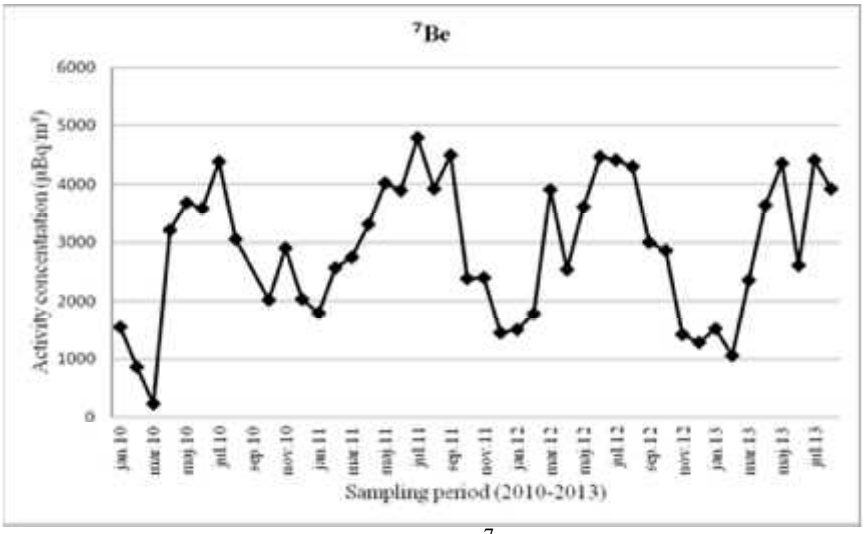


Figure 1. Monthly activity concentration of ^{7}Be at ground level air in Sarajevo

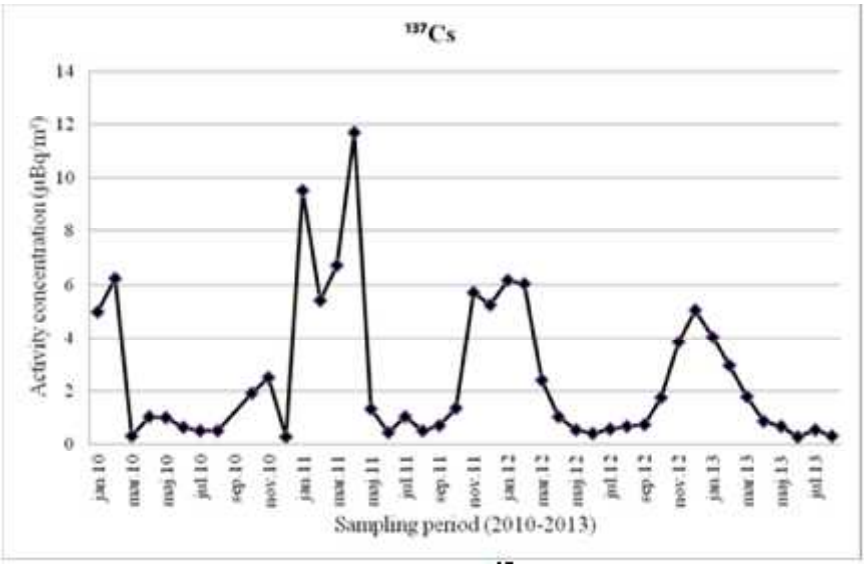


Figure 2. Monthly activity concentration of ^{137}Cs at ground level air in Sarajevo

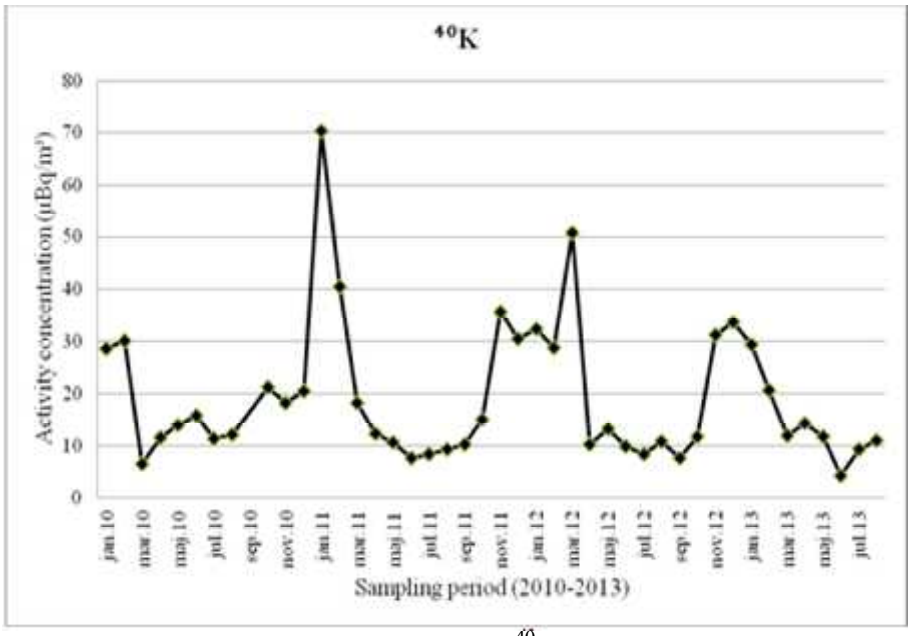


Figure 3. Monthly activity concentration of ^{40}K at ground level air in Sarajevo

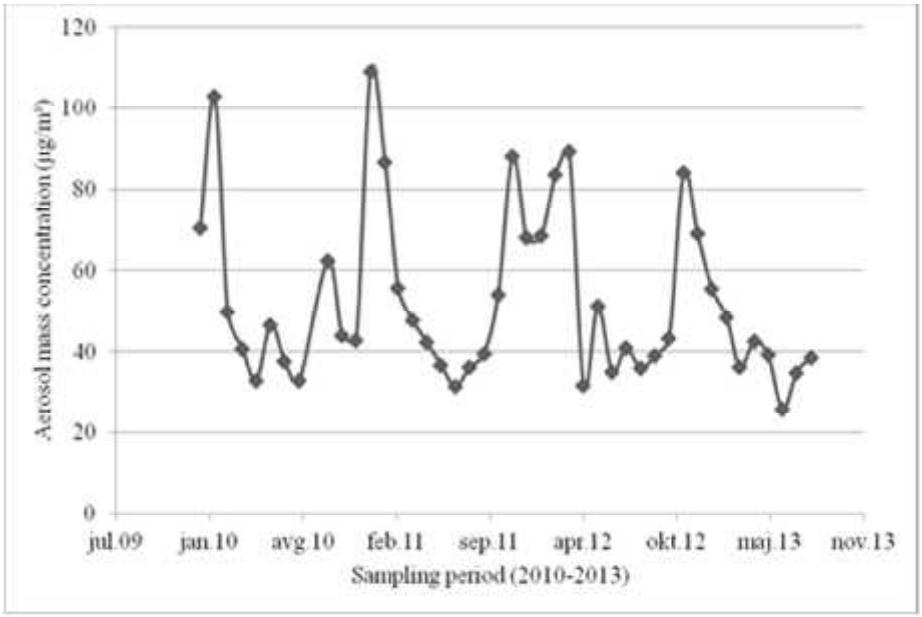


Figure 4. Aerosol mass concentration at ground level air in Sarajevo

Activity concentrations of ^{137}Cs (Figure 2) and ^{40}K (Figure 3) in ground level air also display a kind of cyclic structure with minima in late spring-early summer when high vegetation reduced re-suspension. The range of ^{137}Cs and ^{40}K activity concentrations for this period was 0.30 to 11.70 $\mu Bq/m^3$ and from 4.2 to 70.4 $\mu Bq/m^3$, respectively.

Strong seasonal variations in aerosol mass concentrations were in the range of 25.69 to 109.19 $\mu g/m^3$ (Figure 4), with spring minima and winter maxima. High winter levels might come from the local emission [5].

CONCLUSION

Activity concentration of ^{7}Be, ^{137}Cs and ^{40}K show typical seasonal variations with mutually inverse trends. The activity concentrations were observed to be higher in spring and early summer for ^{7}Be and opposite to that in winter months they are higher for ^{137}Cs and ^{40}K.

The observed range and average values can be considered as representative at ground level air in our geographical region. The results can be considered as baseline value for the ambient radiation measurements and provide reliable data in case of nuclear accident.

REFERENCES

[1] Janković MM, Todorović DJ, Nikolić JD, Rajačić MM, Pantelić G K, Sarap NB. Temporal concentration changes of berylium-7 and lead-210 in ground level air in Serbia. Hem Ind 2014;68:83-88.

[2] Komosa A, Chibowski St. Determination of plutonium in ground-level air aerosols collected on Petrianov filters. J Radioanal Nucl Chem 2002;251: 113-117.

[3] Kownacka L. Vertical distributions of beryllium-7 and lead-210 in the tropospheric and lower stratospheric air. Nukleonika 2002;47:79-82.

[4] Isajenko K, Lipinski P. ASS 500 station manual. Central Laboratory for radiological protection, Dosimetry departmant, Warszaw, February 2008.

[5] Blažej S, Mietelski JW. Cosmogenic ^{22}Na, ^{7}Be and terrestrial ^{137}Cs, ^{40}K radionuclides in ground level air samples collected weekly in Krakow (Poland) over years 2003-2006. J Radioanal Nucl Chem 2014;300:747-756.

RADIOACTIVITY OF ATMOSPHERIC AEROSOLS IN SARAJEVO

Zorana Ilić, Alfred Vidic, Delveta Deljkić and Irma Kadić
Institute for Public Health of FB&H, Maršala Tita 9, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
z.ilic@zzjzfbih.ba

The aim of the present work is to provide information on the variations of the activity concentration of the cosmogenic radionuclide ^{7}Be and other natural and man made radionuclides like ^{137}Cs, in airborne particulate matter in Sarajevo area during the 2010 - 2013 period.

The aerosols were collected using high volume sampler ASS-500 (airflow rate about 500 m^3/h), trapped in a chlorinated polyvinylchloride filters (Petrianov filter FPP – 15 - 1.5). The filters were collected on weekly basis and prepared for the measurements in predetermined geometry. The measurements were performed by high resolution γ spectrometry.

The activity concentration of ^{7}Be within observed period ranged from 236 to 4781 μBq/m^3 with the average value of 2890 ± 75 μBq/m^3. The range of ^{40}K activity concentration for this period was 4.2 to 70.4 μBq/m^3, with the average of 19.1 ± 4.2 μBq/m^3 and from 0.30 to 11.70 μBq/m^3 with average value of 2.58 ± 0.13 μBq/m^3 of anthropogenic ^{137}Cs. A mean aerosol mass concentrations of about 52.30 μg/m^3 was also determined during the period of measurements.

Activity concentration of ^{7}Be, ^{137}Cs and ^{40}K show typical seasonal variations with mutually inverse trends. The activity concentrations were observed to be higher in spring and early summer for ^{7}Be and opposite to that in winter months they are higher for ^{137}Cs and ^{40}K. The observed range and average values can be considered as representative at ground level air in our geographical region.

The results can be considered as baseline value for the ambient radiation measurements and provide reliable data in case of nuclear accident.

RADIOAKTIVNOST TALOŽNE TVARI

Mirjana Čačković, Gordana Marović, Vladimira Vađić, Silva Žužul, Dinko Babić i Jasminka Senčar
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska
mcackovic@imi.hr

UVOD

Ukupna taložna tvar (UTT) su sve one tvari prisutne u zraku koje suhim i mokrim taloženjem dospijevaju na tlo. UTT u svom sastavu sadrži veliki broj različitih organskih i anorganskih spojeva, čađe, radionuklida i drugih elemenata. Sastav UTT ovisan je o vrsti i svojstvima izvora, meteorološkim parametrima, godišnjem dobu, kao i o veličini i starosti samih čestica.

Mjerenja UTT u Zagrebu započela su ranih 1960-tih godina u sklopu praćenja kvalitete zraka, a prisutnost radioaktivnih tvari u zraku na pojedinim mjestima Hrvatske također, prati se od 1962. godine do danas u sklopu programa praćenja stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj.

U radu su prikazani rezultati određivanja radioaktivnosti ukupne taložne tvari u Zagrebu za razdoblje 2010. - 2014. godine.

MATERIJAL I METODE

Sva mjerenja provedena su na mjernoj postaji u sjevernom dijelu Zagreba za razdoblje 2010. - 2014. godine. Za određivanje radioaktivnosti taložne tvari koristila se ploča površine 929 cm^2 premazana tankim slojem vazelina koja je postavljena na stalku visine jedan metar iznad tla, na otvorenom prostoru i izložena je atmosferilijama (*fallout*). Uzorkovanje je provedeno tijekom tromjesečnih razdoblja (siječanj - ožujak; travanj - lipanj; srpanj - rujan; listopad - prosinac) za svaku godinu mjerenja. Nakon izlaganja uzorak se skida s vazelinske ploče prikladnim otapalom (benzin). U tom uzorku provedena je gamaspektrometrijska analiza prirodnih (^{40}K, ^{7}Be) i fisijskih (^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuklida.

Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišteni su germanijski detektori visoke čistoće (HPGe) s pripadnom elektroničkom i računalnom podrškom. Kalibracija efikasnosti

provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) kao i JRC EU.

Uzorci UTT sakupljani su kao mjesečni uzorci sakupljačem po Bergerhoff-u [1]. Sakupljač po Bergerhoff-u dizajniran je tako da je uzorkovanje zaštićeno od mogućeg utjecaja ptica kao i drugih negativnih čimbenika. Uzorci se sakupljaju 2 metra iznad tla u posudu za uzorkovanje volumena oko 2 litre i promjera otvora 120 mm.

UTT određuje se gravimetrijski. Nakon uzorkovanja uzorak se filtrira kroz prethodno izvagani membranski filtar Millipore SCWPO90253 veličine pora 3 μm, koji se zatim suši na 105 °C i ponovo važe. Filtrat se upari do suha također u prethodno izvaganoj posudi za uparavanje i nakon uparavanja ponovo važe. Korištena je analitička vaga Mettler Tolledo AX205 (d = 0,01 mg). Zbroj mase taloga na filtru i taloga nakon uparavanja filtrata je masa UTT u uzorku, koja se preračuna na jedinicu površine uzorkovanja i izrazi kao količina UTT (g m^{-2}). Za potrebe ovog rada mjesečni uzorci UTT zbrajani su u zbrojni tromjesečni uzorak (siječanj - ožujak; travanj - lipanj; srpanj - rujan; listopad - prosinac) za svaku godinu mjerenja.

REZULTATI

Rezultati izmjerenih koncentracija aktivnosti prirodnih (^{40}K, ^{7}Be) i fisijskih (^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuklida u prikupljenim uzorcima kao i rezultati određivanja količine UTT povezani su u veličinu nazvanu specifična radioaktivnost ukupne taložne tvari, A_s, izraženu u Bq g^{-1} (UTT). Rezultati određivanja specifične radioaktivnosti ukupne taložne tvari, A_s za svako tromjesečje tijekom petogodišnjeg mjerenja prikazani su u Tablici 1.

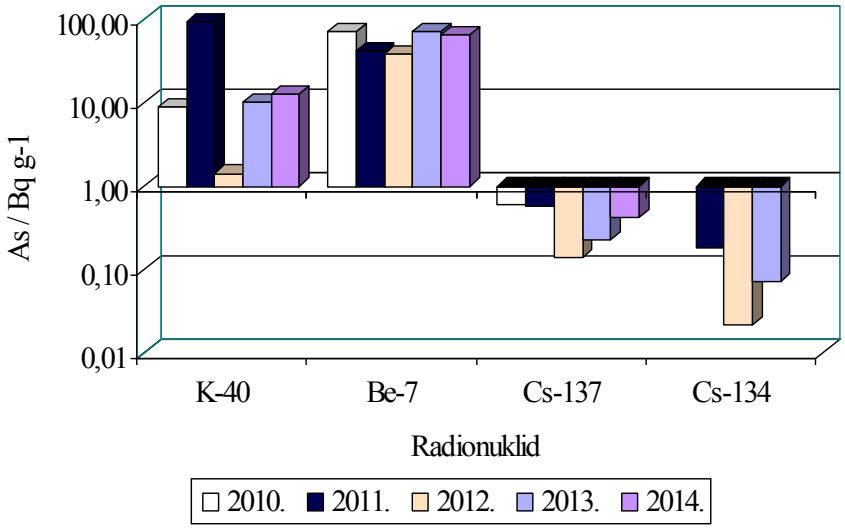
Iz rezultata je vidljivo da su uglavnom tijekom cjelokupnog razdoblja mjerenja specifične aktivnosti radionuklida u UTT najviše vrijednosti određene za ^{7}Be zatim slijede ^{40}K i ^{137}Cs, osim za razdoblje siječanj – ožujak 2011. godine kada su određene i najviše vrijednosti specifične aktivnosti za sve radionuklide i to: ^{40}K > ^{7}Be > ^{137}Cs > ^{134}Cs. Ovakve visoke vrijednosti specifične aktivnosti kao i pojava ^{134}Cs u uzorku posljedica su prisutnosti povišenih koncentracija aktivnosti radionuklida u zraku nakon nesreće u nuklearnoj elektrani u Fukushimi [2-4]. Prosječne godišnje vrijednosti specifične aktivnosti radionuklida ^{40}K, ^{7}Be, ^{137}Cs i ^{134}Cs bile su najviše u 2011. godini, osim za ^{7}Be za kojeg je najviša vrijednost određena u 2013. godini (Slika 1).

Tablica 1. Specifična radioaktivnost UTT

Razdoblje mjerenja		Specifična radioaktivnost A_s (Bq g^{-1})			
		^{40}K	^{7}Be	^{137}Cs	^{134}Cs
2010.	siječanj - ožujak	15,28	62,00	0,38	-
	travanj - lipanj	0,32	50,71	0,37	-
	srpanj - rujan	8,14	60,08	0,67	-
	listopad - prosinac	12,17	113,62	0,97	-
2011.	siječanj - ožujak	344,23	65,00	1,90	0,24
	travanj - lipanj	1,31	5,16	0,09	-
	srpanj - rujan	22,74	38,82	0,17	-
	listopad - prosinac	6,66	61,49	0,14	0,12
2012.	siječanj - ožujak	2,83	63,08	0,03	-
	travanj - lipanj	1,85	75,36	0,48	-
	srpanj - rujan	0,36	6,55	0,02	0,03
	listopad - prosinac	0,66	7,90	0,03	0,01
2013.	siječanj - ožujak	9,51	52,77	0,19	-
	travanj - lipanj	11,13	55,55	0,13	-
	srpanj - rujan	10,33	64,63	0,19	0,07
	listopad - prosinac	10,42	116,34	0,40	-
2014.	siječanj - ožujak	20,72	36,09	0,53	-
	travanj - lipanj	6,45	68,74	0,13	-
	srpanj - rujan	13,55	48,67	0,36	-
	listopad - prosinac	9,24	106,73	0,69	-

ZAKLJUČAK

Rezultati izmjerenih koncentracija aktivnosti prirodnih (^{40}K, ^{7}Be) i fisijskih (^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuklida kao i rezultati određivanja količine UTT u zraku za razdoblje mjerenja 2010. - 2014. godina povezani su u veličinu nazvanu specifična radioaktivnost ukupne taložne tvari, A_s, izraženu u Bq g^{-1} (UTT). Najviše vrijednosti specifične aktivnosti UTT za sve radionuklide i to: ^{40}K > ^{7}Be > ^{137} Cs > ^{134}Cs određene su u razdoblju mjerenja (siječanj - ožujak) 2011. godine. Ovakve vrijednosti specifične aktivnosti kao i pojava ^{134}Cs posljedica su prisutnosti povišenih koncentracija aktivnosti radionuklida u zraku nakon nesreće u nuklearnoj elektrani Dai-ichi u Fukushimi.



Slika 1. Prosječne godišnje vrijednosti specifične radioaktivnosti UTT

LITERATURA

[1] VDI 4320 Part 2, Measurement of atmospheric depositions; Determination of the dust deposition according to the Bergerhoff method; 2012.

[2] Marović G, Šega K, Bešlić I, Senčar J. Radioactivity in the air of Zagreb in the year 2011. U: Selahattin I, Ceyhan K, urednici. Proceedings Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales 4th International Symposium & IUAPPA Regional Conference; 10. - 13. rujna 2012.; Istanbul, Turska. Istanbul: Istanbul Technical University, Turkish National Committee for Air Pollution and Control; 2011. str. 824-830.

[3] Perrot F, Hubert Ph, Marquet Ch, Pravikoff M.S, Bourquin P, Chiron H, Guernion P-Y, Navhab A. Evidence of ^{131}I and ^{134,137}Cs activities in Bordeaux, France due to the Fukushima nuclear accident. J Environ Radioact 2012; 114:61-65.

[4] Cosma C, Iurian AR, Nit DC, Begy R, Cindea C. Indicators of the Fukushima radioactive release in NW Romania. J Environ Radioact 2012; 114:94-99.

RADIOACTIVITY OF DEPOSITED MATTER

Mirjana Čačković, Gordana Marović, Vladimira Vađić, Silva Žužul, Dinko Babić and Jasminka Senčar
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
mcackovic@imi.hr

Atmospheric total deposition is an important mechanism controlling deposition of toxic airborne pollutants and their removal from the atmosphere, which takes place by wet and dry processes. Deposited matter consists of solid or liquid particles in the atmosphere that settle on the ground and contaminate soil, plants and materials.

Specific radioactivity (A_s in Bq g^{-1}) was investigated in the total deposited matter (TDM) at one measuring site in Zagreb for five years (2010 to 2014). Natural (^{40}K, ^{7}Be) and fission - produced (^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuclides in deposited matter were determined in samples collected on a vaseline plate exposed to atmospheric deposition on over three months. Determination of radionuclides was carried out by means of high resolution gamma spectrometry, accredited according to the HRN EN ISO/IEC 17025:2007 standard.

Samples of TDM (wet and dry deposition) were collected using the Bergerhoff-type deposit gauge on a monthly basis. This sampler is designed to measure dust deposition, usually quoted in mg m^{-2} or mg m^{-2} per day. After sample preparation the total deposited matter was determined by gravimetry using a Mettler Tolledo AX205 microbalance (d = 0.01 mg).

The highest values of specific radioactivity in TDM were measured in the (January - March) 2011 sampling period. The highest values of the specific radioactivity can to be attributed to the Fukushima Dai-ichi nuclear accident.

^{226}Ra U PROCJEDNIM VODAMA OKO ODLAGALIŠTA FOSFOGIPSA

Tomislav Bituh i Gordana Marović
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
tbituh@imi.hr

UVOD

Fosfatna ruda, kao sirovina u procesu proizvodnje fosfatnih mineralnih gnojiva, sadrži povišenu prirodnu radioaktivnost (*Naturally Occurring Radioactive Material* - NORM). U procesu proizvodnje prirodni ^{238}U iz fosfatne rude uglavnom odlazi u gotove proizvode, dok se 80 % ^{226}Ra ugrađuje u fosfogips zamjenjujući Ca u kemijskoj strukturi [1-4]. Fosfogips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) se kao otpadni materijal odlaže na odlagalište koje se nalazi se na rubu Parka prirode Lonjsko polje.

Jedinica za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada svake dvije godine provodi istraživanje radioaktivnosti u pogonima proizvodnje fosfatnih mineralnih gnojiva, unutar kruga tvornice tijekom tehnološkog procesa, kao i okolišu tvornice te na odlagalištu fosfogipsa. Dio istraživanja obuhvaća mjerenja koncentracija aktivnosti ^{226}Ra u podzemnim vodama iz piezometara zbog provjere propusnosti u slojevima oko odlagališta. U ovom radu prikazane su koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u procjednim vodama od 2007. do 2013. godine.

MATERIJALI I METODE

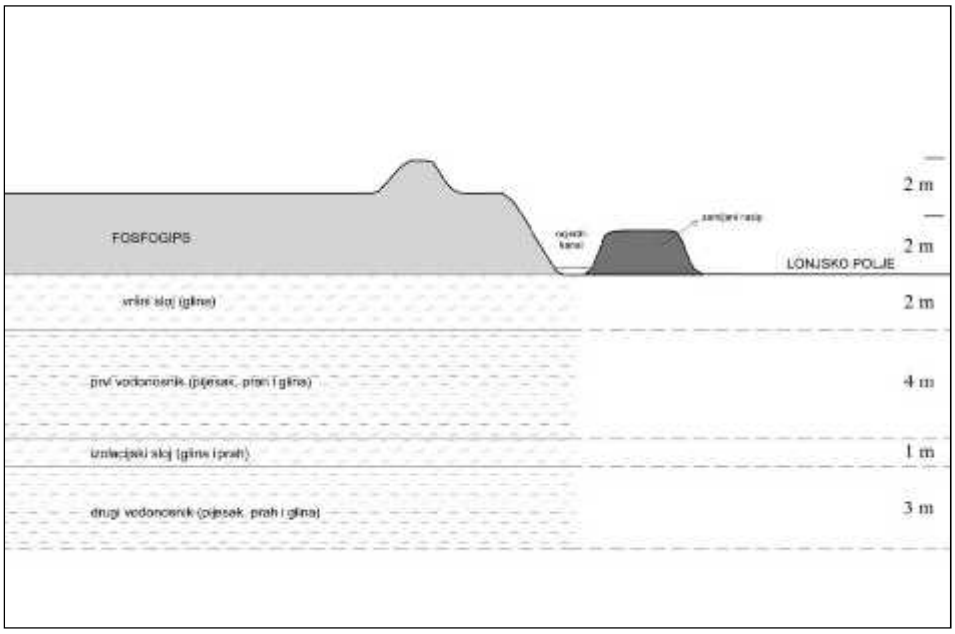
Procjedne vode uzorkovane su iz 6 piezometara smještenih oko odlagališta fosfogipsa na dubinama od 4 m do 10 m tijekom redovitog monitoringa putova rasprostiranja ionizirajućeg zračenja tijekom proizvodnje NPK gnojiva 2007., 2009., 2011. i 2013. godine.

Uzorci procjednih voda iz piezometara uzimaju se na način da se piezometri potpuno isprazne, te se nakon kratkog vremena uzimaju uzorci svježe procijeđene vode.

Na svim je uzorcima provedena radiokemijska separacija ^{226}Ra, taloženjem s $BaSO_4$, ^{226}Ra je određen brojanjem na alfaspektrometru (Canberra PIPS detektor aktivne površine 450 mm^2, α - rezolucija za ^{241}Am 19 keV; vrijeme brojanja 80000 s) [5].

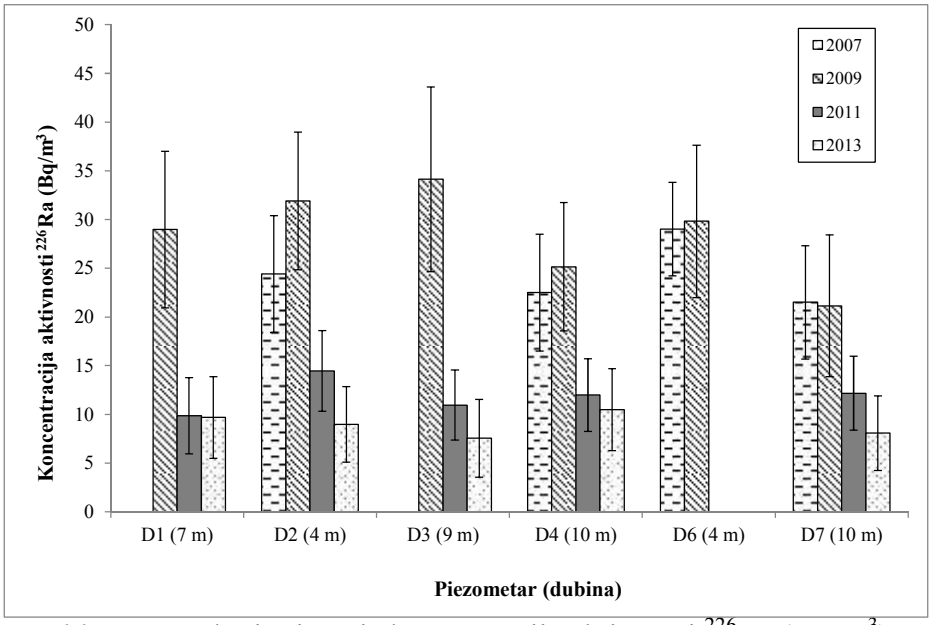
REZULTATI

Na Slici 1 prikazana je skica profila odlagališta i slojeva tla ispod odlagališta. Prvi sloj tla ispod odlagališta (debljine 2 m) čini zaštitni sloj gline. Ispod slijedi 4 m debeo prvi vodonosni sloj, čija je podloga debljine 1 m (izolacijski sloj) izgrađena od praha i gline. Na dubinama od 7 do 10 m nalazi se drugi vodonosni sloj [6]. Podzemni vodotokovi na području odlagališta kreću se smjerom SZ → JI. U skladu sa smjerom podzemnih vodotokova nizvodno od odlagališta smješteni su piezometri.



Slika 1. Skica profila odlagališta i slojeva tla ispod odlagališta

Na Slici 2 prikazani su rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti ^{226}Ra u procjednim vodama. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u procjednim vodama oko odlagališta kretale su se od 8 ± 4 Bq/m^3 do 34 ± 9 Bq/m^3, obje u uzorcima na lokaciji piezometra D3. Kao što je vidljivo iz Slike 2, uzorak vode iz piezometra D1 nije uzorkovan 2007. godine dok je piezometar D6 zatvoren nakon 2009. godine.



Slika 2. Rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti ^{226}Ra (Bq m^{-3}) u procjednim vodama

U istraživanjima provedenima u periodu 1993. - 2006. godine [7] koncentracija aktivnosti ^{226}Ra kretala se od 15 do 356 Bq/m^3 (prosječna: 88 ± 60 Bq/m^3). Stoga je vidljivo da se tijekom posljednjih 10 godina koncentracija aktivnosti ^{226}Ra u procjednim vodama oko odlagališta smanjuje.

Dobiveni rezultati usporedivi su i s rezultatima u istraživanjima provedenima uz odlagališta u Španjolskoj i SAD-u (1 - 75 Bq/m^3) [8-10]. Iz dobivenih vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{226}Ra u procjednim vodama, možemo zaključiti da fosfogips slabo prodire u podzemne vode ispod odlagališta odnosno da je zaštita ispod donje površine odlagališta učinkovita.

ZAKLJUČAK

Istraživanja u okolini odlagališta fosfogipsa nužna su radi neprekinutog praćenja utjecaja fosfogipsa na okoliš kako bi se procijenio utjecaj na ljude, okoliš i posebno biotu. Rezultati istraživanja pokazuju da koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u uzorcima procjednih voda nisu povišene iz čega zaključujemo da fosfogips ne prolazi donji, zaštitni sloj ispod odlagališta. Međutim, nastavak redovitog praćenja stanja nužan je kako bi se uočile eventualne rane promjene u razinama prirodne radioaktivnosti na odlagalištu kao i u okolišu odlagališta.

Zahvala

Ovo istraživanje izrađeno je u okviru projekta „Detekcije putova rasprostiranja ionizirajućeg zračenja tijekom proizvodnje NPK gnojiva“. Autori zahvaljuju dr. sc. Stjepanu Leakoviću i tvrtki „Petrokemija“ d.d. iz Kutine.

LITERATURA

[1] Taybi H, Choura M, Lopez FA, Alguacil FJ, Lopez-Delgado A. Environmental impact and management of phosphogypsum. J Environ Radioactiv 2009; 90:2377-2386.

[2] Bituh T, Vučić Z, Marović G, Prlić I. A new approach to determine the phosphogypsum spread from the deposition site into the environment. J Hazard Mater 2013;261:584-592.

[3] Bituh T, Marović G, Franić Z, Senčar J, Bronzović M. Radioactive contamination in Croatia by phosphate fertilizer production. J Hazard Mater 2009;162:1199-1203.

[4] Rutherford PM, Dudas M J, Samek R A. Environmental impact of phosphogypsum. Sci Total Environ 1994;149:1-38.

[5] USDHEW – United States Department of Health, Education and Welfare. Radioassay procedures for environmental samples 999-RH-27 (5-49); USDHEW, Rockville, Mayrland, 1967.

[6] IGI - Institut za geološka istraživanja (1990). Hidrogeološko mišljenje o rasporedu i položaju piezometara na prostoru deponije fosfogipsa u Kutini. IGI, Zagreb.

[7] Bituh T, Marović G, Franić Z, Senčar J, Bronzović M. Radioactive contamination in Croatia by phosphate fertilizer production. J Hazard Mater 2009;162:1199-1203.

[8] Canete SJP, Palad LJH, Enriquez EB, Garcia TY, Yuolo-Nazarea T. Leachable ^{226}Ra in Philippine phosphogypsum and its implication in groundwater contamination in Isabel, Leyte, Philippines. Environ Monit Assess 2008; 142:333-344.

[9] Santos AJG, Silva PSC, Mazzilli BP, Favaro DIT. Radiological characterization of disposed phosphogypsum in Brazil: Evaluation of the occupational exposure and environmental impact. Radiat Prot Dosim 2006;121:179-185.

[10] Al Attar L, Al-Oudat M, Kanakri S, Budeir Y, Khalily H. Radiological impact of phosphogypsum. J Eviron Manag 2011;92:2151-2158.

^{226}Ra IN TRICKLING WATERS FROM THE VICINITY OF A PHOSPHOGYPSUM DEPOSITION SITE

Tomislav Bituh and Gordana Marović
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
tbituh@imi.hr

Phosphate rock is a raw material used during the production of phosphate fertilizers. As a waste by-product, phosphogypsum is characterized by technically enhanced natural radioactivity (NORM). During the production of phosphate fertilizers, most of the natural ^{238}U from the phosphate ore ends up in the final products, while 80 % of ^{226}Ra is incorporated into phosphogypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). The phosphogypsum from one Croatian phosphate fertilizer factory is deposited at a local site situated at the borderline of Lonjsko Polje Nature Park, which implies that the constant monitoring of the deposition site environment is necessary.

In this investigation, the activity concentration of ^{226}Ra in trickling water samples from the surroundings of the mentioned deposition site was measured. The samples were collected by piezometers and after radiochemical separation of ^{226}Ra measured with an alpha spectrometer.

Activity concentrations of ^{226}Ra in trickling water were within the range from 8 ± 4 Bq/m^3 to 34 ± 9 Bq/m^3 so we can conclude that layers of clay underneath the pile serve as good isolation. In addition, long-term systematic investigations showed a significant decrease in ^{226}Ra activity concentrations in the trickling water. However, constant monitoring is necessary to detect possible future changes in the radioactivity levels in the environment.

TRITIUM MEASUREMENTS ALONG THE SAVA RIVER

Jasmina Kožar Logar and Tina Vodopivec
Institut „Jožef Stefan“, Ljubljana, Slovenija
jasmina.logar@ijs.si

INTRODUCTION

Krško nuclear power plant (NEK) performs regular releases of tritium into the Sava River. Tritium levels in the Sava River are therefore regularly monitored in the framework of national monitoring programs. The measurement results of tritium concentration in continuously sampled river water follow trends of tritium contents in liquid releases from NEK while Pearson coefficient R for those two quantities does not show so clear correlation. Additional studies which could contribute to better understanding of mechanisms between river flow, dynamics of releases and tritium concentrations in river water were then proposed. One of them, which treats released tritium as an ideal tracer, was an extensive measurement campaign, organized in cooperation among NEK, Slovenian Nuclear Safety Administration (SNSA) and Jožef Stefan Institute. The river water was sampled downstream of NEK during the liquid release from NEK's monitoring tanks.

SAMPLING

90 samples of the Sava River were obtained in the tracking experiment on the day of tritium release. Sampling was performed at 6 locations. Location 0 was upstream of the release point. The water there was sampled twice - before and after the all other samplings during the tracking experiment. The other five locations, marked from 1 to 5 on Figure 1, are located downstream of NEK. Distances of sampling locations from NEK are shown in Table 1. Samples were obtained in 15 minute intervals. Sampling stations from 0 to 4 were 2 to 3 m away from the riverside while samples from location 5 (Brežice Bridge) were taken in the middle of the river flow. All samples were stored in 1 L PE bottles.

Table 1. Distances of sampling locations from NEK

Location	1	2	3	4	5
Distance from NEK [km]	0.1	0.6	2.3	3.8	7.8

MATERIALS AND METHODS

Samples for the determination of ^{3}H were prepared by the procedure of Laboratory for LSC, JSI [1]. The first step was distillation, which had been repeated until pH and conductivity values were in the prescribed ranges (5 - 8 for pH and up to 25 µS/cm for conductivity). 8 mL of the distillates were mixed in plastic 20 mL vials (PerkinElmer) with 12 mL of the scintillation cocktail (Ultima Gold LLT or HiSafe 3). Samples were counted in the liquid scintillation counter Quantulus for 900 min.

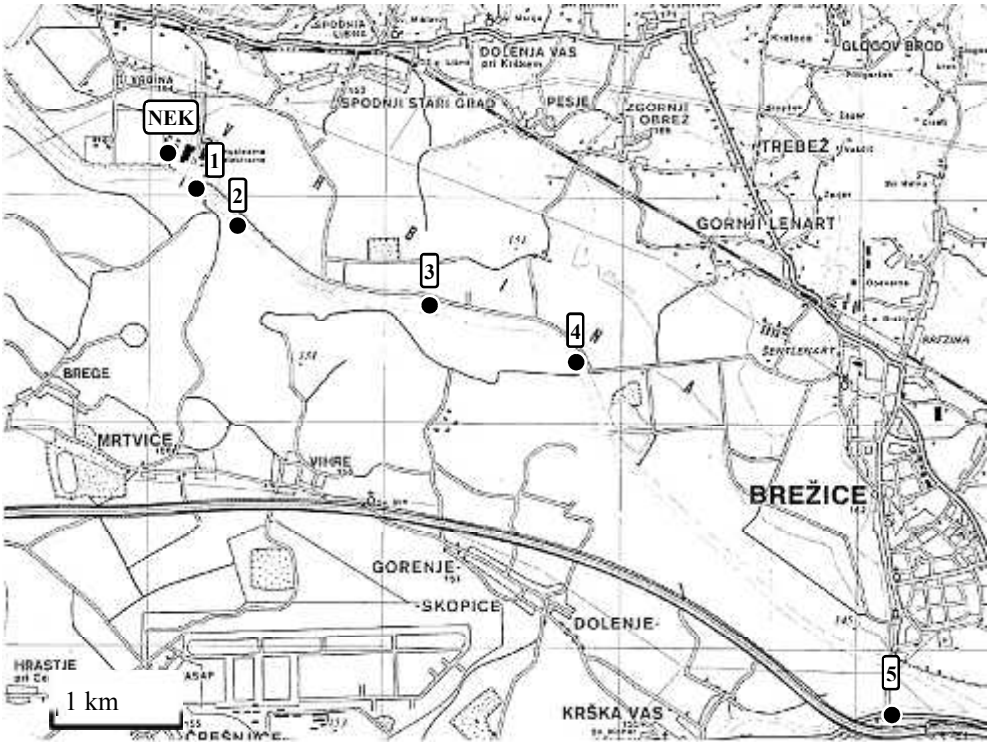


Figure 2. Sampling locations. Location 0 is located on the bridge in Krško

The LSC system was calibrated by NIST SRM 4926E standard. Activities were determined through quench curve and direct comparison with standard sample of known activity.

RESULTS

The mean daily flowrate of the Sava River on the day of experiment was 110 m^3/s, close to local minimum value [2]. The tracked tritium release

at 3:30 PM had an activity of 1.94E11 Bq and it had lasted for approximately three hours [2,3].

All tritium results are presented on Figure 2. The tritium content in all samples from locations up and downstream of NEK are statistically consistent and show the same value of 2 ± 0.5 kBq/m^3 at the time before the release. During the release, tritium concentration rose rapidly to a maximum concentration of 273 kBq/m^3 at location 1. Tritium concentrations at other locations rose as well, to a maximum value of 88 kBq/m^3 at the most distant location 5 approximately three hours after the release. Peak height and slope of the rise decrease with the distance from NEK. Tritium concentration in the Sava River reached initial concentration at location 1 four hours after the release. Tritium concentrations at other locations were still decreasing even 4 to 5 hours after the tritium concentrations began to increase.

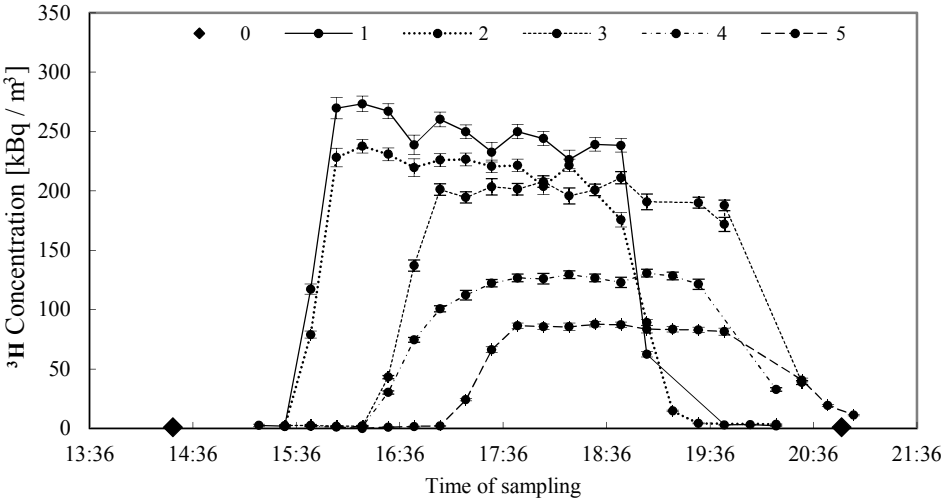


Figure 3. Tritium concentration at different locations on the Sava River after the tritium release from NEK. Location 0 is the control location upstream the release, location 1 is closest to the release point, and location 5 is furthest from the release point (Table 1). The points on the figure are connected for better distinction of data

DISCUSSION

Several parameters were checked for the curves of experimental results with the intention of finding quantities which might help to describe the levels of mixing, estimation of river water contribution to aquifers and

its hydrodynamics for the river segment in the vicinity of NEK. In the Figure 3, the normalized values for length of the concentration plateau, initial and final slope, scattering of values on the concentration plateau and the integral of the curves in the Figure 2 are calculated. They are normalized to the values at the location 1. All parameters show clear dependence on distance from the point of the release. All fitted curves demonstrate very high Pearson coefficient R from 0.94, mainly for exponential shape.

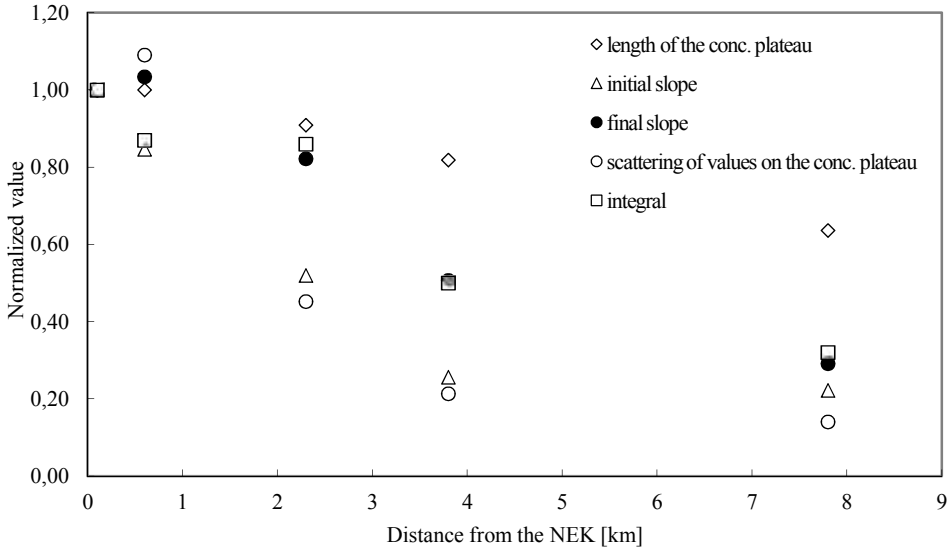


Figure 4. Some parameters, obtained from curves of the tritium concentration on the sampling locations along the Sava River during tritium release from NEK. Quantities are normalized to the values at the location 1

The length of the plateau at location 1 suits to the duration of the release. All others values are lower and diminish linearly with the distance (R = 0.997). The shape of initial and final slope and their dependence on distance are not symmetrical. The scattering of values on the concentration plateau is the highest on the location 1 and falls to the range of measurement uncertainty at location 5. The surfaces under the experimental curves were calculated by Origin function *Integrate* and decrease with the distance from the release point. The integral of the curve on location 5 consists of only one third of the integral at the location 1.

It could be assumed that the mixing of tritium, together with the whole content of the release in the Sava River is not completed until the

differential of fitted curve through calculated parameters differ significantly from the range of measurement uncertainty or pre-chosen criterion for definition of complete mixing. Further investigation might point out the most suitable parameter for this purpose. The dilution ratio (ratio between the tritium concentration on the location and the tritium concentration on the point where the tritium is ideally mixed) of the river, 1.5 ± 0.5 at the location 5 [4] also shows incomplete mixing.

CONCLUSION

Obtained measured values of tritium could be useful for testing or as input data for hydrodynamic studies or models for dose rate calculations. Several parameters of fitted curves through measurement results of tritium concentration in the Sava River during and after the release from NEK show good but different correlations with the distance from the point of release. The tritium from NEK is not completely mixed in the river on the sampling locations between NEK and Brežice. The maximum tritium concentration in the Sava River at location 5, which is the closest to the town, was 88 kBq/m^3. This is lower than the limit for the drinking water (100 kBq/m^3) [5].

Acknowledgment

The study was supported by the Slovenian Research Agency (ARRS) and SNSA in the frame of the CRP project V2-0379 (Tritium tracking in the environment of Nuclear Power Plant Krško).

REFERENCES

[1] Vzorčenje in priprava vzorcev za določitev tritija (H-3) (LSC-DN-06), izdaja 4, maj 2014, IJS, Ljubljana.
[2] Mesečno poročilo NEK o tekočinskih in zračnih emisijah v letu 2008, 2008, Krško.
[3] Personal communication with colleagues from SNSA and NEK.
[4] Glavič-Cindro D, Črnič B. Off-Site Monitoring of Krško Nuclear Power Plant - Report for the year 2008. Jožef Stefan Institute, Ljubljana. ISSN 1318-2161.
[5] European Union Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Off J Eur Commun L330, 5 December 1998.

TRITIUM MEASUREMENTS ALONG THE SAVA RIVER

Jasmina Kožar Logar and Tina Vodopivec
„Jožef Stefan“ Institute, Ljubljana, Slovenija
jasmina.logar@ijs.si

The measurement results of tritium (H-3) concentration in continuously sampled river water in the frame of national monitoring programs follow trends of H-3 contents in liquid releases from Nuclear Power Plant Krško (NEK) while Pearson coefficient R for those two quantities does not show so clear correlation. Additional study was organized in cooperation among NEK, Slovenian Nuclear Safety Administration and Jožef Stefan Institute.

The river water was sampled every 15 minutes on 5 locations downstream of NEK during liquid release from NEK with H-3 activity of 1.94E11 Bq which lasted for three hours. The flow rate of that day was 110 m^3 s^{-1}. 90 samples were measured by liquid scintillation technique.

Several parameters for the curves of experimental results were calculated for each location with the intention of finding quantities which might help to describe and understand the levels of mixing, estimation of river water contribution to aquifers, its hydrodynamics for the river segment in the vicinity of NEK. All of them show good, but different correlations with the distance from the point of the release (Table 1).

Table 1. Sampling data and normalized parameters for curves of H-3 conc. along the Sava River during H-3 release

Location	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Distance from point of release [km]	0.1	0.6	2.3	3.8	7.8
Average conc. at the curve's plateau [kBq/m^3]	250	220	200	125	85
Surface area below the curve (integral)	1	0.87	0.86	0.50	0.32
Length of the plateau	1	1	0.91	0.82	0.64
Initial slope	1	0.85	0.52	0.26	0.22
Final slope	1	1.03	0.82	0.51	0.29
Scattering of values on the plateau	1	1.09	0.45	0.21	0.14

Obtained measured values of tritium concentrations might be useful also for testing or as input data for models of dose rate calculations.

KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI ^{90}Sr U TOKU RIJEKE SAVE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Iva Franulović, Gordana Marović i Jasminka Senčar
Jedinica za zaštitu od zračenja
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
ifranulovic@imi.hr

UVOD

Antropogena radioaktivna kontaminacija površinskih voda uglavnom se pripisuje radionuklidima ^{137}Cs i ^{90}Sr. Ovi su radionuklidi prisutni u okolišu najvećim dijelom kao posljedica testiranja nuklearnog oružja u atmosferi, naime nadzemnim nuklearnim eksplozijama radioaktivni materijal dospijeva u visoke slojeve atmosfere, odakle se lagano taloži u prizemne slojeve, ali i uslijed ispuštanja iz nuklearnih postrojenja, bilo tijekom redovnog rada ili u slučaju nesreća. ^{137}Cs i ^{90}Sr prisutni su u svim sastavnicama atmosfere, u zraku, oborini, taložnoj tvari, ulaze u kruženje vode kroz biosferu. Osobito je važno proučavanje i praćenje ovih radionuklida u vodenim medijima okoliša jer je voda važan čimbenik u širenju radioaktivne kontaminacije kroz biosferu [1,2].

^{90}Sr ima relativno dugo vrijeme poluraspada (28,9 god) i pripada grupi zemnoalkalijskih elemenata, kemijski i metabolički je sličan kalciju, što znači da se lako ugrađuje u kritične organe organizama (posebno kosti) ljudi i životinja.

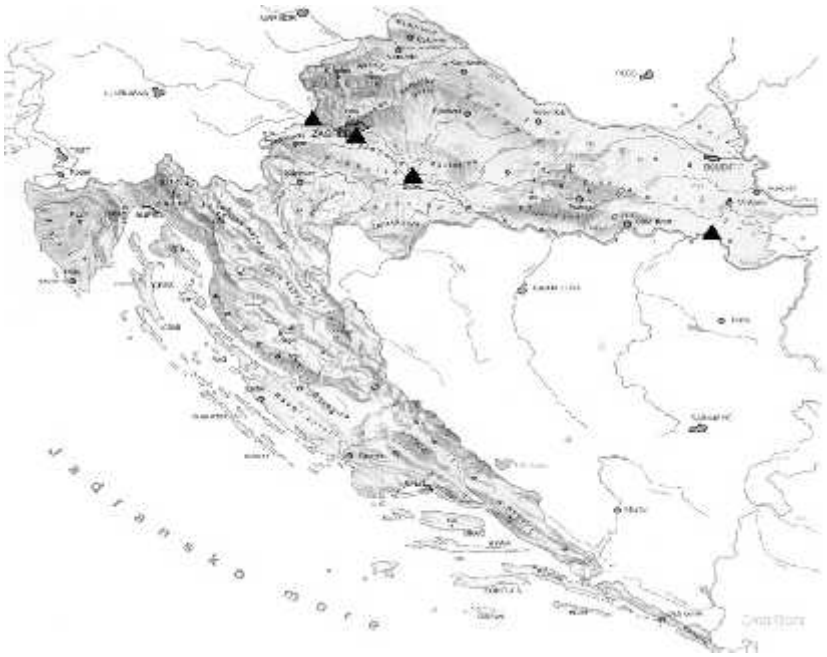
Rijeka Sava je desni pritok Dunava ukupne duljine 945,5 km od toga 562 km protječe kroz RH. Teče na jugoistok i istok, kroz Sloveniju, Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu i Srbiju te se ulijeva u Dunav kod Beograda. Za vodnu opskrbu Save važne su obilne oborine u planinsko-brdskom gornjem dijelu porječja. Razmjerno velik hidroenergetski potencijal koristi se samo u gornjem dijelu toka u Sloveniji. U rijeku Savu se ispuštaju otpadne vode Nuklearne elektrane Krško i one predstavljaju mogući izvor radioaktivne kontaminacije donjeg toka rijeke. Od 1985. godine provodi se neovisan nadzor antropogenih i prirodnih radionuklida u sedimentu rijeke Save [3].

U Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu u sklopu programa praćenja stanja radioaktivnosti uzoraka životne sredine na području Republike Hrvatske radiokemijskim se

metodama određuje aktivnost radionuklida u različitim uzorcima iz okoliša, pa tako i u riječnim vodama. U ovom radu prikazane su koncentracije aktivnosti ^{90}Sr diljem toka rijeke Save i u oborini tijekom posljednjih pet godina.

MATERIJAL I METODE

Uzorci riječne vode volumena najmanje 25 L skupljani su jednokratno, u isto godišnje doba na četiri lokacije (Harmica, Zagreb, Sisak i Županja) diljem toka rijeke Save. Lokacije uzorkovanja prikazane su na Slici 1.



Slika 1. Karta Hrvatske s označenim lokacijama uzorkovanja duž rijeke Save

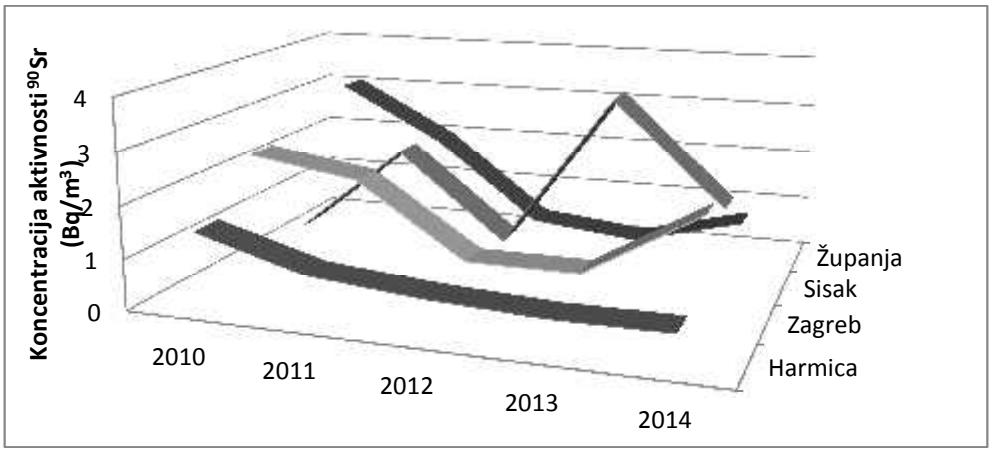
Uzorci oborine skupljaju se svakodnevno preko lijevka površine jednog kvadratnog metra na jedan metar visine iznad tla te se spajaju u zbirni mjesečni uzorak. Skupljanje se provodi u dvorištu Instituta u Zagrebu.

Radiokemijsko određivanje ^{90}Sr provodi se na uzorcima riječne vode i oborine uparenima do suhog. Dobiveni talog se otopi u dušičnoj kiselini i standardnom se metodom ekstrakcije TBP-om uz dodatak itrijevog nosača određuje ^{90}Sr temeljem radioaktivne ravnoteže s ^{90}Y koji se mjeri u beta brojaču niskog osnovnog zračenja i za niske aktivnosti (GM Multicounter System RISØ model GM-25-5). Efikasnost brojača određena je standardima

Češkog metrološkog instituta (efikasnost brojača za ^{90}Y iznosi 27,3 %, za ^{90}Sr 31,1 %). Vrijeme mjerenja svakog uzorka bilo je najmanje dva dana.

REZULTATI

Vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u uzorcima rijeke Save u proteklih pet godina iznosile su od 0,2 ± 0,1 Bq m^{-3} u Županji 2013. godine do 3,5 ± 0,2 Bq m^{-3} u Sisku 2013. godine (Slika 2) [4].

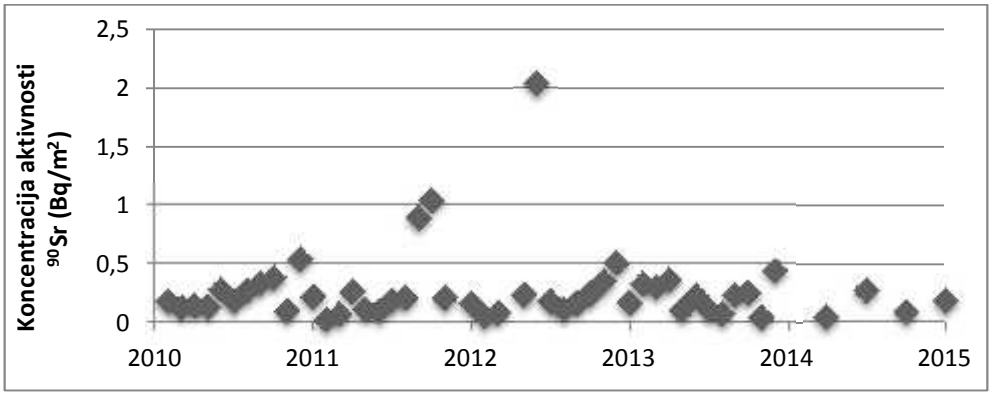


Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u toku rijeke Save

Prosječne vrijednosti ^{90}Sr za svaku pojedinu lokaciju u promatranom razdoblju kretale su se od 0,9 ± 0,3 Bq m^{-3} za Harmicu do 1,6 ± 1,1 Bq m^{-3} za Sisak. Za cijeli tok rijeke Save kroz Hrvatsku izračunata prosječna vrijednost koncentracije aktivnosti ^{90}Sr iznosi 1,3 ± 0,9 Bq m^{-3}. Izmjerene vrijednosti u Harmici, Zagrebu i Županji pokazuju dobro međusobno slaganje (koeficijent korelacije za vrijednosti uzoraka iz Harmice i Zagreba iznosi 0,652, za vrijednosti iz Harmice i Županje 0,945, a iz Zagreba i Županje 0,829). Vrijednosti izmjerene u Sisku nisu u dobroj korelaciji s ostalim izmjerenim vrijednostima, što zahtijeva dodatna istraživanja ne bi li se otkrio uzrok povišene prosječne vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u vodama Save kod Siska, odnosno izmjerenih razlika u odnosu na vrijednosti na drugim lokacijama.

Istraživanja koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u nekoliko rijeka diljem Europe (Francuska, Španjolska, Portugal, Velika Britanija) pokazala su slične vrijednosti [5].

Oborina, kao jedan od glavnih izvora kontaminacije stroncijem, nametnula se kao medij za poredbeno ispitivanje koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u riječnim vodama. Kretanje koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u vodi duž rijeke Save uspoređeno je s vrijednostima koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u oborini u promatranom petogodišnjem razdoblju. Na žalost, neprekidna mjerenja postoje samo za Zagreb gdje se na lokaciji Instituta provodi uzorkovanje oborine. Na Slici 3 prikazane su vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u oborini grada Zagreba tijekom posljednjih pet godina.



Slika 3. Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u oborini skupljenoj u Zagrebu

Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u oborini kretale su se u rasponu od 0,023 Bqm^{-2} u veljači 2011. godine do 2,030 Bq m^{-2} u lipnju 2012. godine (uz medijan od 0,186 Bq m^{-2}). Neposredna usporedba vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u riječnoj vodi i oborini nije pokazala dobro slaganje, čak ni promatranjem samo zagrebačkih vrijednosti (koeficijent korelacije iznosi -0,382). Detaljnija analiza podataka uz potrebne proračune modeliranjem toka rijeke i količine oborine možda će pokazati statistički značajno slaganje, a detaljnija proučavanja pojedinih lokacija mogla bi ukazati na lokalne izvore onečišćenja stroncijem rijeke Save.

ZAKLJUČAK

Izmjerene vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u rijeci Savi niske su i usporedive s izmjerenim vrijednostima u rijekama u Europi. Prostorna raspodjela duž toka rijeke Save pokazuje da su maksimalne vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u promatranom razdoblju one izmjerene na lokaciji Sisak (Harmica < Županja < Zagreb < Sisak). Najveće slaganje izmjerenih vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u riječnoj vodi je ono u

uzorcima iz Harmice i Županje. Potrebno je dublje istražiti utjecaj oborine i koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u oborini kako bi se eventualno kvantificirala ovisnost tog neprekidnog i izravnog izvora kontaminacije površinskih voda. Također može se zaključiti da je prinos otpadnih voda NE Krško koncentraciji aktivnosti ^{90}Sr u rijeci Savi zanemariv, budući da je prosječna vrijednost koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u promatranom petogodišnjem razdoblju najniža na lokaciji Harmica, na najzapadnijoj točki toka rijeke Save u Hrvatskoj.

Zahvala

Rad je izrađen temeljem ugovora s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost iz Zagreba.

LITERATURA

[1] Paatero J, Saxén R, Buyukay M, Outola I. Overview of strontium-89,90 deposition measurements in Finland 1963-2005. J Environ Radioactiv 2010; 101:309-316.

[2] Miró C, Baeza A, Madruga M J, Periañez R. Caesium-137 and Strontium-90 temporal series in the Tagus River: experimental results and a modelling study. J Environ Radioactiv 2012;113:21-31.

[3] Oreščanin V, Mikelić L, Lulić S, Pavlović G, Coumbassa N. Seasonal variations in the concentrations of selected heavy metals and radionuclides in Sava River sediments upstream and downstream of NPP Krsko. Nucl Instr Methods Phys Res B 2007;263:85-89.

[4] IMI-CRZ-91 do IMI-CRZ-95; 2011.-2015. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj (Izvješće za 2010., 2011., 2012., 2013. i 2014.godinu). G. Marović i sur.

[5] Pujol Ll, Sanchez-Cabeza A J. Natural and artificial radioactivity in surface waters of the Ebro river basin (Northeast Spain). J Environ Radioactiv 2000; 51:181-210.

^{90}Sr ACTIVITY LEVELS IN THE CROATIAN PART OF THE SAVA RIVER COURSE

Iva Franulović, Gordana Marović and Jasminka Senčar
Radiation Protection Unit
Institute for Medical Research and Occupational Health
Zagreb, Croatia
ifranulovic@imi.hr

The objective of this paper was to analyze ^{90}Sr activity concentrations in the Sava River water and fallout as well as to present and discuss the measured values. ^{90}Sr activity concentrations were determined for samples taken from 2010 to 2014 at four points of the Sava River (Harmica, Zagreb, Sisak, Županja), and the fallout was collected in the courtyard of the Institute for Medical Research and Occupational Health (Zagreb).

The ^{90}Sr activity concentrations ranged from 0.2 ± 0.1 Bq m^{-3} (Županja, 2013) to 3.5 ± 0.2 Bq m^{-3} (Sisak, 2013). The mean value of the surface water of the Croatian part of the river's course was 1.3 ± 0.9 Bq m^{-3}. Except for values from Sisak, the activity concentrations measured at the three remaining locations were in good correlation.

The values measured in the fallout ranged from 0.023 Bq m^{-2} in February 2011 to 2.030 Bq m^{-2} in June 2012 (median 0.186 Bq m^{-2}). Activity concentrations in river water and fallout were not in good correlation (correlation coefficient -0.382).

The results showed low ^{90}Sr activity concentrations in the Sava River water. Our results are comparable with ^{90}Sr activities from a number of European rivers. The spatial distribution of ^{90}Sr activity concentration along the Sava River course through Croatia clearly shows that the largest values were measured at Sisak (Harmica < Županja < Zagreb < Sisak).

RADIOSTRONTIUM (^{90}Sr) IN RIVER AND TAP WATERS FROM SERBIA

Nataša B. Sarap, Marija M. Janković, Dragana J. Todorović and Milica M. Rajačić
Radiation and Environmental Protection Department
Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade
Belgrade, Serbia
natasas@vinca.rs

INTRODUCTION

Radiostrontium (^{90}Sr) is artificial radionuclide which arises from the fission of ^{235}U and ^{239}Pu. This radionuclide has been released to the environment following atmospheric nuclear explosions, by nuclear waste disharges and fallout [1]. Its presence in the environment is significant after the accident in Chernobyl. ^{90}Sr belongs to the group of the extremely toxic radionuclides and the most hazardous contaminants in the environment [2,3]. There are three main reasons why ^{90}Sr is considered one of the most hazardous fission products: it has a high fission yield (5.76 %), a long physical half - life (28.6 y) and a long biological half-life (about 12 y) [4]. The both radionuclides, ^{90}Sr and its daughter ^{90}Y ($T_{1/2}$ = 64.1 h) are pure β-emitters. Due to similarity in metabolic behavior between ^{90}Sr and Ca, which is the essential nutrient and bone constituent, ^{90}Sr becomes bound up in the skeleton instead of Ca, and it is a potential cause of bone cancer and damage to blood forming tissue [5].

For all these reasons, ^{90}Sr has been a principal subject for environmental monitoring and radioecological research. According to the monitoring of radioactivity in the Republic of Serbia, the continuous measurements of radioactivity in different types of samples are performed [6]. Part of this environmental monitoring is determination of ^{90}Sr in river and drinking water samples. Radiological safety of water is an important parameter of environmental studies and the measurement of radioactivity in drinking water allows the determination of population exposure to radiation by the habitual consumption of water [7,8].

This study was focused on determination of ^{90}Sr activity concentration in Danube and Sava River waters, as well as in tap waters from Belgrade.

MATERIALS AND METHODS

In order to measure the content of ^{90}Sr, water samples were collected daily during the period from May 2011 to May 2012. The determinations of ^{90}Sr activity concentration were performed in composite monthly sample for river waters and composite quarterly sample for tap waters. The sampling locations were following: Bezdan for the Danube River water, Sremska Mitrovica for the Sava River water, while tap waters were sampled in Belgrade at two locations, Vinča and Ostružnica.

About 10 L of each river water sample, as well as about 30 L of each tap water sample was evaporated to volume of 200 mL under infrared lamp. Then, the water sample was filtered and filtrate was taken for further radiochemical analytical procedure of separation and determination the content of ^{90}Sr.

The procedure of validated radiochemical analytical method [9] involves the precipitation of oxalate, filtration and firing of precipitate till oxide at 800 °C. Then, residue is dissolved in 6M HCl and Al as collector for ^{90}Y is added to solution. After that, ^{90}Sr can be determined through ^{90}Y, providing that ^{90}Sr and ^{90}Y were in radiochemical equilibrium in the sample for 18 days.

The measurement of ^{90}Sr activity was carried out by α/β low level proportional counter Thermo Eberline FHT 770T (ESM Eberline Instruments GmbH, Erlangen, Germany). The time of each individual measurement was 3600 s and the results are expressed as the mean value of 5 repeated measurements.

The activity concentration of ^{90}Sr (*A)* expressed as Bq L^{-1}, was calculated using the Equation:

$$A = \frac{(N-B)\times \exp\left(\frac{\ln 2 \times t}{T_{1/2}}\right)}{P_{Al}\times P \times Ef \times V} \qquad (1)$$

where N is the count rate of the sample (s^{-1}), B denotes the background (s^{-1}), t - the time since ^{90}Y separation (h), $T_{1/2}$ is the half-life of ^{90}Y (h), P_{Al} - the yield of aluminium which is determined for each sample separately, P - the yield of the used method, Ef - the efficiency of the detector and V is the volume of sample (L).

In order to evaluate the annual effective dose (D), caused by ingestion of the artificial radionuclide ^{90}Sr, the following Equation was used [10]:

$$D(Sv) = N\eta A \quad (2)$$

where N is volume which adults drink (2 L per day or 730 L per year), η - the age dependent dose conversion factor (that value is 2.8×10^{-8} Sv Bq^{-1} [11] for adults age group) and A is the activity concentration of ^{90}Sr (in Bq L^{-1}).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of determination of ^{90}Sr activity concentration in river waters from Serbia and calculated values of annual effective dose are presented in Table 1. The obtained values of ^{90}Sr activity concentration ranged from 0.026 to 0.276 Bq L^{-1} and from 0.026 to 0.110 Bq L^{-1} for Danube and Sava River water, respectively. The corresponding values of annual effective dose were between 0.53 and 5.64 μSv and 0.53 and 2.25 μSv, respectively.

Table 1. The activity concentration of ^{90}Sr in monthly river water samples and values of annual effective dose for adult

Month and Year	**^{90}Sr activity concentration** (Bq L^{-1})		**Annual effective dose** (μSv)	
	Danube	Sava	Danube	Sava
May 2011	0.276 ± 0.031	0.064 ± 0.015	5.64	1.31
June 2011	0.028 ± 0.008	0.026 ± 0.008	0.57	0.53
July 2011	0.040 ± 0.009	0.058 ± 0.012	0.81	1.18
August 2011	0.034 ± 0.009	0.056 ± 0.014	0.69	1.15
September 2011	0.041 ± 0.013	0.061 ± 0.014	0.84	1.25
October 2011	0.080 ± 0.022	0.039 ± 0.011	1.64	0.79
November 2011	0.030 ± 0.009	0.079 ± 0.015	0.61	1.62
December 2011	0.037 ± 0.008	0.089 ± 0.019	0.76	1.84
January 2012	0.074 ± 0.016	0.042 ± 0.008	1.51	0.82
February 2012	0.058 ± 0.014	0.079 ± 0.026	1.19	1.61
March 2012	0.051 ± 0.013	0.110 ± 0.029	1.04	2.25
April 2012	0.030 ± 0.007	0.039 ± 0.011	0.61	0.80
May 2012	0.026 ± 0.008	0.049 ± 0.013	0.53	1.00

In Table 2, the results of determination of ^{90}Sr activity concentration in tap waters for two locations in Belgrade, as well as the calculated values of annual effective dose are presented. The obtained values of ^{90}Sr activity concentration ranged from 0.010 to 0.054 Bq L^{-1} and from 0.006 to 0.051

Bq L^{-1} for Vinča and Ostružnica tap water, respectively. The obtained values of annual effective dose for these samples were in the range from 0.20 to 1.10 μSv and from 0.12 to 1.04 μSv, respectively.

Table 2. The activity concentration of ^{90}Sr in quarterly tap water samples and values of annual effective dose for adult

Period	**^{90}Sr activity concentration** (Bq L^{-1})		**Annual effective dose** (μSv)	
	Vinča	Ostružnica	Vinča	Ostružnica
May + June + July 2011	0.010 ± 0.002	0.006 ± 0.001	0.20	0.12
August + September + October 2011	0.018 ± 0.006	0.024 ± 0.006	0.37	0.49
November + December 2011 + January 2012	0.044 ± 0.007	0.051 ± 0.017	0.90	1.04
February + March + April 2012	0.054 ± 0.013	0.013 ± 0.004	1.10	0.26

Derived activity concentration of ^{90}Sr in drinking water is 4.9 Bq L^{-1} [12]. The activity concentrations of ^{90}Sr in water samples analyzed in this study are less than above mentioned value. Given that investigated water samples are used for drinking water, it can be concluded that these waters met the criteria of radiological safety. The obtained results from this study indicate that the annual effective doses are below the recommended reference level of 0.1 mSv for drinking water given in WHO [13], as well as in [11,12].

CONCLUSION

Determination of ^{90}Sr in the environmental samples is important in the routine environmental radiation monitoring. This study has shown that ^{90}Sr activity concentration in river and tap waters is low and satisfies current international and domestic regulations for drinking water. Based on the obtained ^{90}Sr activity concentrations in investigated water samples and the calculated annual effective dose, it can be concluded that these waters can be consumed for drinking. Also, contribution to the dose that originates from the artificial radionuclide ^{90}Sr, is far below the acceptable values recommended in regulations.

Acknowledgements

The investigation was partially supported by The Ministry of Education, Sciences and Technological Development of Serbia, under Project III43009. The authors would like to thank to Agency for Radiation Protection and Nuclear Safety of the Republic of Serbia.

REFERENCES

[1] Rajković MB, Stojanović MD, Pantelić GK, Vuletić VV. Determination of strontium in drinking water and consequences of radioactive elements present in drinking water for human health. J Agric Sci 2006;51:87-98.

[2] Grahek Ž, Rožmarić-Mačefat M. Determination of radioactive strontium in seawater. Anal Chim Acta 2005;534:271-279.

[3] Froidevaux P, Friedrich-Benet K, Valley JF. Simple determination of ^{90}Sr in water in environmental radioactivity survey. J Radioanal Nucl Chem 2004;261:295-299.

[4] Friberg I. Development and application of a method for the determination of ^{90}Sr in environmental samples. J Radioanal Nucl Chem 1997;226:55-60.

[5] Acar R, Acar O. Determination of ^{90}Sr accumulation in human teeth. Turk J Chem 2004;28:67-74.

[6] Agency for Radiation Protection and Nuclear Safety of the Republic of Serbia. Rulebook on radioactivity monitoring. Official Gazette of the Republic of Serbia. 97/11; 2011.

[7] Damla N, Cevik U, Karahan G, Kobya AI, Kocak M, Isik U. Determination of gross α and β activities in waters from Batman, Turkey. Desalination 2009;244:208-214.

[8] Karahan G, Ozturk N, Bayulken A. Natural radioactivity in various surface waters in Istanbul, Turkey. Wat Res 2000;34:4367-4370.

[9] Sarap NB, Janković MM, Pantelić GK. Validation of radiochemical method for the determination of ^{90}Sr in environmental samples. Water Air Soil Pollut 2014; 225:2003-2013.

[10] International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 2003.

[11] Agency for Radiation Protection and Nuclear Safety of the Republic of Serbia. Rulebook on limits of radioactive contamination of people, work and living environment and ways of performing decontamination. Official Gazette of the Republic of Serbia. 38/11; 2011.

[12] Agency for Radiation Protection and Nuclear Safety of the Republic of Serbia. Rulebook on limits of radionuclides content in drinking water, foodstuffs, feeding stuffs, medicines, general use products, construction materials and other goods that are put on market. Official Gazette of the Republic of Serbia. 86/11; 2011.

[13] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking water quality. Chapter No. 9, 3rd ed. Geneva: WHO; 2004.

RADIOSTRONTIUM (^{90}Sr) IN RIVER AND TAP WATERS FROM SERBIA

Nataša B. Sarap, Marija M. Janković, Dragana J. Todorović and Milica M. Rajačić
Radiation and Environmental Protection Department
Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade
Belgrade, Serbia
natasas@vinca.rs

This paper presents the results of monitoring of ^{90}Sr in river and tap waters in the Republic of Serbia. The period of investigation was from May 2011 to May 2012. Study was focused on determination of ^{90}Sr activity concentration in Danube and Sava River waters, as well as in tap waters from Belgrade. A radiochemical analytical procedure was applied for the separation and determination of ^{90}Sr in water samples, while the measurements were performed by α/β low level proportional counter.

Systematic examination of environmental radioactivity is being performed in order to assess the exposure levels of ionizing radiation. The risk of exposure to ionizing radiation can be traced through the effective dose. Therefore, based on the obtained results of ^{90}Sr activity concentration in investigated water samples, the annual effective dose was calculated.

MONITORING RADIOAKTIVNOSTI U OKOLIŠU TERMOELEKTRANE TUZLA, BOSNA I HERCEGOVINA

Lejla Saračević, Nedžad Gradaščević, Nedim Mujić i Davorin Samek
Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, BiH
nedzad.gradascevic@vfs.unsa.ba

UVOD

Prirodni radionuklidi su široko rasprostranjeni u geosferi što rezultira njihovim prisustvom u većini geoloških materijala u različitim koncentracijama. Geološki materijali kao što su brojni minerali i fosilna goriva, predstavljaju sirovinsku osnovu za većinu industrija.

Poseban značaj sa radioekološkog stanovišta imaju industrije vezane za sagorijevanje fosilnih goriva među kojima termoelektrane na ugalj zauzimaju najznačajnije mjesto obzirom na njihovu raširenost te količine spaljenog uglja i deponiranog otpadnog materijala. Poznato je da sagorijevanjem uglja u termoelektranama dolazi do koncentrisanja radionuklida uranijumove i torijumove serije kao i kalijuma u nesagorenom ostatku (pepelu i šljaci) koji u okoliš može biti otpušten u obliku letećeg pepela ili pak deponovan na deponijama pepela i šljake odakle nakon resuspenzije, dolazi do širenja pepela u bliže ili dalje okruženje. Leteći pepeo koji ulazi u sastav ukupne emisije iz dimnjaka termoelektrane može da sadrži nekoliko puta više nivoe prirodnih radionuklida od nivoa zabilježenih u samom uglju ili površinskom sloju tla [1]. Prisustvo disperzivnih materijala sa povišenim nivoima prirodnih radionuklida dovodi do povišenih nivoa radioaktivnosti u okolišu. Ovaj materijal se na različite načine i različitim mehanizmima transportuje kroz okoliš izazivajući na taj način privremenu ili trajnu kontaminaciju jedne ili više karika ekosistema.

Za procjenu utjecaja termoelektrana na okoliš neophodna je procjena površine pod utjecajem polutanata odnosno maksimalni domet depozicije radionuklida iz letećeg pepela dimnjaka. U istraživanjima u ovoj oblasti utvrđeno je da maksimalni domet depozicije radionuklida iz dimnjaka uzduž dominirajućeg smjera vjetra iznosi 15 do 20 visina dimnjaka [2], odnosno 1 km za niže dimnjake do 50 m visine i između 5 i 10 km za više dimnjake do 150 m [3].

U ovome radu istraživan je utjecaj rada TE Tuzla na radiaoktivnu kontaminaciju tla u bližem okruženju postrojenja.

MATERIJAL I METODE

Uzorci za laboratorijska mjerenja nivoa radioaktivnosti uzimani su u periodu od 12 godina, 2 puta godišnje. Ugalj je sakupljan sa linije otpreme za kotao, pepeo iz elektrofilterskog postrojenja, šljaka sa šljačišta i uzorci pepela i šljake sa jedne deponije. Uzorci su uzimani u količini 3 kg po uzorku.

Uzorkovanje tla je vršeno po dubinama 0 - 5, 5 - 10 i 10 - 15 cm, bušilicom s čeličnom cijevi promjera 100 mm i dužine 700 mm, na ravnom nekultiviranom tlu površine 1 m^2, sa po jedne tačke poslije i prije TE duž dominantnog smjera vjetra. Za očekivanu zonu utjecaja termoelektrane je pretpostavljeno da obuhvata radijus 5 km od postrojenja. Tačke uzorkovanja tla su izabrane na ovoj udaljenosti od termoelektrane, tačka T1 prije, a tačka T2 poslije TE Tuzla duž dominatnog smjera vjetra.

Gamaspektrometrijska mjerenja vršena su na vertikalnom koaksijalnom HPGe detektoru p-tipa, model POP-TOP, proizvođača "ORTEC", sa relativnom efikasnošću 30 % i rezolucijom 1.85 keV-a na 1.33 MeV-a.

Aktivnosti ispitivanih radionuklida (^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra i ^{40}K) mjerene su iz njihovih gama linija i gama linija njihovih potomaka. Specifična aktivnost ^{238}U izračunavana je iz ^{234}Th na energiji 63 keV-a i ^{234m}Pa na energiji 1001 keV-a. Aktivnost ^{232}Th izračunavana je iz potomaka ^{228}Ac na energijama 911 keV-a i 967 keV-a i ^{208}Tl na energijama 583 keV-a i 2614 keV-a. Aktivnost ^{226}Ra obračunavana je iz energija ^{214}Pb na 239 keV-a i 295 keV-a i energijama ^{214}Bi na 609 keV-a i 1764 keV-a. Aktivnosti kalijuma dobijene su iz njegove gama linije na energiji 1461 keV-a. Vrijeme mjerenja iznosilo je 80 000 s, a rezultati su dati po 1 kg suhe tvari.

REZULTATI

Srednje vrijednosti specifičnih aktivnosti u uzorcima ugljeva korištenih tokom dvanaestogodišnjeg perioda u TE Tuzla iznosile su: 23,41 (19,43 - 31,54) Bq kg^{-1} za ^{238}U; 11,51 (7,92 - 13,48) Bq kg^{-1} za ^{232}Th; 17,03 (11,08 - 25,62) Bq kg^{-1} za ^{226}Ra i 94,72 (72,06 - 111,79) Bq kg^{-1} za ^{40}K, što nije ukazivalo na povišene nivoe aktivnosti ispitivanih radionuklida [5,6].

U Tablici 1 date su srednje vrijednosti i rasponi specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima pepela, šljake iz postrojenja, deponije, te u uzorcima tla: iz kruga TE, 5 km prije TE (T1) i 5 km poslije TE (T2), dobiveni tokom dvanaest godina monitoringa radioaktivnosti u okolišu TE Tuzla. Najviši nivoi aktivnosti uočeni su u uzorcima pepela, što je uzrokovano koncentriranjem radionuklida pri procesu sagorjevanja uglja.

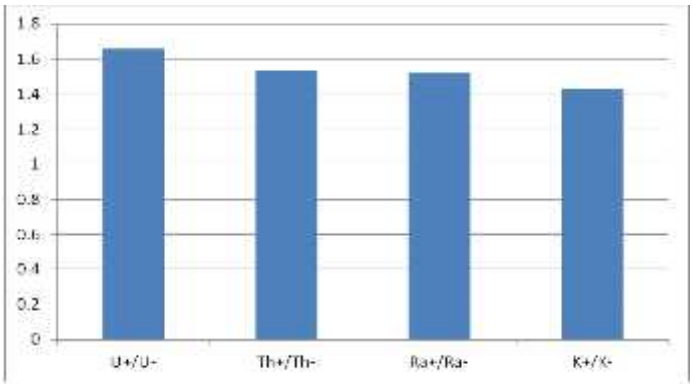
Tablica 1. Srednje vrijednosti specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u ispitivanim uzorcima sa rasponima dobijenih vrijednosti (Bq kg^{-1})

		Pepeo	Šljaka	Depon.	Krug TE	T1	T2
^{238}U	srednje	65,24	47,32	56,87	28,19	26,84	44,47
	min	47,35	34,18	37,68	21,01	21,58	38,97
	max	77,12	59,44	69,47	35,76	32,49	53,94
^{232}Th	srednje	37,59	27,33	37,07	22,96	25,81	39,76
	min	32,02	22,40	29,87	19,62	19,48	29,80
	max	48,66	34,01	50,55	26,96	31,81	52,06
^{226}Ra	srednje	61,36	38,11	51,13	21,98	23,06	35,09
	min	44,91	23,99	35,48	18,76	17,13	28,42
	max	84,51	50,39	70,41	26,94	29,85	45,36
^{40}K	srednje	313,96	237,15	304,89	258,72	254,74	363,59
	min	269,29	197,87	250,82	226,36	218,84	315,77
	max	365,35	275,17	364,05	276,41	299,94	420,85

Izmjerene vrijednosti ispitivanih radioanuklida u uzorcima tla iz kruga TE i tačke 5 km prije TE (tačka T1), pokazuju niže vrijednosti u odnosu na tačku 5 km poslije TE (tačka T2), što je uzrokovano depozicijom pepela u smjeru rezultante ruže vjetrova [4,6].

U cilju procjene utjecaja TE Tuzla na okoliš, dati su i odnosi specifičnih aktivnosti ispitivanih radionuklida sa tačaka poslije TE (U+, Th+, Ra+ i K+) i prije TE (U-, Th-, Ra- i K-) (Slika 1).

Odnos ^{238}U u tačkama poslije i prije TE iznosio je 1,66; ^{232}Th 1,54; ^{226}Ra 1,52 i ^{40}K 1,43. Srednja vrijednost dobijenih odnosa iznosila je 1,54 sa standardnom devijacijom 0,09. Dobijeni odnosi ukazuju da prevladavajući smjer vjetra dovodi do ujednačenog povišenja nivoa aktivnosti ispitivanih radinuklida u zoni utjecaja TE Tuzla, što je utvrđeno i kod drugih autora [6,7]. S obzirom na niske prosječne koncentracije ispitivanih radionuklida u uzorcima uglja, deponiranje letećeg pepela u zonama utjecaja nije dovelo do značajnijeg povišenja prirodne radioaktivnosti tla. Najmanja vrijednost odnosa koncentracija prije i poslije TE pokazao je odnos ^{40}K, zbog relativno niske aktivnosti kalija u uzorcima pepela, dok je najveću vrijednost odnosa imao ^{238}U, uslijed relativno visokih aktivnosti u uzorcima pepela u odnosu na uzorke tla (krug TE, tačka T1 prije zone utjecaja TE).



Slika 1. Odnosi nivoa aktivnosti u tačkama poslije i prije TE

ZAKLJUČAK

Rezultati dvanaestogodišnjeg praćenja radioaktivnosti u okolišu TE Tuzla pokazuju da termoelektrana ima utjecaja na okoliš u smislu povećanja tehnološki uslovljene prirodne radioaktivnosti. Preovladavajući smjer vjetra dovodi do povišenja nivoa aktivnosti ispitivanih radionuklida u zoni utjecaja TE Tuzla. Izmjereni nivoi prirodnih radionuklida u ugljevima koji se koriste u termoelektrani su u okviru prosječnih vrijednosti svjetskih ugljeva ove vrste. Specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u pepelu i šljaki koja nastaje sagorijevanjem uglja su veće 2 do 4 puta u odnosu na nivoe u ugljevima, što je također u okviru svjetskih prosjeka.

LITERATURA

[1] Zeevaert T, Sweeck L, Vanmarcke H. The radiological impact from airborne routine discharges of a modern coal-fired power plant. J Environ Radioact 2006;85:1-22.

[2] Eisenbud M, Gessel T. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Millitary Sources, 4th Ed. Academic Press, 1997, ISBN 10:0-12-235154-1.

[3] Beck HL, Miller KM. Some radiological aspects of coal combustion. IEEE Transactions on Nuclear Science 1980;NS-27(1):689-694.

[4] Papastefanou C. Radiation impact from lignite burning due to ^{226}Ra in Greek coal-fired power plants. Health Phys 1996;70:187-191.

[5] Papastefanou C, Manolopoulou M, Charalambous S. Radioecological measurements in the coal power plant environment. Radiat Prot Dosim 1988;24:439-443.

[6] Flues M, Moraes V, Mazzilli BP. The influence of a coal-fired power plant on radionukide concentration in soil. J Environ Radioact 2002;63:285-294.

[7] Papp Z, Dezso Z, Daroczy S. Significant radioactive contamination of soil around a coal-fired thermal power plant. J Environ Radioact 2002;59:191-205.

RADIOACTIVITY MONITORING IN SUROUNDINGS OF THE COAL - FIRED POWER PLANT TUZLA, BOSNIA AND HERZEGOVINA

Lejla Saračević, Nedžad Gradaščević, Nedim Mijić and Davorin Samek
Faculty of Veterinary Medicine, University of Sarajevo
Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
nedzad.gradascevic@vfs.unsa.ba

In this paper the influence of 12-year operation of coal power plant (CPP) Tuzla on radioactive contamination of soil in its vicinity was investigated.

Coal, ash, slag and soil inside of CPP as well as soil were sampled for analysis during 12 years period, twice a year. Sampling of soil in expected zone of influence was performed at points 5 km before and after CPP along the dominating wind direction.

Mean values of specific activities in samples of coal used in CPP Tuzla were 23.41 Bq kg^{-1} for ^{238}U, 11.51 Bq kg^{-1} for ^{232}Th, 17.03 Bq kg^{-1} for ^{226}Ra and 94.72 Bq kg^{-1} for ^{40}K, and they showed no indication on increase of observed radionuclides in coal.

Mean values of specific activities in samples of ash for ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra and ^{40}K were 65.24, 37.59, 61.36 and 313.96 Bq kg^{-1}, respectively, and 47.32, 27.33, 38.11 and 237.15 Bq kg^{-1}, respectively, in samples of slag.

Values of observed radionuclides in samples of soil inside CPP as well as on the point at 5 km before CPP in dominating wind direction were lower than those measured 5 km after CPP. On the base of obtained results we concluded that this was caused by the deposition of ash along the dominant wind direction.

Ratios of specific activities after and before CPP for observed radionuclides in soil were 1.66 for ^{238}U, 1.54 for ^{232}Th, 1.52 for ^{226}Ra and 1.43 for ^{40}K. Mean value of this ratios was 1.54 with standard deviation of 0.09. Given ratios showed that dominant wind direction was probably the main cause of recorded increase of specific activities in soil after CPP Tuzla. Deposition of fying ash cause no singnificant increase of natural radioactivity in soil mainly because of low average activities of this radionuclides in coal.

ODREĐIVANJE MEĐUSOBNIH ODNOSA SPECIFIČNIH AKTIVNOSTI UZORAKA UGLJA, PEPELA I ŠLJAKE IZ TERMOELEKTRANE "KOLUBARA", SRBIJA

Aleksandar Kandić[1], Bojan Šešlak[1], Mirjana Đurašević[1], Milić Erić[2], Ivana Vukanac[1], Zoran Milošević[1] i Zoran Marković[2]

[1]Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku
[2]Laboratorija za termotehniku i energetiku
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
akandic@vinca.rs

UVOD

Ugalj, i pored sve intenzivnijeg razvoja i korišćenja obnovljivih izvora energije, ima i dalje značajnu ulogu u proizvodnji električne energije širom sveta. U Republici Srbiji prema godišnjem izveštaju "Elektroprivrede Srbije" za 2013. godinu u termoelektranama, čije je pogonsko gorivo lignit, proizvedeno je 26 537 GWh od ukupno 37 433 GWh električne energije [1]. Proizvodnja uglja, koji se koristi u termoelektranama "Elektroprivrede Srbije", odvija se na površinskim kopovima rudarskih basena Kolubara (75 %) i Kostolac (25 %) [2].

Ugalj i radioaktivnost

Ugalj je sedimentna stena organskog porekla koja osim ugljenika i ugljovodonika sadrži, između ostalog, i tragove prirodnih radionuklida iz uranovog i torijumovog niza, kao i radiokalijum. Upravo zbog toga što sadrži prirodne radionuklide, ugalj se može svrstati u NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*). S druge strane, pepeo i šljaka, nesagorivi i nesagoreli ostatak pri sagorevanju uglja, predstavljaju TENORM (*Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*). U slučaju kada se odlažu u životnu sredinu mogu dovesti do uvećanja i/ili promene raspodele sadržaja prirodnih radionuklida.

Prema procenama IAEA (*International Atomic Energy Agency*), specifične aktivnosti radionuklida u uglju nalaze se u sledećim opsezima: (4 - 785 Bq/kg) za ^{40}K; (20 - 210 Bq/kg) za ^{210}Pb; (8 - 206 Bq/kg) za ^{226}Ra; (7 - 97 Bq/kg) za ^{232}Th i (7 - 480 Bq/kg) za ^{238}U [3].

Proces sagorevanja uglja može da poveća koncentracije radionuklida u pepelu i šljaci čak i 5 do 10 puta u odnosu na koncentracije u uglju. Uz to ne treba zaboraviti ni činjenicu da prirodni radionuklidi imaju različita fizičkohemijska svojstva, a samim tim i različite faktore "obogaćenja" tokom različitih faza sagorevanja uglja.

U ovom radu su prikazani rezultati merenja uzoraka uglja, pepela i šljake iz termoelektrane "Kolubara", Srbija.

Uzorkovanje i priprema uzoraka

Tokom periodičnih merenja štetnih i opasnih materija u vazduhu na kotlovima K3 i K4 termoelektrane "Kolubara", koja su obavljena krajem maja 2012. godine, prikupljena su i analizirana po tri uzorka uglja, šljake i pepela za svaki kotao. Ugalj je uzorkovan na dodavačima uglja, pre procesa mlevenja i sušenja uglja u mlinskim postrojenjima. Šljaka je prikupljena tokom procesa transporta iz kotlovskog postrojenja ka deponiji, dok je leteći pepeo prikupljen iz levkova elektrofilterskog postrojenja. Rezultati laboratorijskih analiza prikupljenih uzoraka kolubarskog uglja, šljake i letećeg pepela prikazani su u Tabeli 1 [4].

Tabela 1. Rezultati laboratorijskih analiza prikupljenih uzoraka kolubarskog uglja, šljake i letećeg pepela

Parametar	Jedinica mere	Opseg izmerenih vrednosti	
		TE "Kolubara" kotao K3	TE "Kolubara" kotao K4
Ugalj Kolubara - uzorak sa dostavnom vlagom			
Donja toplotna moć	kJ/kg	6590 - 6724	6900 - 7304
Pepeo	%	11,96 - 15,54	11,06 - 13,73
Sagorljivo	%	31,01 - 31,48	32,11 - 33,48
Vlaga	%	53,23 - 56,56	53,97 - 55,46
Sumpor ukupni	%	0,43 - 0,63	0,35 - 0,47
Sumpor sagorljiv	%	0,22 - 0,45	0,18 - 0,24
Ugljenik	%	20,39 - 20,84	21,15 - 22,00
Vodonik	%	1,74 - 1,83	1,83 - 1,99
Šljaka - uzorak bez vlage			
Pepeo	%	74,41 - 78,67	91,88 - 96,16
Sagorljivo	%	21,33 - 25,59	3,84 - 8,12
Leteći pepeo - uzorak bez vlage			
Pepeo	%	97,54 - 97,83	96,86 - 99,33
Sagorljivo	%	2,17 - 2,46	0,67 - 3,14

Uzorci za analizu su pripremljeni odgovarajućim standardnim metodama u Laboratoriji za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke "Vinča", gde su obavljene i laboratorijske analize. Pripremljeni uzorci smešteni su u cilindrične PVC kutije od 125 mL, zatopljeni i skladišteni tokom šest nedelja, da bi se uspostavila radioaktivna ravnoteža između ^{226}Ra i njegovih potomaka. U zavisnosti od gustine u kutije su smešteni uzorci čije su mase bile u opsegu od 59,58 g do 161,35 g.

Gamaspektrometrijska merenja

Svi uzorci su mereni na poluprovodničkom HPGe spektrometru (ORTEC GEM-30, ε_r = 37 %, *FWHM* = 1,8 keV), kalibrisanom pomoću odgovarajućih standarda uglja i zemlje spajkovanih uobičajenim veštačkim radionuklidima. Da bi se postigla prihvatljiva statistička greška, merenja su trajala između 70000 s i 250000 s.

REZULTATI I RASPRAVA

Specifične aktivnosti ^{40}K, ^{210}Pb, ^{226}Ra i ^{235}U određene su analizom pikova na energijama 1460,83 keV, 46,54 keV, 186,21 keV i 143,77 keV, respektivno, uzimajući u obzir korekcije za doprinos ^{228}Ac (1459,14 keV) i ^{235}U (185,72 keV). Specifična aktivnost ^{238}U određena je preko potomka ^{234m}Pa (1001,01 keV i 766,42 keV), uzimajući u obzir korekcije zbog doprinosa ^{214}Bi (768,36 keV), dok je specifična aktivnost ^{232}Th određena preko potomka ^{228}Ac (911,16 keV i 968,97 keV). Treba napomenuti da ni u jednom uzorku nije detektovano prisustvo veštačkih radionuklida.

Opsezi i srednje vrednosti sa standardnim nesigurnostima dobijenih specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u analiziranim uzorcima prikazani su u Tabeli 2. Nesigurnosti merenja mase (< 0,2 %) i kalibracije efikasnosti (5 %), kao i statistička nesigurnost (< 30 %) uključene su u kombinovanu standardnu nesigurnost. Srednje vrednosti i njihove kombinovane standardne nesigurnosti dobijene su na osnovu utežnjene aritmetičke sredine uzimajući za težinske faktore kombinovane standardne nesigurnosti uzoraka.

Opsezi i srednje vrednosti za specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u analiziranim uzorcima prikazani u Tabeli 2 u saglasnosti su sa vrednostima koje se nalaze u izveštaju IAEA [3], kao i sa rezultatima dostupnim u stručnoj literaturi [5-8]. Kao što se i očekivalo specifične aktivnosti su najniže u uzorcima uglja, a najviše u uzorcima pepela. Srednje vrednosti specifičnih aktivnosti za uzorke uglja (A_c) upoređene su sa

vrednostima za šljaku (A_s) i pepeo (A_f), a njihovi odnosi (A_s/A_c) i (A_f/A_c) prikazani su u Tabeli 3.

Tabela 2. Opsezi i srednje vrednosti sa standardnim nesigurnostima za specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u analiziranim uzorcima

	Radio nuklid	**^{40}K** (Bq/kg)	**^{210}Pb** (Bq/kg)	**^{226}Ra** (Bq/kg)	**^{232}Th** (Bq/kg)	**^{238}U** (Bq/kg)	**^{235}U** (Bq/kg)
K3 ugalj	R	68-140	30-42	27-28	17-23	27-29	1,1-1,8
	A ± s	106±5,7	33,9±8,6	27,7±3,3	19,7±2,0	27,8±5,0	1,3±0,3
K4 ugalj	R	74-106	30-37	28-32	20-22	27-32	1,1-1,3
	A ± s	87,8±4,8	34,2±6,0	30,1±2,9	20,7±2,0	29,3±5,3	1,2±0,3
K3 šljaka	R	258-312	54-61	55-60	38-43	56-60	2,6-2,8
	A ± s	293±14	57,5±9,8	56,6±4,7	40,8±2,5	57,2±6,2	2,7±0,5
K4 šljaka	R	259-325	42-51	42-48	34-38	42-50	1,6-2,1
	Ae ± s	283±13	48,9±9,9	44,4±4,6	36,3±2,1	46,3±4,9	1,8±0,5
K3 pepeo	R	350-456	84-90	97-112	80-83	96-113	4,5-5,2
	A ± s	406±20	86,2±10,7	104±8,0	81,8±4,5	104±11	4,8±0,9
K4 pepeo	R	334-349	86-88	112-121	88-94	114-123	4,5-5,7
	A ± s	340±17	86,8±11,5	116±8,4	90,1±5,0	117±13	5,1±0,9

R - opseg; *A* - srednja vrednost; *s* - standardna nesigurnost

Tabela 3. Odnos srednjih vrednosti specifičnih aktivnosti dobijenih za uzorke šljake i uglja (A_s/A_c) i za uzorke pepela i uglja (A_f/A_c)

Kotao	**Radionuklid** / **Odnos**	**^{40}K** (Bq/kg)	**^{210}Pb** (Bq/kg)	**^{226}Ra** (Bq/kg)	**^{232}Th** (Bq/kg)	**^{238}U** (Bq/kg)	**^{235}U** (Bq/kg)
K3	A_s/A_c	2,76	1,69	2,04	2,07	2,06	2,08
	A_f/A_c	3,83	2,54	3,75	4,15	3,74	3,69
K4	A_s/A_c	3,22	1,43	1,48	1,75	1,58	1,50
	A_f/A_c	3,87	2,54	3,85	4,35	3,99	4,25

Na osnovu analize rezultata prikazanih u Tabeli 3 može se zaključiti da su odnosi A_s/A_c i A_f/A_c međusobno konzistentni uzimajući u obzir standardne nesigurnosti specifičnih aktivnosti. Međutim, ovaj zaključak ne može da se primeni i na odnos A_s/A_c za ^{40}K, koji je znatno viši u odnosu na ostale radionuklide i zahteva dodatnu analizu. Ipak, treba napomenuti da su svi dobijeni odnosi niži u odnosu na očekivane.

ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana analiza prirodnih radionuklida (^{235}U, ^{238}U, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{232}Th i ^{40}K) u uzorcima uglja, šljake i pepela. Za šest setova uzoraka (ukupno 18) određena je specifična aktivnost, a dobijene vrednosti su poredive sa vrednostima ranije objavljenim u stručnoj literaturi. Određeni su i međusobni odnosi specifičnih aktivnosti dobijenih za uzorke šljake i uglja (A_s/A_c) i za uzorke pepela i uglja (A_f/A_c). Rezultati ukazuju da bi dalja istraživanja sa posebnim osvrtom na korelaciju radioloških i laboratorijskih analiza bila poželjna.

Zahvalnica

Autori zahvaljuju na finansijskoj podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata: Nuklearna fizika, metode i primena (171018) i Smanjenje aerozagađenja iz termoelektrana u JP "Elektroprivreda Srbije" (III-42010).

LITERATURA

[1] http://www.eps.rs/GodisnjiIzvestaji/Godisnji%20Izvestaj_EPS_2013_sr_CD.pdf

[2] http://www.eps.rs/Lat/Article.aspx?lista=Sitemap&id=84

[3] International Atomic Energy Agency (IAEA) Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. IAEA Technical Report Series 419. Vienna: IAEA; 2003.

[4] Erić MD, Stefanović PLJ, Marković ZJ. Periodical Emissions Measurement of Certain Pollutants into the Air from the Steam Boilers K3 and K4 of TPP Kolubara in Veliki Crljeni. Report NIV LTE 504. Institute of Nuclear Sciences Vinča, Vinča, June 2012.

[5] Cevik U, Damla N, Nezir S. Radiological characterization of Cayirhan coal-fired power plant in Turkey. Fuel 2007;86:2509-2513.

[6] Bem H, Wieczorkowski P, Budzanowski M. Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-fired power plants in the Lodz region of Poland. J Environ Radioactiv 2002;61:191-201.

[7] Flues M, Camargo IMC, Silva PSC, Mazzilli BP. Radioactivity of coal and ashes from Figueira coal power plant in Brazil. J Radioanalyt Nuclear Chem 2006;270:597-602.

[8] Đurašević M, Kandić A, Stefanović P, Vukanac I, Šešlak B, Milošević Z, Marković T. Natural radioactivity in lignite samples from open pit mines "Kolubara", Serbia – risk assessment. Appl Radiat Isotopes 2014;87:73-76.

DETERMINATION OF MUTUAL RATIOS FOR SPECIFIC ACTIVITY IN COAL, SLAG AND FLY - ASH SAMPLES FROM "KOLUBARA" POWER PLANT

Aleksandar Kandić[1], Bojan Šešlak[1], Mirjana Đurašević[1], Milić Erić[2], Ivana Vukanac[1], Zoran Milošević[1] and Zoran Marković[2]

[1]Laboratory for Nuclear and Plasma Physics
[2]Laboratory of Thermal Engineering and Energy
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", University of Belgrade
Belgrade, Serbia
akandic@vinca.rs

Coal as the fossil fuel contains naturally occurring radionuclides and belongs to NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials). On the other hand, slag and fly-ash belong to TENORM (Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material), and if they are released into the environment an increase and/or redistribution of natural radionuclide content can occur.

For the purposes of this study, six sets of samples (18 in total) of "Kolubara" coal, slag and fly-ash were collected during the periodical emission tests in May 2012th at steam boilers K3 and K4 of TPP "Kolubara", Serbia.

Coal, slag and fly-ash samples were prepared for analysis (milled, dried, sieved and weighed) by appropriate standard methods. Prepared samples were placed in 125 mL PVC cylindrical boxes, weighted and sealed with natural wax. Sealed samples were measured with a semiconductor HPGe spectrometer (37 % relative efficiency) after the radioactive equilibrium was reached. The obtained values of specific activity for coal (A_c), slag (A_s) and fly - ash (A_f) do not differ significantly compared to the values available in the literature.

Analysis of determined mutual ratios A_s/A_c and A_f/A_c are consistent, taking into account uncertainties of activity concentrations, with values of approximately 2 and 4, for K3, and 1.5 and 4, for K4. Discrepancies were noted only for ^{40}K (both steam boilers) of A_s/A_c. Results indicate that further investigation with more samples should be undertaken, and also correlation between radiological and proximate analysis should be determined.

PRIMJENA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA ^{14}C, ^{137}Cs I ^{210}Pb U ISTRAŽIVANJU JEZERSKOG SEDIMENTA

Nada Horvatinčić[1], Andreja Sironić[1], Jadranka Barešić[1], Nataša Todorović[2], Jovana Nikolov[2], Jan Hansman[2] i Miodrag Krmar[2]
[1]Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska
[2]Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija
nada.horvatincic@irb.hr

UVOD

Jezerski sedimenti, posebno u krškim područjima gdje je sedimentacija karbonata relativno brza, mogu biti koristan izvor informacija o promjenama u okolišu na lokalnoj i globalnoj razini.

Radioaktivni izotop cezija, ^{137}Cs, antropogenog je porijekla te se može koristiti za praćenje globalnog zagađenja koje dolazi putem atmosfere. Značajna kontaminacija atmosfere sa ^{137}Cs uzrokovana je nesrećom u nuklearnoj elektrani Černobil u Ukrajini (1986.), te šezdesetih godina prošlog stoljeća intenzivnim eksperimentalnim termonuklearnim eksplozijama kada je došlo i do značajnog porasta ^{14}C u atmosferi [1].

Raspodjela ^{137}Cs i ^{210}Pb u sedimentnom profilu koristi se za procjenu brzine sedimentacije u jezerima. Raspodjela izotopa ^{14}C u karbonatnoj i organskoj frakciji sedimentnog profila ukazuje na određena globalna zagađenja, dok omjeri stabilnih izotopa $^{13}C/^{12}C$ upućuju na određene procese u jezerima.

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja spomenutih izotopa u recentnim jezerskim sedimentima na području Plitvičkih jezera.

MATERIJAL I METODE

Jezerski sedimenti vađeni su gravitacijskim korerom 2011. i 2012. godine. Radioaktivni izotopi ^{14}C, ^{137}Cs i ^{210}Pb te omjer stabilnih izotopa $^{13}C/^{12}C$ mjereni su u slojevima površinskog sedimenta, prvih ~ 40 cm, svaki centimetar, iz 4 jezera na Plitvičkim jezerima: 2 velika jezera, jezero Kozjak i Prošćansko jezero (skraćeno Prošće), te 2 mala, Gradinsko jezero i jezero Kaluđerovac. Izotopi ugljika mjereni su posebno u organskoj i karbonatnoj frakciji.

Za mjerenje aktivnosti ^{14}C ($a^{14}C$) u sedimentu koristila se akceleratorska masena spektrometrija (AMS). U tu svrhu ugljik iz uzorka se

kemijskim postupkom prevodi u grafit [2,3] te se u obliku grafitnih meta koncentracija ^{14}C mjerila na akceleratoru u Scottish University Environmental Research Center (SUERC) u Glasgowu te u Center for Applied Isotope Studies, University of Georgia (UGAMS). Svi rezultati $a^{14}C$ prikazani su u tzv. postotku modernog ugljika (*percent of modern carbon*, pMC). To je vrijednost koja pokazuje ^{14}C aktivnost u mjerenom uzorku u odnosu na moderni standard.

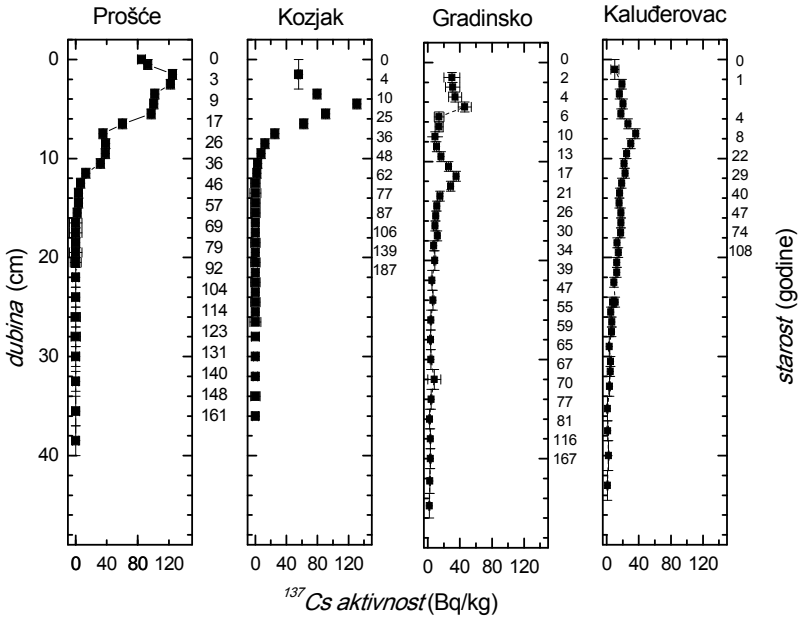
Vrijednosti $^{13}C/^{12}C$ u jezerskom sedimentu, organski i karbonatni dio, su izmjerene na masenom spektrometru u SUERC i UGAMS. Rezultati omjera $^{13}C/^{12}C$ se izražavaju u $\delta^{13}C$ vrijednostima u promilima, a predstavljaju relativno odstupanje vrijednosti $^{13}C/^{12}C$ u odnosu na standard (V-PDB standard).

Gama spektrometrijska mjerenja ^{137}Cs i ^{210}Pb u sedimentima napravljena su HPGe detektorom tipa GMX (s proširenim energetskim opsegom od 10 keV do 3 MeV) proizvođača ORTEC, nominalne efikasnosti 32 % u pasivnoj zaštiti.

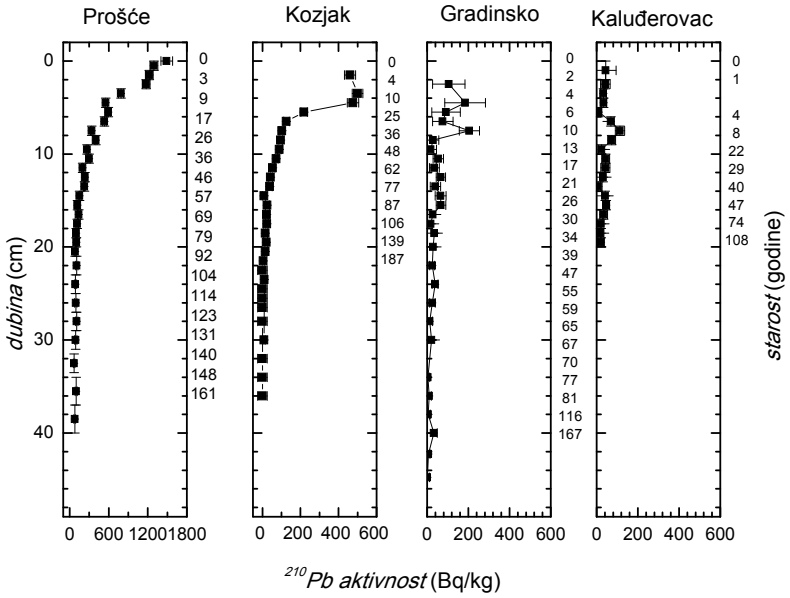
REZULTATI

Raspodjela koncentracije izotopa ^{137}Cs, ^{210}Pb te $a^{14}C$ i $\delta^{13}C$ u profilu jezerskih sedimenata Prošća, Kozjaka, Gradinskog i Kaluđerovca prikazana je na Slikama 1-4. Na desnoj osi svih grafova prikazane su izračunate (približne) starosti sedimenta na osnovu ^{210}Pb.

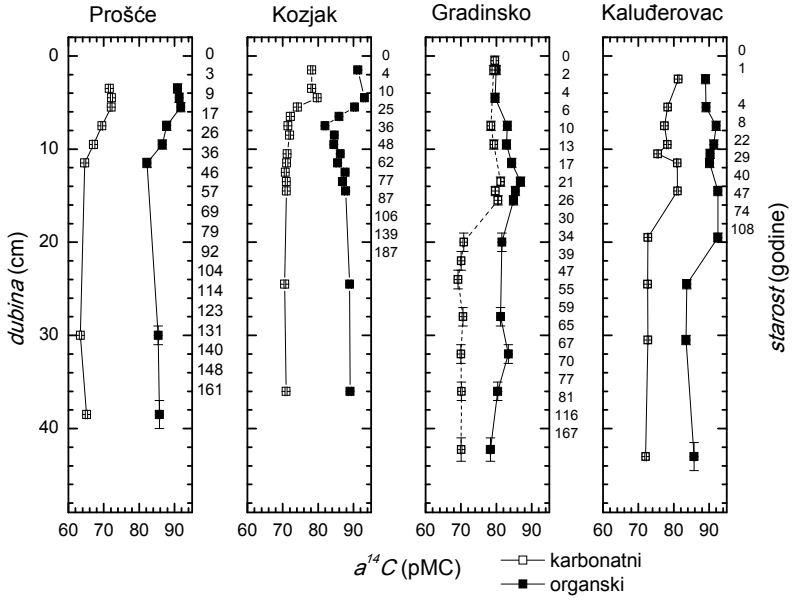
Povišene aktivnosti ^{137}Cs registrirane su u sva 4 jezerska sedimenta i to u prvih 10 cm na jezeru Kozjak i Prošće, dok je u manjim jezerima ta promjena vidljiva u prvih ~20 cm. Maksimalna aktivnost ^{137}Cs na sva 4 jezerska sedimenta rezultat je černobilskog zagađenja, dok su manje izraženi porasti u dubljim slojevima na Prošću, Gradinskom i Kaluđerovcu posljedica termonuklearnih testova. Na osnovi raspodjele aktivnosti ^{137}Cs u sedimentnom profilu u principu se može odrediti i brzina sedimentacije. No, zbog veće mobilnosti, ^{137}Cs lako difundira u niže slojeve sedimenta, pa je pogodniji izotop za datiranje sedimenta, odnosno određivanja brzine sedimentacije, radioaktivni izotop olova, ^{210}Pb (vrijeme poluraspada je 22,3 godine) koji je isključivo prirodnog porijekla. Na osnovi ^{210}Pb napravljena je procjena starosti sedimenta u sva 4 jezera koristeći određene modele (*Constant Sedimentation Rate*, CSR, za Prošće i *Constant Rate of Supply*, CRS, za Kozjak) [4]. CRS metoda je korišten i za jezera Gradinsko i Kaluđerovac, ali zbog znatno niže koncentracije aktivnosti ^{210}Pb u sedimentu izračunate starosti kod ova dva jezera imaju veliku pogrešku koja može iznositi i preko 50 %.



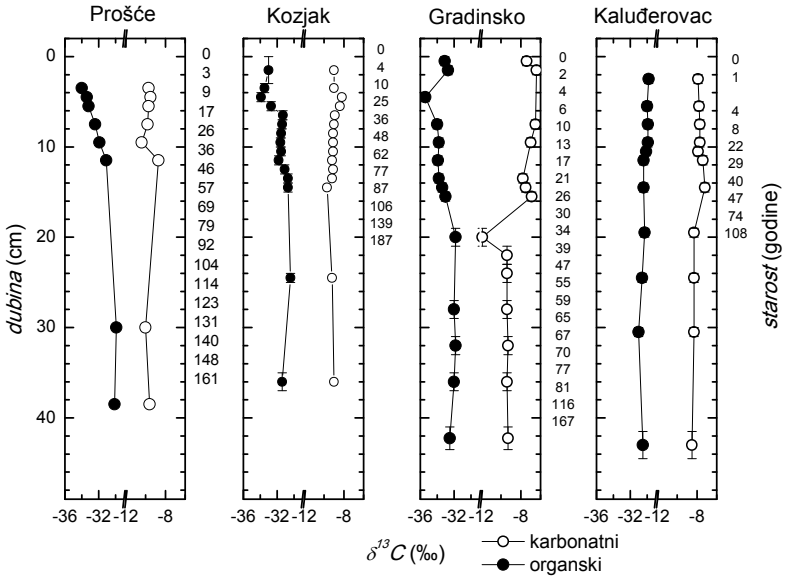
Slika 1. Raspodjela aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu 4 jezera. Na desnoj je osi procijenjena starost na bazi ^{210}Pb.



*Slika 2***.** Raspodjela aktivnosti ^{210}Pb u sedimentu 4 jezera. Na desnoj je osi procijenjena starost na bazi ^{210}Pb.



Slika 3. Raspodjela aktivnosti ^{14}C za karbonatnu i organsku frakciju u sedimentu 4 jezera. Na desnoj je osi procijenjena starost na bazi ^{210}Pb.



Slika 4. Raspodjela $\delta^{13}C$ za karbonatnu i organsku frakciju u sedimentu 4 jezera. Na desnoj je osi procijenjena starost na bazi ^{210}Pb.

$a^{14}C$ i $\delta^{13}C$ vrijednosti također pokazuju određene promjene u koncentraciji ugljikovih izotopa u površinskih 10 - 20 cm. Ti izotopi su mjereni posebno u karbonatnoj i organskoj frakciji sedimenta. Kod ^{14}C uočljive su povišene aktivnosti u obje frakcije, kod Kozjaka i Prošća su maksimalne aktivnosti bliže površini (~5 cm od površine), dok su kod sedimenta iz Kaluđerovca i Gradinskog maksimalne ^{14}C aktivnosti u nižim slojevima (15 - 20 cm od površine). Povišene aktivnosti ^{14}C posljedica su ranije spomenutih termonuklearnih eksplozija. Također su uočljive razlike u $a^{14}C$ i $\delta^{13}C$ vrijednostima između karbonatne i organske frakcije, što je posljedica različitog porijekla ugljika u tim frakcijama, odnosno različite izmjena ugljika iz okoliša u karbonatnoj i organskoj frakciji sedimenta. $\delta^{13}C_{karb}$ se kreće u rasponu od -10 ‰ do -8 ‰ za velika jezera (Kozjak i Prošće), te od -12 ‰ do -6 ‰ za mala jezera (Gradinsko i Klauđerovac). Te vrijednosti pokazuju da je ugljik u karbonatnoj frakciji rezultat miješanja ugljika iz humusnih slojeva te ugljika nastalog otapanjem iz mineralnih stijena (vapnenca, dolomita). $\delta^{13}C_{org}$ vrijednosti su znatno niže, od -36 ‰ do -30 ‰ i ukazuju na ugljik koji dijelom potječe od kopnenih biljaka, a dijelom od vodnog bilja (negativnije vrijednosti $\delta^{13}C$). Neke promjene $\delta^{13}C_{karb}$ u površinskom sloju, napr. kod Gradinskog jezera $\delta^{13}C_{karb}$ raste od -10 ‰ do -6 ‰, mogu ukazivati na porast primarne produkcije u jezeru u zadnjih ~50 godina i na pojačano bioinducirano taloženja kalcita pri čemu $\delta^{13}C_{karb}$ vrijednosti postaju pozitivnije.

ZAKLJUČAK

Izotopni sastav jezerskog sedimenta iz jezera Prošće, Kozjak, Gradinsko jezero i Kaluđerovac pokazao je da su u zadnjih ~50 godina registrirane određene promjene u izotopnom sastavu sedimenta. Porast aktivnosti radioaktivnih izotopa ^{137}Cs i ^{14}C u površinskom dijelu sedimenta (prvih 10 - 20 cm) u sva 4 jezera posljedica je globalne kontaminacije atmosfere uzrokovane nesrećom u Černobilu, te termonuklearnim pokusima šezdesetih godina prošlog stoljeća. Odraz te globalne kontaminacije atmosfere u jezerskim sedimentima brži je u malim/plićim jezerima (Gradinsko, Kaluđerovac) nego u velikim i dubljim jezerima (Prošće, Kozjak). Te kontaminacije nisu značajne i one ne utječu na sam proces taloženja karbonata u vodama, no ukazuju na to da je područje Plitvičkih jezera, odnosno ukupni eko-sustav Plitvičkih jezera vrlo osjetljiv kako na globalne promjene (zagađenja koja mogu doći putem atmosfere), tako i na promjene na lokalnoj razini (vrlo brza cirkulacija/miješanje površinskih i podzemnih voda).

Izotopne analize karbonatne frakcije sedimenata, $\delta^{13}C_{karb}$, pokazale su da su istaloženi karbonati uglavnom autigenog porijekla, tj. da karbonat nastaje direktnim taloženjem iz vode, a samo kod nekih slučajeva ima primjesa terigenog materijala. Povećanje $\delta^{13}C_{karb}$ u gornjim slojevima sedimenata iz manjih jezera (Gradinsko i Kaluđerovac) dobar su pokazatelj jačanja intenziteta bioinduciranog taloženja kalcita u posljednja tri desetljeća. Pojačano bioinducirano taloženje ukazuje na povećanje primarne produkcije u jezerima, ali ovaj proces nije posljedica antropogenog utjecaja, već se pripisuje intenzivnijem rastu i razvoju cijanobakterija čemu pogoduje uočeni porast temperature posljednjih desetljeća.

Zahvala

Rad je izrađen uz financijsku potporu projekta s Nacionalnim parkom Plitvička jezera *Utjecaj klimatskih promjena i stanja u okolišu na biološki inducirano taloženje sedre i sedimentacijske procese u Plitvičkim jezerima*, projekta Hrvatske zaklade za znanost 1623 *Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods* te bilateralnog znanstvenog projekta između Hrvatske i Srbije.

LITERATURA

[1] Levin I, Naegler T, Kromer B, Diehl M, Francey R J, Gomez-Pelaez A J, Steele L P, Wagenbach D, Weller R, Worthy D E. Observations and modelling of the global distribution and long-term trend of atmospheric $^{14}CO_2$. Tellus B 2010;62:26-46.

[2] Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Sironić A, Obelić B, Barešić J, Felja I. A new graphite preparation line for AMS ^{14}C dating in the Zagreb radiocarbon laboratory. Nucl Instrum Method Phys Res B 2010;268:943-946.

[3] Sironić A, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Obelić B, Felja I. Status report on the Zagreb Radiocarbon Laboratory - AMS and LSC results of VIRI intercomparison samples. Nucl Instrum Method Phys Res B 2013; 294:185-188.

[4] Appleby PG, Oldfield F. Application of ^{210}Pb to sedimentation studies. In: Ivanovich M, Harmon RS, eds. Uranium Series Disequilibrium. Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences. Oxford: Clarendon Press 1992. 731-778.

APPLICATION OF RADIOACTIVE ISOTOPES ^{14}C, ^{137}Cs AND ^{210}Pb IN INVESTIGATION OF LAKE SEDIMENTS

Nada Horvatinčić[1], Andreja Sironić[1], Jadranka Barešić[1], Nataša Todorović[2], Jovana Nikolov[2], Jan Hansman[2] and Miodrag Krmar[2]
[1]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
[2]University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia
nada.horvatincic@irb.hr

Lake sediments, particularly in the karst region, where the sedimentation rate is relatively fast, can give useful information of changes in the environment, on local and global levels. Radioactive isotopes ^{14}C, ^{137}Cs and ^{210}Pb as well as ratio of stable isotopes $^{13}C/^{12}C$ were measured in lake sediments, top 40 cm, of two big lakes Prošće and Kozjak, and two small lakes Gradinsko and Kaluđerovac, Plitvice Lakes National Park. ^{14}C activity in both carbonate and organic fractions was measured using AMS technique with graphite synthesis. ^{137}Cs and ^{210}Pb were measured by low level gamma spectrometry method on ORTEC HPGe detector with the efficiency of 32 %.

Sedimentation rates of all lake sediments were estimated based on the unsupported ^{210}Pb activity. Distribution of isotopes ^{14}C and ^{137}Cs showed increase in the top ~ 10 cm in big lakes and in the top ~ 20 cm in small lakes. The increase is a response to the global contamination of the atmosphere by thermonuclear bomb-produced ^{14}C in the sixties of the 20th century and ^{137}Cs produced by the Chernobyl accident in 1986. These contaminations are not significant and do not influence the natural process of carbonate precipitation in the lake waters.

Distribution of carbon isotopes, $a^{14}C$ and $\delta^{13}C$ values, in organic and carbonate fractions of all sediments gives information about the origin of carbon, which is mainly authigenic, and about the processes of carbonate precipitation. Slight increase of the $\delta^{13}C$ of carbonate fraction in sediments of small lakes indicates the enhanced biologically induced calcite precipitation in the lake waters in the last decades.

RADIOAKTIVNOST U OKOLIŠU NP PLITVIČKA JEZERA 1: TLO, JEZERSKA I RIJEČNA VODA

Dinko Babić, Mak Avdić, Tomislav Bituh, Gina Branica, Zdenko Franić, Iva Franulović, Milica Kolar, Gordana Marović, Branko Petrinec, Ljerka Petroci, Ivica Prlić, Jasminka Senčar, Božena Skoko i Marko Šoštarić

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
dbabic@imi.hr

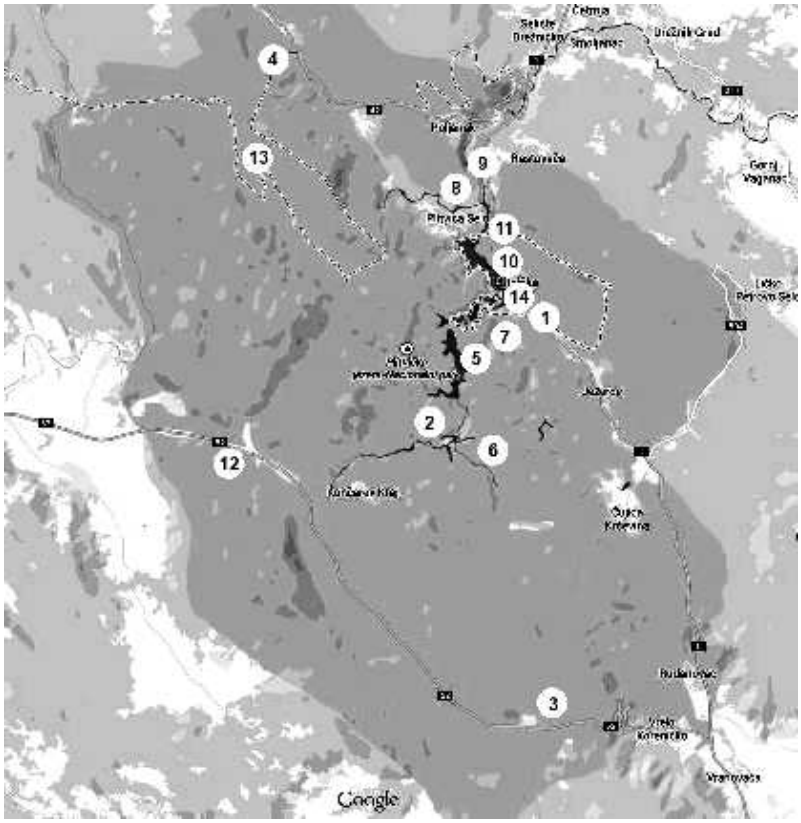
UVOD

U radu su prikazani rezultati istraživanja radioaktivnosti tla, jezerske i riječne vode, kao i određivanja brzine ambijentalnog ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$, u okolišu NP Plitvička jezera od travnja 2011. do listopada 2012. godine. Istraživanje je dio je sveobuhvatne studije ekosustava NP Plitvička jezera koju je proveo Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu (IMI). Istraživanja su obuhvatila sve važnije sastavnice okoliša: tlo geografske vode, biotu, floru i faunu te bioindikatorske organizme (mahovinu, lišaj, borove iglice, gljive i gujavice) na nekoliko lokacija, s ciljem prikupljanja podataka temeljem kojih se može procijeniti stanje radioaktivnosti na području NP Plitvička jezera, zaštićenog prirodnog okoliša, te pokušati definirati referentni organizam za to osjetljivo područje.

U radu su prikazani rezultati određivanja $H^*(10)/t$ i rezultati izmjerenih koncentracija aktivnosti najvažnijih prirodnih (^{40}K, ^{7}Be, ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb) i fisijskih (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuklida u prikupljenim uzorcima.

MATERIJALI I METODE

Za potrebe cjelokupne studije (koja uključuje i istraživanje živih organizama) uzorci su prikupljani na trinaest lokacija, dok su uzorci tla i voda uzimani na jedanaest lokacija u više navrata od proljeća do jeseni 2011. godine. Na lokaciji upravne zgrade provodilo se određivanje $H^*(10)/t$ neprekidnim mjerenjem brzine doze zračenja elektroničkim dozimetrima ALARA tijekom većeg dijela 2011. i 2012. godine [1,2]. Prikaz lokacija uzorkovanja i njihova imena dani su na Slici 1.

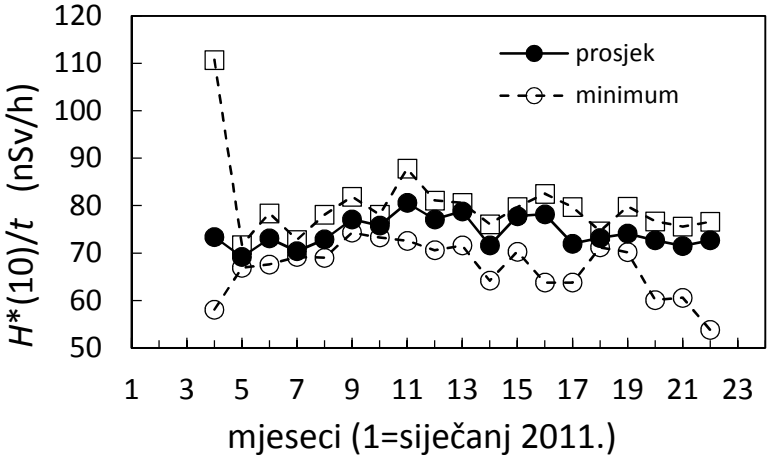


Slika 1. Lokacije uzorkovanja i određivanja $H^*(10)/t$ na karti NP Plitvička jezera; mjerenje $H^*(10)/t$ (14); tlo (1,2,3,4), jezerska (5,10,11) i riječna (6,7,8,9) voda: 1 Mukinje, 2 Plitvički Ljeskovac, 3 Homoljac-Krge, 4 Kuselj, 5 Prošćansko jezero, 6 Matica, 7 Rječica, 8 Plitvica, 9 Korana, 10 Kozjak, 11 Kaluđerovac, 12 Babin Potok, 13 Čorkova uvala, 14 upravna zgrada NP.

Koncentracije aktivnosti svih radionuklida osim ^{90}Sr određivane su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, korištenjem germanijskih detektora visoke čistoće (HPGe) s pripadnom elektroničkom i računalnom podrškom. Koncentracija aktivnosti ^{90}Sr određivana je radiokemijskom separacijom ^{90}Sr i mjerenjem u beta brojaču niskih aktivnosti [3]. IMI je akreditiran sukladno zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007, HAA br. 1288, za određivanje radioaktivnosti visokorezolucijskom gamaspektrometrijom kao i u području određivanja brzine ambijentalnog ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$.

REZULTATI

Od travnja 2011. do listopada 2012. godine neprekidno su se na lokaciji upravne zgrade NP elektroničkim dozimetrima ALARA prikupljali podaci u deset-minutnim intervalima za određivanje brzine ambijentalnog ekvivalenta doze u nSv/h. Mjesečni prosjeci te minimalne i maksimalne vrijednosti izmjerene brzine doze prikazane su na Slici 2 [4].



Slika 2. Brzina ambijentalnog ekvivalenta doze, $H^*(10)/t$, (mjesečni prosjeci, maksimalne i minimalne vrijednosti) u razdoblju od travnja 2011. do listopada 2012. godine

Prosječna vrijednost brzine ambijentalnog ekvivalenta doze kroz cijelo razdoblje mjerenja iznosila je 77 ± 7 nSv/h. Veća odstupanja od prosjeka opažena su u travnju 2011. godine, što se s priličnom sigurnošću može pripisati utjecaju nesreće u Fukushimi. Izmjerene vrijednosti brzine doze ne odstupaju bitno od drugih u kontinentalnoj Hrvatskoj - vrlo slične vrijednosti su na primjer izmjerene na istraživačkom poligonu Šumbar - i niže su od vrijednosti u Zagrebu, gdje su prosječne vrijednosti ~ 120 nSv/h [5,6].

Uzorkovanja jezerske i riječne vode provedena su 2011. godine u travnju, srpnju, rujnu i studenome, a tla (sloj 0 - 10 cm dubine) u travnju i studenome. Ni za jedan se medij nije izdvojio pojedini uzorak po povišenoj ili smanjenoj radioaktivnosti, pa su u Tablicama 1 i 2 sumirani rezultati prikazom srednje vrijednosti, maksimalnih i minimalnih vrijednosti koncentracije aktivnosti, uz navođenje ukupnog broja uzoraka (N) i broja uzoraka u kojima je mjerena aktivnost bila iznad granice detekcije (n).

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti radionuklida u jezerskoj i riječnoj vodi

Radionuklid		***n*/*N***	**Koncentracija aktivnosti** (Bq/m^3)		
			prosjek	***minimum***	***maksimum***
^{40}K	jezero	9/12	28,4	4,1	65,9
	rijeka	6/16	4,3	0,6	13,9
^{238}U	jezero	3/12	97,4	45,1	136,0
	rijeka	2/16	55,3	33,9	76,7
^{235}U	jezero	10/12	2,74	1,08	4,46
	rijeka	2/16	3,12	2,24	4,00
^{232}Th	jezero	8/12	4,5	1,8	12,6
	rijeka	4/16	4,87	1,03	7,56
^{226}Ra	jezero	8/12	12,2	3,5	19,9
	rijeka	9/16	19,5	6,1	70,7
^{134}Cs	jezero	4/12	0,604	0,405	0,762
	rijeka	5/16	0,75	0,22	1,66
^{137}Cs	jezero	12/12	2,40	0,15	14,50
	rijeka	14/16	4,33	0,59	13,90
^{90}Sr	jezero	6/6	1,56	0,32	3,24
	rijeka	8/8	1,20	0,26	3,53

Tablica 2. Koncentracije aktivnosti radionuklida u tlu

Radionuklid	***n*/*N***	**Koncentracija aktivnosti** (Bq/kg)		
		prosjek	***minimum***	***maksimum***
^{40}K	8/8	477	185	697
^{7}Be	5/8	12,0	8,1	20,2
^{238}U	8/8	76,7	47,3	101,0
^{235}U	8/8	5,01	3,17	7,14
^{232}Th	8/8	63,2	34,6	89,4
^{226}Ra	8/8	96,7	52,0	147,0
^{210P}b	8/8	103,9	80,3	166,0
^{134}Cs	8/8	0,213	0,124	0,268
^{137}Cs	8/8	129,4	35,7	288,0
^{90}Sr	4/4	1,68	0,42	2,65

Iz rezultata prikazanih u Tablicama 1 i 2 izvidno je da su koncentracije aktivnosti u okvirima vrijednosti karakterističnih za kontinentalnu Hrvatsku [6].

ZAKLJUČAK

Opterećenje ionizirajućim zračenjem prikazano u ovom radu i procijenjeno kao ambijentalna ekvivalentna doza, $H^*(10)$, u suglasju je s vrijednosti prosječne izloženosti na prostoru Republike Hrvatske.

Radioaktivnost uzoraka neobrađenog tla, jezerske i riječne vode na prostoru NP Plitvička jezera bila je tijekom 2011. godine u granicama karakterističnih vrijednosti za okoliš u Hrvatskoj. Iako se te godine dogodila nesreća u Fukushimi, njezin utjecaj na stanje radioaktivnosti u proučavanim sastavnicama okoliša nije bio zamjetan, osim ponovne pojave minimalnih koncentracija aktivnosti ^{134}Cs i manjeg broja neznatno povišenih vrijednosti za ^{137}Cs. Slabi efekti - u vidu pojačanih fluktuacija - opaženi su u brzini ambijentalne ekvivalentne doze, ali i oni su iščezli vrlo brzo.

LITERATURA

[1] IMI-NPPJ-1; Monitoring organskih i anorganskih onečišćenja u okolišu NP Plitvička jezera (Izvještaj za 2011. godinu). Herceg Romanić S. i sur. 2012.

[2] IMI-NPPJ-2; Monitoring organskih i anorganskih onečišćenja u okolišu NP Plitvička jezera (Izvještaj za 2012. godinu). Herceg Romanić S. i sur. 2013 .

[3] U.S. Department of Energy. Environmnetal Measuremnts Laboratory / Health and Safety Laboratory. EML Procedures Manual. HASL-300. New York: US DOE; 1992.

[4] Prlić I. Istraživanje prostorno vremenske raspodjele raspršenog rendgenskog zračenja vrlo niskih doza pri dijagnostičkoj, terapijskoj i intervencijskoj radiologiji. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 2013.

[5] Babić D, Senčar J, Pertinec B, Marović G, Bituh T, Skoko B. Fine structure of the absorbed dose rate monitored in Zagreb, Croatia, in the period 1985-2011. J Environ Radioact 2013;118:75-79.

[6] IMI-CRZ-92; Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj (Izvješće za 2011. godinu). Marović G. i sur. 2012.

ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY IN THE PLITVICE LAKES NATIONAL PARK 1: SOIL, LAKE WATER, AND RIVER WATER

Dinko Babić, Mak Avdić, Tomislav Bituh, Gina Branica, Zdenko Franić, Iva Franulović, Milica Kolar, Gordana Marović, Branko Petrinec, Ljerka Petroci, Ivica Prlić, Jasminka Senčar, Božena Skoko and Marko Šoštarić

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
dbabic@imi.hr

We report on a part of a study of the environmental radioactivity in the Plitvice Lakes National Park that was carried out during 2011 and 2012. This part was focused on measuring the activity concentrations of important naturally occurring (^{40}K, ^{7}Be, ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb) and fission produced (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuclides in collected samples of soil, lake water, and river water, and also on determining the ambient dose equivalent rate $H^*(10)/t$. Activity concentrations were determined by means of a high-resolution gamma ray spectrometry, except in the case of ^{90}Sr for which radiochemical separation and beta counting were used. The measured values of activity concentration were similar to those in other parts of continental Croatia. $H^*(10)/t$ was determined using continuously operating ALARA electronic dosimeters, and its value between April 2011 and October 2012 amounted to 77 ± 7 nSv/h. The only unusual feature we observed were large fluctuations of $H^*(10)/t$ in April 2011, which most likely occurred due to the Fukushima accident but did not last long.

RADIOAKTIVNOST U OKOLIŠU NP PLITVIČKA JEZERA, 2. DIO: ŽIVI ORGANIZMI

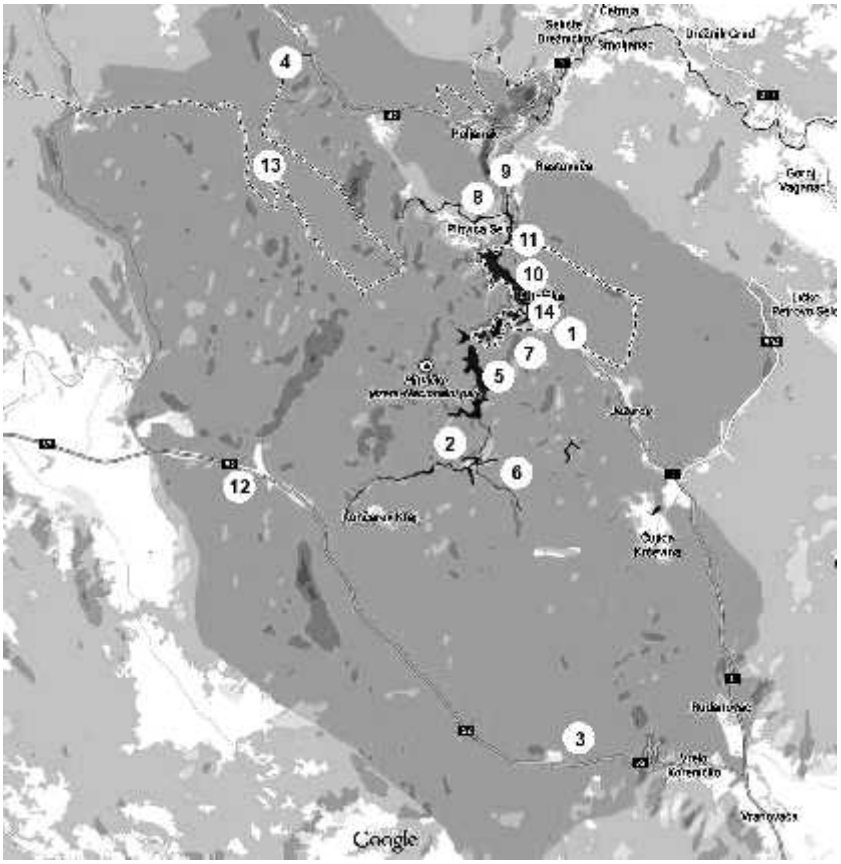
Gordana Marović, Mak Avdić, Dinko Babić, Tomislav Bituh, Gina Branica, Zdenko Franić, Iva Franulović, Milica Kolar, Branko Petrinec, Ljerka Petroci, Ivica Prlić, Jasminka Senčar, Božena Skoko i Marko Šoštarić
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
marovic@imi.hr

UVOD

U ovom radu predstavljeni su rezultati sustavnog istraživanja radioaktivnosti u okolišu NP Plitvička jezera, a koji se odnose na uzorke živih organizama prikupljene tijekom 2011. godine. To istraživanje dio je sveobuhvatnog znanstvenog projekta proučavanja ekosustava NP Plitvička jezera kojeg je proveo Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu. Istraživanja radioaktivnosti obuhvatila su gotovo sve sastavnice okoliša: tlo, geografske vode, biotu, floru i faunu, pogotovo bioindikatorske organizme (mahovine, lišaj, borove iglice, gljive i gujavice) s ciljem dobivanja što većeg broja podataka temeljem kojih se može procijeniti stanje radioaktivnosti na području NP Plitvička jezera, zaštićenog prirodnog okoliša, te pokušati definirati referentni organizam za to osjetljivo područje. Izmjerene su koncentracije aktivnosti najvažnijih prirodnih (^{40}K, ^{7}Be, ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb) i fisijskih (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuklida.

MATERIJAL I METODE

Za potrebe cjelokupne studije (koja uključuje i istraživanje tla, jezerske i riječne vode) uzorci su prikupljani na nekoliko odabranih lokacija, višekratno od proljeća do jeseni 2011. godine [1]. Lokacije uzorkovanja i njihova imena prikazani su na Slici 1. Na lokacijama 1,2,3,4 provedena su uzorkovanja mahovine, lišaja i borovih iglica (travanj) i gujavica (svibanj), a mahovina i lišajeva još i u listopadu na lokaciji 3. Gljive su uzorkovane na lokacijama 3 (puhara, sunčanica), 12 (guba) i 13 (vrganj), a riba (klen) na lokacijama 10 i 11.



Slika 1. Lokacije za uzorkovanje, na karti NP Plitvička jezera: 1 Mukinje, 2 Plitvički Ljeskovac, 3 Homoljac-Krge, 4 Kuselj, 5 Prošćansko jezero, 6 Matica, 7 Rječica, 8 Plitvica, 9 Korana, 10 Kozjak, 11 Kaluđerovac, 12 Babin Potok, 13 Čorkova uvala, 14 upravna zgrada NP. Na lokaciji 14 mjerena je brzina doze, a na ostalim lokacijama uzorkovani su tlo, jezerska i riječna voda; mahovina, lišaj, borove iglice, gujavice (1,2,3,4), gljive (3,12,13), riba (10,11).

Koncentracije aktivnosti svih radionuklida, osim ^{90}Sr, određivane su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, korištenjem germanijskih detektora visoke čistoće (HPGe) s pripadnom elektroničkom i računalnom podrškom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Kalibracija efikasnosti provedena je standardima Češkog metrološkog instituta, osiguranje kvalitete određivanja radionuklida provodi se sustavnim sudjelovanjima u usporednim mjerenjima u

organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) kao i JRC EU. Koncentracija aktivnosti ^{90}Sr određivana je radiokemijskom separacijom ^{90}Sr i mjerenjem u brojaču niskih beta aktivnosti [2].

REZULTATI

U Tablicama 1 i 2 prikazane su prosječne, minimalne i maksimalne aktivnosti u *N* uzoraka od kojih je *n* rezultata iznad granice detekcije.

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti radionuklida u gujavicama i ribama

Radionuklid		**n/N**	**Koncentracija aktivnosti** (Bq/kg)		
			prosjek	**minimum**	**maksimum**
^{40}K	gujavice	4/4	77	44	95
	riba	2/2	95,5	95	96
^{7}Be	gujavice	2/4	3,51	2,20	4,81
	riba	1/2	0,577		
^{238}U	gujavice	1/4	8,72		
	riba	0/2			
^{235}U	gujavice	3/4	0,433	0,412	0,632
	riba	2/2	0,020	0,018	0,022
^{232}Th	gujavice	4/4	6,1	0,9	10,4
	riba	2/2	0,212	0,172	0,251
^{226}Ra	gujavice	4/4	5,53	2,20	9,90
	riba	2/2	0,221	0,215	0,227
^{210P}b	gujavice	2/3	17,0	16,7	17,3
	riba	2/2	1,09	0,79	1,39
^{134}Cs	gujavice	2/4	0,199	0,120	0,278
	riba	2/2	0,015	0,012	0,018
^{137}Cs	gujavice	4/4	7,47	5,38	9,36
	riba	2/2	1,18	0,95	1,40

Osim jednog uzorka mahovine iz listopada 2011. godine u kojem je izmjereno 1720 Bq/kg ^{137}Cs, što znatno nadmašuje uobičajene vrijednosti, niti jedan se uzorak nije izdvojio po bitno povišenoj radioaktivnosti. Taj ekstrem pripisuje se nesretnom događaju u nuklearnom postrojenju Fukushima u Japanu. Tragovi posljedica osjetili su se diljem svijeta, ovisno

Tablica 2. Koncentracije aktivnosti radionuklida u uzorcima mahovina, lišajeva, borovih iglica i gljiva

Radionuklid		**n/N**	**Koncentracija aktivnosti** (Bq/kg)		
			prosjek	**minimum**	**maksimum**
^{40}K	mahovina	5/5	144	134	194
	lišaj	4/4	423	104	770
	b. iglice	4/4	166	143	199
	gljive	4/4	79	37	122
^{7}Be	mahovina	5/5	251	212	434
	lišaj	4/4	1431	35	3130
	b. iglice	4/4	48	26	91
	gljive	3/4	2,25	1,34	3,71
^{238}U	mahovina	1/5	10,4		
	lišaj	2/4	26,0	7,1	44,9
	b. iglice	0/4			
	gljive	1/4	0,467		
^{235}U	mahovina	4/5	0,662	0,394	0,852
	lišaj	3/4	2,45	2,09	3,17
	b. iglice	0/4			
	gljive	1/4	0,015		
^{232}Th	mahovina	5/5	5,77	3,25	8,92
	lišaj	4/4	17,2	0,3	41,6
	b. iglice	3/4	0,654	0,308	1,060
	gljive	4/4	0,216	0,089	0,348
^{226}Ra	mahovina	5/5	10,2	5,9	15,6
	lišaj	4/4	33,5	9,0	58,2
	b. iglice	4/4	2,82	2,09	3,86
	gljive	4/4	0,354	0,089	0,862
^{210}Pb	mahovina	5/5	354	116	639
	lišaj	3/3	512	64	786
	b. iglice	2/2	14,5	3,1	25,9
	gljive	4/4	5,55	2,41	9,38
^{134}Cs	mahovina	5/5	0,437	0,225	0,904
	lišaj	3/4	2,30	0,25	3,81
	b. iglice	4/4	0,059	0,041	0,078
	gljive	4/4	0,022	0,012	0,041
^{137}Cs	mahovina*	5/5	99	29	321
	lišaj	4/4	66	22	184
	gljive	4/4	1,90	0,74	2,88
	gljive	4/4	13,1	1,7	26,9
^{90}Sr	mahovina	4/4	20,6	12,8	35,2
	lišaj	1/1	20,7		
	b. iglice	1/1	0,323		
	gljive	2/2	0,241	0,087	0,395

*velika vrijednost od 1720 Bq/kg na lokaciji 3 iz listopada nije uzeta u obzir

o kretanjima zračnih masa i oborina. Dinamički meteorološki utjecaji na lokalni sadržaj ^{137}Cs u oborini i zraku, kao i fiziološka svojstva mahovine (laka apsorpcija cezija zbog sličnosti s kalijem) utječu na sadržaj ^{137}Cs u mahovini [3,4]. Time se objašnjava i to da je varijabilnost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovinama u ovoj studiji općenito najizraženija od svih kombinacija radionuklida i organizama. Rezultati koncentracija aktivnosti za ^{137}Cs u mahovini prikazani u Tablici 2 ne uzimaju u obzir navedeni ekstreman slučaj - koji ne odražava dugoročno stanje.

Od svih uzorkovanih organizama, lišajevi i mahovine sadrže najveće koncentracije aktivnosti, što potvrđuje da se radi o jakim akumulatorima radioaktivnosti.

ZAKLJUČAK

Radioaktivnost mahovine, lišaja, borovih iglica, gljiva, gujavica i riba uzorkovanih 2011. godine u NP Plitvička jezera, kao pokazatelj radiološkog opterećenja na biotu, bila je u granicama dosadašnjih, normalnih vrijednosti, uobičajenih za prostor Hrvatske. Visoka koncentracija aktivnosti ^{137}Cs pronađena je u samo jednom uzorku mahovine. Usporedimo li rezultate ovog istraživanja s npr. onima za prirodna i tehnološki modificirana područja primorske Hrvatske, zaključujemo da je NP Plitvička jezera područje malog radiološkog opterećenja na biotu, bez znakova negativnih trendova. Kako rezultati iste studije pokazuju nisku razinu radioaktivnosti nežive tvari u istom okolišu, može se zaključiti da su NP Plitvička jezera sa stanovišta radioekologije čisto područje.

LITERATURA

[1] IMI-NPPJ-2; Monitoring organskih i anorganskih onečišćenja u okolišu NP Plitvička jezera (Izvještaj za 2012. godinu). S. Herceg Romanić i sur. 2013.

[2] U.S. Department of Energy. Environmnetal Measurements Laboratory / Health and Safety Laboratory. EML Procedures Manual. HASL-300. New York: US DOE; 1992.

[3] Marović G, Franić Z, Senčar J, Bituh T, Vugrinec O. Mosses and some Mushroom Species as Bioindicators of Radiocaesium Contamination and Risk Assessment. Coll Antropol 2008;32S(2):109-114.

[4] Marović G, Franić Z, Avdić M, Skoko B, Senčar J. Radioaktivnost mahovine – odgovor na kontaminaciju iz Fukushime. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, urednici. Zbornik radova 9. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem; 10.-12. travnja 2013.; Krk, Hrvatska. Zagreb:HDZZ-CRPA; 2013. str. 462-7.

ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY IN THE PLITVICE LAKES NATIONAL PARK, PART 2: LIVING ORGANISMS

Gordana Marović, Mak Avdić, Dinko Babić, Tomislav Bituh, Gina Branica, Zdenko Franić, Iva Franulović, Milica Kolar, Branko Petrinec, Ljerka Petroci, Ivica Prlić, Jasminka Senčar, Božena Skoko and Marko Šoštarić

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
marovic@imi.hr

We report on a part of a study of the environmental radioactivity in the Plitvice Lakes National Park that was carried out during 2011 and 2012. This part was focused on measuring the activity concentrations of important naturally occurring (^{40}K, ^{7}Be, ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb) and fission produced (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs) radionuclides in collected samples of selected living organisms, these being moss, lichen, pine needles, mushrooms, earthworms, and fish. Our results suggest that the radiological load on the local biota was within the limits characteristic of Croatia, exhibiting no indication of negative trends. Only in one moss sample, we found an elevated activity concentration of ^{137}Cs. Taking into account that a low level of radioactivity in inorganic matter from the same environment was found in this study as well, we can conclude that the Plitvice Lakes National Park is a clean area from the point of view of radioecology.

PRAĆENJE RADIOAKTIVNOSTI U DAGNJE *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* SJEVERNOG JADRANA

Dijana Pavičić-Hamer[1], Daniel Kablar[2] i Delko Barišić[3]
[1]Institut Ruđer Bošković, Rovinj
[2]Sveučilište Jurja Dobrile, Pula
[3]Institut Ruđer Bošković, Zagreb
pavicic@cim.irb.hr

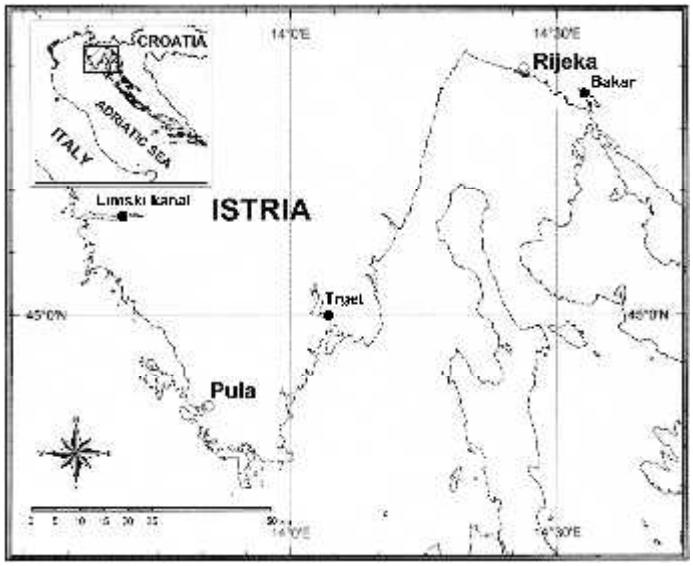
UVOD

Neposredni izvor radionuklida u Jadranskom moru je atmosfersko zagađivanje radionuklidima (fallout), pogotovo nakon Černobilske nesreće 1986. godine. Posredni izvori radionuklida su donosi rijekama, a najviše rijekom Po [1]. Umjetni radionuklid ^{137}Cs se dugo zadržava u morskom okolišu i široko je rasprostranjen zahvaljujući morskim gibanjima [2]. Najvažniji je radionuklid za procjenu onečišćenja mora umjetnim radionuklidima, prvenstveno zbog svog doprinosa u kontaminaciji hrane putem biomagnifikacije u hranidbenom lancu [3,4]. Dagnje *Mytilus galloprovincialis* koriste se kao indikatorski organizam u nacionalnim i međunarodnim programima monitoringa [4,5].

Program praćenja radioaktivnosti u morskim indikatorskim organizmima se temelji na praćenju koncentracije aktivnosti umjetnog radionuklida ^{137}Cs, te prirodnih ^{40}K, ^{232}Th (^{228}Ra), ^{226}Ra i ^{238}U i kozmogenog ^{7}Be u tkivu školjki dagnji *M. galloprovincialis*. Dagnje su uzorkovane u travnju i listopadu od 2008. do 2014. godine na lokacijama u Limskom kanalu, Raškom i Bakarskom zaljevu. Ovo istraživanje će pridonijeti radioekološkoj procjeni sjevernog Jadrana kroz određivanje koncentracijskih aktivnosti radionuklida u indikatorskom organizmu dagnji *M. galloprovincialis*.

MATERIJAL I METODE

Istraživano područje sjevernog Jadrana obuhvaća lokacije Limski kanal - uzgajalište, Raški zaljev (Trget - uzgajalište) i Bakarski zaljev - riva (Slika 1). Prilikom uzorkovanja su mjereni salinitet i temperatura mora na svim istraživanim lokacijama (Tablica 1). Uzorci dagnji *M. galloprovincialis* su prikupljeni u travnju i listopadu od 2008. do 2014. godine.



Slika 1. Istraživane lokacije Limski kanal, Trget i Bakar u sjevernom Jadranu

Tablica 1. Srednje vrijednosti saliniteta i temperature na lokacijama u travnju i listopadu od 2008. do 2014. godine

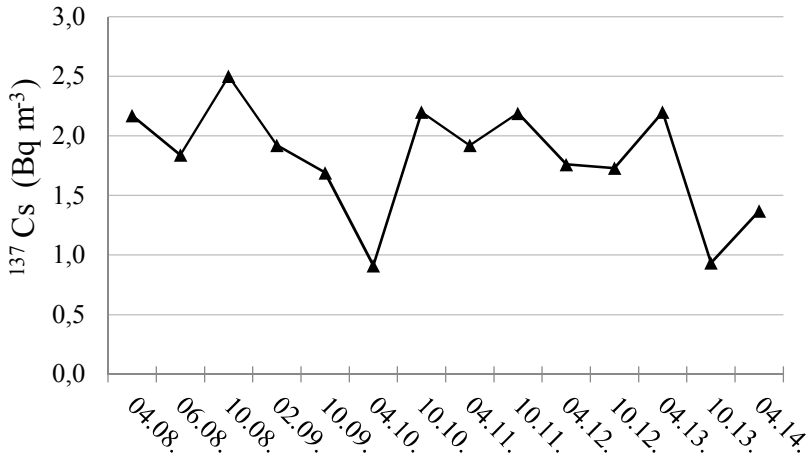
Lokacija	**Vrijeme**	**Temperatura *T*** (°C)	**Salinitet**
Limski	travanj	15,8	33
kanal	listopad	18,9	36
Trget	travanj	16,3	30
	listopad	17,3	35
Bakar	travanj	13,3	17
	listopad	13,1	19

Po uzorkovanju prikupljeno je od 4 do 5 kg svježih dagnji prosječne veličine od 3 do 5 cm. Tkivo je odvojeno od ljuštura nakon zagrijavanja u mikrovalnoj pećnici, zatim se tkivo sušilo u sušioniku do konstantne mase.

Na lokaciji Limski kanal kod svakog uzorkovanja uziman je i uzorak morske vode (50 L). Određivanje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u uzorku morske vode napravljeno je po proceduri IAEA [6]. U uzorcima koncentracije aktivnosti radionuklida^{137}Cs, ^{40}K, ^{232}Th (^{228}Ra), ^{226}Ra, ^{238}U i ^{7}Be sa pripadnim proširenim mjernim nesigurnostima (2k) određene su gamaspektrometrijskom metodom mjerenjima na visokorezolucijskim HPGe detektorskim sustavima sukladno važećim procedurama.

REZULTATI

U istraživanom razdoblju na svim lokacijama koncentracije aktivnosti umjetnog radionuklida ^{137}Cs u dagnji su se kretale ispod granica detekcije (<0,3 Bq kg^{-1} suhe mase tkiva), izuzev četiri puta: u Trgetu u listopadu 2011. godine (0,68 ± 0,55 Bq kg^{-1}) i travnju 2012. godine (0,86 ± 0,53 Bq kg^{-1}), te u Bakru u listopadu 2012. godine (0,59 ± 0,38 Bq kg^{-1}) i travnju 2013. godine (0,54 ± 0,37 Bq kg^{-1}). Sve lokacije istraživanja su veliki zaljevi pod izrazitim utjecajem dotoka slatkih voda, što se vidi iz vrijednosti saliniteta koji su ispod prosjeka za sjeverni Jadran, a naročito u Bakarskom zaljevu (Tablica 1). Dobiveni rezultati bi mogli biti posljedica unosa ^{137}Cs slatkim vodama u morski okoliš u vremenskim periodima koji su prethodili uzorkovanju. U Limskom kanalu koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u dagnji su bile ispod granica detekcije, što je povezano s niskim koncentracijama aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi (Slika 2).



Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi Limskog kanala

Koncentracije aktivnosti prirodnog kozmogenog radionuklida ^{7}Be u dagnjama sakupljanim u proljeće na svim lokacijama, slične su ili veće od aktivnosti mjerenih u listopadu (Tablica 2). Treba izdvojiti dagnje iz Limskog kanala sakupljene u proljeće 2008. godine sa koncentracijama aktivnosti ^{7}Be preko 100 Bq kg^{-1}. Dobiveni rezultat potvrđuje biogeokemijsko ponašanje berilija koji se ugrađuje u stanične membrane planktona. Smatra se da je tijekom proljeća bioprodukcija planktonskih

organizama kojima se dagnje hrane značajnija u odnosu na jesen, što uzrokuje proljetni porast berilija u tkivu dagnji.

U periodu od 2008. do 2014. godine, koncentracije aktivnosti primordijalnog ^{40}K u dagnji su u najvećem broju slučajeva više tijekom jeseni od aktivnosti u proljeće, izuzev Limskog kanala (Tablica 2). 2011. i 2013. godine na svim su lokacijama izmjerene koncentracije aktivnosti ^{40}K bile veće u jesen nego u proljeće. Treba naglasiti da te razlike nisu značajne i prosječna koncentracija aktivnosti ^{40}K je 313 Bq kg^{-1}.

Tablica 2. Srednje vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{40}K i ^{7}Be u dagnji od 2008. do 2014. godine

Lokacija	**Vrijeme**	***A* (^{40}K)**	***A* (^{7}Be)**
		Bq kg^{-1}	Bq kg^{-1}
Limski kanal	travanj	320 ± 38	21 ± 10
	listopad	307 ± 39	20 ± 11
Trget	travanj	316 ± 39	30 ± 13
	listopad	320 ± 41	18 ± 10
Bakar	travanj	302 ± 38	27 ± 13
	listopad	310 ± 40	21 ± 11

Koncentracije aktivnosti primordijalnih radionuklida ^{232}Th (^{228}Ra), ^{238}U i ^{226}Ra u tkivima dagnji bitno se ne razlikuju obzirom na sezonu uzorkovanja. Koncentracije aktivnosti su izrazito niske i većinom se kreću ispod granica detekcije. Izuzetak je uzorak dagnji iz Trgeta sakupljen u proljeće 2009. godine, izmjereno je 4 Bq kg^{-1} ^{226}Ra, što pored ^{7}Be dodatno ukazuje na izraženi terigeni doprinos. U odnosu na ostale primordijalne radionuklide jedinu iznimku predstavlja ^{234}Th koji nastaje raspadom ^{238}U otopljenog u morskoj vodi. Povišene koncentracije aktivnosti ^{234}Th u tkivima dagnji su posljedica njegovog konzervativnog ponašanja, torij je u morskoj vodi praktično netopiv te se veže na čestice.

Upravo povišene koncentracije aktivnosti pojedinih radionuklida u tkivu dagnji dokazuju iznimnu sposobnost filtracije morske vode (2,5 L h^{-1}), odnosno indikatorski potencijal ovih organizama. Sve izmjerene vrijednosti koncentracija radionuklida u tkivima dagnji tijekom uzorkovanja od 2008. do 2014. godine u sjevernom Jadranu u skladu su s rezultatima publiciranim u znanstvenoj literaturi [5,7].

ZAKLJUČAK

U sjevernom Jadranu koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u dagnji *M. galloprovincialis* su bile ispod granica detekcije u razdoblju od 2008. do 2014. godine. Koncentracije aktivnosti ^{7}Be u dagnji su u proljeće slične ili veće od aktivnosti mjerenih u listopadu. Koncentracije aktivnosti ^{40}K u dagnji tijekom jeseni su bile veće od koncentracija aktivnosti koje su mjerene u proljeće, obrnuto je bilo u 2011. i 2013. godini. Koncentracije aktivnosti radionuklida ^{232}Th (^{228}Ra), ^{238}U i ^{226}Ra u dagnji izrazito su niske i bitno se sezonski ne razlikuju. Povišene koncentracije aktivnosti pojedinih radionuklida u tkivu dagnji dokazuju iznimnu sposobnost filtracije morske vode i indikatorski potencijal ovih organizama.

Zahvala

Rad je izrađen uz financijsku potporu DZRNS.

LITERATURA

[1] Nonnis Marzano F, Triulzi C. A Radioecological Survey of Northern and Middle Adriatic Sea before and After the Chernobyl Event (1979-90). Mar Pollut Bull 1994;28:244-253.

[2] Florou H, Kritidis P, Vosniakos F, Trindafyllis J, Delfanti R, Papucci C, Cigna A, Polikarpov G.G, Egorov V.N, Bologa A.S, Patrascu V. Caesium-137 in the eastern Mediterranean- impact sources and marine pathways. FEB 2003;12:3-9.

[3] Papucci C, Delfanti R. ^{137}Caesium distribution in the estern Mediterranean Sea: recent changes and future trends. Sci Tot Environ 1999; 237/238:67-75.

[4] UNEP Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by radioactive substances: MAP Technical Reports Series 62. Athens; 1992.

[5] CIESM Mediterranean Mussel Watch – Designing a regional program for detection radionuclides and trace-contaminants. CIESM Workshop Series no. 15. Monaco; 2002.

[6] Folsom TR, Sreekumaran C. Some reference methods for determining radioactive and natural caesium for marine studies. Technical reports series No.118: Reference methods for marine radioactivity studies. Vienna: IAEA; 1970;129-187.

[7] Thebault H, Rodriguez y Baena AM, Andral B, Barisic D, Albaladejo JB, Bologa AS, Boudjenoun R, Delfanti R, Egorov VN, El Khoukhi T, Florou H, Kniewald G, Noureddine A, Patrascu A, Pham MK, Scarpato A, Stokozov NA, Topcuoglu S, Warnau M. ^{137}Cs baseline levels in the Mediterranean and Black Sea: A cross-basin survey of the CIESM Mediterranean Mussel Watch programe. Mar Pollut Bull 2008;57:801-806.

MONITORING OF RADIOACTIVITY IN MUSSEL *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* IN THE NORTHERN ADRIATIC SEA

Dijana Pavičić-Hamer[1], Daniel Kablar[2] and Delko Barišić[3]
[1]Ruđer Bošković Institute, Rovinj, Croatia
[2]Juraj Dobrila University of Pula, Pula, Croatia
[3]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
pavicic@cim.irb.hr

The source of radionuclides in the Adriatic Sea is global fallout primarily from the Chernobyl accident in 1986 and indirectly from the rivers discharges. A monitoring program for radioactivity in the northern Adriatic Sea was conducted by determination ^{137}Cs, ^{40}K, ^{232}Th (^{228}Ra), ^{226}Ra, ^{238}U and ^{7}Be in the tissues of mussels *Mytilus galloprovincialis*, in spring and autumn periods from 2008 to 2014. A comparison of radioactive contamination was made between three locations of the northern Adriatic Sea (Lim Bay, Raša bay and Bakar bay) under significant fresh water discharges.

In Lim Bay ^{137}Cs activity concentrations in surface seawater were low (1.83 Bq m^{-3}). In mussels ^{137}Cs activity concentrations (< 0.3 Bq kg^{-1} dry weight) were below the detection limit at all locations. In the spring activity concentrations of 7Be in mussels were similar or greater than in autumn. In the autumn activity concentrations of 40K in mussels were higher than in the spring, while in 2011 and 2013 the situation was reversed. Activity concentrations of primordial radionuclides ^{232}Th (^{228}Ra), ^{238}U and ^{226}Ra in mussels were mostly below the detection limit with no seasonal changes.

Increased activity concentrations of individual radionuclides in the mussels tissues proved the exceptional ability of seawater filtration and indicator potential of these organisms. The activity concentrations of radionuclides in the northern Adriatic Sea have returned to the pre-Chernobyl level, generally taking into consideration their natural fluctuations due to the physico - chemical and hydrological parameters of the investigated area.

MED KAO BIOINDIKATOR RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE OKOLIŠA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Zdenko Franić, Branko Petrinec i Gordana Marović
Jedinica za zaštitu od zračenja
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Zagreb, Hrvatska
zdenko.franic@imi.hr

UVOD

Istraživanje i praćenje stanja fisijskih produkata u hrani provode se kao dio ekstenzivnog programa nadzora radioaktivne kontaminacija okoliša u Republici Hrvatskoj koji je započet još godine 1959. Program se danas provodi pod nadzorom Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost, a harmoniziran je s EU praksom, odnosno preporukama Europske komisije iz 2000. godine o primjeni Članka 36 Ugovora Euratom. Međutim, ova istraživanja ne uključuju med i pčelarske proizvode, iako su oni prepoznati kao vrlo učinkoviti bioindikatori radioaktivne kontaminacije.

U radu je dan pregled radioekoloških ispitivanja meda te su prikazani rezultati analize kontaminacije poliflornog meda radiocezijem u Republici Hrvatskoj u posljednjih tridesetak godina.

MATERIJAL I METODE

Pretraživanje literature provedeno je korištenjem odgovarajućih baza podataka dostupnih na Internetu, kao što su GoogleScholar, Web of Science (WoS), Scopus i sl. Koncentracija aktivnosti antropogenih gama-emitera je u Jedinici za zaštitu od zračenja ispitivana visoko-rezolucijskom gamaspektrometrijskom metodom, akreditiranom sukladno zahtjevima Norme HRN EN ISO/IEC 17025, korištenjem Ge i Ge(Li) detektora spojenih na računalni sustav za analizu spektra.

REZULTATI I RASPRAVA

Korištenje pčela i pčelarskih proizvoda kao pokazatelja stanja kontaminacije okoliša antropogenim radionuklidima, intenziviralo se tek nakon nesreće nuklearnog reaktora u Černobilju 1986. godine. Takva ciljana istraživanja vezana uz apikulturu povezala su nekoliko različitih disciplina i

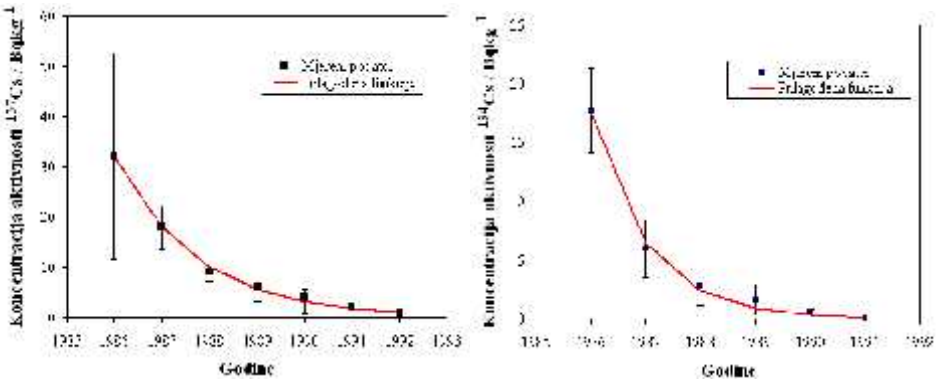
znanstvenih područja kao što su pčelarstvo, botanika, medicina, radioekologija, zaštita od zračenja i sl. Pčele i pčelarski proizvodi su jedan od ponajboljih primjera kako je moguće točno odrediti stanje kontaminacije nekih eko-sustava ispitivanjem njegovih bioloških sastavnica. Nekoliko je razloga zašto su pčele medarice učinkoviti integrator radioaktivnog onečišćenja okoliša:

- pčele iz jedne košnice dnevno posjećuju stotine tisuća cvjetova u radijusu 2 do 3 km, tj. pokrivaju područje površine $r2\pi \sim 12\text{-}30$ km^2,
- moguće je s dovoljnom točnosti odrediti koordinate izvora onečišćenja, tj. mjesto prikupljanja i granice kontaminiranog prostora, a također i razdoblje u kojem je sakupljan kontaminirani proizvod,
- "kontaminanti" se osim u medu mogu otkriti i u drugim pčelarskim proizvodima kao što su pelud, vosak, propolis, ali i u samim pčelama kao i u košnicama.

U Republici Hrvatskoj su prvi literaturni podatci za radioaktivnost meda dostupni za svibanj i lipanj godine 1986. [1], odnosno 15 - 30 dana poslije nesreće u Černobilju. Izviješćene su vrijednosti koncentracija aktivnosti za ^{131}I (30 - 220 Bq kg^{-1}), ^{134}Cs (35 - 42 Bq kg^{-1}) i ^{137}Cs (12 - 62 Bq kg^{-1}). Valja napomenuti da godine 1986. nije bilo niti detaljnijih, a stoga niti harmoniziranih međunarodnih preporuka za postupanje s hranom kontaminiranom u nuklearnim nesrećama. Usprkos tome, neposredno nakon černobiljske nesreće Europska zajednica (EZ) uspostavila je ograničenja na uvoz prehrambenih proizvoda iz zemalja istočne Europe, odnosno zemalja izvan EZ. Za nuklide radiocezija maksimalna dopuštena granica je, bez detaljnijeg obrazloženja, bila za sve proizvode postavljena na svega 1000 Bq kg^{-1}. Posljedično, sav med namijenjen izvozu u zemlje EZ morao je imati izvješće ovlaštenog laboratorija da je sadržaj radiocezija manji od te vrijednosti.

Godine 1991. u časopisu Pčela, specijaliziranom za problematiku pčela i pčelarstva, objavljeni su rezultati sistematiziranih ispitivanja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs u uzorcima meda koji su u periodu 1986-1990 analizirani u Jedinici za zaštitu od zračenja [2].

Podaci za koncentracije aktivnosti fisijskih radionuklida nakon 1990. godine objavili su Barišić i suradnici [3-6], u kojima je ujedno obrađen transfer ^{137}Cs i ^{134}Cs iz tla putem cvijeća u med, kao i Franić i suradnici [7]. Na Slici 1 prikazane su koncentracije aktivnosti radiocezija u uzorcima poliflornog meda u razdoblju 1986. - 1992.



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs u uzorcima meda u RH

Koncentracije aktivnosti radiocezija u uzorcima meda su vrlo dobro korelirane s koncentracijama aktivnosti u radioaktivnim oborinama (*fallout*), npr. za ^{137}Cs koeficijent korelacije iznosi $r = 0{,}92$.

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs su, svaka zasebno, funkcijskim prilagođavanjem „fitane“ na eksponencijalnu funkciju oblika:

$$A_{med}(t) = A_{med}(0)\, e^{-kt} \qquad (1)$$

gdje su:

$A_{med}(t)$ vremenski ovisna koncentracija aktivnosti radiocezija u medu (Bq kg^{-1}),
$A_{med}(0)$ početna koncentracija aktivnosti radiocezija u medu Bq kg^{-1}) i
1/k uočeno (*observed*) ekološko vrijeme boravka radiocezija u medu.

Vrijednost konstante k, procijenjena na osnovu funkcijskog prilagođavanja iznosi 0,584 god^{-1} za ^{137}Cs i 0,982 god^{-1} za ^{134}Cs.

Vrijeme boravka radionuklida u nekom biološkom mediju ovisi o biološkoj eliminaciji kao i radioaktivnom raspadu. Kako bi se procijenilo „pravo“ ekološko vrijeme boravka konstanta k se mora korigirati za radioaktivni raspad, karakteriziran konstantom k_R. Odnosno vrijedi jednadžba:

$$k = \lambda + k_R \qquad (2)$$

gdje je $\ln(2)/\lambda$ fizikalno vrijeme poluraspada koje iznosi = 30,167 god za ^{137}Cs i 2,065 god za ^{137}Cs.

Iz jednadžbe (2) „pravo” ekološko vrijeme boravka ^{137}Cs u medu iznosi 1,23 god, a za ^{134}Cs 1,07 god.

Valja napomenuti da se ^{134}Cs kao tzv. zaštićeni (*shielded*) radionuklid u većim količinama stvara kao izravni fisijski produkt, a ne kao produkt raspada ostalih fisijskih produkata u masenom nizu atomske mase 134, budući da se β raspad zaustavlja na stabilnom ^{134}Xe. Međutim, u nuklearnim reaktorima ^{134}Cs se stvara kao fisijski produkt zahvatom neutrona iz stabilnog ^{133}Cs, koji također nastaje β raspadom početnih fisijskih produkata, ali samo nakon duge iradijacije nuklearnog goriva.

Stoga, ukoliko je radioekološkim ispitivanjima detektirana prisutnost ^{134}Cs u nekom mediju iz okoliša to odmah ukazuje na moguću nesreću nekog nuklearnog postrojenja.

Poslije nesreće u Černobilju, ^{137}Cs je u okolišu Republike Hrvatske u većini medija, pa tako i u medu bio u mjerljivim količinama prisutan do ranih 1990-tih godina, a poslije su se njegove koncentracije aktivnosti eksponencijalno smanjivale do ispod granice detekcije (Slika 1).

Nakon nesreće japanske nuklearne elektrane Fukushima Daiichi (11.03.2011.), u uzorcima meda iz Republike Hrvatske, kako poliflornog tako i medljikovca, detektirana je prisutnost vrlo malih koncentracija aktivnosti ^{134}Cs [7]. No, točna koncentracija se nije mogla odrediti jer je bila ispod granice detekcije instrumenata (< 0,3 Bq kg^{-1}).

S obzirom na malu potrošnju meda u Republici Hrvatskoj od svega 1 kg po stanovniku godišnje i niske koncentracije aktivnosti radiocezija, procijenjena godišnja efektivna ekvivalentna doza koju prosječni stanovnik RH primi uslijed konzumacije meda je vrlo mala. Npr, godine 1986., tj. u godini černobiljske nesreće ukupna godišnja *per caput* ekvivalentna doza za ^{134}Cs i ^{137}Cs u medu je bila zanemarivih 0,75 μSv.

ZAKLJUČNE PRIMJEDBE

Istraživanja su pokazala da je med vrlo dobar biondikator radioaktivnog zagađenja okoliša jer reprezentira radiološku situaciju, odnosno „odziv“ okoliša s veće površine uokrug položaja košnica. Štoviše, med također reprezentira radioekološku osjetljivost budući da su koncentracije aktivnosti u medu dobro korelirane s koncentracijama aktivnosti u radioaktivnim oborinama.

Temeljem rezultata istraživanja zaključujemo da bi uključivanje meda u postojeći program monitoringa radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj dalo dodatnu kvalitetu i razinu pouzdanosti, a također i doprinijelo povjerenju potrošača u kvalitetu hrvatskog meda.

Proširivanje radioekoloških istraživanja na koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u medu i pčelarskim proizvodima uzimanjem

radiološkog otiska (*radiological fingerprinting*) s određenih lokacija i mikrolokacija te stvaranje sustavnih baza podataka rezultata takve radiološke karakterizacije, moglo bi trasirati razvoj nove metode analitičkog osiguravanja kvalitete prirodnog meda i sprječavanja patvorenja. Prednost takve metode „forenzičke radioekologije“ jest što bi bila brza, pouzdana i cjenovno prihvatljiva te komplementarna ostalim analitičkim metodama.

LITERATURA

[1] Bauman A. et. al. Izvještaj o radioaktivnoj kontaminaciji SR Hrvatske nakon akcidenta na NE „Lenjin“ u Černobilu i odgovarajuća doza na populaciju. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, srpanj 1986.

[2] Franić Z, Marović G, Bauman A. Kontaminacija meda radiocezijem. Pčela 1991;6:123-4.

[3] Barišić D, Lulić S, Kezić N, Vertačnik A. ^{137}Cs in flowers pollen and honey from the Republic of Croatia four years after the Chernobyl accident. Apidologie 1992;23:71-78.

[4] Barišić D. et al. ^{40}K, ^{134}Cs and ^{137}Cs in pollen, honey and soil surface layer in Croatia. Apidologie 1994;25:585-595.

[5] Barišić D, Vertačnik A, Bromenshenk JJ, Kezić N, Lulić S, Hus M, Kraljević P, Šimpraga M, Seletković Z. Radionuclides and selected elements in soil and honey from Gorski Kotar, Croatia. Apidologie 1999;30:277-287.

[6] Barišić D, Bromenshenk JJ, Kezić N, Vertačnik A. The role of honey bees in environmental monitoring in Croatia. In: Devillers B, Min-Hàa Pham-Delègue, eds. Honey Bees. New York: Taylor & Francis; 2002.

[7] Franić Z. et al. Radiocaesium Activity Concentrations in Croatia Honey. Book of Abstracts, Abstract QS-O-6. International Symposium on Bee Products 3rd Edition, Opatija, 2014.

HONEY AS A BIOINDICATOR OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVE CONTAMINATION IN CROATIA

Zdenko Franić, Branko Petrinec and Gordana Marović
Radiation Protection Unit
Institute for Medical Research and Occupational Health
Zagreb, Croatia
zdenko.franic@imi.hr

Radioecological investigations regarding fission products in foodstuffs in Croatia are implemented as part of an extended and still ongoing radioactive contamination monitoring programme of the human environment. The programme has been designed and endorsed by the Croatian State Office for Radiological and Nuclear Security and fully harmonized with European legislation, i.e. the European Commission's recommendation of June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty. For describing the overall possible impact the contaminants have on the entire region, the most efficient sampler would be one that covers the largest area possible. In this sense, honey has been shown to be an excellent biological indicator for detecting radionuclides but also other pollutants such as heavy metals.

In Croatia, radiocaesium nuclides like ^{137}Cs and ^{134}Cs in honey were first investigated after the Chernobyl accident in 1986. For both radionuclides, the activity concentrations in honey, which peaked in May 1986, decreased exponentially and the estimated ecological residence time, corrected for radioactive decay, was found to be 1.23 y for ^{137}Cs and 1.07 y for ^{134}Cs. In the early 1990s, activity concentrations in honey for both radionuclides were under the detection limit, but again rose after the Fukushima Daiichi accident. Effective radiation doses due to radiocaesium, received by the Croatian population by honey consumption, even in the year of the Chernobyl accident were estimated to be very small, the *per caput* dose being < 1 μSv.

Based on radioecological investigations of honey, we argue that the mobility of honey bees and their ability to integrate all exposure pathways could add another level of confidence to the present monitoring program if honey and other bee-farming products are included in the routine radioecological monitoring programme for the Croatian environment.

TERENSKA METODA PROCJENE RADIOAKTIVNOSTI U OKOLIŠU

Branko Petrinec, Dinko Babić, Tomislav Bituh, Zdenko Franić, Gordana Marović, Iva Franulović, Božena Skoko i Marko Šoštarić
Jedinica za zaštitu od zračenja
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
petrinec@imi.hr

UVOD

Zbog blizine nuklearnih elektrana u Krškom (Republika Slovenija) i Paksu (Mađarska), Republika Hrvatska je izložena potencijalnim ugrozama. Stoga je potrebno uspostaviti procedure i obučiti ljudstvo za hitne intervencije u slučaju nuklearnih/radioloških nesreća odnosno neželjenog oslobađanja radionuklida u okoliš.

Ispitivanja radioaktivne kontaminacije okoliša uglavnom se zasnivaju na prikupljanju uzoraka i mjerenjima u laboratoriju, što zahtijeva znatno vrijeme da se dobiju rezultati. Iznimke su izravna mjerenja brzine doze, ali ona ne daju dovoljno podataka o izvorima i ostalim parametrima [1].

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) kontinuirano provodi radioekološka ispitivanja u Republici Hrvatskoj od 1959. godine unutar programa monitoringa radioaktivne kontaminacije ljudskog okoliša.

Takvi projekti pomogli su da se uspostave i unaprijede laboratorijske metode, posebice radiokemijska priprema uzoraka i gamaspektrometrijska mjerenja.

Nasuprot sporim i neučinkovitim laboratorijskim mjerenjima razvoj i validacija terenskih metoda omogućit će brzo određivanje koncentracija aktivnosti bez uzorkovanja. To će također omogućiti reduciranje vremena brojanja, optimiziranje ljudskih resursa i posljedično smanjivanje financijskih troškova.

Terenska ispitivanja se mogu provoditi na lokacijama koja su već određena postojećim programom monitoringa radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj kako bi se dobiveni rezultati usporedili s postojećim dugogodišnjim rezultatima dobivenim laboratorijskim analizama i na taj način validirali.

MATERIJAL I METODE

Ova metoda će više pažnje posvetiti tlu, jer je to medij u kojem je deponirano najviše prirodne i umjetne radioaktivnosti. Dio radioaktivnosti u tlu proizlazi iz atmosferskog (mokrog i suhog) taloženja. Dakle, jedan od važnijih aspekata projekta je istraživanje propagacije radionuklida iz tla u ljudski organizam.

Mjerenja radioaktivnosti bit će provedena pomoću tri različite i neovisne metode (terenska gamaspektrometrija, termoluminiscentna dozimetrija i mjerenja brzine doze). To će rezultirati određivanjem koncentracije aktivnosti različitih radionuklida u okolišu kao i doze za ljude koji međudjeluju s tim okolišem.

Prednosti terenskih gamaspektrometrijskih mjerenja jesu: terenska mjerenja van laboratorija i mogućnost brze intervencije na bilo kojoj lokaciji u slučaju emisije radionuklida ili akcidentalne situacije. Nedostaci su: povećana nesigurnost pri mjerenjima niskih koncentracija aktivnosti i kratka vremena mjerenja. Kako bi se osigurali pouzdani rezultati za sve lokacije, tlo i biota bit će uzorkovani i mjereni u laboratoriju korištenjem detektora veće relativne efikasnosti. Te će dvije vrste mjerenja biti uspoređene i izračunat će se korelacijski faktor između terenskih i laboratorijskih mjerenja.

Za svako područje uzorkovanja analiza uzoraka će dati dva skupa podatka:

- Koncentracije aktivnosti prirodnih i antropogenih radionuklida. Rezultati *in - situ* gamaspektrometrije bit će korišteni kao početni podaci za procjenu prirodnog pozadinskog zračenja i radiološkog onečišćenja okoliša.
- Svojstva tla. Određivanje svojstava tla na području uzorkovanja će biti od posebne važnosti budući da svojstva poput: veličine čestica (granulometrija), mineraloški sastav, udio organske tvari, pH i plodnost tla, mogu utjecati na migraciju radionuklida [2]. Dobro poznavanje ponašanja radionuklida u okolišu nužno je za interpretaciju rezultata u akcidentalnim situacijama, previđanje koncentracija aktivnosti radionuklida u hrani animalnog porijekla te razvoj adekvatnih i efikasnih mjera zaštite od zračenja [3].

Koncentracije aktivnosti radionuklida izmjerene *in-situ* gamaspektrometrijom bit će korištene za izračun koncentracija aktivnosti radionuklida u različitim animalnim i biljnim proizvodima, a koje bi mogle biti posljedica poljoprivrednih praksa koje se upotrebljavaju u istraživanom području. Ovi izračuni bit će napravljeni korištenjem transfer faktora iz

publikacije IAEA-TRS-472 [1], kao najnovije i međunarodno priznate literature za predviđanje prijenosa radionuklida u kopnenom ekosustavu.

Rezultati *in-situ* mjerenja tla bit će korišteni kao ulazni podaci za program ERICA Tool. Na osnovu njih će program omogućiti: procjenu brzina doza kojima su izloženi organizmi, identifikaciju najizloženijih skupina organizama, identifikaciju ekološki najvažnijih radionuklida za istraživano područje.

ERICA Tool (*Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management*) je računalni program napravljen prema ERICA integriranom pristupu za procjenu radiološkog rizika razvijenom tijekom FP6 EURATOM projekta ERICA. Radi se o jednom od najsveobuhvatnijih programa za procjenu radiološkog rizika za okoliš. Kao takav, prepoznat je od strane relevantnih međunarodnih organizacija (npr. ICRP, IAEA) te je provjeren u brojnim međunarodnim interkomparacijskim vježbama [4].

REZULTATI

Cilj je dokazati i pokazati valjanost umjerene (kalibrirane) opreme i njenu primjenjivost za primijenjenu metodu. To će se, između ostaloga, postići sudjelovanjem i organiziranjem međulaboratorijskih usporedbi, kao jedne od najvažnijih sastavnica validacije ispitnih metoda te znanstvenom razmjenom s institucijama iz drugih zemalja. Osiguranje kvalitete (QA) i kontrola kvalitete (QC) su izuzetno važni za dobivanje pouzdanih rezultata, iz kojih će se, nakon sistematizacije, procijeniti rizik za ljude i biotu.

Točna i pouzdana ispitivanja i mjerenja specifična za pojedine lokacije daju dobru i primjerenu bazu podataka za radiološku karakterizaciju i procjenu stanja okoliša. Iako su razvijeni neki matematički modeli pomoću kojih se mogu procijeniti koncentracije aktivnosti u određenim medijima iz podataka o ispuštanju u okoliš (npr. uporabom generičkih transportnih modela za pojedine radionuklide i relevantne komponente u okolišu) [5], rezultati takvih modela uglavnom nemaju ugrađenu nesigurnost. Posljedično, generički podaci još uvijek nisu zamjena za podatke specifične za pojedine lokacije kada se žele dobiti realistične procjene doza zračenja za ljude ili za biotu.

U usporedbi s radionuklidima antropogenog podrijetla, koji su bili u fokusu znanstvenih istraživanja još od atmosferskih nuklearnih proba 1950-ih i 1960-ih godina te poslije nuklearnih nesreća u Černobilju i Fukušimi [6,7], prirodni radionuklidi su do sada bili puno manje istraživani. Mogućnost razumijevanja i predikcije transfera radionuklida u životinjske i biljne

produkte važna je za procjenu i kontrolu izloženosti ljudske populacije [3]. Biota, naime, također može biti zahvaćena povećanim razinama radionuklida, a izloženost je često puno veća nego ona za ljude. U usporedbi s kemijskim i ekološkim rizikom (npr. živa, olovo) i zaštitom od zračenja ljudi, procjena utjecaja ionizirajućeg zračenja na biotu je relativno novo područje [4,8]. Tek posljednjih desetak godina prepoznata je važnost procjene rizika od ionizirajućeg zračenja na biotu [9,10].

Konačni rezultati ove procjene pružit će predikciju učinaka zagađivanja radionuklidima na način da će biti omogućena identifikacija najučinkovitijih mjera za prevenciju ili sanaciju štetnih učinaka. Uz to, terenski gamaspektrometar će se umjeriti (kalibrirati) u doznim jedinicama čime će biti omogućena izravna procjena rizika za ljude i biotu. Taj će se postupak također validirati.

ZAKLJUČAK

Za potpunu radiološku karakterizaciju određenog područja su uz analitički točna laboratorijska ispitivanja prikupljenih uzoraka potrebna i terenska mjerenja. Komparativno niža rezolucija terenskih mjerenja kompenzirana je velikim brojem lokacija koje se uključuju u istraživanje i potpunošću podataka (istovremenost ispitivanja radioaktivnosti koja potječe iz tla, zraka i, ponekad, oborina na tlu). Potonji aspekt posebice je važan pri izračunu doze uračunavanjem svih izvora radioaktivnosti u okolišu. Nadalje, većina modela za procjenu utjecaja prisutnosti radionuklida u okolišu statističke je prirode pa uspjeh takvih modela ovisi o broju ulaznih podataka.

Prikupljanje velike količine kvalitetnih podataka i njihovo korištenje u spomenutim modelima je glavni trend u suvremenoj radiološkoj znanosti.

Sposobnost razumijevanja i predviđanja transfera radionuklida u životinjske i biljne proizvode važno je za procjenu i kontrolu izloženosti ljudske populacije [3]. Biota također može biti podložna povećanoj razini radionuklida i te su izloženosti često znatno naglašenije nego kod ljudi. Također će biti određene najeksponiranije grupe životinja i/ili biljaka, s naglaskom na ljudski hranidbeni lanac.

Konačni cilj predloženog istraživanja je predviđanje učinaka onečišćenja na način koji će omogućiti predlaganje najefikasnijih mjera za sprečavanje ili saniranje štetnih učinaka.

Također, učinkovita terenska metoda pomoći će razriješiti netrivijalno i uvijek otvoreno metrološko pitanje povezivanja gamaspektrometrijskih podataka i povezanog mjerenja brzine doze u okolišu, odnosno evaluacije radiološkog rizika (određen dozom) zbog prisustva pojedinih radionuklida.

Zahvala

Rad je izrađen uz financijsku potporu Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada.

LITERATURA

[1] Marović G et al. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Godišnji izvještaj 2007-2012. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb. 2008-2013.

[2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. IAEA-TRS-472. Vienna: IAEA; 2010.

[3] Beresford NA, Howard BJ. Transfer of radionuclides to food producing animals. J Environ Radioactiv 2007;98:1-3.

[4] Oughton DH, Stromman G, Salbu B. Ecological risk assessment of Central Asian mining sites: application of the ERICA assessment tool. J Environ Radioactiv 2013;123:90-98.

[5] International Atomic Energy Agency (IAEA). Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. IAEA-SRS-19. Vienna: IAEA; 2001.

[6] Vandenhove H, Olyslaegers G, Sanzharova N, Shubina O, Reed E, Shang Z, Velasco H. Proposal for new best estimates of the soil-to-plant transfer of U, Th, Ra, Pb and Po. J Environ Radioactiv 2009;100:721-732.

[7] Shtangeeva I. Uptake of uranium and thorium by native and cultivated plants. J Environ Radioactiv 2010;101:458-463.

[8] Howard BJ, Beresford NA, Copplestone D, Telleria D, Proehl G, Fesenko S, Jeffree RA, Yankovich TL, Brown JE, Higley K, Johansen MP, Mulye H, Vandenhove H, Gashchak S, Wood MD, Takata H, Andersson P, Dale P, Ryan J, Bollhöfer A, Doering C, Barnett CL, Wells C. The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife. J Environ Radioactiv 2013;121:55-74.

[9] Copplestone D, Jones S, Allott R, Merrill P, Vives i Batlle J. Protection of the environment from exposure to ionising radiation. In: Shaw G. (Ed.), Radioactivity in the Terrestrial Environment (Radioactivity in the Environment) vol. 10. Pergamon Press, 2007. p. 300.

[10] Howard BJ, Larsson C-M. The ERICA integrated approach and its contribution to protection of the environment from ionising radiation. J Environ Radioactiv 2008;99:1361-1363.

ON - SITE ASSESSMENT METHODS FOR ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY

Branko Petrinec, Dinko Babić, Tomislav Bituh, Zdenko Franić, Gordana Marović, Iva Franulović, Božena Skoko and Marko Šoštarić
Radiation Protection Unit
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
petrinec@imi.hr

A method for the rapid determination of radioactivity in cases of release into the environment as well as in cases of nuclear/radiological accidents is described.

These measurements would enable a direct risk assessment for humans and biota, without any sampling and at a considerably larger number of locations than in previous studies. Thus obtained, the substantially expanded dataset is expected to shed more light on the properties of environmental radioactivity both in the region studied and in other similar areas.

Field measurements will be performed and samples of soil and biota will be collected in order to compare field results with laboratory measurements. Once the method has been validated, previously unexplored locations will be included in the study.

Our measurements at numerous locations will also provide control values for comparison in cases of any unplanned or accidental radiological event.

An assessment of the possible effects of radionuclide concentrations on the human food chain and biota will be performed within the appropriate models used worldwide exactly for this purpose. In this way, the project should contribute to regional, European, and global efforts towards understanding the radiological impact on ecosystems.

Field measurements will also address certain issues in the environmental metrology of radioactive substances, e.g., simultaneous determination of activity concentrations and related dose rates. This will serve as a tool for rapid risk assessment in emergency situations.

NEIONIZIRAJUĆA ZRAČENJA

NONIONISING RADIATIONS

ADVANCED ELECTROMAGNETIC-THERMAL DOSIMETRY METHODS FOR THE HUMAN EXPOSURE TO HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS

Dragan Poljak[1], Mario Cvetković[1], Hrvoje Dodig[2] and Andres Peratta[3]
[1]Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Croatia
[2]Marine Electronics Center, Split, Croatia
[3]C M BEASY, Southampton, UK
dpoljak@fesb.hr

INTRODUCTION

Rapid development of wireless communications in last few decades has caused an increasing public concern regarding possible health risk due to exposure to high frequency (HF) fields generated by various communication devices. As it is widely accepted the dominant biological effect of HF radiation is tissue heating and HF exposure analysis involves the assessment of *SAR* (specific absorption rate) distribution and related temperature increase, localized in nature.

This work reviews some of the electromagnetic-thermal dosimetry techniques developed by the authors and applied to the exposure of the human eye and brain respectively, to HF radiation [1-3]. The eye exposure assessment is carried out by solving the Helmholtz equation via the hybrid boundary element/finite element method (BEM/FEM) [4]. The brain exposure is analysed by solving the set of coupled surface integral equations (SIEs) by means of the Method of Moments (MoM) [5]. The thermal dosimetry is based on the FEM solution of the stationary Pennes bio-heat equation. The obtained maximal values of SAR are compared to the exposure limits proposed by ICNIRP [6].

DOSIMETRY METHODS

A fundamental dosimetric quantity for quantifying the influence of HF fields, *SAR* is defined in terms of the rate of energy *W* absorbed by the unit body mass *m* and directly proportional to the temperature increase of a tissue:

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{d}{dm}\frac{dW}{dt} = C\frac{dT}{dt} \qquad (1)$$

where P denotes the dissipated power, C is the specific heat capacity of tissue, T is the temperature and t stands for time.

On the other hand, if one considers the external heat source, SAR is also proportional to the square of the electric field induced in the exposed tissue:

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{dP}{\rho dV} = \frac{\sigma}{2\rho}\left|E\right|^2 = \frac{\sigma}{\rho}\left|E_{rms}\right|^2 \qquad (2)$$

where E and E_{rms} is the peak and root – mean - square value of the electric field, ρ and σ is the tissue density and conductivity, respectively.

Generally, SAR is mostly dependent on the incident field parameters, properties of the exposed body, reflecting and absorbing effects, etc. Note that the SAR of the biological body reaches maximal values when the electric field is oriented parallel to the long body axis.

Knowing the SAR distribution in a tissue enables one to determine the temperature increase by solving the steady-state bio-heat equation [4]:

$$\nabla \cdot \left(k\nabla T\right) + \rho_b c_b w\left(T_a - T\right) + Q_m + \rho \cdot SAR = 0 \qquad (3)$$

where k stands for the heat conduction, ρ_b is the blood mass density, c_b is the specific heat capacity of blood, w is the perfusion rate, T_a is the arterial temperature, Q_m is the tissue dependent heat source due to metabolic processes, while term $\rho \cdot SAR$represents the volumetric heat source due to external electromagnetic field.

EXPOSURE OF THE EYE TO HF RADIATION

Modelling of the eye exposure to HF fields is based on the electromagnetic scattering theory, i.e. the exposure of the eye to the HF radiation is considered as an electromagnetic coupling to the lossy dielectric object. The formulation is based on the Stratton-Chu integral representation for the exterior of the eye [3]:

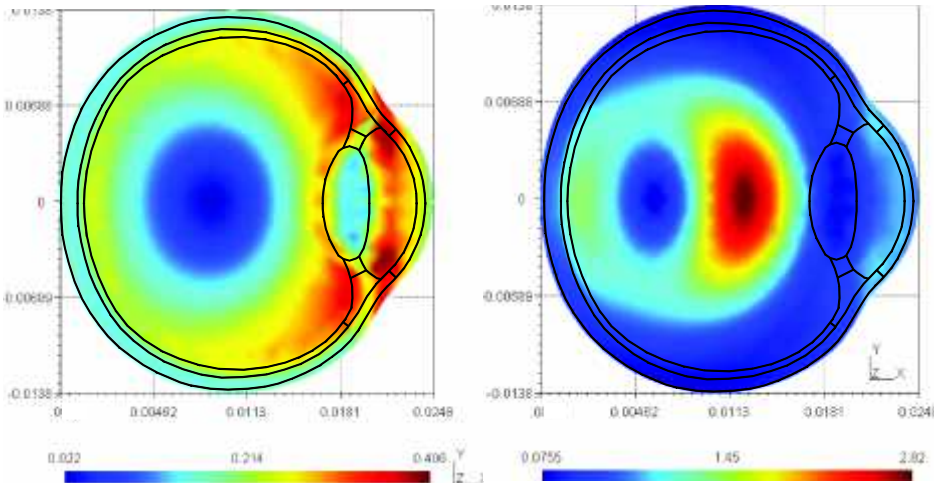
$$\alpha \vec{E} = \vec{E}_i + \int_S \left[\left(j\omega \vec{n}' \times \vec{H} \right) G - \left(\vec{n}' \times \vec{E} \right) \times \nabla' G - \frac{1}{k_A} \nabla \cdot \left(\vec{n}' \times \vec{H} \right) G \right] dS' \qquad (4)$$

while the interior of the eye containing inhomogeneous subdomains is represented by the following integral relationship [3]:

$$\int_{V'}\left[\frac{1}{k_B}\left(\nabla\times\vec{W}_i\right)\cdot\left(\nabla\times\vec{E}\right)-k_A\vec{W}_i\cdot\vec{E}\right]dV' = \int_{S'}\vec{W}_i\times\vec{H} \qquad (5)$$

The details of the hybrid BEM-FEM approach to the solution of (4) - (5) could be found elsewhere, e.g. in [3].

Figure 1 shows the *SAR* distribution in the human eye due to the exposure to the plane wave of power density 10 W/m^2 at f = 1 GHz and 2 GHz, respectively.



a) b)

Figure 1. SAR induced in the eye exposed to plane wave of power density P = 10 W/m^2 at frequency (a) 1 GHz (b) 2 GHz.

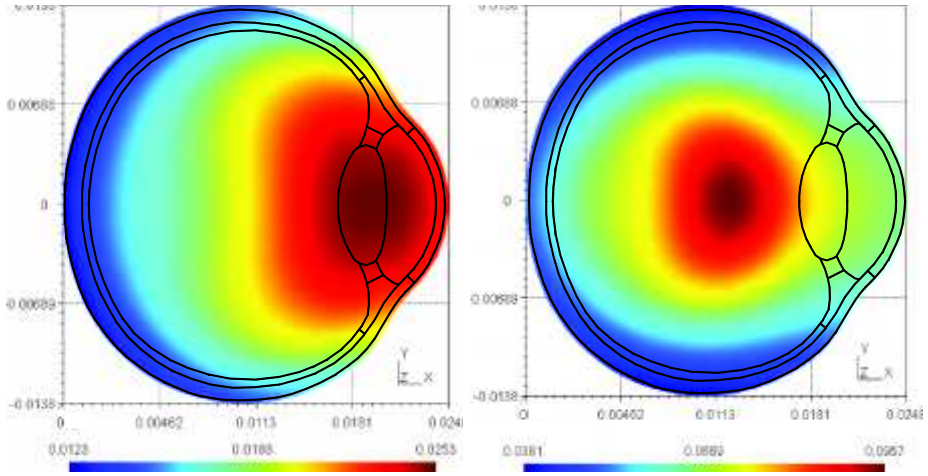
The whole eye averaged *SAR* at f = 1 GHz, 2 GHz is 0.34 W/kg and 0.62 W/kg, respectively, which both stay below the ICNIRP exposure limits for localized SAR in the head for general public exposure averaged per 10 g of tissue: SAR_{10g} = 2 W/kg [6].

The corresponding temperature increase in the eye is determined by solving the bio-heat transfer equation (3) via FEM. The integral formulation of (3) convenient for FEM solution is [4]:

$$\int_{V'}\left[k\nabla f_j\cdot\nabla T+\rho_b c_b w\cdot T\cdot f_j\right]dV' = \int_{V'}\left(\rho_b c_b w\cdot T_a+Q_m+\rho\cdot SAR\right)\cdot f_j dV' + \int_{S'}\left(k\nabla T\right)\cdot d\vec{S}' \qquad (6)$$

The details on the FEM solution of (3) is available elsewhere [e.g. 4].

Figure 2 shows the temperature increase in the eye exposed to the plane wave of power density P = 10 W/m^2 at f = 1 GHz and 2 GHz, respectively. It is visible from the presented numerical results, that the maximal temperature increase is less than 0.1 °C.



a) b)

Figure 2. Temperature increase in the eye exposed to plane wave of power density P = 10 W/m^2 at frequency (a) 1 GHz (b) 2 GHz.

EXPOSURE OF THE BRAIN TO HF RADIATION

The exposure of the human brain to HF radiation is analyzed by using the surface integral equation (SIE) approach.

$$j\omega\mu_n \int_{S'} \vec{J}(\vec{r}) G_n(\vec{r},\vec{r}')dS' - \frac{j}{\omega\varepsilon_n}\int_{S'} \nabla'\vec{J}(\vec{r}')\cdot\nabla G_n(\vec{r},\vec{r}')dS' + \int_{S'} \vec{M}(\vec{r}')x\nabla G_n(\vec{r},\vec{r}')dS' = \begin{cases} \vec{E}^{inc}, & n=1 \\ 0, & n=2 \end{cases} \quad (7)$$

The corresponding numerical solution is obtained via the Method of Moments (MoM) [6].

Figure 3 shows the *SAR* distribution and temperature increase in the brain exposed to plane wave of power density P = 5 mW/cm^2 at f = 900 MHz.

The whole brain averaged *SAR* at f = 900 MHz is 0.17 W/kg which stays below the ICNIRP exposure limits for localized SAR in the head of 2 W/kg averaged per 10 g of tissue [6]. The maximal temperature increase in the brain is found to be less than 0.01 °C.

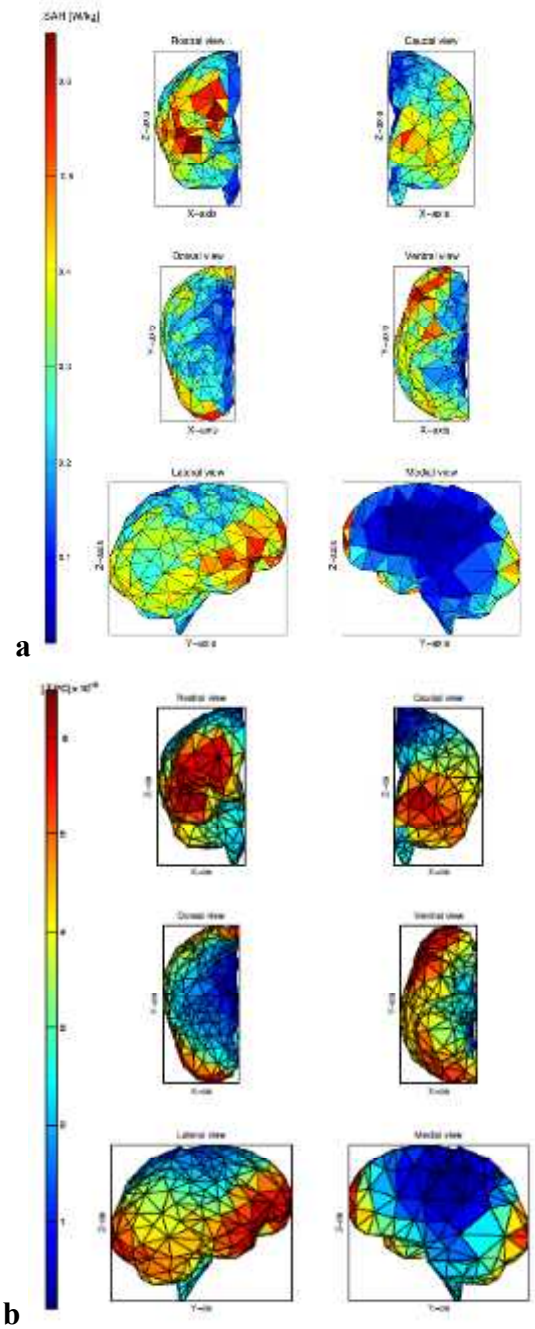


Figure 3. SAR distribution (a) and temperature increase (b) in the eye exposed to plane wave of power density 5 W/m^2 at f = 900 MHz.

CONCLUSION

The paper reviews the use of integral and hybrid approaches equation based methods in HF electromagnetic dosimetry and differential equation based methods in thermal dosimetry applied to the assessment of the human eye and brain, respectively, exposed to high frequency radiation. The exposure scenarios are analyzed by solving the governing equations arising from the electromagnetic dosimetry via the hybrid BEM/FEM solution method for Helmholtz equation and MoM solution for surface integral equation. The thermal dosimetry model is based on the stationary Pennes equation which is solved by means of the finite element method (FEM). Illustrative computational examples are related to the assessment of SAR in the eye and brain due to the plane wave exposure.

Future work will be devoted to the extension of the presented computational eye and brain models to account for the influence of different neighboring tissues.

REFERENCES

[1] Hand J W. Modeling the interaction of electromagnetic fields (10 MHz - 10 GHz) with the human body: methods and applications. Phys Med Biol 2008;53:243-286.

[2] Poljak D. Electromagnetic fields: Environmental exposure. In: Nriagu JO, ed. Encyclopedia of Environmental Health, volume 2, pp. 259-268 Burlington: Elsevier, 2011.

[3] Poljak D, Cavka D, Dodig H, Peratta C, Peratta A. On the Use of Boundary Element Analysis in Bioelectromagnetics. Eng Anal Bound Elem (Special issue on Bioelectromagnetics) 2014;49:2-14.

[4] Poljak D, Dodig H, Cavka D, Peratta A. Some numerical methods of thermal dosimetry for applications in bioelectromagnetics. Proc. Heat Transfer 2012, Sept. 2012, Split, Croatia, pp. 271-280.

[5] Cvetkovic M, Poljak D. An Efficient Integral Equation Based Dosimetry Model of the Human Brain. Proc. 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2014), Gothenburg, Sweden, September 1-4, 2014, pp 375-380.

[6] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHZ). Health Phys 1998;74:494-522.

ADVANCED ELECTROMAGNETIC - THERMAL DOSIMETRY METHODS FOR THE HUMAN EXPOSURE TO HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS

Dragan Poljak[1], Mario Cvetković[1], Hrvoje Dodig[2] and Andres Peratta[3]
[1]Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Croatia
[2]Marine Electronics Center, Split, Croatia
[3]C M BEASY, Southampton, UK
dpoljak@fesb.hr

This paper reviews certain electromagnetic - thermal dosimetry analysis methods developed by the authors and applied to the exposure of the human eye and brain respectively, exposed to HF radiation [1-3]. The eye exposure assessment is based on the solution of the Helmholtz equation via the hybrid boundary element/finite element method (BEM/FEM). The brain exposure is analysed by solving the set of coupled surface integral equations (SIEs) via the Method of Moments (MoM). The obtained maximal values of SAR are compared to the exposure limits proposed by ICNIRP.

Furthermore, the related temperature increase in the eye and brain is obtained by solving the corresponding stationary Pennes bio-heat transfer equation. The Pennes equation is handled by means of the finite element method (FEM). The maximal value of the calculated temperature increase in both cases is found to be less than 0.1 °C.

[1] Hand J W. Modeling the interaction of electromagnetic fields (10 MHz - 10 GHz) with the human body: methods and applications. Phys Med Biol 2008;53:243-286.

[2] Poljak D. Electromagnetic fields: Environmental exposure. In: Nriagu JO, ed. Encyclopedia of Environmental Health, volume 2, pp. 259-268 Burlington: Elsevier, 2011.

[3] Poljak D, Cavka D, Dodig H, Peratta C, Peratta A. On the Use of Boundary Element Analysis in Bioelectromagnetics. Eng Anal Bound Elem (Special issue on Bioelectromagnetics) 2014;49:2-14.

INSTRUMENTACIJA I MJERNE TEHNIKE

INSTRUMENTATION AND MEASURING TECHNIQUES

ODREĐIVANJE RADIOAKTIVNOSTI U ZRAKU - UTJECAJ UZORKOVANJA NA VREMENSKU KOREKCIJU REZULTATA

Marko Šoštarić, Branko Petrinec i Dinko Babić
Jedinica za zaštitu od zračenja
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
msostaric@imi.hr

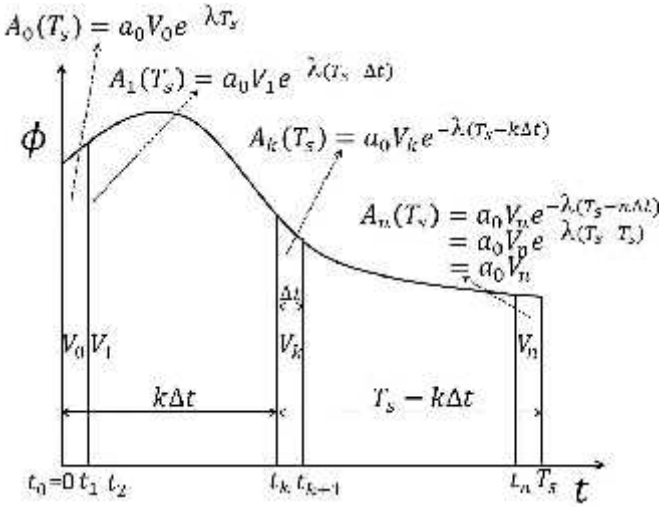
UVOD

Određivanje koncentracija aktivnosti radionuklida u zraku provodi se na sljedeći način: kroz celulozni filter pumpa se zrak, sitne čestice na koje su vezani radionuklidi ostaju na filteru, nakon pumpanja mjeri se aktivnost radionuklida na filteru. Mjerenje se provodi gamaspektrometrijom. U zraku se mogu nalaziti kratkoživući radionuklidi kao što su ^{7}Be, ^{131}I, ^{132}I, ^{133}I, ^{134}I, ^{135}I itd. [1,2], a za njih je potrebno provoditi vremenske korekcije. Ukupnu vremensku korekciju možemo podijeliti na tri dijela. Prvi dio odnosi se na promjenu aktivnosti za vrijeme uzorkovanja zraka (pumpanje zraka kroz filter), drugi dio za vrijeme između uzorkovanja i mjerenja, a treći dio za vrijeme mjerenja. U ovome radu razmatra se prvi dio korekcije, tj. dio koji ovisi o vremenu uzorkovanja zraka i o promjeni protoka zraka kroz filter. Sva tri dijela vremenske korekcije opisana su u literaturi [3] i standardno se koriste kod mjerenja. Prvi dio korekcije u [3] koristi pretpostavku o konstantnom protoku zraka kroz filter. Mjerenjem protoka zraka kroz naše filtere uočeno je linearno smanjenje protoka. Smanjenje protoka kroz filter može se očekivati, jer se pore filtera prolaskom zraka zapune česticama prašine. U svrhu navedenog odstupanja od konstantnog protoka, u radu je izveden općenit izraz za prvi dio vremenske korekcije koji se može primijeniti na proizvoljnu funkciju protoka zraka. Općenit izraz primijenjen je na linearno smanjenje protoka i dobivena korekcija uspoređena je s korekcijom koja polazi od pretpostavke konstantnog protoka. U literaturi postoji izvod korekcije za slučaj eksponencijalnog smanjenja protoka [4].

IZVOD KOREKCIJE ZA OPĆENITU FUNKCIJU PROTOKA

Protok zraka kroz filter označimo funkcijom $\phi(t)$, a ukupno vrijeme uzorkovanja s T_S. Pretpostavimo da je koncentracija aktivnosti radionuklida

u zraku konstantna, označimo je s a_0, i to je veličina koju želimo odrediti. Uzorkovanje zraka počinje u trenutku $t = 0$, a završava u trenutku $t = T_S$.



Slika 1. Općenita funkcija protoka zraka kroz filter u ovisnosti o vremenu, uz prikaz promjene aktivnosti pojedinog volumnog elementa.

Na Slici 1 prikazana je općenita funkcija protoka zraka $\phi(t)$, a ukupno vrijeme uzorkovanja podijeljeno je na jednake vremenske intervale Δt pomoću točaka $t_0 = 0, t_1, \ldots, t_k, \ldots, t_n, T_S$. Ukupni volumen zraka koji je prošao kroz filter jednak je površini ispod funkcije $\phi(t)$ i podijeljen je na male volumene $V_0, V_1, \ldots, V_k, \ldots, V_n$ za koje vrijedi $V_k \approx \phi(t_k)\Delta t$, gdje je $\Delta t = t_{k+1} - t_k$. Volumenu V_k pridružena je aktivnost $A_k(t_k) = a_0 V_k \approx a_0 \phi(t_k)\Delta t$. Kao što je prikazano na Slici 1, za radionuklide iz volumena V_k do kraja uzorkovanja prođe vrijeme $T_S - k\Delta t$. Primjenom zakona radioaktivnog raspada, radionuklidi iz volumena V_k na kraju uzorkovanja imaju aktivnost $A_k(T_S) = A_k(t_k)e^{-\lambda(T_S - k\Delta t)} \approx a_0 \phi(t_k)e^{-\lambda(T_S - k\Delta t)}\Delta t$, gdje je λ konstanta radioaktivnog raspada. Ukupna aktivnost na filteru na kraju uzorkovanja približno je jednaka zbroju doprinosa aktivnosti pojedinog volumena, tj.

$$A(T_S) = \sum_{k=0}^{n} A_k(T_S) \approx \sum_{k=0}^{n} a_0 \phi(t_k) e^{-\lambda(T_S - k\Delta t)} \Delta t \,. \qquad (1)$$

Egzaktno rješenje dobije se u kontinuiranom limesu ($n \to \infty$, $\Delta t \to dt$, $k\Delta t \to t$) gdje suma prelazi u integral

$$A(T_S) = a_0 \int_0^{T_S} \phi(t) e^{-\lambda(T_S - t)} dt \,. \qquad (2)$$

Poznavanjem $A(T_S)$ i ukupnog volumena zraka koji je prošao kroz filter odredimo koncentraciju aktivnosti u trenutku T_S, tj.

$$a(T_S) = \frac{A(T_S)}{V} = \frac{A(T_S)}{\int_0^{T_S} \phi(t) dt} \,. \qquad (3)$$

Povezivanjem jednadžbi (2) i (3) dobijemo koncentraciju aktivnosti u zraku

$$a_0 = \frac{\int_0^{T_S} \phi(t) dt}{\int_0^{T_S} \phi(t) e^{-\lambda(T_S - t)} dt} a(T_S). \qquad (4)$$

Rezimirano, koncentraciju aktivnosti u zraku a_0 možemo izračunati pomoću relacije (4) uz poznavanje funkcije protoka $\phi(t)$ i mjerenjem koncentracije aktivnost filtera na kraju uzorkovanja $a(T_S)$. Razlomak u relaciji (4) predstavlja prvi dio vremenske korekcije.

USPOREDBA VREMENSKIH KOREKCIJA ZA KONSTANTAN I LINEARAN PROTOK

Funkciju protoka $\phi(t)$ odredimo regresijom određene funkcije na zabilježene vrijednosti protoka zraka u mnogo vremenskih točaka tijekom vremena uzorkovanja. Odabir funkcije je takav da najbolje opisuje zabilježene vrijednosti protoka. Kao što je već navedeno u uvodu, protok zraka prilikom našeg uzorkovanja najbolje opisuje linearna funkcija. Ovdje ćemo odrediti korekcije za konstantnu i linearnu funkciju i međusobno ih usporediti. Relaciju (5) napišemo u obliku $a_0 = Ca(T_S)$, gdje je

$$C = \frac{\int_0^{T_S} \phi(t)dt}{\int_0^{T_S} \phi(t)e^{-\lambda(T_S-t)}dt} \tag{5}$$

i predstavlja faktor korekcije. Konstantna funkcija prikazana je relacijom

$$\phi(t) = \phi_0 = \frac{V}{T_S}, \tag{6}$$

gdje je V ukupni volumen. Uvrštavanjem (6) u (5) dobijemo

$$C = C_K = \frac{\lambda T_S}{1 - e^{-\lambda T_S}}, \tag{7}$$

gdje smo uveli oznaku C_K koja predstavlja korekciju za konstantan protok zraka. Linearna funkcija protoka zraka prikazana je relacijom

$$\phi(t) = \alpha t + \beta, \tag{8}$$

gdje su konstante α i β dobivene regresijom i za njih vrijedi $\alpha < 0$ i $\beta > 0$ (jer se protok smanjuje u vremenu). Uvrštavanjem (8) u (5) dobijemo

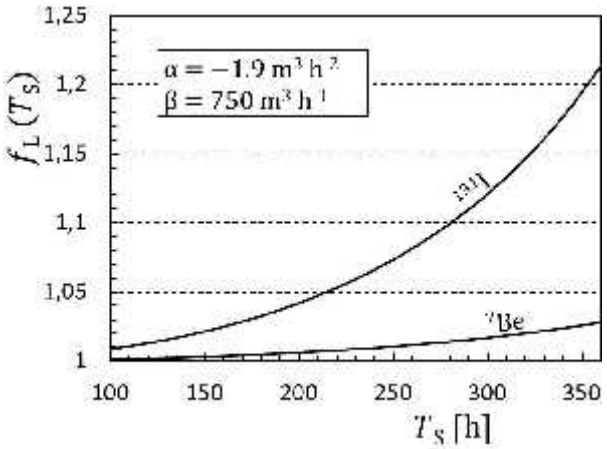
$$C = C_L = \frac{\frac{\alpha}{2}T_S + \beta}{\frac{\alpha T_S}{1 - e^{-\lambda T_S}} + \beta - \frac{\alpha}{\lambda}} \cdot \frac{\lambda T_S}{1 - e^{-\lambda T_S}} = f_L \cdot C_K, \tag{9}$$

gdje smo uveli faktor f_L koji odgovara prvom razlomku. Ovakvim prikazom relacije (9) izdvojili smo faktor koji pokazuje koliko se vremenska korekcija s linearnim smanjenjem protoka razlikuje od standardno korištene korekcije s konstantnim protokom zraka. Na Slici 2 prikazana je ovisnost faktora f_L o vremenu uzorkovanja T_S za radionuklide ^{131}I i ^{7}Be. Faktor f_L raste s vremenom uzorkovanja T_S i sa smanjenjem vremena poluraspada radionuklida.

ZAKLJUČAK

U radu je izveden općenit izraz za izračun vremenske korekcije za proizvoljnu funkciju promjene protoka i primijenjen je na konstantnu i linearnu funkciju. Pokazano je da pretpostavka o konstantnom protoku zraka kroz filter može ponekad voditi na grešku u korekciji, tj. grešku u

rezultatu mjerenja. Razlika između korekcija raste s duljinom vremena uzorkovanja i sa smanjenjem vremena poluraspada radionuklida. Također, može se primijetiti da razlika između dvije korekcije postaje značajna kad vrijeme uzorkovanja postane usporedivo ili veće od vremena poluraspada. Zadnja tvrdnja može se koristiti kao kriterij zanemarivanja utjecaja promjene protoka na rezultat mjerenja.



Slika 2. Prikaz faktora f_L u ovisnosti o vremenu uzorkovanja T_S za radionuklide ^{131}I i ^{7}Be. Navedeni su tipični parametri α i β

LITERATURA

[1] Marović G, Šega K, Bešlić I, Senčar J. Radioactivity in the air of Zagreb in the year 2011. In: Incecik S, Kahya C, eds. Proceedings of 4th International Symposium and IUAPPA Regional Conference Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales. Istanbul, Turkey. Istanbul Technical University, Turkish National Committee for Air Pollution and Control, 2012. 824-830.

[2] Todorović D, Popović D, Djurić G. Concentration measurements of ^{7}Be and ^{137}Cs in ground-level air in the Belgrade City area. Environ Int 1999;25:59-66.

[3] Nuclear instrumentation - Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides - Calibration and use of germanium spectrometers (IEC 61452:1995).

[4] Jiménez-Ramos M C, Manjón G, Abril J M. Influence of sampling air flow rate in the decay correction applied to the determination of ^{7}Be and short-lived radionuclides in aerosol samples. Atm Environ 2006;40:7215-7221.

QUANTIFICATION OF RADIOACTIVITY IN AIR - INFLUENCE OF SAMPLING ON THE TIME CORRECTION OF RESULTS

Marko Šoštarić, Branko Petrinec and Dinko Babić
Institute for Medical Research and Occupational Health
Zagreb, Croatia
msostaric@imi.hr

Quantification of radioactivity in air is carried out in a few steps: air is pumped through a filter, small particles of dust which contain radionuclides are caught on the filter, and the filter is subsequently measured by gamma-ray spectrometry. Radioactivity of the filter represents radioactivity in the volume of air pumped through the filter. For short-lived radionuclides it is necessary to perform a time correction, which is done in three steps. The first step refers to sampling time, the second to the time between a sampling and a measurement, and the third to the duration of a measurement. In this paper, we consider the first part of the time correction. This part of the correction depends on sampling time and the flow rate through a filter. Usually, it is assumed that a flow rate is constant in time, and with this assumption one calculates the first part of the correction. We have observed that the flow rate through our filters is not constant but instead decreases in time linearly. For that reason, we derive a general formula for the first part of the correction, which is applicable to any time dependence of the flow rate. We apply this formula to the cases of constant and linearly decreasing flow rates and compare these two corrections. The comparison shows that the difference starts to be significant when the sampling time and radionuclide half-life become comparable. The difference grows as the sampling time increases and radionuclide half-life decreases.

LOKALNO POZADINSKO PRIRODNO IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE - REFERENTNA LOKACIJA NA ISTRAŽIVAČKOM POLIGONU INSTITUTA ZA MEDICINSKA ISTRAŽIVANJA I MEDICINU RADA IZ ZAGREBA

Ivica Prlić[1], Marija Surić Mihić[1], Mladen Hajdinjak[2], Zdravko Cerovac[3], Tomislav Bituh[1] i Josip Tončić[1]
[1]Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
[2]Haj-Kom d.o.o, Zagreb
[3]Alara d.o.o, Zagreb
msuric@imi.hr

UVOD

Validirani i pouzdani mjerni podaci osnova su svakog znanstvenog izvještavanja, osobito u području istraživanja parametara koji opisuju stresore okoliša. U cilju vjerodostojne interpretacije „događaja“ u okolišu koji se prate i istražuju mjerenjem ionizirajućeg zračenja nužno je posjedovati točne mjerne podatke o lokalnom pozadinskom zračenju u okolišu u kojem se provode istraživanja. Vrijednosti izmjerene brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta *H*(10)*, kao operativne veličine za nadzor prostora kojom se karakterizira lokalno prirodno pozadinsko zračenje, uvelike ovise o geografskom položaju te geološkoj strukturi tla i dakako, urbanizaciji, na samom položaju mjerenja.

Iz tog razloga Institut za medicinska istraživanja je oblikovao i postavio mjernu stanicu na znanstveno-istraživačkom poligonu *„Šumbar“* nedaleko Karlovca s ciljem da ona bude referentna mjerna stanica za mjerenje lokalnog pozadinskog ionizirajućeg zračenja za sva buduća znanstvena istraživanja o ionizirajućem zračenju i njegovim prirodnim, pa i akcidentalnim, kolebanjima u okolišu. Razvoj i uspostava mjerne stanice se provodi u sklopu internog projekta Instituta naziva „Uspostava opservatorijske lokacije za istraživanja utjecaja raznorodnih stresora, posebno zračenja, na okoliš, biotu i ljude” i u sklopu projekta strukturnih fondova EU - Operativnog programa regionalne konkurentnosti.

MATERIJAL I METODE

Mjerna stanica za mjerenje lokalnog prirodnog pozadinskog zračenja (LBG) sastoji se od ionizacijske komore pod visokim pritiskom Reuter-Stokes 131 (RS 131) zajedno s setom aktivnih elektroničkih dozimetara (AED) za mjerenja u okolišu, ALARA ODen [1]. Ionizacijska komora umjerena je u laboratoriju akreditiranom za mjernu veličinu *H*(10)*, na odgovarajućim energijama.

Mjerni instrumenti postavljeni su na propisanu [2] visinu 1 m iznad tla. Radi osiguranja stabilnog napajanja, ionizacijska komora je cijelo vrijeme bila priključena na vanjski izvor napona. Vrijeme sakupljanja impulsa ionizacijske komore postavljeno je na 3 minute dok je AED ALARA ODen za mjerenje LBG-a podešena na vrijeme integriranja impulsa od 10 minuta.

Mjerna stanica postavljena na znanstveno-istraživačkom poligonu „Šumbar“ prikazana je na Slici 1.

Slika 1. Mjerna stanica za mjerenje lokalnog pozadinskog zračenja RS 131 na lokaciji znanstveno-istraživačkog poligona „Šumbar“

Kao što se vidi na slici, prostor na kojem je postavljena mjerna oprema je fizički ograđen prirodnim materijalima koji ne utječu na mjerenja LBG-a, kako bi se spriječilo oštećenje opreme od divljih životinja, koje na prostoru znanstveno-istraživačkog poligona slobodno obitavaju.

Ionizacijska komora RS 131 je komunikacijskim kanalom povezana s računalnim serverom Instituta kontinuirano odašiljući mjerne podatke. Ti podaci, obrađeni računalnim programom razvijenim na Institutu (SuperVision), prate se on - line u realnom vremenu na serveru Instituta. S obzirom da se podaci s AED-a moraju fizički prebaciti u računalo, za mjerenja su korištena dva AED uređaja koji su se izmjenjivali u mjernoj stanici na mjesečnoj bazi. Komunikacijski protokol i način slanja podataka iz udaljenog AED-a u realnom vremenu je u fazi razvoja. Podaci iz AED-a sadrže informaciju o broju impulsa sakupljenih u prethodno zadanom vremenskom intervalu koji je za potrebe mjerenja LBG-a postavljen na 10 min. AED je umjeren pomoću ionizacijske komore na način da je za mjerni period od mjesec dana ionizacijskom komorom izmjerena ukupna vrijednost izmjerenog *H*(10)* te za isti period zabilježen ukupan broj impulsa GM cijevi AED-a. Iz tih vrijednosti izračunat je koeficijent pretvorbe impulsa u nSv za svaki pojedini AED.

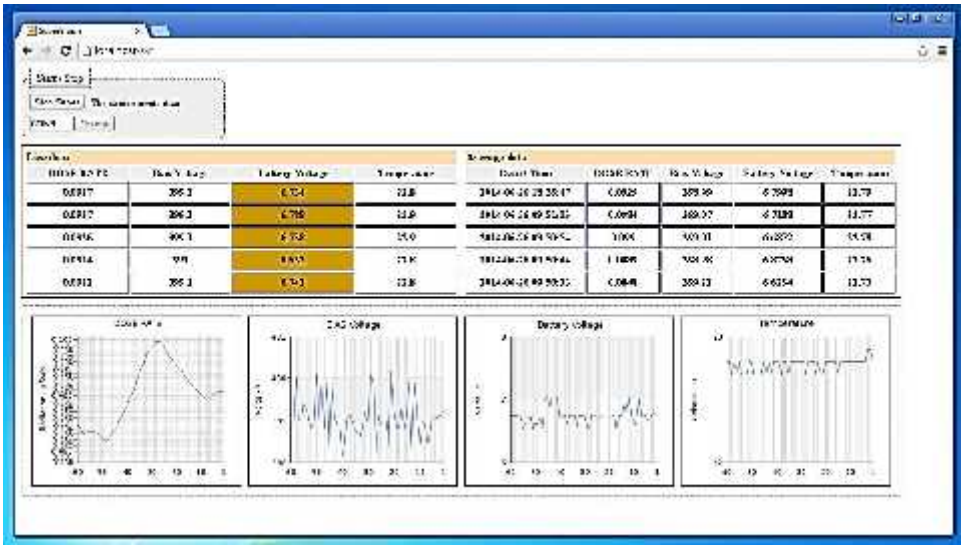
Izračunate su prosječne dnevne i mjesečne vrijednosti brzine *H*(10)* te ukupna godišnja vrijednost ambijentalnog doznog ekvivalenta za lokaciju „Šumbar“ za 2013. godinu.

REZULTATI

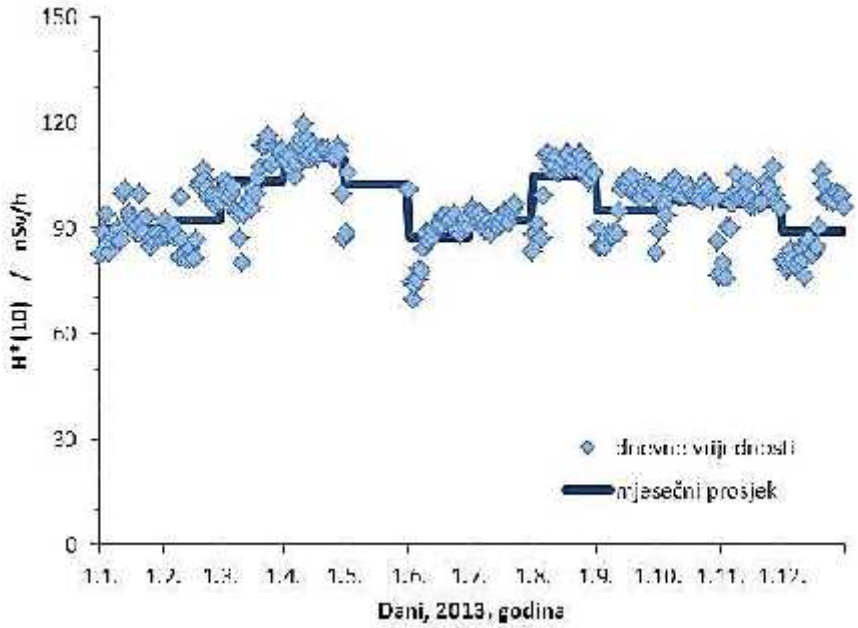
Mjerna stanica na udaljenoj lokaciji služi za referentna mjerenja prirodnog ionizirajućeg zračenja u ruralnom okolišu koji nije opterećen antropogenim radionuklidima. Izmjerene vrijednosti brzine *H*(10)* služe kao referentne pri bilo kojem izvještavanju o ionizirajućem zračenju (radioaktivnosti) u okolišu za cijelo područje RH. No, masovna uporaba ovakve vrste ionizacijske komore pri tvorbi on-line mreže udaljenih mjernih lokacija nije praktična zbog njezine veličine, cijene i potrebe za stalnim napajanjem. Iz tog razloga razvijamo novu tehnološku mrežu za mjerenje LBG na bilo kojem mjestu u RH koja će istovremeno koristiti veći broj AED-ova koji su jeftiniji, imaju bateriju koja omogućava dulje stabilno napajanje (do 5 godina) i koji će biti umjeravani i validirani pomoću centralne, umjerene ionizacijske komore.

Prikaz mjerenja brzine ambijentalnog doznog ekvivalenta *H*(10)* na otvorenom prostoru na lokaciji znanstveno - istraživačkog poligona Šumbar u realnom vremenu dan je na Slici 2. Uz vrijednost brzine *H*(10)* prikazuju se i podaci o parametrima komore te temperaturi na lokaciji.

Rezultati mjerenja brzine *H*(10)* za 2013. godinu dobiveni uporabom AED-ova prikazani su na Slici 3, pri čemu su posebno naznačeni dnevni i mjesečni prosjeci.



Slika 2. „Screenshot“ prikaza mjernih i ostalih podataka s ionizacijske komore RS 131 u realnom vremenu na računalu (SuperVision)



Slika 3. Brzina *H*(10)* izmjerena AED-ovima na lokaciji „Šumbar“ tijekom 2013. g. s naznačenim dnevnim i mjesečnim prosječnim vrijednostima

Izračunata je vrijednost *H*(10)* na lokaciji „Šumbar“ za 2013. godinu koja iznosi 0,847 mSv. Ta vrijednost je nešto niža od vrijednosti na lokaciji Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu koja je za 2013. godinu iznosila 1,047 mSv [3].

ZAKLJUČAK

Razlika u rezultatima za brzinu *H*(10*) za 2013 god. na lokacijama Instituta i *„Šumbar“* je sasvim razumljiva jer je lokacija Instituta unutar urbane sredine koja je opterećena svim mogućim urbanim zagađivačima i građevinama i posjeduje specifičnu gradsku mikroklimu dok je *„Šumbar“* ekološki čisto područje, lovište i prirodno stanište uglavnom netaknuto civilizacijskim zahvatima. Upravo zbog istraživačke potrebe za uspoređivanjem mjerenja i mjerenih vrijednosti *H*(10)* LBG-a na „čistim“ neurbanim i industrijski „opterećenim“ lokacijama, uspostavili smo mjernu stanicu na udaljenoj lokaciji *„Šumbar“* kako bi sa što većom mjeriteljskom sigurnošću mogli tumačiti naše istraživačke rezultate pri istraživanjima radioaktivnosti, pogotovo one dobivene mjerenjima u okolišu, na bioti, agronomskim uzorcima i vodama u području niskih i vrlo niskih brzina *H*(10).*

Dodatno, poznavanje brzine *H*(10)* na udaljenoj i provjereno „nezagađenoj“ lokaciji u realnom vremenu (interaktivna komunikacija s mjernim mjestom) omogućuje i značajno bržu regulatornu reakciju za slučaj bilo kakvog radiološkog akcidenta. Predložena mreža mjernih stanica prirodnog ionizirajućeg zračenja kvalitativno bi upotpunila postojeći Sustav pravodobnog upozoravanja na nuklearnu nesreću RH (SPUNN) [4].

LITERATURA

[1] Surić Mihić M, Vučić Z, Prlić I, Lulić I, Meštrović T. Radiation measurements around X-ray cabinet systems. Radiat Prot Dosim 2012; 150:375-380.

[2] MARSSIM - Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, EPA, 2000.

[3] IMI-CRZ-94; 2014. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj (Izvješće za 2013. godinu). G. Marović i sur.

[4] http://cms.dzrns.hr/aktivnosti/pripravnost/pravodobno_upozoravanje

LOCAL BACKGROUND NATURAL IONISING RADIATION - A REFERENCE LOCATION AT THE RESEARCH POLYGON OF THE INSTITUTE FOR MEDICAL RESEARCH AND OCCUPATIONAL HEALTH, ZAGREB

Ivica Prlić[1], Marija Surić Mihić[1], Mladen Hajdinjak[2], Zdravko Cerovac[3], Tomislav Bituh[1] and Josip Tončić[1]

[1]Institute for Medical Research and Occupational Health

[2]Haj-Kom d.o.o

[3]Alara d.o.o

Zagreb, Croatia

msuric@imi.hr

Validated and reliable measurement data are the foundation of any scientific report, especially in research fields that describe environmental stressors. In order to yield a trustworthy interpretation of environmental "events" monitored and explored by measuring ionising radiation, it is necessary to obtain accurate data on the local background radiation in the environment where research is conducted. Values of the measured ambient dose rate equivalent *H*(10)*, an operational quantity for environmental monitoring used to characterise local natural background radiation, greatly depend on the geographic placement, geological composition, and urbanisation of the very location of the measurement.

IMROH has designed and installed a measuring station within the research polygon "Šumbar" with the aim to establish it as a reference measuring station for local background ionising radiation for all future research regarding ionising radiation and its naturally, as well as accidentally, caused oscillations in the environment.

Discrepancy in the *H*(10*) values between the two measuring locations is fully justified considering the fact that the Institute is located in an urban surrounding burdened by nearly every possible pollutant as well as buildings and is characterised by a specific city microclimate, while "Šumbar" is an ecologically untouched area, hunting grounds, and natural habitat mainly unaffected by modern life. Furthermore, knowing the *H*(10)* values at a remote and "unpolluted" location in real time (interactive communication with the measuring station) also enables a significantly faster regulatory reaction in cases of potential radiological accidents.

THE ^{14}C DIRECT METHOD COUNTING PROTOCOL OPTIMIZATION FOR QUENCHED SAMPLES

Romana Krištof and Jasmina Kožar Logar
Jožef Stefan Institute, Jamova cesta 39, Ljubljana, Slovenia
romana.kristof@ijs.si

INTRODUCTION

In recent years several authors reported usage of the direct liquid scintillation counting (LSC) for determination of bio components in fuels [1-6]. Such method is taking advantage of a fact that only bio components contain ^{14}C and their presence can be determined by measuring activity of the sample. The methodology of radiocarbon dating is known for long time, but in the case of biofuel determination by the direct method it is confronted with the limitations of severe color and chemical quench observed in 100 % biodiesel. This problematics was already discussed by authors in previous work where changes in counting protocol enabling quenched samples measurement are presented [5].

This work is focused on optimization of counting protocol which is burdened by high background count rate, i.e. low coincidence bias protocol [5]. Passive and active shielding, coincidental circuits, etc., have already been applied to limit the background radiation interferences in LSC [7]. Photo multiplier tubes (PMT) may have some temperature dependent noise and the efficiency of the scintillator to transfer decay energy can vary with temperature of measurement chamber. External radiation and/or trace amounts of radioactive material in PMT glass envelope can cause Cherenkov or fluorescence events what can cause optical crosstalk. Background is also increased with use of glass vial due to the radioactivity of the vial material what increases the chance of observing alpha like (slow florescence) events. Quantulus™ users have the ability to use several circuits for additional reduction of background by considering its source. Relating to the possible source of the background we have applied changes in temperature of the measurement chamber and setups of Pulse Amplitude Comparator (PAC) and Pulse Shape Analyzer (PSA). Individual changes and combined protocol were prepared and presented in this work.

MATERIAL AND METHODS

Two types of samples were used for this study: sealed ^{14}C labeled standard quench set (PerkinElmer) and mixtures of fuels and scintillation cocktail. Preparation of the LSC samples was the same as in previous work [5]. Briefly, 10 mL of fuel sample was simply mixed with 10 mL of scintillation cocktail Ultima Gold F. All components were also weighted. Sample set for examination of protocol conditions consists of two samples: fossil diesel and sample with known activity of 26.6 ± 0.39 Bq/g. Gravimetrically determined dilution of standard solution (PerkinElmer) in fossil fuel was used for this purpose. Optimal conditions were tested with nine different real biofuel samples made in previous studies [8].

Measurements were done on LSC Quantulus^{TM} (PerkinElmer). Temperature inside the LS counter was measured with two independent calibrated thermometers. The LSC samples were measured at least 24 h after preparation to reduce chemo-luminescence. Special setup was created and tested, with protocol for measurements of high energy β emitters as a basis. MCA inhibit, memory split and coincidence bias were changed (see Table 1). Different combinations of PAC and PSA were set on the whole range from 1 to 256. Measurements were conducted on high and low coincidence bias. No changes have been made to ADC input and trigger. The Standard Quench Parameter of External standard SQP(E) was measured at each counting cycle. The total counting time differed according to the samples activity; standard dilution was measured for 10 minutes while the background and biodiesels were counted for 100 minutes. Measurement and sample stability were checked with multiple counting cycles of certain samples. Counts in channels from 50 - 500 were used in evaluation. In this way the counts in whole ^{14}C spectra were used.

RESULTS

Counting efficiency relation to temperature of the measurement chamber was evaluated with ^{14}C labeled standard quench set (PerkinElmer). The set was measured at temperatures ranging from 8 to 20 °C. As can be seen in Figure 1 the SQP(E) values and the corresponding counting efficiencies changed significantly for each tested temperature. We fitted one quench curve since the counting efficiencies and SQP(E) values followed the same correlation. However the background count rate changed significantly, from 1.60 ± 0.07 to 1.33 ± 0.07 cpm (counts per minute); ζ-test between 8 - 20 °C was 3.89. The shape of the spectra remained the same. We

therefore suggest measurement of background with each sample batch in case temperature changes occur during the measurement.

The PAC setup was tested on every 10^{th} level of software changeable scale (1 - 256). The optimal PAC setup was limited with counting time and corresponding larger uncertainty (around 5 %) thus many of the obtained results were not significantly different. Figure of merit, FM (efficiency^2/background) in cpm^{-1} was between 691 and 1052 with ζ-test of up to 1.5. The highest potential for the optimal setup was presented in PAC values between 100^{th} and 200^{th} level. However, already with this setup, background count rate had decreased by 20 % what is shown as drop in counts in channels below 300^{th} channel. With the use of low coincidence bias protocol the increase in count rate in that region (channel 1 - 300) has caused the largest contribution to background count rate (from 0.36 cpm to 6.31 cpm).

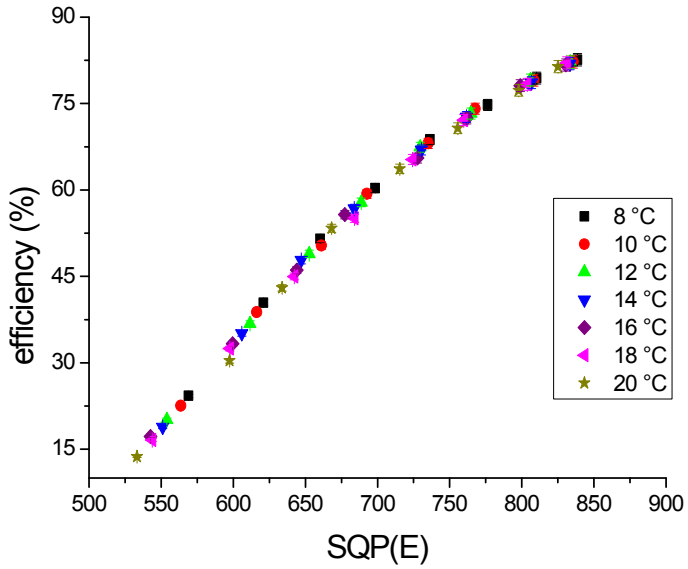


Figure 1. Quench curve at different temperatures.

We tried to achieve further reduction of the background count rate by PSA circuit. The PSA is regularly used in radiochemistry for the differentiation between α and β emitting isotopes. It has already been reported that use of PSA is limited due to the quench interference with detected energy of the radionuclide [9]. As in the case of PAC, PSA was

changed on every 10th level in scale from 1 - 256. We had observed the same limitations regarding optimal PSA setup and uncertainty of the measurement. However, the highest potential was shown in levels above 170th where FM reaches plateau (with FM between 1000 and 1080). That was expected since, in accordance with the literature [7], higher level indicates all signals are referred to beta decaying radioisotope. This part of experiment did not confirm the expectation that using PSA optimization the counting efficiency will remain at previously measured level, while the background count rate would drop below 4 cpm. Namely, that value of background count rate would enable reasonable detection limit of 2 $\%_m$ (mass percent of biofuel) while the real measured background count rate was between 6.81 cpm and 7.72 cpm.

Table 1. Special protocol circuit setup

	MCA1	**MCA2**
ADC Input	LRSUM	LRSUM
ADC Trigger	L*R	L*R
Inhibit	G	N
Memory Split	PAC + PSA	PAC + G

The Quantulus™ is equipped with 2 multi-channel analyzers with changeable setup. The MCA setup was modified in order to use PCA and PSA setup simultaneously (see Table 1). PAC and/or PSA were re-evaluated due to the possibility of a combined effect at every 50th PAC and PSA level. 100 % biodiesel samples were used in this part of experiment in order to test the quenching effect on optimal PAC/PSA setup. LSC samples had values of external quench parameter SQP(E) between 600 and 800; quench parameter did not differ between multiple cycles. Based on SQP(E) values we had chosen the best and worst case scenarios presented in Figure 2. The experiment has shown that the highest FM was obtained with a PAC level of 50 while in previous experiment the setup above 100th level had shown the greatest potential. This was also proven in the evaluation of only PAC, where level 50 obtained the highest figure of merit in low SQP(E) values. The Slovenian sunflower biodiesel's PAC levels of 50, 100 and 150 obtained, statistically, the same result (ζ-test < 1). Further measurements in this area would be needed for optimal PCA setup for samples with this quench level. The application of PSA in the measurement of quenched

samples cannot be done precisely because the optimized level changes with increasing quench. However, the PSA setup could be efficiently introduced if the variability of the quench is smaller (see right part of Figure 2) as was demonstrated by Hiller et.al. [10] who used PSA for background reduction in ^{14}C-benzene measurements.

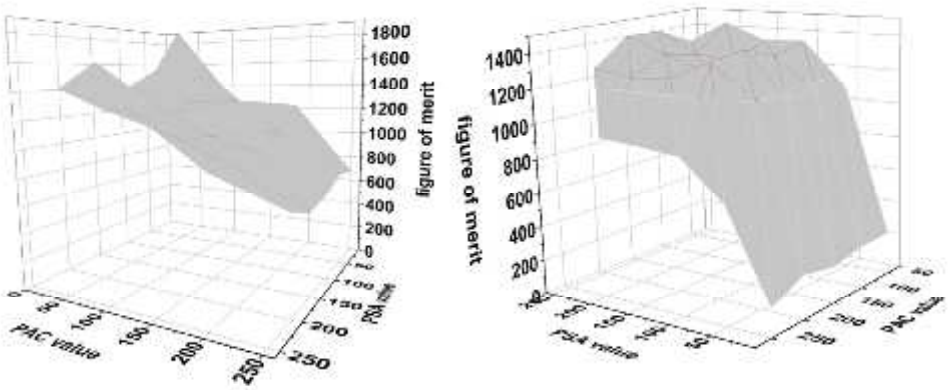


Figure 2. Changed MCA circuit. Left: the results of biodiesel from the soya oil with a SQP(E) value of 605. Right: the results for the biodiesel from the Slovenian sunflower oil; its SQP(E) value was 808.

CONCLUSION

Our experiments show that in the case of temperature variation during measurement, with measurement of background with every sample batch and use of prepared quench curve correction, reliable, repeatable and accurate results could be obtained. For high levels and changeable quench we used low coincidence bias measurement protocol setup. Our test LS samples had SQP(E) values from 600 and 800 thus high variability in observed quench. Experiments show that the optimal PAC and PSA setups are affected by increasing quench. However, the PAC value could be efficiently optimized also in changeable quench while PSA setup demands more uniform quench level. With short measurement of 100 minutes for each PAC level, we determined that our LSC counter's optimal PAC setup of 50 decreases background count rate for 1.5 cpm and improves FM from 1052 to 1964. These results referred to the experimental work with biodiesel, but the conclusions can be in principle generalized to all heavily color quenched samples.

Acknowledgement

Work is a part of R. Krištof PhD dissertation. Operation part financed by the European Union, European Social Fund.

REFERENCES

[1] Dijs I J, van der Windt E, Kaihola L, van der Borg K. Quantitative determination by ^{14}C analysis of the biological component in fuels. Radiocarbon 2006;48:315-323.

[2] Edler R. The use of liquid scintillation counting technology for the determination of biogenic materials. LSC 2008, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. 2009. p. 261-267.

[3] Norton GA, Cline A M, Thompson G C. Use of radiocarbon analyses for determining levels of biodiesel in fuel blends - Comparison with ASTM Method D7371 for FAME. Fuel 2012;96:284-290.

[4] Takahashi Y, Sakurai H, Inui E, Namai S, Sato T. Radiocarbon measurement of biodiesel fuel using the liquid scintillation counter Quantulus. In: Cassette P, ed. LSC 2010, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. Paris, France, 2010. p. 41-46.

[5] Krištof R, Kožar Logar J. Direct LSC method for measurements of biofuels in fuel. Talanta 2013;111:183-188.

[6] Krištof R, Hirsch M, Kožar Logar J. Implementation of direct LSC method for diesel samples on the fuel market. Applied Radiation and Iotopes: including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine. 2014. DOI:10.1016/j.apradiso.2014.04.003.

[7] PerkinElmer. Instrumental Manual: Wallac 1220 Quantulus - Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer. 1.D. Turku, Finland, 2005.

[8] Krištof R. Quantification of biocomponents in fuels by ^{14}C. University of Nova Gorica, PhD dissertation, 2015.

[9] Pates JM, Cook GT, MacKenzie AB, Passo Ch J Jr. Implications of beta energy and quench level for alpha/beta liquid scintillation spectrometry calibration. Analyst 1998;123:2201-2207.

[10] Hiller A, Anderson R, Cook GT. Effects of a range of quenching agents on 14C-benzene counting efficiency when employing Pulse-Shape Analysis (TR-LSC®). In: LSC 1994, Liquid Scintillation Spectrometry. 1994. p.347-355.

THE ^{14}C DIRECT METHOD COUNTING PROTOCOL OPTIMIZATION FOR QUENCHED SAMPLES

Romana Krištof and Jasmina Kožar Logar
Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia
romana.kristof@ijs.si

Efficient and accurate determination of activity for quenched samples demands many counting protocol adjustments if the samples are measured by the direct liquid scintillation counting (LSC). This work is focused on optimization of counting protocol which is burdened by high background count rate, i.e., low coincidence bias protocol. Changes of temperature in measurement chamber, pulse amplitude comparator (PAC) and pulse shape analyzer (PSA) setups were studied on LSC counter Quantulus™. Biodiesel samples with high and variable quench were used for counting protocol optimization. The impact of quench on determination of optimized counting protocol and implication of solutions in everyday use is presented.

Experiments with changing temperature of measurement chamber show significant variation in efficiency and background. However, with measurement of background with every sample batch and use of prepared quench curve correction, reliable, repeatable and accurate results could be obtained. Experiments with optimal PAC and PSA setups are affected by increasing quench. In our test LS samples had SQP(E) values from 600 to 800 and were measured on low coincidence bias measurement protocol. The PAC value could be efficiently optimized also in changeable quench while PSA setup demands more uniform quench level. Short measurement of 100 minutes at each PAC level, give LSC counter's optimal PAC setup of 50 what decreases background count rate for 1.5 cpm and improves FM from 1052 to 1964. These results referred to the experimental work with biodiesel, but the conclusions can be in principle generalized to all heavily color quenched samples.

NOVA TEHNIKA ODREĐIVANJA UDJELA BIOGENE KOMPONENTE U TEKUĆIM GORIVIMA METODOM ^{14}C

Ines Krajcar Bronić[1], Jadranka Barešić[1], Nada Horvatinčić[1], Romana Krištof[2] i Jasmina Kožar-Logar[2]
[1]Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska
[2]Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija
krajcar@irb.hr

UVOD

Povišenje koncentracije CO_2 u atmosferi tijekom 20. stoljeća posljedica je intenzivnog korištenja fosilnih goriva [1]. Smanjenje emisije CO_2 nastalog izgaranjem fosilnih goriva proizvodnjom energije iz biogenih materijala (biogoriva) danas se stimulira i poreznom politikom [2]. Prema EU direktivi 2009/28/EC [3], sva tekuća goriva trebaju sadržavati najmanje 10 % biogene komponente do 2020. godine pa se javlja potreba kontrole proizvođača i distributera goriva primjenom pouzdane metode određivanja udjela biogene komponente u gorivima.

Jedna od metoda za određivanje udjela biogene komponente u smjesi fosilnog i biogoriva je ^{14}C metoda [1,4,5] koja se zasniva na različitoj koncentraciji izotopa ^{14}C u pojedinim komponentama smjese: biogoriva odražavaju ^{14}C aktivnost suvremene atmosfere, dok fosilna goriva ne sadrže ^{14}C. Ova metoda se smatra najpouzdanijom metodom određivanja udjela biogene komponente [6] i može se primijeniti za sve vrste goriva (mješoviti komunalni otpad, otpadne auto-gume, tekuća goriva), kao i za CO_2 koji nastaje izgaranjem goriva [7]. Bilo koja mjerna tehnika koja se koristi u ^{14}C laboratorijima za datiranje može se koristiti i za određivanje udjela biogene komponente [1,4]. Te su tehnike točne i precizne, ali često skupe i dugotrajne, te je potrebno razviti brze, a ipak dovoljno pouzdane i točne tehnike [8,9].

Za tekuća goriva moguće je primijeniti tehniku direktnog mjerenja u tekućinskom scintilacijskom brojaču (LSC) uz dodatak odgovarajućeg scintilatora. Prednosti direktnog mjerenja su brza priprema uzorka i niska cijena analize, a nedostaci veća mjerna nesigurnost i problem boje, odnosno "gašenja zbog boje" (*colour quenching*), što smanjuje efikasnost brojanja. Naime, razne vrste (fosilne) matrice i biogenog aditiva zbog različitog intenziteta obojenja pokazuju različita svojstva gašenja (*quenching*). Jedan od načina rješavanja problema je priprema više kalibracijskih krivulja za

različite vrste smjesa matrica i biogenog aditiva [8]. Na Institutu "Jožef Stefan" (IJS) udio biokomponente određuje se u dva koraka: iz izmjerene vrijednosti SQP odredi se efikasnost brojanja, a zatim se iz aktivnosti uzorka izračuna udio biokomponente. Koristi se krivulja gašenja dobivena nizom od 8 uzoraka (PerkinElmer) iste poznate aktivnosti, ali različitog gašenja. Za izračun udjela biokomponente koriste se tri kalibracijske krivulje koje ovise o vrsti dodane biokomponente. U praksi se najčešće koriste dvije, i to za benzin kojemu je dodan bioetanol, te za plinska ulja kojima su dodani FAME ili FAEE (biodizel) [8].

U ovom radu ćemo prikazati novu tehniku direktnog mjerenja koja koristi karakteristike gašenja zbog boje za kalibraciju brojača te se može primijeniti za bilo koju smjesu fosilne matrice i biogenog aditiva.

UVJETI MJERENJA

U staklenim brojačkim bočicama pripremljeni su kokteli fosilnog goriva i bioetanola sa scintilatorom Ultima Gold F (UGF, PerkinElmer no. 60131479). Volumen testnog uzorka varirao je od 2 mL do 15 mL, a ostatak do 20 mL činio je scintilator UGF. Najbolja efikasnost postignuta je za 10 – 12 mL etanola u koktelu. Za sva kasnija mjerenja korišten je omjer 10 mL uzorka i 10 mL UGF. Za bioetanol je u ovim uvjetima određena efikasnost brojanja od oko 70 % uz SQP = 750, što je usporedivo s efikasnošću i SQP vrijednosti za etanol na IJS [8].

Mjerenje aktivnosti ^{14}C provedeno je u LSC Quantulus 1220, a za obradu spektara korišten je program EasyView. Svi ^{14}C spektri zabilježeni su u rasponu kanala 145 - 570. Za svaki je uzorak mjerena SQP vrijednost kao mjera gašenja. SQP (*Standard Quench Parameter*) se u LSC Quantulus dobije snimanjem spektra eksternog standardnog izvora ^{152}Eu i predstavlja kanal do kojega je snimljeno 99% spektra tog izvora.

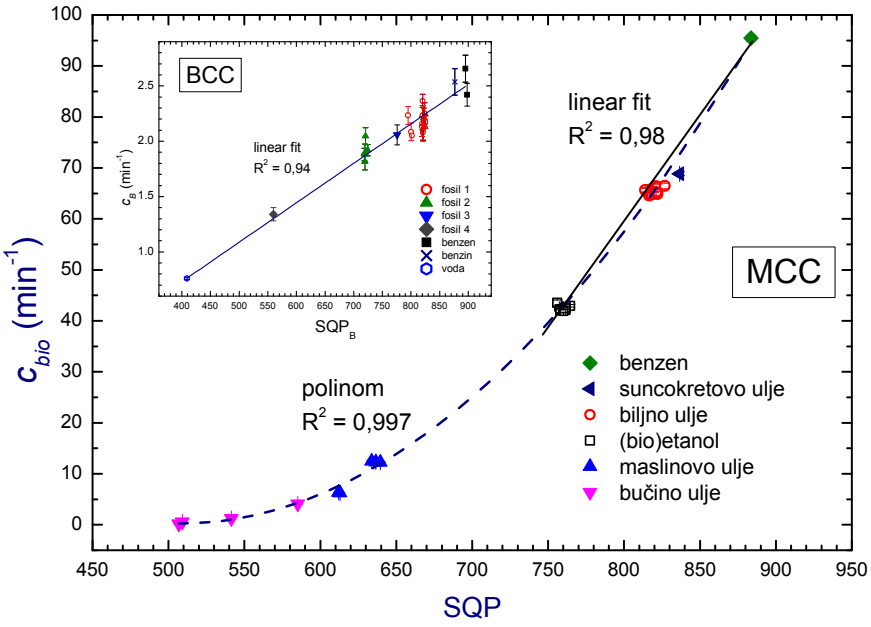
PRINCIP NOVE TEHNIKE DIREKTNOG MJERENJA

Osnovna ideja ove nove tehnike je korištenje različitih biogenih i fosilnih tekućina različitih boja i svojstava gašenja za konstruiranje krivulja kalibracije, tj. krivulja koje povezuju SQP parametar i odbroje u spektralnom području kanala 145 - 570. Potrebno je odrediti dvije kalibracijske krivulje: pozadinsku (*background calibration curve*, BCC) i suvremenu (*modern calibration curve*, MCC).

Za pozadinsku kalibracijsku krivulju (BCC, Slika 1) korišteno je nekoliko vrsta fosilnih goriva, laboratorijski čisti benzin i benzen (C_6H_6 p.a.,

Merck) bez ^{14}C i destilirana voda. Broj odbroja c_B raste linearno ($R^2 = 0,94$) s porastom SQP vrijednosti od 400 (voda) do 900 (benzen).

Za izradu suvremene kalibracijske krivulje (MCC, Slika 1) korištene su sljedeće tekućine biogenog porijekla: različite vrste ulja za domaćinstvo (biljno, suncokretovo, maslinovo, bučino), apsolutni (bio)etanol p.a., benzen pripremljen od suvremenih uzoraka (poznate ^{14}C aktivnosti). Mjerne točke u području vrijednosti SQP 500 - 900 mogu se opisati polinomom drugog reda (kvadratnom funkcijom) ($R^2 = 0,997$). Za vrijednosti SQP > 700, podaci se mogu aproksimirati i pravcem ($R^2 = 0,98$). Vidljivo je da intenzivna obojenja maslinovih i bučinih ulja daju znatno niže SQP vrijednosti i niže odbroje od ostalih vrsta ulja iako su to sve suvremeni biogeni uzorci približno jednake ^{14}C aktivnosti. Uzorci s jakim gašenjem, tj. koji imaju SQP < 570, daju odbroje vrlo bliske odbrojima *backgrounda*, te je vrijednost SQP od 570 na granici primjenjivosti ove tehnike.



Slika 1. Moderna kalibracijska krivulja (MCC) s linearnom i kvadratnom prilagodbom i odgovarajućim korelacijskim koeficijentima R^2. Umetnuta slika: pozadinska kalibracijska krivulja (BCC) s linearnom prilagodbom.

Postupak određivanja udjela biogene komponente u nepoznatom uzorku je sljedeći: 1) izmjeri se SQP parametar i odbroji uzorka (c), 2) iz vrijednosti SQP odredi se odbroj c_B za pozadinu koristeći BCC, 3) također

iz izmjerene vrijednosti SQP uzorka, ali koristeći kvadratnu funkciju MCC, odredi se odbroj biogene tvari c_{bio} za tu vrijednost SQP.

Nepoznati uzorak predstavlja binarnu smjesu fosilnog goriva udjela f_f i biogene komponente udjela f_{bio}, tako da je $f_f + f_{bio} = 1$. Neto odbroji smjese (uzorka), $c - c_B$, mogu se prikazati kao kombinacija

$$c - c_B = f_f \times c_{B\text{-net}} + f_{bio} \times (c_{bio} - c_B) \quad (1)$$

Budući da je $c_{B\text{-}net} = c_B - c_B = 0$, za udio biogene komponente dobije se

$$f_{bio} = \frac{c - c_B}{c_{bio} - c_B} \quad (2)$$

VALIDACIJA

Za validaciju metode pripremljene su smjese raznih omjera modernih i fosilnih tekućina te je izračunat udio biogene komponente (f_{bio}) primjenom jednadžbe (2), a rezultat je uspoređen sa stvarnim udjelom f.

SQP vrijednost smjesa biljnog ulja i fosilnog goriva približno jednakih SQP vrijednosti ne ovisi o omjeru tekućina u smjesi, a odbroji rastu linearno s povišenjem udjela biogene komponente. Fosilna goriva i bioetanol razlikuju se i po sadržaju izotopa ^{14}C i po vrijednostima SQP, a u smjesama se SQP i odbroji kontinuirano mijenjaju za različite sastave smjesa. U oba slučaja izmjereni udjeli biogene komponente izvrsno se slažu sa stvarnima:

$$f_{bio} = (1{,}0 \pm 0{,}1) \times f + (0{,}3 \pm 0{,}8),\ R^2 = 0{,}998 \quad (3)$$

INTERKOMPARACIJA

Rezultati usporednih mjerenja istih uzoraka plinskih ulja (dizelska goriva) i benzina u dva laboratorija (IRB i IJS) prikazani su u Tablici 1. Laboratoriji su primijenili različite metode obrade spektara snimljenih nezavisno direktnom metodom u LSC.

Benzini su općenito manje obojeni te imaju više vrijednosti SQP nego plinska ulja. Vrijednosti SQP izmjerene na IRB i IJS se dobro slažu, a veća odstupanja su opažena za plinska ulja nakon duže pohrane u laboratoriju. Oba laboratorija odredila su iste uzorke kao fosilne (br. 4 i 6, Tablica 1), a i udio biokomponente je usporediv.

ZAKLJUČAK

Određivanje udjela biogene komponente u tekućim gorivima moguće je direktnim mjerenjem sadržaja ^{14}C tekućinskim scintilacijskim brojačem.

Tehnika obrade rezultata razvijena na IRB daje rezultate usporedive s drugačijom tehnikom korištenom na IJS. Donja granica detekcije je oko 0,5 % biogene komponente, a tehnika se može primijeniti na sve vrste goriva bez obzira na fosilnu matricu i vrstu biogenog aditiva.

Tablica 1. Usporedba udjela biogene komponente u raznim vrstama goriva izmjerene primjenom dviju tehnika direktnog mjerenja ^{14}C na IRB i IJS

br.	vrsta goriva	IRB		IJS	
		SQP	f_{bio} (%)	**SQP**	f_{bio} (%)
1	plinska ulja	636,3	8,2 ± 0,8	657,3	7 (nominalno)
2		716,9	2,2 ± 0,3	742,4	1,73 ± 0,10
3		758,3	5,8 ± 0,3	771,8	5,17 ± 0,26
4		885,8	0 (< 0,5)	880,3	0,5 ± 0,3 (< 0,52)
5		776,8	0,64 ± 0,30	776,2	0,62 ± 0,37
6	benzini	841,6	0,1 ± 0,1 (< 0,5)	838,9	0,26 ± 0,19 (< 0,57)
7		790,7	3,1 ± 0,2	790,6	5,22 ± 0,57
8		823,4	3,4 ± 0,2	828,4	4,44 ± 0,43

LITERATURA

[1] Dijs IJ, van der Windt E, Kaihola L, van der Borg K. Quantitative determination by ^{14}C analysis of the biological component in fuels. Radiocarbon 2006;48:315-323.

[2] European Commission. Directive of the European Parliament and of the Council 2003/87/EC. Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. Off J Eur Union 2003;L275:32-46.

[3] European Parliament and Council Directive 2009/28/EC. Promotion of the use of energy from renewable sources. Off J Eur Commun 2009;L140:16-62.

[4] ASTM D6866-12 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis. ASTM International. 2012.

[5] Solid Recovered Fuels – Method of the determination of biomass content. European Standard EN 15440:2011

[6] Palstra SWL, Meijer HAJ. Biogenic carbon fraction of biogas and natural gas fuel mixtures determined with ^{14}C. Radiocarbon 2014;56:7-28.

[7] Muir GKP, Hayward S, Tripney BG, Cook GT, Naysmith P, Herbert BMJ, Garnet MH, Wilkinskon M. Determining the biomass fraction of mixed waste fuels: A comparison of existing industry and ^{14}C-based methodologies. waste management 2015;35:293-300.

[8] Krištof R, Kožar Logar J. Direct LSC method for measurements of biofuels in fuel. Talanta 2013;111:183-188.

[9] Idoeta R, Pérez E, Herranz M, Legarda F. Characteristic parameters in the measurement of ^{14}C of biobased diesel fuels by liquid scintillation. Appl Radiat Isotopes 2014;93:110-113.

NEW TECHNIQUE OF DETERMINATION OF BIOGENIC FRACTION IN LIQUID FUELS BY THE ^{14}C METHOD

Ines Krajcar Bronić[1], Jadranka Barešić[1], Nada Horvatinčić[1], Romana Krištof[2] and Jasmina Kožar-Logar[2]
[1]Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Croatia
[2]Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija
krajcar@irb.hr

According to the EU Directive 2009/28/EC all (liquid) fuels have to contain at least 10 % of bio-fuel, i.e., blend of biogenic origin, by 2020. ^{14}C method is the most reliable method of determination of the biogenic fraction in fuels and various measurement techniques can be applied. A technique of direct measurement of the ^{14}C content in liquid fuel is simple and fast but has main disadvantage: different liquid colours cause different quenching and changes in the measurement efficiency.

Here we have described a new technique that uses liquids of different colours to construct modern and background calibration curves, MCC and BCC, respectively, by measuring count rates and SQP values of various modern and fossil liquids. Several types of fossil fuel, pure benzine and benzene (used as ^{14}C-free background for ^{14}C dating) were used for BCC, and various brands of domestic oil (vegetable, sunflower, olive, pumpkin), bioethanol and benzene prepared from modern samples were used MCC construction. The procedure for the unknown sample consists of: 1) measurement of the count rate and the SQP value, 2) calculation of background and modern count rates corresponding to the measured SQP value based on the BCC and MCC curves, respectively, and 3) the ratio of net count rates of the unknown sample and the modern net count rate at the same SQP represents the fraction of the biogenic component in the liquid. All samples should be measured under the same conditions. In our case these are: UltimaGold F scintillator, the ratio sample:scintillator (10 mL:10 mL), low-potassium glass vials of 20 mL volume, spectra recorded by LSC Quantulus and evaluated in the window 124 - 570. Lowest detectable biogenic fraction is 0.5 %. The technique depends neither on the fossil matrix or the biogenic additive types. The results are in good agreement with those obtained by different evaluation technique.

PRIMJENA TEORIJSKOG MODELA LINEARNE KROMATOGRAFIJE U ODREĐIVANJU ČISTIH BETA EMITERA

Marijana Nodilo, Ivana Coha i Gorana Karanović
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
mnodilo@irb.hr

UVOD

Čisti beta emiteri prije određivanja moraju biti izolirani iz uzorka, a razvojem novih kromatografskih smola omogućeno je njihovo selektivno vezanje te odjeljivanje. Cilj je razviti metodu direktnog određivanja radioizotopa u uzorku pomoću automatiziranog sustava separacije na kromatografskoj koloni te detekcije na tekućinskom scintilacijskom brojaču [1,2]. Kromatografska kolona treba poslužiti za kvantitativno vezanje i detekciju ciljanih beta emitera. Da bi se odredili optimalni uvjeti separacije, koji podrazumijevaju upotrebu minimalne količine smole koja će omogućiti kvantitativno vezanje izotopa iz što većeg volumena uzorka u što kraćem vremenu, potrebno je poznavati karakteristike ciljanog kromatografskog odjeljivanja. Svrha ovog rada je prikazati kako je upotrebom teorijskih modela kromatografije i jednostavnih eksperimenata moguće karakterizirati kolonu te predvidjeti optimalne uvjete koji će omogućiti kvantitativno određivanje ciljanih beta emitera.

MATERIJALI I METODE

Glueckauf je na temelju bilance tvari razvio opći matematički model [3] primjenjiv na sve tipove kromatografije. Pretpostavio je kontinuirani protok, trenutačno uspostavljanje lokalne ravnoteže te da je vezanje analita na stacionarnu fazu opisano linearnom izotermom. Posljednja pretpostavka je ispravna za male koncentracije. Uvođenjem izraza za broj teorijskih tavana, N i bezdimenzijskog parametra, M, dobiva se izraz koji ima rješenja za početne i rubne uvjete:

$$\left(\frac{\partial c}{\partial N}\right)_M - \frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 c}{\partial N^2}\right)_M + \left(\frac{\partial c}{\partial M}\right)_N = 0 \qquad (1)$$

gdje je c – koncentracija, mg/cm^3 (mg/mL); M – bezdimenzijski parametar (otopine) koji ovisi o protoku, visini teorijskog tavana te koeficijentu raspodjele (a) na koloni, a ima fizikalno značenje bezdimenzijskog volumena. Početni i rubni uvjeti kojima je rješenje izraz za krivulju prodora [3]:

1. $M = 0, N > 0; c = 0$
2. $N = 0, M > 0; c = c_0$

gdje je c_0 početna koncentracija otopine. Ukoliko je $N > 3$, rješenje glasi:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} - A_\varepsilon\left(\frac{N-M}{\sqrt{M}}\right);\ A_\varepsilon(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}}dz \qquad (2)$$

Relacija (2) omogućava izračun broja teorijskih tavana i koeficijenta raspodjele na koloni ako pretpostavimo: $N = M$; $c = \frac{1}{2}c_0$;

$$\bar{v} = a \cdot X \qquad (3)$$

gdje je: $\bar{v}$ – volumen sredine krivulje prodora; X – ukupni volumen izmjenjivača na koloni. Ako je: $\left(\frac{N-M}{\sqrt{M}}\right) = 1$, slijedi $\frac{C}{C_0} = 0{,}1587$. Tada je v' volumen kad je $\frac{C}{C_0} = 0{,}1587$. Tako je izraz za broj teorijskih tavana:

$$N = \frac{\bar{v}\cdot v'}{(\bar{v}-v')^2} \qquad (4)$$

Parametri modela mogu se upotrijebiti za procjenu optimalnih dimenzija kromatografske kolone i optimalnih radnih uvjeta za izolaciju radioizotopa na kromatografskoj koloni zadanih svojstava. U radu su korištene kromatografske kolone punjene visokospecifičnim smolama za izolaciju stroncija iz uzoraka, Sr resin (Eichrom, SAD) i SuperLig 620 (IBC Technologies, SAD). Snimane su krivulje prodora (Tablica 1) modelnih otopina propuštanjem određene koncentracije ciljanog elementa u odgovarajućoj otopini dok koncentracija u određenoj frakciji nije postala jednaka početnoj koncentraciji. Početna koncentracija, kao i koncentracije u pojedinim frakcijama, određivane su pomoću atomskog apsorpcijskog spektrometra (AAS) kalibracijom u tri točke sa standardnim otopinama.

Iz Glueckaufovog rješenja za krivulju prodora (2) izračunato je $z = \frac{N-M}{\sqrt{M}} = \frac{N-\frac{VN}{aX}}{\sqrt{\frac{VN}{aX}}}$ gdje je V – volumen eluirane otopine, cm^3 (mL); tako da izraz za izračun krivulje prodora glasi:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2}\left|1 - erf\left(\frac{z}{2}\right)\right| \qquad (5)$$

Tablica 1. Odabrane eksperimentalne krivulje prikazane na Slici 1

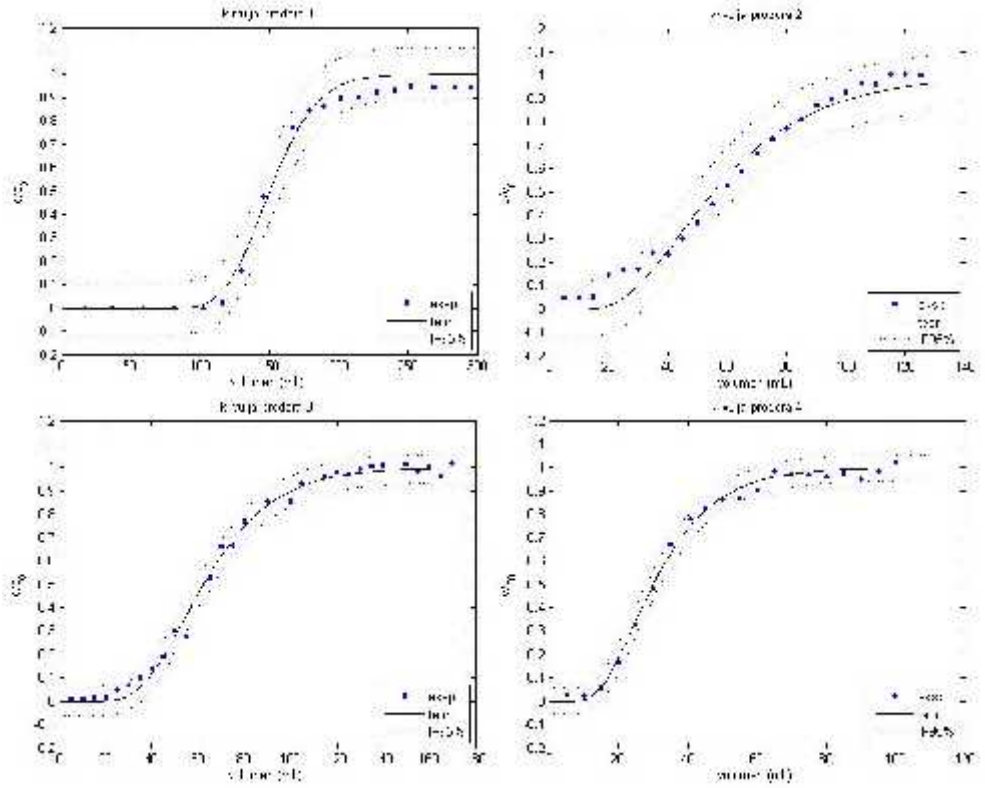
Krivulja	**Eksperiment**	**Smola;** *m* **(smola)**	***h* (smola)** (cm)	***d* (kolona)** (cm)	***V*/*t*** (mL/min)
1.	14,6 mg/L Sr; 0,5 mol/L HNO_3	SuperLig 620; 0,2 g	2,0	0,3	5,1
2.	5,94 mg/L Sr; 1000 mg/L Ca; 5 mol/L HNO_3	Sr resin; 0,5 g	2,2	1,1	3,5
3.	8,88 mg/L Sr; 5 mol/L HNO_3	Sr resin; 0,5 g	2,1	1,1	3,5
4.	9,85 mg/L Sr; 1,5 mol/L HNO_3	Sr resin; 0,28 g	4,0	0,4	1,0

Izraz (5) je upotrijebljen za izračun teorijskih krivulja tako što su X i V određeni tijekom eksperimenta, a a i N izračunati iz eksperimentalnih krivulja prema izrazima (3) i (4). Svi proračuni i grafička rješenja izvedeni su u softverskom paketu *MATLAB 7.11.0 (R2010b)* i *7.13.0 (R2011b)*. Pogreške parametara prema teorijskoj krivulji i interval pouzdanosti (95 %) određeni su pomoću alata *„Curve Fitting Tool"*.

REZULTATI I RASPRAVA

Na Slici 1 prikazane su eksperimentalno određene i teorijski izračunate krivulje prodora. Dobiveni rezultati pokazuju odstupanje (eng. *bias*) u gornjim dijelovima krivulje. Odstupanje je uglavnom posljedica nemogućnosti vrlo točnog određivanja (nesigurnost < 0,5 %) vrlo malih razlika u promjeni koncentracije koje se javljaju kao posljedica niske efikasnosti kolone (N < 100). Navedeno se najbolje vidi po dobivenim odstupanjima između krivulje dobivene sa Superligom (N = 49) i ostalih krivulja (N < 10). Postoji mogućnost i utjecaja efekata koje model ne predviđa.

Procjena parametara kolone, interval pouzdanosti, masa vezanog stroncija, odstupanja eksperimentalnih od teorijskih rezultata (E) te razlika mase vezanog stroncija za $\frac{c}{c_0} = 0{,}5$ u odnosu na $\frac{c}{c_0} = 1$ prikazani su u Tablici 2.



Slika 1. Krivulje 1 - 4 (detalji u Tablici 1). Prikazane su eksperimentalno određene točke, teorijska krivulja i interval pouzdanosti od 95 %

Iz rezultata (Tablica 2) se vidi da je podudaranje eksperimentalno određene mase vezanog stroncija i mase izračunate iz modela jako dobro za kolonu s većom efikasnosti ($N = 30$). Određena odstupanja javljaju se kod kolona s nižom efikasnosti ($N < 10$). Spomenuta odstupanja su veća za $\frac{c}{c_0} = 0{,}5$ u odnosu na $\frac{c}{c_0} = 1$. Navedena odstupanja vjerojatno su posljedica eksperimentalne pogreške u kombinaciji s pogreškom procjene parametara kolone. Kako je aktivnost proporcionalna koncentraciji, pogreška određivanja aktivnosti vezana je za točnost procjene (parametara) krivulje prodora pomoću teorijskog modela. Efikasnost izolacije (iskorištenje) kod automatiziranog postupka se procjenjuje računski pa se s povećanjem broja teorijskih tavana povećava točnost procjene iskorištenja te smanjuje pogreška određivanja.

Tablica 2. Modelom procijenjeni parametri te usporedba masa

Krivulja	Početne pretpostavke	Procjena parametara	m^*_{teor}, m^*_{eksp}, mg E, %	m^{**}_{teor}; m^{**}_{eksp}, mg E, %	E_1, %
1.	N = 49 (0–∞); a = 1062 (0–∞)	N = 31,94 (18,44 – 45,44); a = 1064 (1033 – 1096)	2,02 2,01 0,5	2,16 2,17 0,5	6,5 7,4
2.	N = 3,8 (0–∞); a = 27,8 (0–∞)	N = 4,306 (3,087 – 5,524); a = 26,36 (25,12 – 27,6)	0,251 0,244 2,9	0,335 0,328 2,1	25,1 25,6
3.	N = 5,2 (0–∞); a = 32,7 (0–∞)	N = 7,095 (5,904 – 8,285); a = 31,36 (30,65 – 32,07)	0,455 0,404 12,6	0,549 0,570 3,7	17,1 29,1
4.	N = 6 (0–∞); a = 60 (0–∞)	N = 4,864 (4,000 – 5,729); a = 60,19 (58,43 – 61,94)	0,228 0,285 20,0	0,277 0,307 9,8	17,7 7,2

*, ** masa vezanog stroncija: * na polovici krivulje, $\frac{C}{C_0} = 0{,}5$; ** u točki zasićenja

ZAKLJUČAK

Teorijski model linearne kromatografije može se primijeniti za procjenu mase vezanog izotopa za kolone veće efikasnosti ($N > 10$) uz uvjet da su zadovoljene sve pretpostavke koje model zahtijeva. Da bi se model mogao primijeniti u praksi za određivanje efikasnosti izolacije, potrebno je imati na raspolaganju točne eksperimentalne podatke za procjenu parametara modela.

LITERATURA

[1] Handbook of Radioactivity Analysis. ed. L'Annunziata MF. 3rd edition. Amsterdam, Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-384873-4

[2] Egorov OB, O`Hara MJ, Grate JW, Equilibration based pre-concentration mini-column sensor analysis for the determination of low level concentration of some elements and radionuclides in water. Anal Chem 2006;78:5480-7.

[3] Glueckauf E. Theory of chromatography 9. The theoretical plate concept in column separation. Trans Farad Soc 1955;51:34-44.

LINEAR CHROMATOGRAPHY THEORETICAL MODEL APPLICATION IN DETERMINATION OF PURE BETA EMITTERS

Marijana Nodilo, Ivana Coha and Gorana Karanović
Ruđer Bošković Institute, Bijenička c. 54, 10 000 Zagreb, Croatia
mnodilo@irb.hr

Pure beta emitters have to be isolated from a sample before determination. New chromatographic resins development enabled selective binding and separation. A chromatography column should be used for target beta emitters' quantitative binding and detection. Knowing chromatography separation characteristics is required. Optimal separation conditions imply use of minimal amount of resin able to quantitatively bind an isotope from bulky sample in a minimal amount of time. Utilising chromatography theoretical models and simple experiments, it is possible to characterize a column. Furthermore, one can predict optimal conditions which could enable quantitative determination. This paper demonstrates how a linear chromatography model could be used for column parameter and strontium isolation efficiency estimation. Breakthrough curves were experimentally determined. $\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} - A_\varepsilon\left(\frac{N-M}{\sqrt{M}}\right)$ is used for a breakthrough calculation. Calculations were performed by software package *MATLAB 7.11.0 (R2010b)* and *7.13.0 (R2011b)*. Parameters errors by theoretical curve and reliability interval were calculated by the *Curve Fitting Tool*. Acquired results indicate deviation between experimental and theoretical results for columns with low efficiency ($N < 10$) and good overlap for column with $N > 10$. A linear chromatography theoretical model could be used for estimation of binding isotope mass on column with higher efficiency ($N > 10$) with condition that all assumptions of the theoretical model are fulfilled. It is necessary to have accurate experimental data for model parameters estimation if we want to use model for efficient determination in practice.

OPTIMIZATION OF ^{90}Sr SCREENING METHOD IN WATERS VIA CHERENKOV RADIATION

Ivana Stojković[1], Nataša Todorović[2], Jovana Nikolov[2], Ines Krajcar Bronić[3], Damir Borković[3], Jadranka Barešić[3] and Andreja Sironić[3]
[1]Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
[2]Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
Novi Sad, Serbia
[3]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
ivana_st@uns.ac.rs

INTRODUCTION

Radiostrontium (^{90}Sr), having half-life of 28.8 years, is a product of nuclear fission and is present in spent nuclear fuel and in radioactive waste from nuclear reactors, as well as in fallout from nuclear weapon tests and nuclear accidents. Conventional methods of ^{90}Sr measurement in water are time-consuming and require sophisticated radiochemical separation techniques followed by gas proportional or liquid scintillation counting [e.g. 1-3]. Here we present optimization and validation of a simple method for ^{90}Sr screening in water via Cherenkov radiation detected by a liquid scintillation counter [3-5].

The ^{90}Sr beta spectrum has a maximum energy of 546 keV, i.e. well above the Cherenkov threshold in pure water (263 keV). More realistic is the Cherenkov counting of ^{90}Sr daughter, the ^{90}Y beta spectrum, which has a maximum energy of 2283 keV. ^{90}Y has a half-life of 64.1 h, thus, this pair is in secular equilibrium in environmental samples [3,4].

EXPERIMENTAL

Two laboratories participated in this study: Laboratory for low radioactivity at the Department of Physics, University of Novi Sad (UNS), Serbia, and Laboratory for measurement of low-level radioactivities of the Ruđer Bošković Institute (RBI) in Zagreb, Croatia. Each laboratory prepared independently calibration solutions and determined measuring conditions.

A standard radioactive source (aqueous ^{90}Sr/^{90}Y solution) of certified activity $A(^{90}\mathrm{Sr}) = 38.18$ Bq mL^{-1} with combined standard uncertainty 0.5 %, reference date 1/10/2013, produced by the Czech Metrology Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation, was used for instrument's calibration.

Several solutions were prepared by adding between 10 µL and 500 µL of the certified activity to 20 mL of distilled (at RBI: ultra pure) water in different types of vials: plastic (Super PE vial Cat.No. 6008117), glass (High Performance Glass Vial, Cat.No. 6001009) and low-potassium glass vial (High Performance Glass Vial, Cat.No. 6000134) at UNS and plastic vials at RBI (Super low diffusion PE vial, Cat.No. 1200-422).

Measurements were performed using the same type of the counter, Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer Quantulus 1220™ (Wallac Oy, PerkinElmer, Finland). The spectra were acquired and evaluated by WinQ and EASYView software in both laboratories.

Strontium activity concentration A (in Bq L^{-1}) was computed as:

$$A = \frac{R_s - R_b}{\varepsilon V} \quad (1)$$

where R_s and R_b are sample and background count rates, respectively, V is the original sample volume analyzed, and ε is the counting efficiency.

Detection limit DL was determined by using the uncertainty of the background count rate $\sigma(R_b)$ [3]:

$$DL = 3.29 \frac{\sigma(R_b)\sqrt{2}}{\varepsilon V} \quad (2)$$

RESULTS

The obtained spectra of several calibration solutions are shown in Figure 1. Background spectrum did not exhibit any structure in the region of $^{90}Sr/^{90}Y$ spectra. Consequently, the channels comprising the whole spectra were chosen for numerical data acquisition: channels in the regions 130 - 430 and 100 - 500 were chosen at UNS and RBI, respectively (Table 1).

Calibration curves were obtained by comparison of measured count rates of prepared solutions of the certified standard and the activity added to water (Figure 2). The measurement efficiency ε was determined as the slope of the fitted line (linear fit with intercept set to 0). Determined measured efficiencies, background count rates and detection limit DL for different types of vials are presented in Table 1. Plastic vials give higher efficiency and lower background count rate than glass vials. It should be noted that different plastic vials used at UNS and RBI give slightly different values, indicating that one should carefully check the performances of vials used.

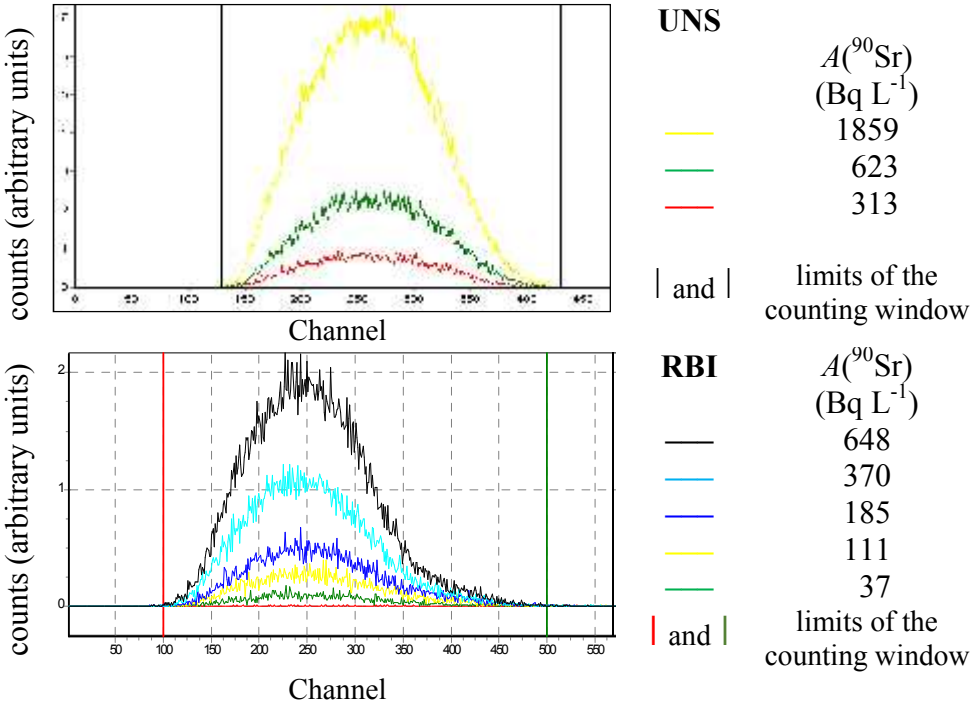


Figure 1. Spectra generated by Cherenkov radiation from ^{90}Sr.

Table 1. Measured efficiencies (ε) in the counting window, background count rates (R_b), and detection limit (DL) for different types of vials.

Type of vial	**Window** (ch)	**Efficiency** ε (%)	R_b (s^{-1})	***DL*** (Bq L^{-1})
Plastic UNS	130 – 430	45.86 ± 0.09	0.008	0.32 (300 min)
Glass	130 – 430	32.45 ± 0.19	0.021	-
Low ^{40}K glass	130 – 430	32.24 ± 0.14	0.014	-
Plastic RBI	100 – 500	37.7 ± 0.3	0.006	0.34 (300 min)

INTERCOMPARISON

Five samples with known spiked activity of standard radioactive source ^{90}Sr of certified activity $A(^{90}Sr) = 38.18$ Bq mL^{-1} were independently measured at UNS and RBI (Table 2). Measured activities were compared with the spiked activity values by means of the z-score values

$$z = \frac{A - A_{sp}}{\sigma} \qquad (3)$$

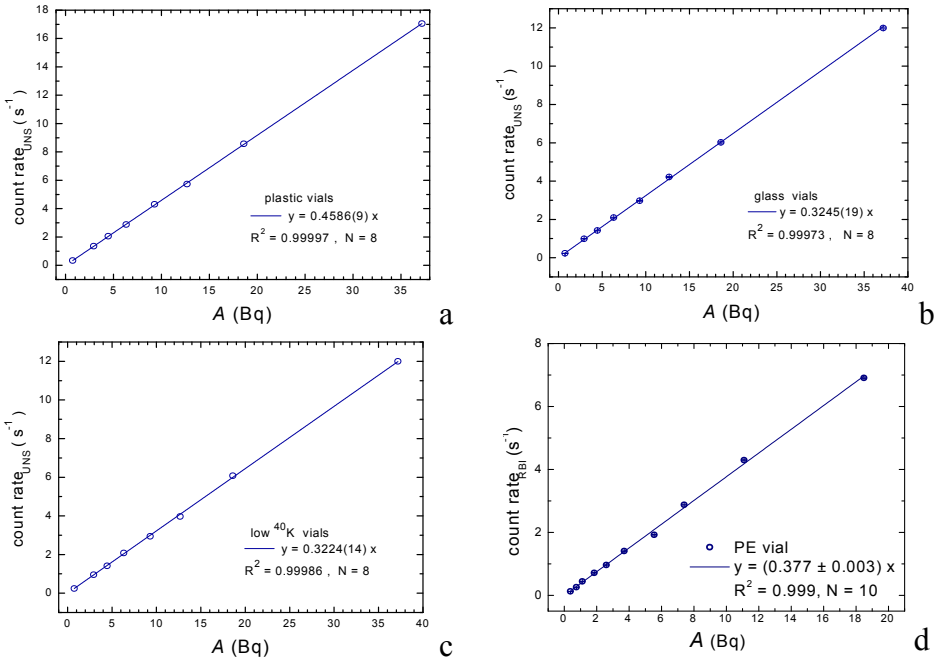


Figure 2. Calibration of ^{90}Sr measurements in water, V = 20 mL: a) plastic vials, UNS, b) high-performance glass vials, UNS, c) low-potassium glass vials, UNS, d) plastic vials (Super low diffusion PE vial), RBI.

where A_{sp} is the spiked activity, and A is the measured activity and σ the measurement uncertainty determined at either the UNS or the RBI.

Table 2. Results of the interlaboratory comparison of spiked samples

Sample No.	A_{sp} (Bq L^{-1})	**UNS results**		**IRB results**	
		A (Bq L^{-1})	z	A (Bq L^{-1})	z
1	37.19	38.5 ± 0.6	1.96	37.8 ± 0.6	0.93
2	74.38	76.3 ± 2.4	0.80	76.1 ± 1.0	1.74
3	111.57	112.6 ± 1.3	0.77	108.7 ± 1.3	-2.21
4	148.76	149.6 ± 0.5	1.70	150.4 ± 1.7	1.00
5	185.95	187.9 ± 2.4	0.80	184.0 ± 2.0	-0.97

The A(^{90}Sr) values determined in both laboratories did not deviate significantly from the spiked activities, giving the z-scores in the interval [-2,2]. Only one sample at RBI had the z-score higher than 2 but lower than 3. All UNS results had positive z-scores.

Validation of the method at UNS was performed by determination of strontium level in a spiked sample within the IAEA world-wide proficiency test TEL-2014-03. The UNS result (A = 16.8 ± 0.4 Bq L^{-1}) was compared with the IAEA reference value of 14.93 ± 0.14 Bq L^{-1} and was acceptable in terms of accuracy, but not acceptable in terms of precision.

CONCLUSION

A simple method for screening ^{90}Sr activity in water samples has been successfully implemented in two laboratories in Novi Sad and Zagreb. Various types of vials were tested and different efficiencies were obtained indicating the importance of the choice of vials. Better performances (higher efficiency, lower background count rate) were obtained for plastic vials than for the glass ones. Detection limit for 300 min long measurements in plastic vials is 0.32 Bq L^{-1} and 0.34 Bq L^{-1} at UNS and RBI, respectively. The $^{90}Sr/^{90}Y$ Cherenkov radiation measurements of water samples can be used for rapid screening of samples without any pretreatment of the samples.

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support of the Provincial Secretariat for Science and Technology Development of Vojvodina within the project Development and application low-background alpha, beta spectroscopy for investigating of radionuclides in the nature.

REFERENCES

[1] Grahek Ž, Zečević N, Lulić S. Possibility of rapid determination of low-level ^{90}Sr activity by combination of extraction chromatography separation and Cherenkov counting. Anal Chim Acta 1999;399:237-247.

[2] Nodilo M, Karanović G, Grahek Ž. Procjena mjernih nesigurnosti i granica detekcije kod određivanja $^{89,90}Sr$ Čerenkovljevim brojenjem. U: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, ur. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja: 10.-12. travnja 2013; Krk. Zagreb: HDZZ, 2011. str. 489-494.

[3] Stamoulis KC, Ioannides KG, Karamanis DT, Patiris DC. Rapid screening of ^{90}Sr activity in water and milk samples using Cherenkov radiation, J Environ Radioact 2007;93:144-156.

[4] Manjon G, Absi A, Gomez E, Vaca F, Garcia-Leon M. Efficiency and background in Cerenkov counting affected by color quenching: An optical study. In: LSC 2001, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. 2002. p.93-97.

[5] Vaca F, Manjon G, Garcia-Leon M. Efficiency calibration of a liquid scintillation counter for ^{90}Y Cherenkov counting. Nucl Instrum Meth Phys Res A 1998;406:267-275.

OPTIMIZATION OF ^{90}Sr SCREENING METHOD IN WATERS VIA CHERENKOV RADIATION

Ivana Stojković[1], Nataša Todorović[2], Jovana Nikolov[2], Ines Krajcar Bronić[3], Damir Borković[3], Jadranka Barešić[3] and Andreja Sironić[3]
[1]Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
[2]Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
Novi Sad, Serbia
[3]Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
ivana_st@uns.ac.rs

Rapid screening of strontium activity in waters via Cherenkov radiation detection by ultra-low-level liquid scintillation counter Quantulus 1220 was established in two laboratories, Laboratory for low radioactivity of the Department of Physics, University of Novi Sad, Serbia (UNS) and Laboratory for measurements of low-level radioactivities at the Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia (RBI). Optimization of the method comprises choice of an appropriate vial type, selection of optimal spectral window, determination of the counting efficiency in various vials, evaluation of the influence of vial on efficiency and background.

The efficiency of the measurement of $A(^{90}\mathrm{Sr})$ in plastic vials is 45.6 % and 37.3 % at UNS and RBI, respectively, while in glass vials it is lower (~32 %). Background count rate is lower in plastic than in glass vials, resulting in better counting properties of the plastic vials. The achieved minimum detectable activity for a total counting time of 300 min was 0.32 Bq L^{-1} in plastic vials at UNS and 0.34 Bq L^{-1} at RBI.

Validation of the method was performed by determination of strontium level in spiked samples within interlaboratory comparison measurements. The $A(^{90}\mathrm{Sr})$ values determined in both laboratories did not deviate significantly from the spiked activities, giving the *z*-scores in the interval [-2, 2]. Only one sample at RBI had the *z*-score higher than 2 but lower than 3. All results from UNS had positive *z*-score values, including the sample measured within the IAEA proficiency test.

The ^{90}Sr/^{90}Y Cherenkov radiation measurements of water samples can be successfully used for rapid screening of samples without any pretreatment of the samples.

^{222}Rn DETERMINATION IN DRINKING WATERS - RAD7 AND LSC TECHNIQUE COMPARISON

Nataša Todorović[1], Ivana Stojković[2], Jovana Nikolov[1] and Branislava Tenjović[3]
[1]Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
[2]Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
[3]Department of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
Novi Sad, Serbia
natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Several direct and indirect techniques have been used for radon-in-water determinations: ionization chambers, solid scintillation counting and liquid scintillation counting (LSC). Liquid scintillation counter equipped with an alpha/beta discriminator allows a rapid and simple determination of ^{222}Rn in water samples [1]. In this study ^{222}Rn activities of drinking water samples have been determined and compared by two different methods, LSC and RAD7.

EXPERIMENTAL

For radon determination in drinking water from groundwater and surface water sources by LSC, the EPA Method 913.0 [2] was used. According to EPA Method 913.0 [2], for calibration and standardization the Radium Solution Method was used, where standard of 100 mL ^{226}Ra in water was prepared such that the final activity was approximately 1.3 kBq L^{-1}. A standard radioactive source activity (aqueous solution of ^{226}Ra) produced by the Czech Metrology Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation, was used for instrument's calibration, certified activity A(^{226}Ra) = 37.472 Bq mL^{-1} with combined standard uncertainty 0.5 %, reference date 1/10/2013. According to this single phase method, 10 mL of the diluted standard was transferred into the 20 mL scintillation vial (20 mL high performance glass vials, Perkin Elmer), to which has been added 10 mL of miscible scintillation cocktail OptiPhase HiSafe 3. The background samples were prepared using 10 mL of distillated water. The standards and background samples were set aside for a 30 days to allow radon to attain secular equilibrium. Radon diffused from the sample into scintillation cocktail for which it has a much greater

affinity than for water. The standards were counted for 50 minutes in a liquid scintillation counter Quantulus 1220 equipped with PSA circuit for energy discrimination for alpha particles in order to determine calibration factor *CF*. For radon determination in drinking waters, 10 mL of water sample was pipetted into a glass scintillation vial to which it had been added 10 mL of scintillation cocktail. The samples were shaken and set aside in the dark for at least three hours to equilibrate the radon progeny and dark adapt before counting. Verification of results obtained by the standard EPA Method 913.0 was done with set of standard referential ^{226}Ra sources.

For optimal window selection, radon standard of 1.28 Bq mL^{-1} activity was prepared and counted for 5 minutes. The region of greatest alpha activity is the region defined by two large peaks at the high end of the energy spectrum. The optimal window was formed by extending the region by 10 % on each side of the alpha peaks, and set to the channel interval 420 – 780. The spectra were acquired by WinQ and analyzed by Easy View software by Perkin Elmer.

Calibration factor *CF* [min^{-1} Bq^{-1}] which represents counting efficiency for ^{226}Ra was calculated using the following formula:

$$CF = \frac{S-B}{C \cdot V}\ , \tag{1}$$

where *S* [min^{-1}] is the count rate of standard, *B* [min^{-1}] is background count rate, *C* [Bq L^{-1}] is the concentration of ^{226}Ra standard and *V* [l] is the volume of the standard used.

Activity of ^{222}Rn in the water sample *A* [Bq L^{-1}] and 2σ uncertainty (95 % CI) were obtained using equations:

$$A(^{222}Rn) = \frac{G-B}{CFDV}\ ,\quad 2\sigma = \frac{2\left[\frac{G}{T_G}+\frac{B}{T_B}\right]^{1/2}}{CFDV}\ , \tag{2}$$

where *G* [min^{-1}] is the gross count rate of the sample, $D = \exp\left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t\right]$ is decay correction factor for ^{222}Rn calculated for t, time between the collection and midpoint of counting period, $T_{1/2}$(^{222}Rn) = 3.824 days, and *V* [l] is the volume of the sample. T_B and T_G are duration of the background and sample counting [min]. The minimum detectable activity (*MDA*) [Bq l^{-1}] was evaluated using the following formula:

$$MDA = \frac{283}{CFDV}\left[\frac{\overline{B}}{T_B}\right]. \tag{3}$$

The minimum detectable activity (MDA) achieved for different periods of measuring time according to expression (3) was calculated to be approximately 0.029 Bq L^{-1} for total counting time of 300 minutes.

For radon determination by RAD7 detector, the samples were collected using the techniques proposed by the manufacturer [3]. In the measurement, a 250 ml vial was taken for radon concentration lower than 100 Bq L^{-1}. If expected radon concentrations are higher than 100 Bq L^{-1}, a 40 ml vial should be used. Factors that affect the measurement accuracy and precision of RAD7 radon detector are the sampling technique, sample concentration, sample size, counting time, temperature, relative humidity and background effects [3]. A relative humidity showed the greatest impact on measurement error in the presented results, since it reduces the efficiency of collection of the ^{218}Po atoms formed when radon decays inside the chamber. For accurate readings, the RAD7 should be dried out thoroughly before making the measurement, so that the relative humidity inside the instrument could stay below 10 % for the entire measurement of 30 min. The most significant background effect in the RAD-H_2O are counts from radon daughters and traces of radon left after previous measurements, especially after very active ^{222}Rn sample measurement.

For background determination, a water sample containing no radon (the distilled water sample, left closed and undisturbed for more than 4 weeks was used as a radon-free sample) was measured. The background sample was measured several times using the same protocol. The relative humidity during measurements was less than 8 %. The minimal detectable activity (MDA) was found to be 0.1 Bq L^{-1}. It is possible to achieve a background this low if all radon and its progeny were completely eliminated from the system before measurement [3].

The radon content of the water, at the time of the analysis, is the mean value shown in the printout. This value takes into account the calibration of the RAD7, the size of the sample vial and the total volume of the closed air loop, as set up [3]. If a sample is analyzed at a later time (rather than immediately), the sample's radon concentration will decline due to the radioactive decay. It is necessary to correct the result for the sample's decay from the time the sample was drawn to the time the sample was counted [3].

RESULTS AND DISCUSSION

Results of ^{222}Rn activity measurements by LSC technique were obtained with the following variables: B=0.326 cpm, T_B = 300 min, T_G = 50

min, *CF* = (252.2 ± 2.7) cpm Bq^{-1}, PSA = 68, OptiPhase HiSafe 3 cocktail used. Measurements on RAD7 detector were done using Wat 250 protocol (average radon concentration was obtained from four 5 min cycles of measurement), while keeping humidity < 8 %.

From obtained results of ^{222}Rn measurements in 15 water samples with different ^{222}Rn activity, correlation between the two techniques applied for measurements of ^{222}Rn in water samples (A < 400 Bql^{-1}) could be determined (Figure 1). There is reasonable agreement (within statistical uncertainties) between the various techniques in most cases, while disagreements most likely come from systematic uncertainties associated with sampling procedures. Discrepancy in determined activities between the two techniques becomes more evident with increased ^{222}Rn activities in water.

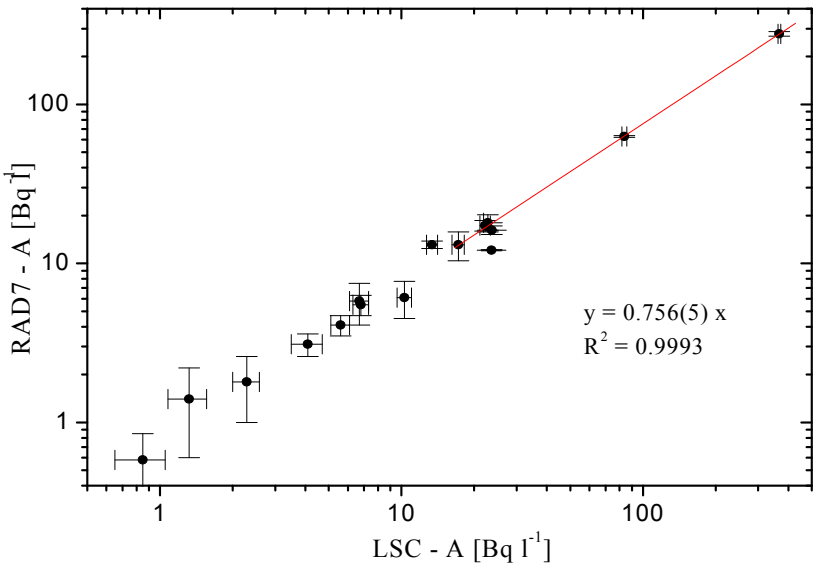


Figure 1. Correlation between two techniques applied for measurements of ^{222}Rn in water samples (A < 400 Bq L^{-1}) on log-log scale. The solid line represents linear fit (least-squares minimization procedure)

From the slope (y = 0.756 x) (Figure 1) it can be concluded that LSC technique gives in general higher activity concentrations for about 30 % than RAD7 spectrometer. The interpretation of shown results could be that RAD7 is not properly calibrated for higher activities, since the USA reference level of ^{222}Rn concentrations in water is only 11.1 Bq L^{-1} [4]. RAD7 RAD H2O manual [3] also provided the comparison between RAD

H2O and LSC method. In experiments presented in this paper, Quantulus achieved for two orders of magnitude lower background (0.326 cpm) than in [3] and LLD=0.029 Bq L^{-1} for 300 min counting time which is one order of magnitude lower than in [3].

CONCLUSION

Ultra - low level LS counting coupled to alpha-beta discrimination allows rapid and simple simultaneous determination of gross alpha and beta activities and therefore it can be applied to ^{222}Rn activity determination in waters. Radon diffusion from the sample into scintillator cocktail for which it has a much greater affinity than for water ensures good efficiency collection. PSA parameter must be fixed while *CF* determination and sample counting, in which case PSA value itself will not influence ^{222}Rn determination. A minimum detectable activity of 0.029 Bq L^{-1} in 10 mL of water sample has been achieved in glass vials during 300 minutes of measurement time.

Calibration coefficient from the LSC and RAD7 measurements from Figure 1 ($y = 0.756\ x$) indicates that LSC technique gives in general higher activity concentrations for about 30 % than RAD7 spectrometer. Some of the measurements might be associated with systematic uncertainties most likely associated with sampling.

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support of the Provincial Secretariat for Science and Technology Development within the project Development and application low-background alpha, beta spectroscopy for investigating of radionuclides in the nature.

REFERENCES

[1] Jowzaee S**.** Determination of selected natural radionuclide concentration in the southwestern Caspian groundwater using liquid scintillation counting. Radiat Prot Dosim 2013;157:234-241.

[2] EPA Method 913.0 – Determination of Radon in Drinking Water by Liquid Scintillation Counting. Radioanalysis Branch, Nuclear Radiation Assessment Division, Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada 89119

[3] RAD7 RAD H2O, Radon in Water Accessory, DURRIDGE Co.

[4] US EPA, Proposed Radon in Drinking Water Regulation. http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/radon/regulations.cfm#ProposedRegulations .

^{222}Rn DETERMINATION IN DRINKING WATERS - RAD7 AND LSC TECHNIQUE COMPARISON

Nataša Todorović[1], Ivana Stojković[2], Jovana Nikolov[1] and Branislava Tenjović[3]
[1]Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
[2]Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
[3]Department of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Novi Sad
Novi Sad, Serbia
natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

A procedure for the determination of ^{222}Rn in environmental water samples using liquid scintillation counting (LSC) was applied and optimized. For radon determination in drinking water from groundwater and surface water sources by LSC, the EPA Method 913.0 was used. A minimum detectable activity of 0.029 Bq L^{-1} in a 20 mL glass vial (10 mL water sample mixed with 10 mL of liquid scintillation cocktail) has been achieved during 300 minutes of measurement time. The procedure was compared with RAD7 radon detector measurements. Factors that affect the measurement accuracy and precision of RAD7 radon detector are the sampling technique, sample concentration, sample size, counting time, temperature, relative humidity and background effects. The minimal detectable activity (MDA) for RAD7 technique was found to be 0.1 Bq L^{-1}.

From obtained results of ^{222}Rn measurements in 15 water samples with different ^{222}Rn activities, correlation between the two techniques applied for measurements of ^{222}Rn in water samples (A < 400 Bq L^{-1}) was determined. There is reasonable agreement (within statistical uncertainties) between the various techniques in most cases, while disagreements most likely come from systematic uncertainties associated with sampling procedures. Discrepancy in determined activities between the two techniques becomes more evident with increased ^{222}Rn activities in water.

LSC technique gives in general higher activity concentrations for about 30 % than RAD7 spectrometer. The interpretation of shown results could be that RAD7 is not properly calibrated for higher activities, since USA reference level of ^{222}Rn concentrations in water is only 11.1 Bq L^{-1} (US EPA, Proposed Radon in Drinking Water Regulation).

QA/QC FOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENT WITH CHARCOAL CANISTER

Gordana Pantelić, Miloš Živanović, Milica Rajačić, Jelena Krneta Nikolić and Dragana Todorović
Institute for Nuclear Sciences Vinča, University of Belgrade
Belgrade, Serbia
pantelic@vinca.rs

INTRODUCTION

The EPA recommends a two-step measurement strategy for assessing radon levels in homes [1]. The first step is an inexpensive screening measurement with charcoal canister to determine whether a house has a potential for causing high exposures to its occupants. If the obtained result is higher than 150 Bq/m^3, then EPA recommends the follow-up integrated measurements in several areas of the house.

The primary concern of any measurement of radon or radon progeny must be the quality of the results. A good quality assurance program, when properly designed and diligently followed, ensures that laboratory staff will be able to produce the type and quality of measurement results which is needed and expected.

An effective quality control (QC) and quality assurance (QA) program is necessary to maintain high quality of results. QC ought to be planned, described in the QC documentation, performed in a systematic manner, recorded and reviewed. To reduce the fraction of results that has to be rejected, QC must be embedded into an overall systematic approach to avoid mistakes *before* they are made, and this is commonly referred to as "quality assurance" [1, 2].

QA/QC activities are necessary to obtain quantitative information that measurement results have the required precision and are sufficiently free of errors. Planning should identify and define type and frequency of QC, acceptance limits, actions if those limits are exceeded and periodic review of results. Also, an external control can be implemented in a form of various interlaboratory proficiency tests and intercomparisons.

MEASUREMENT METHOD

Active charcoal detectors are used for testing the concentration of radon in dwellings. The method of measurement is based on radon adsorption on coal and measurement of gamma radiation of radon daughters [1,4-5]. Upon closing the detectors, the measurement was carried out after achieving the equilibrium between radon and its daughters (at least 3 hours) using NaI or HPGe detector.

Detectors used for the measurement were calibrated by ^{226}Ra standard of known activity in the same geometry. Standard canister is a sealed canister with the same matrix and geometry as the canisters used for measurements, but with the known activity of radon.

For NaI detectors, it is enough to check detector efficiency and background for satisfactory quality control. Background canister is a regular radon measurement canister, which has never been exposed. One cylindrical sample with known ^{226}Ra activity is used for checking the efficiency of NaI detector. The detector background and detector efficiency are measured to ascertain whether they are within the warning and acceptance limits.

The results of measurements are presented on Shewhart Charts. Points falling between ±2 standard deviations (±2 σ) are considered to be satisfactory, and it is accepted to fix "warning limits" at ±2 σ and action limits at ±3 σ [2]. From the statistical rules it is expected that only 3 cases in 1000 measuring data fall outside the action limits, and only 1 case out of 20 measuring data fall between the action and warning limits. The results exceeding ±3 σ indicate that a problem in measurement of the background (or efficiency) has occurred.

RESULTS

In 2014, we performed QC for the efficiency and the background of NaI detector every week when the radon concentration was measured. The Shewhart Charts for background and efficiency of NaI detector in 2014 are presented in Figure 1.

In the first half of 2014, both parameters were within acceptance limits (between ± 2 σ). However, the detector was not used for three months, and the subsequent measurements (between 2nd July 2014 and 1st September 2014) were within warning levels, at some point even exceeding ±3 σ levels, which indicated that some problem in the measurement occurred. The repeated measurements did not bring any improvements. New calibration of NaI detector was performed and the obtained efficiency was higher than it was at the time of previous calibration (December 2013). It is

unknown what happened with the detector during the summer, and why the performance of the detector was not constant.

After the new calibration was performed, the quality checks were continued in the same manner as before. The Shewhart Charts for background and efficiency of NaI detector in the second half of 2014 are presented in Figure 2. The new results showed that the detector was stable again and all parameters were within acceptance limits (between ± 2 σ).

The results obtained for radon concentration measurement in the period between 2nd July 2014 and 1st September 2014 were calculated with new NaI detector efficiency value.

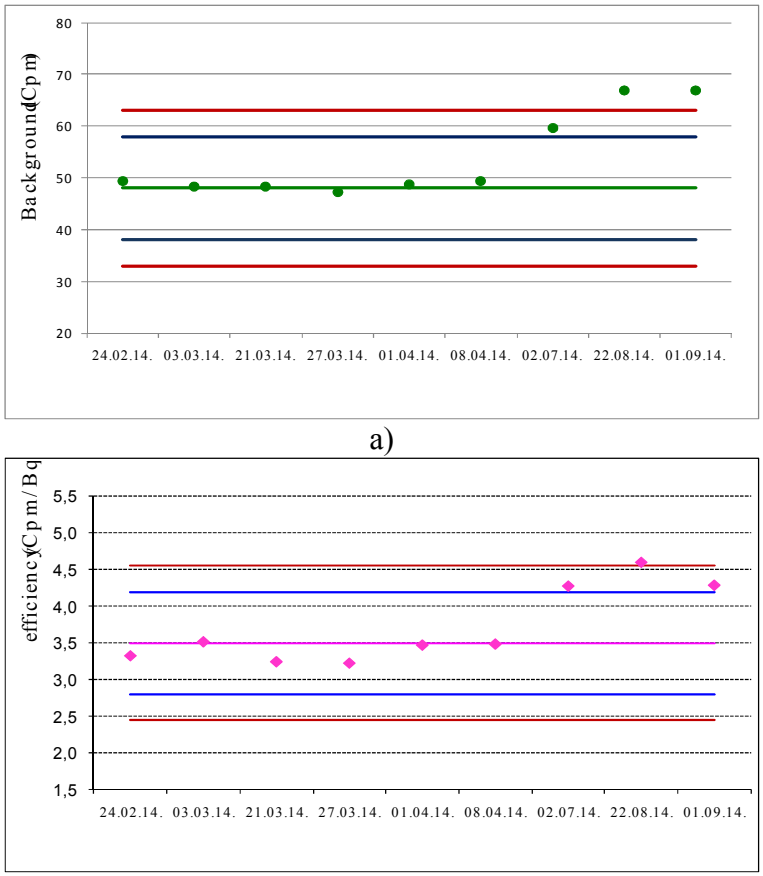


Figure 1. The Shewhart Charts for a) background and b) efficiency of NaI detector in 2014

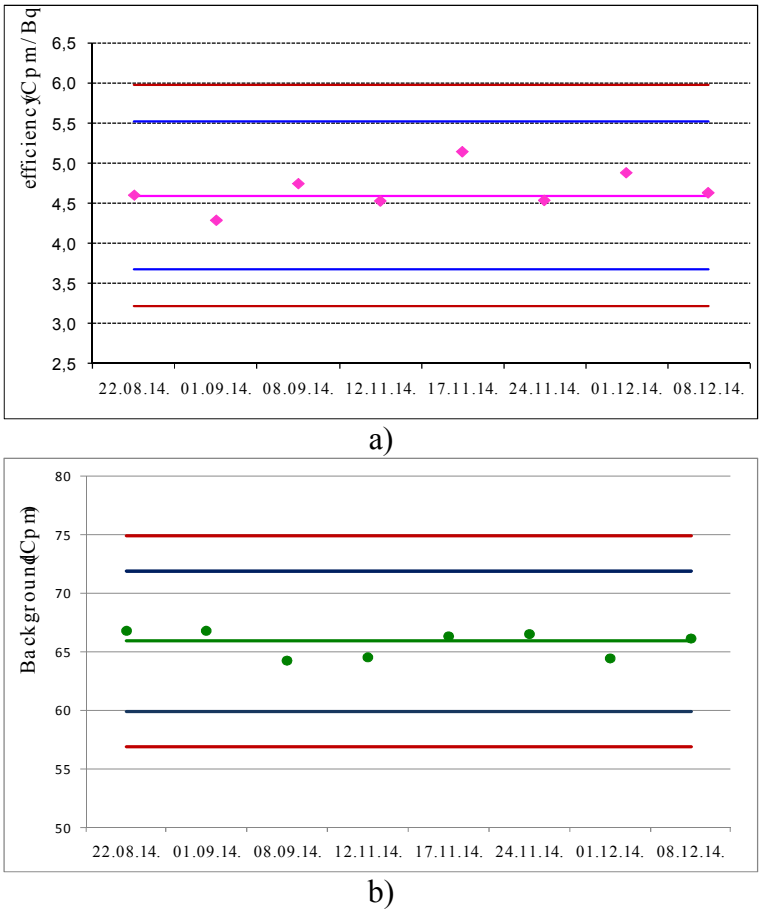


Figure 2. The Shewhart Charts for a) background and b) efficiency of NaI detector after new calibration

CONCLUSION

Our results showed that the information from the quality assessment of measurements have to be used to identify and control sources of error and uncertainties in the measurement process. After noticing that the background and efficiency are higher and at some point exceeding ± 3 σ level on Shewhart Charts, we have performed new calibration of NaI detector. The result of new calibration showed that the efficiency of detector had changed.

Only by monitoring the quality of measurements by checking background and efficiency of NaI detector on regular basis, it is possible to be certain in the accuracy and quality of performed measurements.

Acknowledgement

This paper was realized as a part of the project 43009 financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

[1] Grey DJ, Windham ST, EERF Standard Operating Procedures for Radon-222 Measurement Using Charcoal Canisters, EPA 520/5-87-005, 1987.

[2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Quality system implementation for nuclear analytical techniques. Training course series 24. Vienna: IAEA; 2004.

[3] International Organization for Standardization (ISO). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISO/IEC 17025. Geneva: ISO; 2006.

[4] Pantelić G, Živanović M, Eremić Savković M, Forkapić S. Radon concentration intercomparison in Serbia. In: Knežević Ž, Majer M, Krajcar Bronić I, eds. Proceedings of the Ninth symposium of the Croatian Radiation Protection Association; 10-12 April 2013. Krk, Croatia. ISBN 978-953-96133-8-7; Zagreb: CRPA; 2013. pp.193-198.

[5] Pantelić G, Eremić Savković M, Živanović M, Nikolić J, Rajačić M, Todorović D. Uncertainty evaluation in radon concentration measurement using charcoal canister. Appl Radiat Isotopes 2014;87:452-455.

QA/QC FOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENT WITH CHARCOAL CANISTER

Gordana Pantelić, Miloš Živanović, Milica Rajačić, Jelena Krneta Nikolić, Dragana Todorović
Institute for Nuclear Sciences Vinča, University of Belgrade
Belgrade, Serbia
pantelic@vinca.rs

The primary concern of any measuring of radon or radon progeny must be the quality of the results. A good quality assurance program, when properly designed and diligently followed, ensures that laboratory staff will be able to produce the type and quality of measurement results which is needed and expected.

Active charcoal detectors are used for testing the concentration of radon in dwellings. The method of measurement is based on radon adsorption on coal and measurement of gamma radiation of radon daughters. Upon closing the detectors, the measurement was carried out after achieving the equilibrium between radon and its daughters (at least 3 hours) using NaI or HPGe detector. Radon concentrations as well as measurement uncertainties were calculated according to US EPA protocol 520/5-87-005.

Detectors used for the measurements were calibrated by ^{226}Ra standard of known activity in the same geometry. Standard and background canisters are used for QA&QC, as well as for the calibration of the measurement equipment. Standard canister is a sealed canister with the same matrix and geometry as the canisters used for measurements, but with the known activity of radon. Background canister is a regular radon measurement canister, which has never been exposed. The detector background and detector efficiency are measured to ascertain whether they are within the warning and acceptance limits.

REZULTATI LABORATORIJA ZA MJERENJE NISKIH RADIOAKTIVNOSTI (IRB) U MEĐUNARODNIM INTERKOMPARACIJAMA TRIC2012 I SIRI-^{14}C

Ines Krajcar Bronić, Nada Horvatinčić i Jadranka Barešić
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
krajcar@irb.hr

UVOD

Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivnosti Instituta Ruđer Bošković (IRB) u Zagrebu redovito sudjeluje u međunarodnim inter-komparacijama za određivanje koncentracije aktivnosti tricija (^{3}H) u vodama i aktivnosti ^{14}C u raznim vrstama materijala. U ovom radu prikazani su rezultati sudjelovanja u dvjema interkomparacijama, IAEA-TRIC2012 za ^{3}H i SIRI (*Sixth International Radiocarbon Intercomparison*) za ^{14}C.

METODE

Koncentracija aktivnosti (A, nadalje: aktivnost) ^{3}H u vodama određuje se tehnikom elektrolitičkog obogaćenja vode tricijem i mjerenjem tekućinskim scintilacijskim brojačem (LSC) Quantulus 1220. Scintilacijski koktel sastoji se od 8 mL obogaćene vode i 12 mL scintilatora UltimaGold LLT. Uređaj za elektrolitičko obogaćenje sastoji se od 20 ćelija volumena 500 mL, a prosječni faktor obogaćenja je $E = 23{,}6 \pm 2{,}3$ [1].

Relativna specifična aktivnost ^{14}C ($a^{14}C$, nadalje: aktivnost) uzoraka iz kojih se može izdvojiti 4 g ugljika određuje se radiometrijski tehnikom pripreme benzena i mjerenjem u LSC-u [2]. Za mjerenje aktivnosti ^{14}C u uzorcima znatno manje mase, <100 mg, koristi se tehnika akceleratorske masene spektrometrije (AMS). Iz uzoraka je potrebno pripremiti grafit (1,5 mg) [3], a aktivnost ^{14}C grafitnih meta mjeri se akceleratorskim masenim spektrometrom u University of Atlanta, Georgia, SAD.

INTERKOMPARACIJA TRIC2012

Međunarodnu interkomparaciju TRIC2012 organizirala je Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) krajem 2012. godine, a sinteza rezultata objavljena je u kolovozu 2014. godine [4]. Sudjelovalo je 58 laboratorija, od kojih se u 43 koristila metoda elektrolitičkog obogaćenja i mjerenje u LSC. Laboratoriji su dobili 6 uzoraka (po 500 mL) niskih

aktivnosti ^{3}H (A < 15 TU), koje je trebalo najprije elektrolitički obogatiti. Aktivnost ^{3}H uobičajeno se izražava u tricijevim jedinicama TU (1 TU = 0,118 Bq L^{-1}). Dodatna dva uzorka (po 25 mL) trebalo je izmjeriti bez prethodnog obogaćenja.

U Tablici 1 prikazani su rezultati interkomparacije TRIC2012. Referentna vrijednost A_{IAEA} uspoređena je s IRB rezultatima A_{IRB} tako da se odredila z-vrijednost kao mjera točnosti, $z = (A_{IRB} - A_{IAEA})/\sigma_{IRB}$, gdje je σ_{IRB} mjerna nesigurnost IRB rezultata. Svi uzorci izmjereni na IRB imaju z vrijednosti unutar intervala prolaznosti, $-2 < z < +2$, kao što je bilo i u prethodnoj interkomparaciji TRIC2008 [1]. U analizi rezultata [4] posebno se naglašava važnost točnosti rezultata za uzorke T26 i T27 mjerene direktno u LSC, jer oni ukazuju na kvalitetu mjernih uređaja, mjernih standarda te procedure obrade podataka i procjene mjernih nesigurnosti. Prolaznu ocjenu dobili su laboratoriji kojima je z vrijednost za oba uzorka bila unutar intervala [-2, +2]. Preciznost mjerenja ocijenjena je prihvatljivom ako je vrijednost parametra $p = [\sigma_{IAEA}^{2} + \sigma_{IRB}^{2}]^{1/2} \times 100\%$ niža od ranije definirane vrijednosti *LAP* (*Limit of acceptable precision*) [4]. Za IRB uzorke vrijedi $p < LAP$, osim za uzorak T25, koji nije prihvatljiv glede preciznosti zbog veće mjerne nesigurnosti iako je rezultat točan, $z = 0$.

Tablica 1. Rezultati interkomparacije TRIC2012: referentna aktivnost A_{IAEA}, izmjerena aktivnost u laboratoriju IRB A_{IRB}, z vrijednost kao mjera točnosti, te parameter p kao mjera preciznosti. Prihvatljive vrijednosti: $p < LAP$

uzorak	A_{IAEA} (TU)	A_{IRB} (TU)	z	p (%)	LAP (%)
T20	0 + 0,02/-0	0,19 ± 0,20	0,9	-	-
T21	0,430 ± 0,018	0,45 ± 0,23	0,1	51	230
T22	1,121 ± 0,033	1,2 ± 0,3	0,3	25	89
T23	2,741 ± 0,074	2,2 ± 0,3	-1,8	14	36
T24	4,37 ± 0,12	4,3 ± 0,7	-0,1	17	23
T25	7,51 ± 0,20	7,5 ± 1,1	0,0	15	13
T26	475 ± 13	477 ± 9	0,1	3	5
T27	111,7 ± 2,9	122 ± 5	1,8	5	10

^{14}C INTERKOMPARACIJA SIRI

Međunarodnu interkomparaciju ^{14}C mjerenja SIRI (*Sixth International Radiocarbon Intercomparison*) organizirali su Sveučilište u Glasgowu i SUERC (*Scottish Universities Environmental Research Centre*, East Kilbride, UK) tijekom jeseni 2013. godine. Preliminarna analiza rezultata iz

50 laboratorija prikazana je u [5], a potpuna analiza rezultata slijedi na *22th International Radiocarbon Conference*, Dakar, Senegal, 16.-20.11.2015.

Uzorci obuhvaćaju različite vrste materijala i pokrivaju cjelokupni raspon starosti koje je moguće odrediti ^{14}C metodom, od suvremenog uzorka do onih na granici ^{14}C metode (> 40 000 godina) (Tablica 2). Za radiometrijske laboratorije namijenjen je manji broj uzoraka (5) nego za AMS laboratorije (13). Zajednički uzorci A, C, D i K koriste se za usporedbu dviju tehnika.

U Tablici 2 prikazani su rezultati mjerenja ^{14}C aktivnosti SIRI uzoraka u Laboratoriju IRB-a kao: $a^{14}C$ (jedinice pMC, postotak modernog ugljika) ili kao konvencijska ^{14}C starost u godinama BP (Before Present, 0 BP = AD 1950) [6] ili kao kalendarska godina podrijetla (AD). Uz svaki uzorak navedena je i $\delta^{13}C$ vrijednost (koristi se za normiranje ^{14}C rezultata [6]).

Uzorci A, C, K i L su uzorci raznih materijala (drvo, kost, karbonat) starosti blizu granice metode ili potpuno bez ^{14}C. Obje mjerne tehnike korištene u IRB laboratoriju (LSC i AMS) daju očekivane rezultate unutar mjernih nesigurnosti. Nešto veće odstupanje AMS rezultata za uzorak K ukazalo je na mogućnost onečišćenja, što je kasnije pomno istraženo.

Očekivana starost uzoraka B (kost) i J (drveni ugljen) je više od 15 000 godina. Naš rezultat za uzorak J odgovara očekivanoj starosti (paleolitik), a medijan raspodjele rezultata svih laboratorija za uzorak B razlikuje se od našeg rezultata za 280 godina ili 1,2 σ_{IRB}, odnosno z = 1,2.

Uzorci E i I su uzorci drva iz razdoblja mlađeg drijasa (*Younger Dryas*). Dok za E nema dodatnih informacija, uzorak I datiran je u razdoblje 11300 - 11170 cal BP (raspon kalibriranih godina) [5]. Naš rezultat (9920 ± 25 BP) nakon kalibracije (program OxCal, [7]) daje raspon 11325 - 11255 cal BP (68%, 1σ), što je gotovo identično očekivanom rasponu godina. Uzorak M distribuiran je samo radiometrijskim laboratorijima i mlađi je od 15 000 godina, što potvrđuje i naš rezultat.

Uzorak N (humusna kiselina) je ponovljen uzorak iz interkomparacije VIRI (*Fifth Int. Radiocarbon Intercomparison*), oznaka VIRI-T, median 65,821±0,033 pMC, 3358 BP. Naš rezultat za uzorak SIRI-N (Tablica 2) odgovara očekivanom, z vrijednost je unutar intervala [-2,+2], kao i za VIRI-T uzorak, kada smo izmjerili 65,61 + 0,20 pMC (3385 BP) [3].

Uzorak D je suvremeni uzorak ječma (zrna) iz godine 2013., očekivane ^{14}C aktivnosti jednake onoj suvremene atmosfere. Naši rezultati dobiveni objema tehnikama LSC i AMS su nešto viši od te vrijednosti, ali međusobno jednaki u okviru mjernih nesigurnosti.

Tablica 2. Usporedba izmjerenih ^{14}C aktivnosti $a^{14}C$ (jedinice pMC) odnosno konvencijskih ^{14}C godina (godine BP) u laboratoriju IRB-a s očekivanim vrijednostima za uzorke iz interkomparacije SIRI. Z - laboratorijski broj, AMS - akceleratorska masena spektrometrija, LSC - tekućinski scintilacijski brojač

SIRI oznaka	Vrsta uzorka	Očekivana starost (BP, AD), $a^{14}C$ (pMC) [5]	Z broj	$\delta^{13}C$ (‰)	tehnika mjerenja	$a^{14}C_{IRB} \pm \sigma_a$ (pMC)	$starost_{IRB} \pm \sigma$ (BP)
A	drvo	0 pMC	5283	-21,7	LSC	0,00 ± 0,05	>55800
					AMS	0,00 ± 0,02	>64000
C*	kost	>46550 BP	5315	-21,7	AMS	0,12 ± 0,01	54025 ± 220
K	karbonat	0 pMC	5286	-4,0	LSC	0,29 ± 0,10	47000 ± 1500
					AMS	0,52 ±0,04	42250 ± 620
L	drvo	0 pMC	5324	-24,4	AMS	0,18 ± 0,01	50928 ± 377
B	kost	39 165 BP	5284	-21,4	AMS	0,80 ± 0,03	38785 ± 200
J	drv. ugljen	paleolitik	5322	-23,7	AMS	2,02 ± 0,02	31335 ± 75
E	drvo	mlađi drijas	5317	-23,7	AMS	26,28 ± 0,09	10736 ± 26
I	drvo	11300–11170 cal BP	5321	-24,3	AMS	29,09 ± 0,09	9920 ± 25
M	drvo	<15 000	5287	-25,0	LSC	71,17 ± 0,71	2732 ± 80
N	humusna kiselina	3358 BP [2]	5325	-28,2	AMS	66,08 ± 0,18	3328 ± 21
F	drvo	AD 1487	5318	-24,3	AMS	96,39 ±0,30	295 ± 25 (medijan cal AD 1562)
G	drvo	AD 1479	5319	-23,7	AMS	95,54 ± 0,24	366 ± 20 (medijan cal AD 1510)
H	drvo	AD 1475	5320	-24,4	AMS	95,89 ± 0,24	337 ± 20 (medijan cal AD 1567)
D	ječam	~103 pMC	5285	-31,5	LSC	104,9 ± 0,5	suvremeni uz.
					AMS	105,26 ± 0,29	suvremeni uz.

*uzorak je namijenjen i radiometrijskim laboratorijima, ali dostavljena masa nije bila dovoljna za ekstrakciju kolagena

Posebno su zanimljivi uzorci drva iz pojedinačnih godova istog stabla (F, G, H) kojima je starost dendrokronološki određena (godine AD). IRB rezultat za uzorak F nakon kalibracije je nešto mlađi (1512 - 1655 cal AD, 95%, medijan cal AD 1562) od očekivane godine AD 1487, kalibrirani raspon godina za uzorak G (1466 - 1618 cal AD, 68,2%, medijan cal AD 1510) obuhvaća i očekivanu godinu AD 1479, a raspon godina za uzorak H (1480 - 1637 cal AD, 95 %) je vrlo blizu očekivanoj godini AD 1475.

ZAKLJUČAK

Rezultati interkomparacije IAEA-TRIC2012 pokazali su dobru preciznost i točnost tehnike mjerenja niskih aktivnosti ^{3}H u vodama uz elektrolitičko obogaćenje, kao i direktnog mjerenja viših aktivnosti.

Rezultati interkomparacije SIRI za ^{14}C mjerenja pokazuju većinom dobro slaganje s preliminarnim vrijednostima. Obje mjerne tehnike (AMS i LSC) daju jednake rezultate unutar granica mjernih nesigurnosti.

LITERATURA

[1] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B, Sironić A, Kožar-Logar J. Mjerenje tricija u uzorcima voda tekućinskim scintilacijskim brojačem uz elektrolitičko obogaćenje. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja: 13.-15. travnja 2011; Krk. Zagreb: HDZZ, 2011. str. 461-7.

[2] Horvatinčić N, Barešić J, Krajcar Bronić I, Obelić B. Measurement of low ^{14}C activities in liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory. Radiocarbon 2004;46:105-116.

[3] Sironić A, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Obelić B, Felja I. Status report on the Zagreb radiocarbon laboratory – AMS and LSC results of VIRI intercomparison samples. Nucl Instrum Methods B. 2013;294:185-188.

[4] Hillegonds DJ, Wassenaar LI, Klaus PM, Aggarwal PK. Synthesis report: Intercomparison test for the determination of low-level tritium activities in natural waters for age dating purposes (TRIC2012). IAEA Internal document, 19 August 2014.

[5] Scott EM, Naysmith P, Cook G. Continuing development in the ^{14}C community inter-comparisons (SIRI) - A (very) preliminary report from SIRI. In: AMS-13: The Thirteenth International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 24-29 August 2014, Aix en Provence, France, 2014. p.202.

[6] Mook WG, van der Plicht J. Reporting ^{14}C activities and concentrations. Radiocarbon 1999;41:227-239.

[7] Bronk Ramsey C. The OxCal program v 4.2. The Oxford Radiocarbon Accelerator Unit, University of Oxford. 2014. Available at: https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html

RESULTS OF THE LABORATORY FOR LOW-LEVEL RADIOACTIVITY (RBI) IN INTERNATIONAL INTERCOMPARISONS TRIC2012 AND SIRI-^{14}C

Ines Krajcar Bronić, Nada Horvatinčić and Jadranka Barešić
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
krajcar@irb.hr

Laboratory for measurement low-level radioactivity of the Ruđer Bošković Institute (RBI) in Zagreb, Croatia, regularly takes part in international intercomparisons for both ^{3}H and ^{14}C measurements.

Intercomparison study TRIC2012 was organized in 2012 by International Atomic Energy Agency (IAEA). Six samples of low ^{3}H activities (A < 15 TU) had to be electrolitically enriched before measurement while two samples having higher activities (A > 100 TU) had to be measured directly. All samples measured in the RBI laboratory passed the test concerning accuracy: the z-values of all samples were within the acceptable limit $-2 < z < +2$. In terms of precision 7 samples satisfied the pre-defined limits of acceptable precision, while one sample was not accepted due to relatively high reported uncertainty, although the result itself was accurate ($z = 0$).

Sixth International Radiocarbon Intercomparison SIRI was organized in 2013 by the University of Glasgow and the Scottish Universities Environmental Research Centre, East Kilbride, UK. A total of 14 samples of different materials and various expected ^{14}C activities (ages) ranging from modern samples to the ones close to the limit of the method were distributed to radiocarbon laboratories, 13 of them were designated for AMS laboratories and 5 for radiometric laboratories. Among them, 4 samples were distributed to both AMS and radiometric laboratories with the aim of comparison of the two measurement techniques. The results of the RBI laboratory mostly lie within acceptable limits. Results obtained by both AMS and LSC measuring techniques at RBI agreed with each other within uncertainties. However, a more detailed analysis will be performed after the official SIRI values are available to the radiocarbon community by the end of this year.

BRZA METODA PROVJERE RADIOAKTIVNOG ONEČIŠĆENJA RADNE OKOLINE PRI RADU S OTVORENIM IZVORIMA ZRAČENJA

Mihaela Justić[1], Domagoj Kosmina[1], Iva Mrčela[2], Marija Surić Mihić[1], Marko Šoštarić[1] i Ivica Prlić[1]
[1]Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
[2]Klinika za onkologiju i nuklearnu medicinu
KBC Sestre milosrdnice, Zagreb
mjustic@imi.hr, dkosmina@imi.hr

UVOD

Pri radu s otvorenim izvorima ionizirajućeg zračenja može doći do radiološkog onečišćenja radnog okoliša kao posljedica nezgoda ili nestručnog rukovanja s izvorima. Problemi koji se tada javljaju jesu utvrđivanje razmjera onečišćenja i površinske količine koncentracije aktivnosti radionuklida kojima su prostori onečišćeni. Poznavanje površinske koncentracije aktivnosti radionuklida je bitno za pravilno pristupanje otklanjanju radiološkog onečišćenja radnih prostora (dekontaminaciji) prema važećim zakonima i propisima.

Odlučili smo istražiti kako se pomoću prijenosnog uređaja za mjerenje ambijentalnog ekvivalenta doze *H*(10)* na jednostavan i brzi način može procijeniti postoji li na radnoj površini radioaktivno onečišćenje, kojih je razmjera te na osnovu te procjene odlučiti o potrebi za provođenjem mjera uklanjanja onečišćenja. Modeli iz literature ne omogućavaju jednostavno preračunavanje brzine *H*(10)* u površinsku koncentraciju aktivnosti jer kreću od pretpostavke, ili točkastog izvora ionizirajućeg zračenja u prostoru ili beskonačne površine konstantne površinske koncentracije aktivnosti [1], što nije realan slučaj. Zbog svega navedenog provedeno je istraživanje uporabom prijenosnog uređaja za mjerenje brzine ambijentalnog ekvivalenta doze i identifikaciju radionuklida u cilju razvoja metode za jednostavan i brzi način procjene postojanja i razmjera radioaktivnog onečišćenja.

U ovom radu opisano je istraživanje provedeno u radnim prostorima odjela nuklearne medicine u tri bolnice u RH. Mjerenja su izvršena na mjestima za koje postoji realna mogućnost radioaktivnog onečišćenja - manipulativni radni prostori gdje se vrši priprema, odnosno aplikacija

otvorenih radioaktivnih izvora. Nakon analize dobivenih mjernih podataka odredili smo metodu kako na brzi način jednostavnim mjerenjem ambijentalne brzine doze odrediti je li u radnim prostorima nuklearnih medicina došlo do radiološkog onečišćenja.

MATERIJAL I METODE

Za provedbu ovog istraživanja korištene su dvije različite mjerne metode: mjerenje brzine *H*(10)* te određivanje površinske koncentracije aktivnosti radionuklida tj. uklonjivog površinskog radioaktivnog onečišćenja uporabom visokorezolucijske gamasprektrometrije, obje prema akreditiranim metodama.

Odjeli nuklearne medicine u kojima su provedena mjerenja koriste otvorene izvore gama zračenja za dijagnostičke/terapijske postupke, a najviše se rabe ^{99m}Tc i ^{131}I [2]. Sva mjerenja provedena su iznad radnih površina za koje postoji vjerojatnost pojave radioaktivnog onečišćenja tijekom redovitih radnih procedura. Prije provedbe svakog mjerenja odabrana je površina na radnom mjestu na kojoj je prethodno utvrđena prisutnost radioaktivnog onečišćenja izmjerena kao povećanje brzine *H*(10)* u odnosu na brzine doze lokalnog prirodnog pozadinskog ionizirajućeg zračenja (LBG). Granice onečišćenog područja su ograđene ljepljivom vrpcom te su izmjerene dimenzije ograđenog područja.

Mjerenje brzine *H*(10)* provodilo se istovremenom uporabom mjerača brzine ambijentalnog ekvivalenta doze Thermo Eberline FH 40 GL-10 (u daljnjem tekstu Thermo) i pokretnog gamaspektrometrijskog uređaja za identifikaciju radionuklida Mirion Technologies SpiR-ID (u daljnjem tekstu SpiR-ID), na visini 10 cm iznad ograđene radne površine. Mjerač brzine *H*(10)* Thermo prikladan je za mjerenje brzine *H*(10)* od 10 nSv/h do 100 mSv/h u rasponu energija od 30 keV do 4,4 MeV. Tijekom mjerenja uporabom SpiR-ID mjernog uređaja provođena je i identifikacija radionuklida na istraživanoj površini. SpiR-ID se koristi za identifikaciju radionuklida u rasponu energija od 25 keV do 3 MeV, a prikladan je za mjerenje brzine *H*(10)* u rasponu od 0.01 do 9999 μSv/h. Izmjerene brzine *H*(10)* iznad zadane radne površine umanjene su za izmjerene brzine doze LBG izmjerene u neutralnom radnom okruženju izvan prostora nuklearne medicine, te su takve vrijednosti označene s $H^*_{cont}(10)$.

Po provedenim mjerenjima brzine $H^*_{cont}(10)$ i identifikaciji radionuklida uzeti su suhi brisevi uklonjivog površinskog onečišćenja s ograđene radne površine. Brisevi su uzeti pomoću pamučnih blazinica promjera 5,5 cm te je zabilježeno vrijeme uzimanja briseva. Uzorci su

obrađeni visokorezolucijskom gamaspektrometrijom u laboratoriju; Ge(Li) detektorom ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8 % na 1,33 MeV te su identificirani radionuklidi sadržani u brisevima. Za proračun koncentracije aktivnosti radionuklida primijenjena je vremenska korekcija s obzirom na vrijeme uzimanja briseva te je potvrđeno da se radi o kratkoživućim radionuklidima. Iz poznate površine s koje je uzet suhi bris, uz pretpostavke jednolike raspodjele radioaktivnog onečišćenja po površini uzorkovanja brisa te efikasnosti suhih briseva od 10 % [3], određena je površinska koncentracija radioaktivnog onečišćenja izražena u Bq/100 cm^2. Time je olakšana usporedba sa zakonski propisanim vrijednostima dopuštenih granica površinskog radioaktivnog onečišćenja u radnim prostorima gdje se koriste otvoreni izvori ionizirajućeg zračenja [4].

REZULTATI

Uz svako mjerenje brzine $H^*_{cont}(10)$, provedena je i *in situ* identifikacija radionuklida iznad radnih površina pomoću uređaja SpiR-ID. Skup radionuklida identificiranih iznad radnih površina vrlo se dobro slaže sa setom radionuklida identificiranih gamaspektrometrijskom laboratorijskom analizom uzetih briseva sa radnih površina.

Uz prirodne radionuklide, utvrđena je i prisutnost ^{131}I i ^{99m}Tc. Prisutnost radionuklida ^{131}I opisana je vrijednostima koje su na granici detekcije za oba mjerna uređaja što znači da je glavni doprinos brzini $H^*(10)$ dolazio od radioaktivnog onečišćenja radnih površina radionuklidom ^{99m}Tc. Iz tog razloga vrijednosti izmjerene brzine $H^*_{cont}(10)$ promatrane su u ovisnosti o površinskoj koncentraciji aktivnosti radioaktivnog onečišćenja samo za ^{99m}Tc.

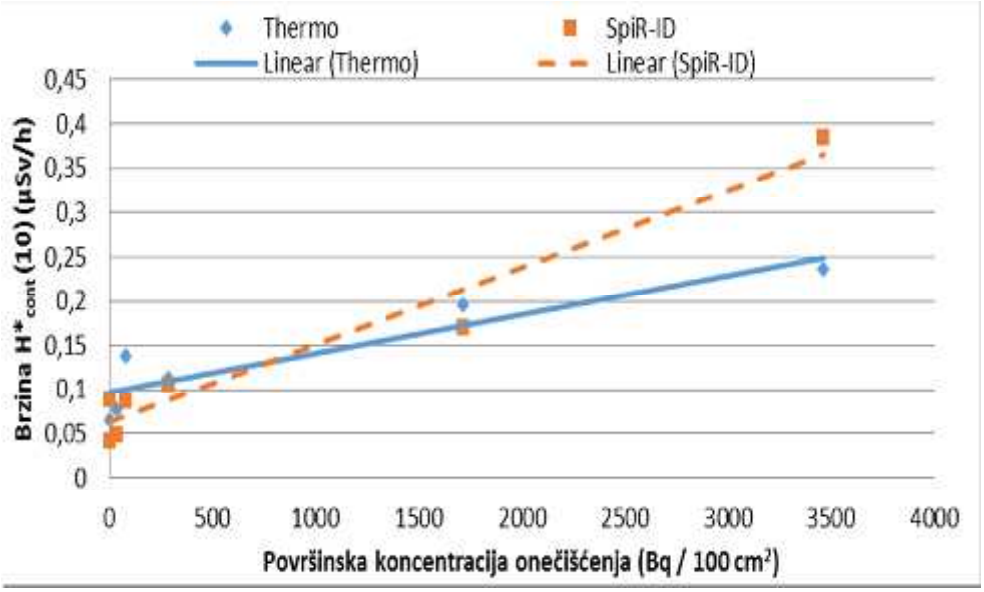
Ovisnost izmjerene brzine $H^*_{cont}(10)$ o površinskoj koncentraciji radionuklida prilagođena je na pravac za oba mjerna instrumenta. Dobiveni rezultati prikazani su na Slici 1. Koeficijent korelacije za Thermo iznosi 0,92, a za SpiR-ID 0,97. Jednadžbe pravaca za oba mjerna instrumenta glase:

Thermo**:** $H^*_{cont}(10) = 4{,}307 \cdot 10^{-5}\, x + 0{,}099$ (1)

SpiR-ID: $H^*_{cont}(10) = 8{,}702 \cdot 10^{-5}\, x + 0{,}064$ (2)

Granična brzina ambijentalnog ekvivalenta doze predstavlja onu brzinu $H^*_{cont}(10)$ koja odgovara graničnim vrijednostima površinske koncentracije radioaktivnog onečišćenja propisanih važećim pravilnikom (400 Bq/100 cm^2 za područje nadgledanja, odnosno 4000 Bq/100 cm^2 za područja posebnog nadgledanja za beta i gama emitere) [3]. Uporabom jednadžbi (1) i (2) određene su vrijednosti koje predstavljaju graničnu

brzinu doze. U Tablici 1 prikazani su rezultati proračuna za navedene granice.



Slika 1. Izmjerena brzina $H^*_{cont}(10)$ u ovisnosti o površinskoj koncentraciji aktivnosti radionuklida ^{99m}Tc

Tablica 1. Vrijednosti granične brzine doze za područje nadgledanja i područje posebnog nadgledanja za dva mjerna uređaja za ^{99m}Tc

radionuklid	**granična brzina ambijentalnog ekvivalenta doze** (µSv/h)	
^{99m}Tc	**Područje nadgledanja**	**Područje posebnog nadgledanja**
Thermo	0,116	0,272
SpiR-ID	0,099	0,412

Budući da rezultati prikazani u Tablici 1 proizlaze iz malog broja mjerenja, oni samo okvirno upućuju na granice brzine ekvivalenta doze $H^*_{cont}(10)$ za koje u ovome mjerenju možemo određivati granice radioaktivnog onečišćenja. Potrebno je izvršiti veći broj mjerenja kako bi poboljšali točnost metode pri niskim koncentracijama radioaktivnog onečišćenja.

ZAKLJUČAK

U cilju provođenja pravilnog i dosljednog programa kontrole kvalitete u nuklearnoj medicini, postoji velika potreba za brzom metodom procjene radioaktivnog onečišćenja. Izmjerene brzine $H^*_{cont}(10)$ linearno ovise o koncentraciji aktivnosti površinskog radioaktivnog onečišćenja. Pokazano je da se, ako se radi o području posebnog nadgledanja, može koristiti mjerenje $H^*_{cont}(10)$ kao brzu metodu za provjeru radioaktivnog onečišćenja radne okoline pri radu s otvorenim radioaktivnim izvorima. Za granične vrijednosti vezane uz područje nadgledanja potrebno je provesti veći broj mjerenja jer se radi o vrlo niskim brzinama $H^*_{cont}(10)$ (gotovo neznatno iznad LGB). U praksi su za brzu procjenu radioaktivnog onečišćenja u području nadgledanja prikladniji uređaji poput pokretnog identifikatora gamaspektara koji u sebi ima i ugrađen mjerač brzine ambijentalnog ekvivalenta doze i koji odmah mogu ukazati gdje se nalazi, pa i otkuda dolazi i kakvog je radionuklidnog sastava, radioaktivno onečišćenje unutar radnih prostora.

LITERATURA

[1] Delacroix D, Guerre J P, Leblanc P, Hickman C. Radionuclide and radiation protection data handbook. Radiat Prot Dosim 2002;98:85-108.

[2] Prlić I, et al. Izloženost stanovništva u Hrvatskoj otvorenim izvorima ionizirajućeg zračenja - radioizotopima u medicini. Arh Hig Rada Toksikol 2010;61Supplement:69-79.

[3] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). A Performance-Based Approach to the Use of Swipe Samples in Response to a Radiological or Nuclear Incident. Cincinnati, Ohio; 2011.

[4] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima. Narodne novine 14/13. Zagreb. 2013.

FAST METHOD FOR THE ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL RADIOACTIVE CONTAMINATION ORIGINATING FROM OPEN SOURCES OF RADIATION

Mihaela Justić[1], Domagoj Kosmina[1], Iva Mrčela[2], Marija Surić Mihić[1], Marko Šoštarić[1] and Ivica Prlić[1]
[1]Institute for Medical Research and Occupational Health
[2]University Hospital Centre Sestre Milosrdnice
Zagreb, Croatia
mjustic@imi.hr, dkosmina@imi.hr

While handling open radioactive sources, contamination of the occupational environment can occur due to accidents or improper handling. After work with open radiation sources it is necessary to check for radioactive contamination in the occupational environment. This paper presents a method for the fast assessment of radioactive contamination using a survey meter.

Measurements were conducted in occupational environments with higher possibility of radioactive contamination, at the nuclear medicine departments of three Croatian hospitals. The measurements were performed above work benches where contaminated area was marked by adhesive tape. The *H*(10)* rate measurements were performed with a survey meter Thermo Eberline FH 40 GL-10 and a mobile gammaspectrum identifier Mirion Technologies SpiR-ID. After *H*(10)* rate measurements, a swipe test was performed on the contaminated area using dry cotton pads. Swipe test analysis was conducted using high resolution gammaspectroscopy which yielded the type and activity of radionuclides picked up with cotton pads. Where radioactive contamination was measurable, gammaspectroscopic analysis determined that the predominant cause was radionuclide ^{99m}Tc.

The linear dependence between the ambient dose rate and surface concentrations of radioactive contamination was confirmed by calculating correlation coefficients. This linear dependence enabled us to determine the ambient equivalent dose rate limits that correspond to the radioactive surface contamination limits.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF POINT - KERNEL METHOD APPLICATION IN RADIATION SHIELDING

Paulina Dučkić, Krešimir Trontl and Dubravko Pevec
Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb
Zagreb, Croatia
paulina.duckic@fer.hr, kresimir.trontl@fer.hr, dubravko.pevec@fer.hr

INTRODUCTION

The point-kernel method is a widely used practical tool in shielding design and radiation safety analysis. It is primarily used for preliminary γ-ray shielding calculations where ease and speed are more appreciated than the accuracy obtained by more demanding computer codes employing transport or Monte Carlo methods. In the point-kernel approach the desired quantity (flux, fluence, or dose equivalent) is obtained by multiplying the part of the quantity resulting from uncollided flux with the parameter called buildup factor which accounts for the scattered radiation inside the shielding medium. It is therefore clear that the accuracy of the final result is highly dependent on the accuracy of the buildup factors used in the calculations [1]. Buildup factors are usually calculated for simple geometries and then they are applied to problems that approximate the ideal conditions. γ-ray buildup factors for single-layer shields comprised of a single material, commonly used in radiation shielding, are well known and are generally given in tabulated form [2]. On the other hand, definition or calculation of buildup factors for multi-layer shields where each layer is comprised of a different material represents a complex physical problem. In the past, a number of studies have been conducted aiming to express the γ-ray multi-layer buildup factors using simple mathematical expressions.

Although buildup factors have been widely used for γ-ray shielding calculations, their application for neutron transport simulations is very limited. Due to high physical complexity of neutron transport through shielding material it is very hard to perform parameterization in order to establish adequate empirical formula. Existing formulas are very limited and are usually applicable only to a narrow neutron energy range for few commonly used shielding materials, mostly in monolayer configuration.

Recently a novel approach, based on support vector regression (SVR) technique, for multi-layer buildup factor calculation has been proposed and

tested for γ-ray shielding calculations, while for neutron shielding calculations some initial analyses have been conducted.

It is the aim of this paper to give a short overview of historical as well as current research and development in the field of point-kernel application focusing on multi-layer buildup factor definition and calculation. The complexity of underlying physical processes opens the possibility for a novel approach to be utilized both for γ as well as neutron buildup factor determination. Therefore, the new approach is also shortly described and initial testing results of its application are analyzed.

POINT - KERNEL METHOD AND BUILDUP FACTORS FOR γ-RAYS

The point-kernel method is based on the kernel, which is a Green's function between the source and the detector point. The kernel is constructed by considering the uncollided flux from the point isotropic source with energy E and the strength $S(E)$ in a homogeneous medium. The uncollided flux is defined as:

$$\Phi_0(r,E) = S(E)\frac{\exp(-\mu(E)r)}{4\pi r^2} \quad (1)$$

where r is the distance between the source and the detector. Including the scattered portion of the flux density the total flux can be written as:

$$\Phi(r,E) = B(\mu r,E)\Phi_0(r,E) \quad (2)$$

where B is the buildup factor, while the total dose can be written as:

$$D(r,E) = B_d(\mu r,E)\Phi_0(r,E) \quad (3)$$

where B_d is the dose buildup factor.

In practice, the radiation source is usually the volume or the surface. Point-kernel codes generate a mesh of source "points" within the source region and integrate over the source region to obtain the total dose [3].

The term „buildup factor" was initially introduced by White in 1950. In 1954 Goldstein and Wilkins published a set of buildup factors for six elements (Aluminum, Iron, Tin, Tungsten, Lead, and Uranium) and water. Those data were incorporated into point - kernel codes and were widely used for radiation analysis for the next 30 years. Buildup factors for other elements were interpolated based on the atomic numbers. The accident at the Three Mile Island Nuclear Power Plant initiated creation of a new set of reliable and comprehensive γ - ray attenuation data. The result was ANSI/ANS 6.4.3 standard [2]. The standard was officially withdrawn in 2001, but practically it is still in use, and the work on a new data set is in progress.

The problem of the point - kernel method in shielding design is the way multi-layer shields are treated. Buildup factor depends not only on the characteristics of the layer under consideration, but also on the previously penetrated layers. In the past, determination of buildup factors for multi-layer shields has been approached in a number of ways starting with early proposals of using a homogenized effective atomic number for shield characterization or simple multiplication of single-layer buildup factors, followed by more refined functions of Broder and Kitazume [4]. Evolution of computer technology enabled definition of semi - empirical formulas for multi - layer buildup factor determination, developed by fitting the results of accurate transport or Monte Carlo calculations with ad hoc defined functions - Kalos [4], modified Kalos [5], Harima [6], and Lin and Jiang [7] formulas. The main drawbacks of applying these formulas are their complexity and limited range of applicability.

BUILDUP FACTORS FOR NEUTRONS

Buildup factors in general are usually obtained using appropriate computer codes, either based on discrete ordinates transport method or Monte Carlo approach. Since these codes put strong demands on computer resources, they are applied on a limited number of shielding configurations and an attempt is made to use obtained results and formulate an empirical expression for buildup factors estimation. Due to high physical complexity of neutron transport through shielding material it is very hard to perform parameterization in order to establish adequate empirical formula. Buildup of scattered neutrons depends strongly on the material composition, incident neutron energy spectrum, and the geometry of the problem [8]. Since the fast neutron scattering cross section is greater than the absorption cross section for most materials, the buildup of scattered neutrons can assume large values. Also the size and shape of the shield medium as well as the energy dependence of the materials cross sections greatly affect the neutron flux density. Therefore, existing neutron buildup factor formulas are very limited and are usually applicable to a very limited neutron energy range for few commonly used shielding materials, mostly in monolayer configuration. For example, Dunn *et al.* [9] investigated neutron dose-equivalent buildup factors for infinite slabs. Computer experiments were carried out on 6 materials in combination with 7 source neutron energies ranging from 10^{-7} MeV up to 14 MeV, and a simple two - parameter model has been proposed. Values for both parameters differ not only for every material, but also for all energies. Tested 42 material energy combinations resulted in 42 pairs of

different parameters values. Shin *et al.* [10] investigated point isotropic buildup factors for concrete, iron, and a double-layer iron-concrete shield for 7 neutron energies ranging from 400 MeV down to 10 MeV. The proposed empirical formula is based on three parameters for single-layer shield, while the formula for double-layer configurations uses single-layer buildup factors of both materials and a fourth parameter. The parameterization process resulted in different parameters values for all energies and materials, all together 14 different parameter triplets for single-layer shield configurations.

NOVEL APPROACH FOR BUILDUP FACTOR DETERMINATION

The main deficiencies of traditional approach to data fitting and regression problems are that the structure of the fitting function has to be specified a priori, and that the final solution has a number of correction parameters. Recently, a new approach has been proposed for determination of γ ray buildup factors for mono-layer, as well as multi-layer shielding configurations covering wide gamma ray energy range [1]. The new regression model is based on support vector machines (SVM) learning technique, which has theoretical background in statistical learning theory.

Initial tests of the Support Vector Regression (SVR) model on mono-layer shields revealed that the relative average deviation (RAD) from the reference data (obtained by Monte Carlo calculation) in the estimation of γ-ray buildup factors is 5.8 % with maximum deviation of 34 % observed for water shield 5.21 mfp (mean free path) thick at incident γ-ray energy of 0.5 MeV. In general larger deviations were observed for thicker shields regardless of the incident γ-ray energy. RAD for double-layer shields was 9.7 % with maximum deviation of 68.77 % observed for a shield comprised of 1.17 mfp of water and 5.75 mfp of iron, at 7.25 MeV γ - ray energy. RADs for triple - layer and quadruple - layer shields were 24.3 % and 29.7 %, respectively [1].

CONCLUSIONS

The initial tests illustrate clear potential of the novel SVM approach to the γ-ray buildup factor determination. The physical complexity of the neutron radiation transport and the experience gained while developing the γ-ray model indicate that the development of the SVR neutron buildup factor model is possible but would also require intensive research of the learning technique itself.

Acknowledgement

This work was supported by the Croatian Science Foundation under Grant 3522.

REFERENCES

[1] Trontl K, Šmuc T, Pevec D. Support vector regression model for the estimation of γ-ray buildup factors for multi-layer shields. Ann Nucl Energy 2007;34:939-952.

[2] American Nuclear Society (ANS). American National Standard Gamma-Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials. ANSI/ANS-6.4.3-1991. La Grange Park, IL, USA: ANSI/ANS; 1991.

[3] Harima Y. An historical review and current status of buildup factor calculations and applications. Radiat Phys Chem 1993;41:631-672.

[4] Jaeger RG, Blizard EP, Chilton AB, Grotenhuis M, Honig A, Jaeger TA, Eisenlohr HH. Engineering Compendium on Radiation Shielding. In: Shielding Fundamentals and Methods, vol. 1. Springer-Verlag, Berlin; 1968.

[5] de Burke G, Beck HL. Calculated and measured dose buildup factors for gamma rays penetrating multilayered shields. Nucl Sci Eng 1974;53:109-112.

[6] Harima Y. An approximation of gamma-ray buildup factors for two-layer shields. Nucl Sci Eng 1983;85:45-79.

[7] Lin UT, Jiang SH. A dedicated empirical formula for γ-ray buildup factors for a point isotropic source in stratified shields. Radiat Phys Chem 1996;48: 389-401.

[8] Faw RE, Shultis JK. Radiological Assessment: Sources and Doses. American Nuclear Society, Inc., La Grange Park, Illinois, USA, 1999.

[9] Dunn WL, Yacout AM, O'Foghludha F. Gamma-ray and neutron rose-equivalent buildup factors for infinite slabs. Nucl Sci and Eng 1992;110: 134-156.

[10] Shin K, Kotegawa H, Sakamoto Y, Nakane Y, Nakashima H, Tanaka S, UwaminoY, Ban S, Hirayama Y, Tanaka S. Point isotropic build-up factors of medium energy neutrons for concrete, iron and a double layer of iron followed by concrete. Radiat Prot Dosim 1997;71:269-278.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF POINT-KERNEL METHOD APPLICATION IN RADIATION SHIELDING

Paulina Dučkić, Krešimir Trontl and Dubravko Pevec
Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb
Zagreb, Croatia
paulina.duckic@fer.hr, kresimir.trontl@fer.hr, dubravko.pevec@fer.hr

The point-kernel method is a widely used practical tool in shielding design. In the point-kernel approach the desired quantity (flux, fluence, or dose equivalent) is obtained by multiplying the part of the quantity resulting from uncollided flux with the parameter called buildup factor which accounts for the scattered radiation inside the shielding medium. It is therefore clear that the accuracy of the final result is highly dependent on the accuracy of the buildup factors used in the calculations. Although buildup factors have been widely used for γ - ray shielding calculations, their application for neutron transport simulations is very limited.

Recently a novel approach, based on support vector regression (SVR) technique, for multi-layer buildup factor calculation has been proposed and tested for γ - ray shielding calculations, while for neutron shielding calculations some initial analyses have been conducted.

Initial tests of the SVR model on mono-layer shields revealed that the relative average deviation (RAD) from the reference data (obtained by Monte Carlo calculation) in the estimation of γ-ray buildup factors is 5.8 % with maximum deviation of 34 % observed for water shield 5.21 mfp thick at incident γ-ray energy of 0.5 MeV. RAD for double-layer shields was 9.7 % with maximum deviation of 68.77 % observed for a shield comprised of 1.17 mfp of water and 5.75 mfp (mean free path) of iron, at 7.25 MeV γ-ray energy. RADs for triple-layer and quadruple-layer shields were 24.3 % and 29.7 %, respectively.

The initial tests illustrate clear potential of the novel SVM approach to the γ-ray buildup factor determination. The physical complexity of the neutron radiation transport and the experience gained while developing the γ-ray model indicate that the development of the SVR neutron buildup factor model is possible but would also require intensive research of the learning technique itself.

SCALE6.1 HYBRID SHIELDING METHODOLOGY FOR THE SPENT FUEL DRY STORAGE

Mario Matijević, Dubravko Pevec and Krešimir Trontl
Department of Applied Physics
Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb
Zagreb, Croatia
mario.matijevic@fer.hr, dubravko.pevec@fer.hr, kresimir.trontl@fer.hr

INTRODUCTION

Modern deep penetration shielding analyses present challenges due to a large spatial domain of complex Monte Carlo (MC) models. Traditional shielding calculations are typically performed using deterministic (S_N) and MC algorithms inside well established computer codes, and are generally working well for results in a limited region or for individual detectors. With a fast computer power development the MC method has experienced paradigm shift from expensive and complicated approach to daily used method in various applications. Modern shielding problems are frequently addressing problems of obtaining the radiation field everywhere throughout the model, which is a very challenging task for standard MC variance reduction (VR) techniques [1]. The hybrid shielding methodology FW-CADIS, implemented within the MAVRIC sequence of the SCALE6.1 code package is developed especially for that purposes [2]. It is based on forward and adjoint deterministic calculations to generate space-energy based VR parameters for effective MC simulation over the large spatial domain [3]. The objective of this paper was to evaluate the FW-CADIS method when applied for the dose rates mapping of the spent nuclear fuel dry storage in the form of the cask array. The representative model of the cask and array of 32 casks was prepared, which makes a large spatial domain. The obtained results confirm the applicability of the FW-CADIS method in determination of the neutron-gamma dose rates over a large area.

THE SCALE6.1 CODE PACKAGE

The SCALE6.1 code package was developed as a standardized method of analysis in nuclear facilities. The code can perform criticality, shielding, radiation source term, spent fuel depletion/decay, reactor physics and sensitivity analyses. The code has a modular structure in the form of

various analytical sequences which control the data transfer between functional and auxiliary modules. The ORIGEN-ARP was used for the preparation of the spent nuclear fuel neutron and gamma source terms. The MAVRIC was used for shielding calculations based on hybrid methods CADIS and FW-CADIS for automatic preparation of adjoint-based VR parameters (importance map and biased source) using S_N code Denovo. Several multigroup libraries are incorporated inside SCALE6.1 and we used v7_27n19g shielding library derived from the general ENDF/B - VII.0 nuclear data library [4].

THE SPENT FUEL DRY STORAGE MODEL PREPARATION

The simplified full-sized cylindrical cask model was prepared using MAVRIC shielding sequence of the SCALE6.1 code. The model consists of an inner steel liner, a thick concrete layer, and an outer steel cover. Ventilation ports at the top and bottom of the cask are modeled as air which is surrounding the cask. The cask inventory was modeled as homogenized material corresponding to 20 fuel assemblies (FA) from a standard mid-sized PWR reactor. The fuel material composition (UO_2, Zr, Fe, Ni, Cr, Sn, etc.) is based on fresh fuel without hundreds of fission products. The ORIGEN-ARP module was used for depletion/decay calculations of the representative PWR fuel assembly with 4.3 % enrichment, 40 MWth/MTU specific power and 54.5 GWd/MTU burnup. The FA calculations thus simulate 3 working cycles in a reactor with final 10 years cooling in the spent fuel pool after the last irradiation. The ORIGEN computed the neutron and photon spectra in v7_27n19g structure. The neutron and photon source strength was $9.23 \cdot 10^{9}$ neut/s and $7.87 \cdot 10^{16}$ phot/s, respectively, corresponding to 20 FAs.

The cask model was then used for the dry storage installation modeling. The cask array (2 rows, each with 16 casks) is located on 60 cm thick concrete floor, surrounded by external air. The cask array covers volume of about 109 × 14 × 6 m^3 while surrounding air defines global model of about 200 × 200 × 80 m^3. The dose rates around the casks covering such a large volume were then determined using FW - CADIS with weighted adjoint source (defined as external air) and mesh tally covering a portion of spatial domain of interest. This is a good example of a shielding problem where the global MC results are to be determined everywhere. Separate MAVRIC calculations were done for the neutron and gamma dose rates from the spent nuclear fuel with response units of

(rem/h)/(particle/cm^2/s). The dry storage cask array model is shown in Figure 1 with hidden surrounding air.

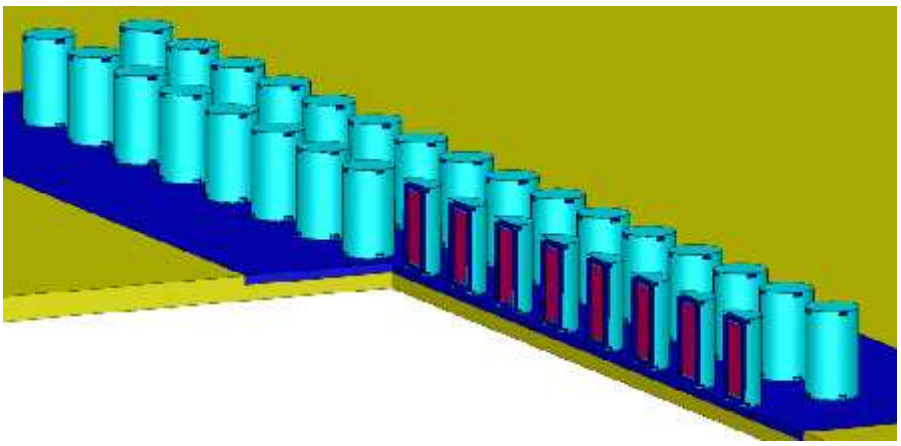


Figure 1. Spent fuel dry storage cask array (front quarter removed)

THE SPENT FUEL DRY STORAGE DOSE RATES

The first set of intermediate shielding calculations were done for testing FW-CADIS methodology with manually tuned S_N and MC meshes with about $1.7 \cdot 10^5$ cells each. The Denovo had S_6/P_1 parameters and Monaco had $2.5 \cdot 10^8$ histories. The total CPU times for the neutron case were 12 min for the S_N part and 11 h for the MC part. The total CPU times for the photon case were 3 min for the S_N part and 1.4 h for the MC part. The dose rates from neutrons were found to be about 1 - 2 order of magnitude lower compared to photons. Figure 2 shows photon dose rates in rem/h while relative errors on one sigma level are depicted in Figure 3.

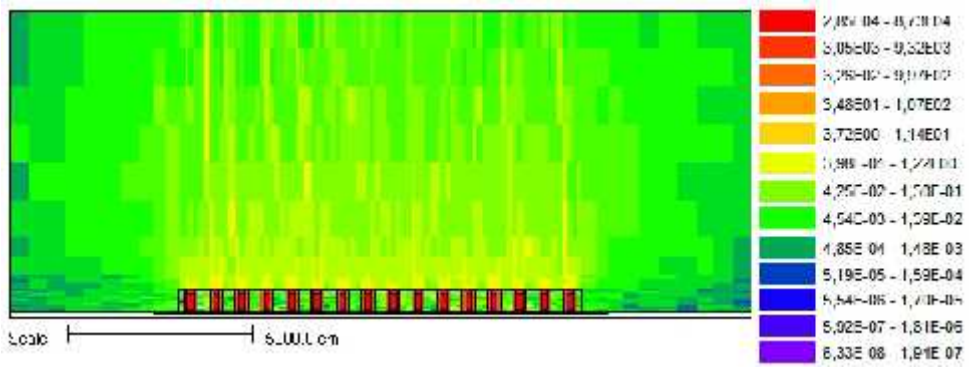


Figure 2. Monaco photon dose rates (rem/h) in y = 340 cm plane

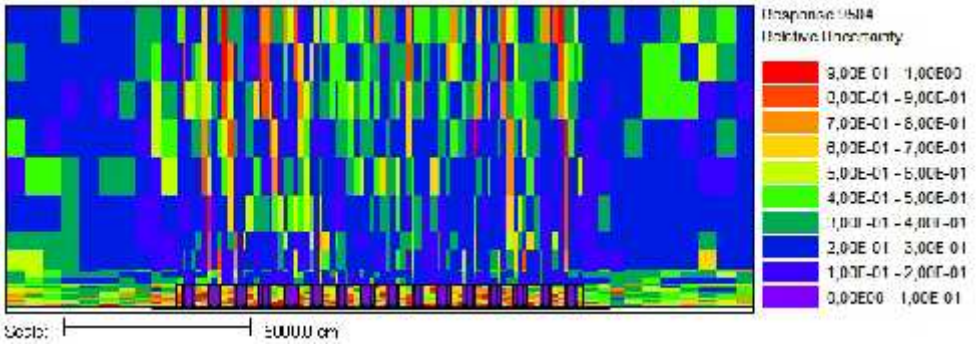


Figure 3. Relative errors of photon dose rates in y = 340 cm plane

The detailed calculations of neutron-gamma dose rates were performed with uniform S_N mesh ($5.7 \cdot 10^6$ cells) and MC mesh ($2.8 \cdot 10^6$ cells) to better capture particle transport around casks. The total CPU times increased slightly, but better VR parameters were obtained. The photon dose rates with relative errors are depicted in Figure 4 and Figure 5, respectively.

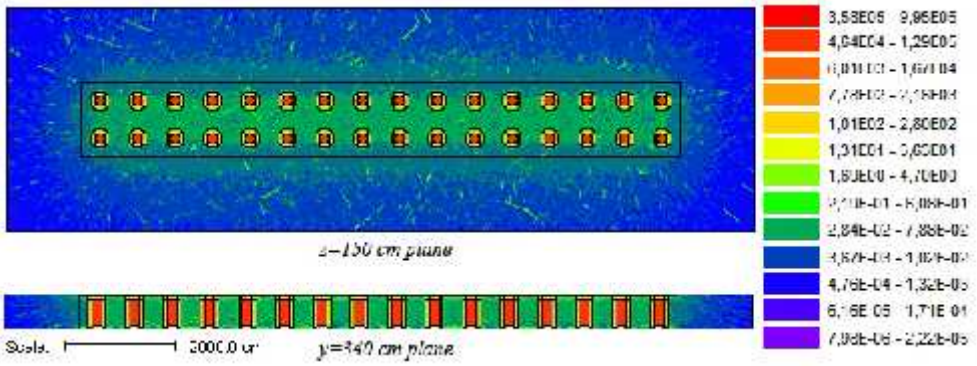


Figure 4. Monaco photon dose rates (rem/h)

The mesh tally now covers reduced geometry of the model (136 × 41 × 6 m^3) above the ground, since that region would impact working personnel. The neutron dose at the reduced boundary is approaching to background radiation levels ($1 - 2 \cdot 10^{-5}$ rem/h) while the gamma dose is higher with average values of $1 - 5 \cdot 10^{-3}$ rem/h. However, the obtained results are over-conservative and give the upper dose boundary since the activation reduction of sources will accompany sequential filling of the dry storage during operating time. The time factor, i.e. radioactive decay, will significantly reduce the total activity of casks.

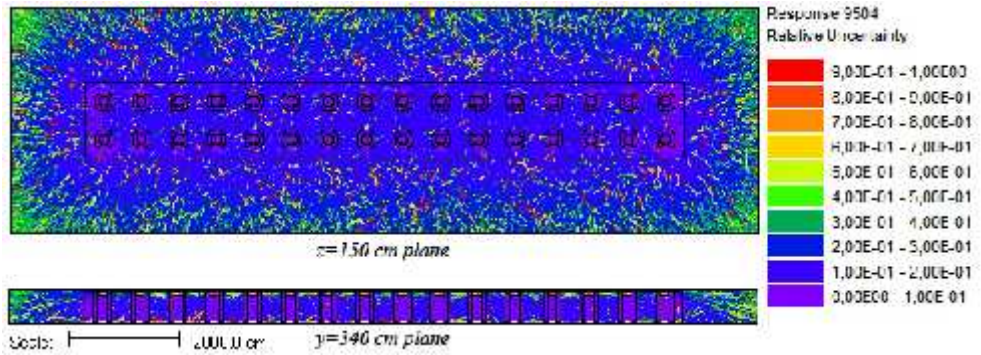


Figure 5. Relative errors of photon dose rates

CONCLUSIONS

The FW - CADIS hybrid shielding methodology of the SCALE6.1 code package was found to be applicable for modeling a dry storage installation. A simplified model of a generic cask with ventilation ports was used for dose calculations of the spent nuclear fuel. The obtained conservative results showed that dominant dose is coming from photons. The effective area of the dry storage installation can be additionally reduced with lowering concrete foundation under the ground, embankment raising, and with extra concrete walls, that would lower the dominant gamma dose rates.

Acknowledgement

This work was supported by the Croatian Science Foundation under Grant 3522.

LITERATURE

[1] Petrovic B, Hartmangruber D. Some Considerations in Devising Effective SCALE6/MAVRIC Models for Large Shielding Applications. Progress Nucl Sci Technol 2011;2:427-431.

[2] SCALE: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety and Design. ORNL/TM-2005/39, Version 6.1, June 2011. Available from Radiation Safety Information Computational Center at Oak Ridge National Laboratory as CCC-785.

[3] Matijević M, Pevec D, Trontl K. Dose rates modeling of pressurized water reactor primary loop components with SCALE6.0. Nucl Eng Design 2015;283:175-192.

[4] Chadwick MB, et al. ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology. Nucl Data Sheets 2006;107:2931-3060.

SCALE6.1 HYBRID SHIELDING METHODOLOGY FOR THE SPENT FUEL DRY STORAGE

Mario Matijević, Dubravko Pevec and Krešimir Trontl
Department of Applied Physics
Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb
Zagreb, Croatia
mario.matijevic@fer.hr, dubravko.pevec@fer.hr, kresimir.trontl@fer.hr

The SCALE6.1/MAVRIC hybrid deterministic-stochastic shielding methodology was used for dose rates calculation of the generic spent fuel dry storage installation. The neutron-gamma dose rates around the cask array were calculated over a large problem domain in order to determine the boundary of the controlled area. The FW-CADIS methodology, based on the deterministic forward and adjoint solution over the phase - space, was used for optimized, global Monte Carlo results over the mesh tally. The cask inventory was modeled as homogenized material corresponding to 20 fuel assemblies from a standard mid - sized PWR reactor. The global simulation model was an array of 32 casks in 2 rows with concrete foundations and external air, which makes a large spatial domain for shielding calculations. The dose rates around the casks were determined using FW-CADIS method with weighted adjoint source and mesh tally covering a portion of spatial domain of interest. The conservatively obtained dose rates give the upper boundary, since the activation reduction of sources was not taken into account when sequential filling of the dry storage will start. The effective area of the dry storage installation can be additionally reduced with lowering concrete foundation under the ground, embankment raising, and with extra concrete walls, that would additionally lower the dominant gamma dose rates.

POPIS AUTORA

AUTHOR INDEX

A

Adrović F. 170
Angeleska A. **159**
Anzić S.A. 195
Avdić M. 299, 305

B

Babić D. 253, **299**, 305, 341, 323
Babić J. 101, 107
Barešić J. 292, 360, 372, 390
Barišić D. 311
Barišić L. **101**, 107
Benković V. **126**
Bibić J. 89, 95, 101, 107
Bituh T. **258**, 299, 305, 323, 347
Bokulić T. 219, 225
Borković D. 372
Borojević N. 126
Brandl A. **10**
Branica G. 153, **235**, 299, 305
Budanec M. 219, 225
Buinac A. 101, 107

C

Cerovac Z. 347
Coha I. 366
Crceva-Nikolovska R. 159
Cvetković M. 331

Č

Čačković M. **253**

D

Davila S. 241
Deljkić D. **165**, 176, 247
Dimitrieska-Stojkovic E. 159
Dodig H. 331
Dombrowski H. 77
Dotur J. 121
Duch MA. 77
Dučkić P. **402**
Dumbović A. 50

Đ

Đurašević M. 286

E

Erić M. 286

F

Franić S. 62
Franić Z. **62**, 68, **153**, 235, 299, 305, **317**, 323
Franulović I. **269**, 299, 305, 323

G

Gajski G. 132
Garaj-Vrhovac V. 132
Gerić M. **132**
Godec R. 241
Gottstein Ž. 121

Gradaščević N. 281
Grego T. 89, **95**, 101, 107
Gregov M. 219, **225**

H

Hajdinjak M. 347
Hajek M. **10**
Hajrulai-Musliu Z. 159
Halovanović S. 126
Haninger T. 77
Hankić E. 170
Hansman J. 292
Hanžek B. **68**
Heinrich Z. 89, 95
Horvat Knežević A. 126
Horvatinčić N. **292**, 360, 390
Hranitzky C. 77
Hršak H. **89**, 95, 101, 107, 201

I

Ilić Z. 165, 176, **247**

J

Jakovljević I. **241**
Janković M. M. 275
Jankuloski D. 159
Janžekovič H. **17**
Justić M. **396**

K

Kablar D. 311
Kadić I. 165, **176**, 247
Kandić A. **286**
Karanović G. 366
Kasić A. **170**
Kasumović A. 170
Katušin-Ražem B. 44
Kleinau P. 77
Knapp A. **32**, **38**
Knežević Ž. 77, 201, **207**, 213
Kolar M. 299, 305
Kopjar N. **138**
Kosmina D. 396
Kovačević N. 101, 107
Kožar Logar J. **263**, 353, 360
Krajcar Bronić I. **3**, **360**, 372, **390**
Krištof R. **353**, 360
Krmar M. 292
Krneta Nikolić J. 384
Krpan I. 181, 187
Kusić Z. 219, 225

L

Levanat I. 32, 38
Lokner V. 32, 38
Lucić Vrdoljak A. 138

M

Majer M. 89, 95, 115, 121, 201, 207, **213**
Maltar-Strmečki N. **44**
Marković Z. 286

Marović G. 153, 235, 241, 253, 258, 269, 299, **305**, 317, 323
Marušić K. **50**
Matijević M. **408**
Medvedec M. **56**
Meštrović T. 83
Mihaljević B. 50, 132
Miklavčić I. 181, 187
Milić M. 126
Miljanić S. 132, 201, 207, 213
Milković Đ. **195**
Milošević Z. 286
Mladinić M. 138
Mlinarić M. **219**, 225
Mrčela I. 219, 225, 396
Mujić N. 281
Murković M. 101, **107**
Mužević M. 181, 187

N

Neumaier S. 77
Nikolov J. 292, 372, 378
Nodilo M. **366**
Novosel N. **23**

O

Oršolić N. 126
Osvay M. **145**

P

Pantelić G. **384**
Pašić S. 121
Pavičić-Hamer D. **311**
Pavlačić A. 187
Pehnec G. 241
Pejaković-Hlede J. 115, **121**
Peratta A. 331
Petrinec B. 299, 305, 317, **323**, 341
Petroci Lj. 299, 305
Pevec D. **13**, 402, 408
Poje M. 181, 187
Poljak D. **331**
Popić Ramač J. **201**
Prlić I. 83, 299, 305, **347**, 396

R

Radolić V. **181**, 187
Rajačić M. M. 275, 384
Ranogajec-Komor M. **77**, 195
Ražem D. 44
Rodriguez R. 77

S

Samek D. 281
Saračević L. **281**
Sarap N. B. **275**
Senčar J. 153, 241, 253, 269, 299, 305
Sironić A. 292, 372
Skoko B. 299, 305, 323
Stanić D. 181, **187**
Stojanovska-Dimzoska B. 159
Stojković I. **372**, 378

Surić Mihić M. 83, 241, 347, 396

Š

Šaponja-Milutinović D. 32, 38
Šegvić Klarić M. 50
Šešlak B. 286
Šiško J. **83**
Šoštarić M. 299, 305, 323, **341**, 396

T

Tenjović B. 378
Todorović D. J. 275, 384
Todorović N. 292, 372, **378**
Tončić J. 347
Trontl K. 402, 408

U

Uzunov R. 159

V

Vađić V. 241, 253
Vidic A. 165, 247
Vilić M. 115, 121
Vodopivec T. 263
Vukanac I. 286
Vuković B. 181, 187

Ž

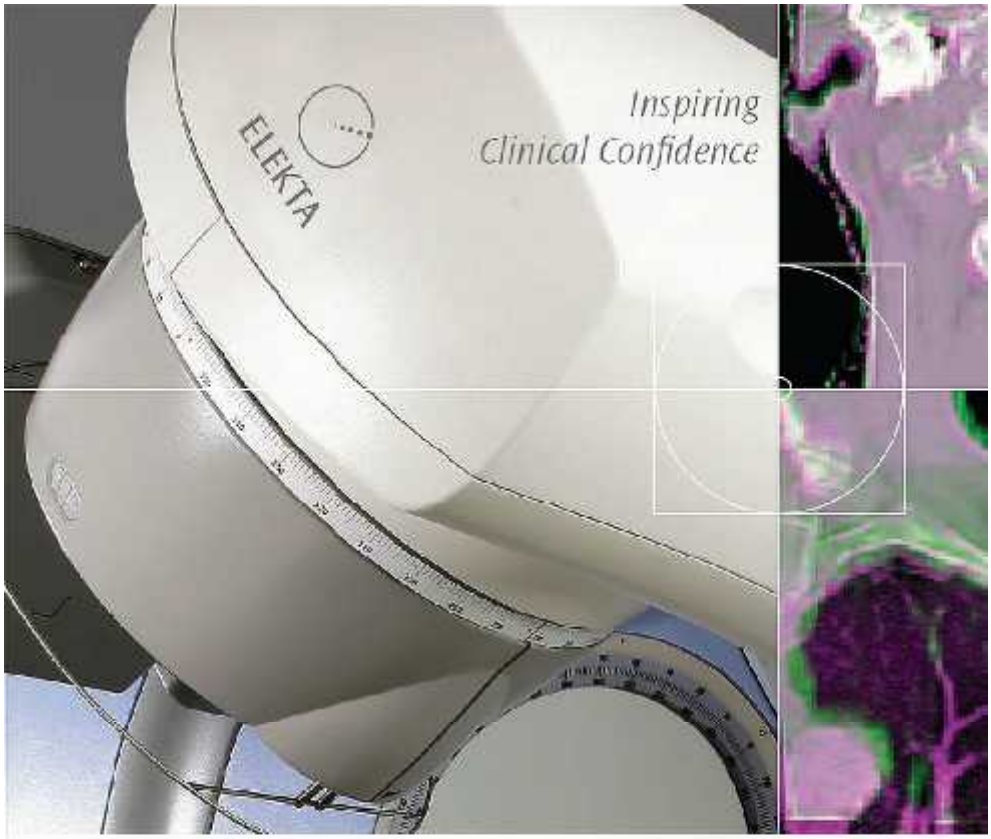
Žagar I. 195
Želježić D. 138
Živanović M. 384
Žunec S. 138
Žura Žaja I. 115
Žužul Si. 253
Žužul Sl. **115**

LKB

Excellence in Routine and Science

LKB

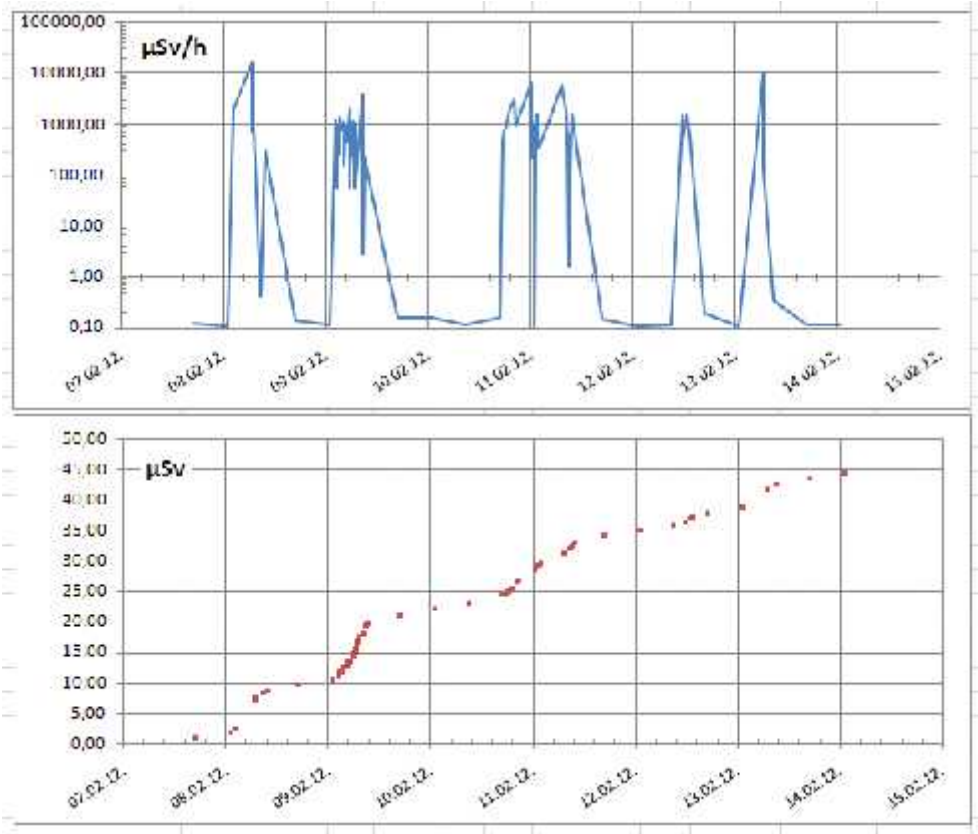
LKB Vertriebs Ges.m.b.H.
Podružnica Zagreb
Nova Cesta 103
10000 Zagreb
T: +385 (0)1 364 6480
F: +385 (0) 1 364 6477
E: lkb@lkb.eu
W: www.lkb.eu



ELEKTA
ONCOLOGY

medicem servis

d.o.o. za servisne usluge i trgovinu
Lašćinska 102, 10000 Zagreb, HR



Dozimetrija budućnosti, već danas ...

„ALARA uređaji“ d.o.o.

www.alara.hr

Arhiv za higijenu rada i toksikologiju
Archives of Industrial Hygiene and Toxicology

Arh Hig Rada Toksikol; ISSN: 0004-1254; e-ISSN 1848-6312

ZNANSTVENA PODRUČJA

medicina rada i zdravlje – javno zdravstvo – toksikologija – zdravstvena ekologija – kemija – biokemija – biologija – farmakologija – psihologija

SLUŽBENI ČASOPIS

Hrvatskoga društva za medicinu rada Hrvatskoga liječničkog zbora
Hrvatskoga toksikološkog društva
Slovenskoga toksikološkog društva
Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja

Čimbenik odjeka u 2013.: 0,727
Čimbenik odjeka za 5 godina: 0,980

Indeksiran u: SCI Expanded, Medline/PubMed, Scopus, AGRICOLA, AGRIS, Animal Science Database, Biological Sciences (CSA), BIOSIS, Previews, CAB Abstracts, EBSCO Academic Search Complete, Ergonomic Abstracts, FSTA, Global Health, GreenFile, INIS, Pollution Abstracts, ProQuest, TOXLINE, Veterinary Science Database, Water Resources Abstracts

IZDAVAČ

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska
Kontakt: arhiv@imi.hr

Rukopisi su u cijelosti dostupni na web-stranicama:
http://www.degruyter.com/view/j/aiht i http://hrcak.srce.hr/aiht

HR EXCELLENCE IN RESEARCH

INSTITUT ZA MEDICINSKA ISTRAŽIVANJA I MEDICINU RADA
Zagreb, Ksaverska cesta 2

17025 · HAA

1288

www.imi.hr

Znanstvenoistraživački ustrojstveni oblici

Jedinica za analitičku toksikologiju i mineralni metabolizam
Jedinica za biokemiju i organsku analitičku kemiju
Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju
Jedinica za higijenu okoline
Jedinica za medicinu rada i okoliša
Jedinica za molekulsku toksikologiju
Jedinica za mutagenezu
Jedinica za toksikologiju
Jedinica za zaštitu od zračenja

Stručni ustrojstveni oblici

Centar za kontrolu otrovanja
Jedinica za laboratorijske životinje
Znanstveno-istraživački poligon "Šumbar"

@ EduHr

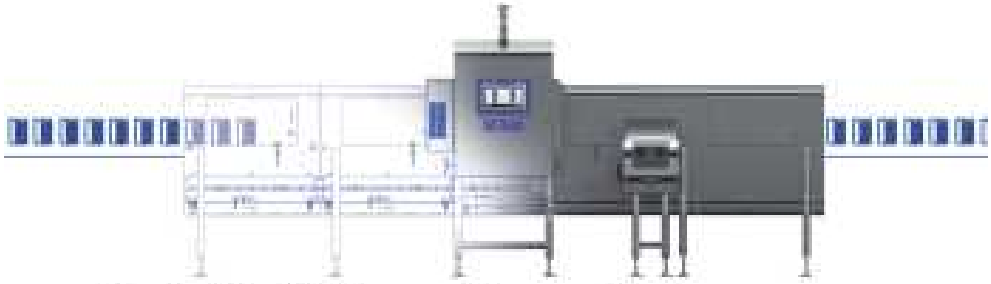
INSTITUTE FOR MEDICAL RESEARCH AND OCCUPATIONAL HEALTH
Ksaverska c. 2, Zagreb, Croatia

SOLUTION
PROVIDER

SELMET

X37 serija rendgenskih sustava

za proizvode visoke i čvrste ambalaže



Sitni detalji čine veliku razliku!

Serija rendgenskih uređaja X37 nudi tehnički najnapredniji rendgenski kontrolni sustav na tržištu za proizvode u visokoj i čvrstoj ambalaži.

Pružanjem konkurentske prednosti proizvođačima hrane i lijekova sa vrlo prilagodljivim rješenjima tako da odgovaraju specifičnim zahtjevima, serija X37 nudi široki raspon mogućnosti u kombinaciji s niskom potrošnjom energije i izuzetno osjetljivom detekcijom, što dokazuje ulaganje u budućnost.

Poboljšano korisničko iskustvo i visoko funkcionalan dizajn čine X37 seriju dostojnom za izazove suvremenog tržišta i jamče najnapredniji razvoj sposobnosti kontrole proizvoda, uz smanjenje ukupnog troška vlasništva.

Za više informacija posjetite **www.mt.com/xray-x37**

▸ Do biste saznali koko serijo rendgenskih uređaja X37 može učiniti veliku razliku u kontroli proizvoda posjetite

www.mt.com/xray-x37 ili nazovite **01 2958 130.**

METTLER TOLEDO

VELEUČILIŠTE

business intelligence
system solutions

PODZEMNO SKLADIŠTE PLINA

JADRANSKO
Moje osiguranje!

Kontakt:
Vatrogasna postrojba Grada Ivanić-Grada
Omladinska 30, 10310 Ivanić-Grad
Telefon: 01/2881-424; Faks: 01/2881-424
E-mail: vpivanic@gmail.com
http://www.vpig.hr/

COMPANY WITH
QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001 =