

HDZZ CRPA

ZBORNIK	PROCEEDINGS
RADOVA	OF THE NINTH
DEVETOG	SYMPOSIUM
SIMPOZIJA	OF THE
HRVATSKOG	CROATIAN
DRUŠTVA ZA	RADIATION
ZAŠTITU OD	PROTECTION
ZRAČENJA	ASSOCIATION

Urednici / Editors
Željka Knežević
Marija Majer
Ines Krajcar Bronić

Zagreb
2013

**Zbornik radova 9. simpozija
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA**

***Proceedings of the 9th Symposium of the
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION***

Izdavač / Published by

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION**



Urednici / Editors
**Željka Knežević
Marija Majer
Ines Krajcar Bronić**

Tiskara / Printing House
Stega tisak
Zavrtnica 17, Zagreb

Naklada / Copies
200

ISBN 978-953-96133-8-7

HDZZ – CRPA
Zagreb, 2013

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem **837717**.

ISBN 978-953-96133-8-7

**9. SIMPOZIJ
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
s međunarodnim sudjelovanjem
Krk, Hrvatska
10.-12. travnja 2013.**

**9th SYMPOSIUM OF THE
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION
with international participation
Krk, Croatia
April 10-12, 2013**

Organizator / Organiser

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION**

Suorganizatori / Co-organisers

Institut "Ruđer Bošković", Zagreb
Ruđer Bošković Institute, Zagreb

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

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

Pokroviteljstvo / Under the Auspices of

Ministarstvo zdravlja
Ministry of Health

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta
Ministry of Science, Education and Sports

Ministarstvo gospodarstva
Ministry of Economy

**Znanstveni odbor /
Scientific Committee**

Željka Knežević (predsjednica /
chairwoman)
Tomislav Bokulić
Zdenko Franić
Verica Garaj-Vrhovac
Nevenka Kopjar
Ines Krajcar Bronić
Gordana Marović
Đurđica Milković
Saveta Miljanić
Nevenka Novosel
Bogomil Obelić
Jelena Popić Ramač
Mirjana Poropat
Vanja Radolić
Mária Ranogajec-Komor
Marinko Vilić

**Organizacijski odbor /
Organising Committee**

Marija Majer (predsjednica /
chairwoman)
Renata Ban
Jadranka Barešić
Tomislav Bituh
Marko Gerić
Hrvoje Hršak
Tanja Jurkin
Dragan Kubelka
Mirta Milić
Branko Petrinec
Marina Poje
Jasminka Senčar

Sponzori / Sponsors

BELMET97 d.o.o.
F&J Speciality Products, INC., SAD
Grad Zagreb
Jadransko osiguranje d.d.
Medicem servis d.o.o.
PIK Vrbovec
PLINACRO
Siemens d.d.

Izlagači / Exhibitors

Chiyoda Technol Corporation, Japan
Canberra PackardCentral Europe Gmbh, Austrija

Dragi članovi HDZZ-a, poštovani sudionici 9. Simpozija,

Dvije su godine prošle od našeg zadnjeg druženja tijekom 8. Simpozija na Krku 2011. godine. U tom je razdoblju Društvo aktivno sudjelovalo u radu zajednice europskih društava za zaštitu od zračenja, sudjelovali smo na IRPA-13 kongresu u Glasgowu 2012. godine i na simpozijima regionalnih društava za zaštitu od zračenja i drugih srodnih društava, a imamo i predstavnika u znanstvenom odboru 4. Europskog IRPA kongresa u Ženevi 2014. Proveli smo drugi natječaj za najbolji znanstveni ili stručni rad iz područja znanosti o zračenju i zaštite od zračenja, a dobitnik nagrade dr. sc. Branko Petrinc uspješno je sudjelovao na natjecanju mladih tijekom IRPA-13 kongresa u Glasgowu 2012. godine. Ove godine raspisat ćemo treći natječaj, čiji će pobjednik predstavljati HDZZ u natjecanju tijekom 4. Europskog IRPA kongresa u Ženevi.

U Zborniku se nalazi ukupno 86 radova podijeljenih u 7 znanstveno-stručnih sekcija. U taj broj ulaze i tri predavanja vezana uz Okrugli stol koji je ove godine posvećen obilježavanju 50 godina organizirane zaštite od zračenja na ovim prostorima. Ponosni smo što je upravo u ovom Zborniku sabran najveći broj objavljenih radova u zbornicima od 1992. godine, a posebno nas veseli veliki broj radova mladih članova društva, kao i velik broj radova iz inozemnih prijateljskih društava.

U ovom Zborniku radova objavljujemo sve u roku pristigle radove. Objavljeni 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 su odgovornost autora jer tekstovi nisu posebno lektorirani. Radovi autora iz BiH i Srbije koji nisu pisani na engleskom jeziku, ostavljeni su u originalnom jezičnom obliku. 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. Nakon Simpozija na internetskim stranicama HDZZ-a (www.hdzz.hr) bit će dostupna i pdf verzija Zbornika u kojoj će se svi prilozi moći vidjeti u originalnim bojama.

Podsjećamo da je *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* (<http://hrcak.srce.hr/aiht>), znanstveno-stručni časopis sa šezdesetogodišnjom tradicijom izlaženja koji trenutno ima čimbenik odjeka (*Impact Factor*) 1,048, službeno glasilo HDZZ-a. U časopisu se redovito objavljuju informacije vezane uz rad Društva. Ovom prigodom sve sudionike 9. 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 na engleskom jeziku ili stručnog rada na hrvatskom ili engleskom jeziku.

I na kraju, nadamo se da će čitatelji u ovoj knjizi 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 na Krku.

Vjerujemo da ćemo u zajedničkom druženju i izmjenama iskustava na Simpoziju unaprijediti međusobnu znanstvenu i stručnu suradnju.

Željka Knežević, predsjednica ZO 9. HDZZ-a i urednica Zbornika
Marija Majer, predsjednica OO 9. HDZZ-a i urednica Zbornika
Ines Krajcar Bronić, tajnica HDZZ-a i urednica Zbornika
Saveta Miljanić, predsjednica HDZZ-a

Zagreb, travanj 2013.

SADRŽAJ

CONTENTS

Okrugli stol / Round Table

O. Ciraj-Bjelac, G. Pantelić, M. Kovačević <i>On the occasion of the 50th anniversary of organised radiation protection</i>	3
I. Krajcar Bronić, S. Miljanić, M. Ranogajec-Komor <i>Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja: od Jugoslavije do Europe Croatian Radiation Protection Association: from Yugoslavia to Europe</i>	14
G. Omahen, M.J. Križman <i>Radiation protection in Slovenia over the past fifty years (1963 – 2013) and the Slovenian Society of Radiation Protection</i>	26

Opće teme / General topics

N. Novosel <i>Ugovor o osnivanju Europske zajednice za atomsku energiju (EURATOM) i buduće obveze Republike Hrvatske Treaty establishing the European Atomic Energy Community (EURATOM) and future obligations of the Republic of Croatia</i>	39
D. Kubelka, D. Trifunović, I. Kralik, S. Krča, K. Šmalcelj, S. Medaković <i>Uloga regulatornog tijela u zbrinjavanju radioaktivnog otpada u državama bez nuklearnog programa Involvement of regulatory body in radioactive waste management in non-nuclear countries</i>	45
A. Knapp, I. Levanat, V. Lokner, D. Šaponja-Milutinović <i>Vrijeme za kompetentne odluke o zbrinjavanju radioaktivnog otpada u Hrvatskoj Time for competent decisions on radioactive waste management in Croatia</i>	51
M. Medvedec <i>Medicinska fizika i biomedicinsko inženjerstvo u kliničkom okruženju i pravnom okruženju Medical physics and biomedical engineering in clinical environment and legal surrounding</i>	59
I. Fehér, S. Deme, A. Andrási <i>50 years of Health Physics Section of the Roland Eötvös Physical Society</i>	65

M. Ranogajec-Komor, S. Miljanić, Ž. Knežević, Đ. Milković, M. Osvay	70
Osvrt na posjetu dekontaminacijskoj lokaciji u prefekturi Fukushima <i>Report on the decontamination site tour in Fukushima Prefecture</i>	
Y. Koguchi, N. Takeuchi, T. Yamamoto	76
Current status of personal monitoring in Japan after the Fukushima accident	
B. Katušin-Ražem, R. Jagić, M. Braun	77
Radijacijska metoda u spašavanju predmeta kulturne baštine u slučajevima ugroženosti širih razmjera <i>Irradiation as a method of salvation of cultural heritage objects under massive jeopardy</i>	
Dozimetrija zračenja / Radiation dosimetry	
H. Hršak	87
Određivanje apsorbirane doze u vodi za Leksell Gamma Knife uređaj <i>Determination of absorbed dose to water for Leksell Gamma Knife Unit</i>	
M. Mlinarić, M. Budanec, I. Mrčela, M. Gregov, T. Bokulić, A. Fröbe, Z. Kusić	93
Provjera računa apsorbirane doze u XIO računalnom sustavu za planiranje radioterapije <i>Verification of absorbed dose calculation with XIO radiotherapy treatment planning system</i>	
T. Grego, J. Bibić, L. Barišić, N. Kovačević, H. Hršak	99
Intensity modulated radiation therapy with simultaneously integrated boost at University Hospital Centre Zagreb (KBC Zagreb)	
M. Surić Mihić, I. Prlić, T. Meštrović, I. Mrčela	105
Uporaba aktivnog elektroničkog osobnog dozimetra u intervencijskoj radiologiji i urologiji <i>Use of active electronic personal doseimeters in interventional radiology and urology</i>	
J. Šiško, M. Surić Mihić, S. Idrizi, T. Meštrović, I. Prlić	111
Raspodjela osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ mjerenog u Jedinici za dozimetriju zračenja i radiobiologiju, IMI, za 2011. i 2012. godinu <i>$H_p(10)$ distribution measured at the IMROH Radiation Dosimetry and Radiobiology Unit for 2011 and 2012</i>	
R. Bernat, B. Vekić, M. Vojnić Kortmš	116
Izračun mjerne nesigurnosti za mjerenje osobnog doznog ekvivalenta ($H_p(10)$ i $H_p(0,07)$) TL dozimetrima <i>Uncertainty budget for measurement of personal dose equivalent $H_p(10)$ and skin dose equivalent $H_p(0.07)$ using TL dosimeters</i>	

M. Ranogajec-Komor, Ž. Knežević, H. Dombrowski, S. Neumaier Usporedba TL i RPL dozimetara za mjerenja doza u okolini <i>Comparison of TL and RPL environmental doseimeters</i>	121
B. Zorko, Ž. Knežević, B. Črnič, M. Majer, S. Gobec, M. Ranogajec-Komor <i>Intercomparison of environmental doseimeters using various TL materials and dosimetry systems</i>	127

Biološki učinci zračenja / *Biological effects of radiation*

M. Majer, Ž. Knežević, S. Miljanić Intrigantna veza rizika i malih doza <i>Cancer risks from exposure to low dose of ionising radiation</i>	135
N. Maltar-Strmečki, I. Matković <i>Study of radiation induced radicals in HAP and β-TCP based bone graft materials by EPR spectroscopy</i>	141
M. Milić, M. Vilić, V. Kašuba, J. Pejaković Hlede, Ž. Gottstein, M. Karadjole, S. Miljanić <i>The assessment of DNA damage in poultry spermatozoa after exposure to low doses of ionising radiation</i>	147
M. Šegvić Klarić, I. Kosalec, M. Milić, N. Kopjar <i>Inhibition of genotoxic effects of UVC radiation on human keratinocyte HaCaT cells by Echinacea purpurea (L.) Moench herbal extract</i>	153
N. Maltar-Strmečki, B. Ljubić-Beer, R. Laškaj, J. Aladrović, P. Džaja <i>Effect of the gamma radiation and temperature on histamine production, lipid peroxidation and antioxidant parameters in sardine (<i>Sardina pilchardus</i>)</i>	159
M. Gerić, A. Štraser, G. Gajski, J. Nunić, B. Žegura, M. Filipič, V. Garaj-Vrhovac <i>Use of γ-H2AX foci assay on human peripheral blood lymphocytes as sensitive biomarker of exposure</i>	166
V. Benković, S. Halovanić, A. Horvat Knežević, N. Borojević, N. Oršolić, M. Milić <i>The combined effect of anesthetic sevoflurane and ionising radiation on primary DNA damage in mice</i>	172

Izloženost stanovništva zračenju / *Public exposure*

D. Babić, J. Senčar, B. Petrincec, G. Marović, T. Bituh, B. Skoko Periodičnost u okolišnoj radioaktivnosti u Zagrebu u razdoblju 1985. – 2011. <i>Periodicities in the environmental radioactivity in Zagreb between 1985 and 2011</i>	181
AL. Grund, T. Azzam Jai, V. Grimm, J. Breckow <i>Radiation protection for radon in dwellings – consequences of the ICRP Publication 115</i>	187
G. Pantelić, M. Živanović, M. Eremić Savković, S. Forkapić <i>Radon concentration intercomparison in Serbia</i>	193
S. Forkapić, I. Bikit, M. Vesković, N. Todorović, D. Mrda, K. Bikit, J. Nikolov <i>Radon measurements in Vojvodina</i>	199
V. Radolić, D. Stanić, I. Miklavčić, M. Poje, B. Petrincec, M. Mužević, I. Krpan, B. Vuković Radon u tlu i vodi Ličko-senjske županije <i>Radon in soil and tap water in Lika-Senj County</i>	205
I. Franulović, B. Petrincec, M. Kolar ¹³⁷ Cs i ⁹⁰ Sr u mlijeku Zagrebačke regije <i>¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in milk from the Zagreb region</i>	211
A. Todorovik, P. Sekulovski, E. Dimitrieska Stojkovik, Z. Hajrulai Musliu, B. Stojanovska Dimzoska, R. Uzunov <i>Bioaccumulation of ⁴⁰K and ¹³⁷Cs in mushrooms collected in different locations in Macedonia</i>	216
D. Barišić, B. Vekić, Z. Špirić, V. Kušan, M. Frontasyeva <i>Moss biomonitoring as a tool for radiological exposure assesment</i>	222
J. Ilić, M. Eremić-Savković, Lj. Javorina, I. Tanasković, V. Arsić, S. Bogojević <i>Determination of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in human food and effective dose assessment due to food consumption in the environment of region Užice</i>	223
M. Rogić, M. Rožmarić Mačefat, D. Barišić, Lj. Benedik, P. Planinšek Koncentracije aktivnosti ²¹⁰ Po i ²¹⁰ Pb u dagnjama(<i>Mytilus galloprovincialis</i>) te procjena ukupne godišnje efektivne doze za priobalno stanovništvo Republike Hrvatske <i>Activity concentration of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in mussels (Mytilus galloprovincialis) with total annual effective dose assessment to the coastal population of Republic of Croatia</i>	229

N. Kopjar, I. Prlić, J. Senčar, D. Želježić, S. Ramić, G. Marović	235
Izloženost zračenju kroz dijagnostičke postupke nuklearne medicine – prikaz slučaja	
<i>Radiation exposure by nuclear medicine imaging procedures: a case study</i>	

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

M. Osvay, O. Turák	243
<i>Exposure of medical staff during interventional procedures</i>	
D. Nikodemová	247
<i>Consequences of the new eye lens limits for the staff in medicine</i>	
I. Kralik, M. Štefanić, G. Šarić, S. Težak, S. Grbac Ivanković, M. Radić Wolfl, D. Posedel, S. Jurković, H. Brkić, D. Faj	253
<i>The estimation of collective dose from medical exposures from diagnostic nuclear medicine examinations in Croatia</i>	
D. Šegota, S. Jurković, D. Posedel, I. Kralik, D. Miletić, D. Faj	259
<i>Radiation doses on CT scanner in University Hospital Rijeka and comparison with European Commission dose reference levels</i>	
Đ. Milković, S. Miljanić, Ž. Knežević, N. Beck, I. Žagar, M. Ranogajec-Komor	265
<i>Doze zračenja pri snimanju paranazalnih šupljina djece</i>	
<i>Determination of doses for X-ray examinations of paranasal sinuses of children</i>	
J. Popić Ramač, Z. Brnić, V. Vidjak, N. I. Leder, Ž. Knežević	271
<i>Savjetovanje trudnica ozračenih u dijagnostičkoj radiologiji</i>	
<i>Counseling patients exposed to ionizing radiation in diagnostic radiology during pregnancy</i>	
Ž. Knežević, M. Majer, J. Popić Ramač	277
<i>Procjena doza i rizika na pojedinim organima za CT prsišta</i>	
<i>Evaluation of organ doses and radiation risk for CT examination of thorax</i>	
O. Ciraj-Bjelac, V. Antic, D. Arandjic, P. Bozovic	283
<i>Influence of ceiling suspended screen positioning to the scatter radiation levels in interventional cardiology</i>	
S. Miljanić, H. Hršak, Ž. Knežević, M. Majer, Z. Heinrich	289
<i>Periferne doze u djece liječene radiokirurški na Gamma Knife-u</i>	
<i>Out of field doses in children undergoing Gamma Knife radiosurgery</i>	
M. Kasabašić, A. Ivković, I. Tomaš, S. Jurković, D. Faj	295
<i>Influence of routine MV CBCT usage on dose distribution in pelvic radiotherapy</i>	

V. Rajevac, K. Antunac, A. Čehobašić	302
Kvaliteta konformalnog 3D planiranja zračenja: usporedba dvije tehnike planiranja zračenja kod bolesnika s rakom prostate: "BOX" tehnika i tehnika 5 polja <i>Quality of 3D conformal treatment planning: comparison of 2 treatment planning techniques in patients with prostate cancer: BOX technique and 5 field technique</i>	
M. Poje, B. Vuković, D. Faj, A. Ivković, I. Krpan, V. Radolić, I. Miklavčić, A. Živković	308
Utjecaj vrste i debljine zaštitne oplata na brzinu neutronske doze u okolini linearnog akceleratora – eksperimentalni rezultati <i>The influence of used construction material and its thickness on the neutron dose rate around the linear accelerator – experiental results</i>	
M. Gregov, T. Bokulić, M. Mlinarić, I. Mrčela, M. Budanec, I. Prlić, Z. Kusić	314
Mjerenje neutronske i fotonske brzine okolišnih ekvivalentnih doza u radioterapiji <i>Measurement of neutron and photon ambient equivalent dose rates in radiotherapy</i>	
M. Radić-Wolfl, S. Grbac-Ivanković, I. Kuburić	321
Procjena ostatne radioaktivnosti vanjskim mjerenjem pacijenata nakon radiojodne terapije <i>Evaluation of retained activity by external measurement of the patients after radioiodine therapy</i>	
M. Gamulin, M. Grgić, S. Ramić, V. Garaj-Vrhovac, N. Kopjar	327
Rani učinci radioterapije na razini oštećenja genoma u bolesnika liječenih od raka prostate i seminoma testisa <i>Early effects of radiotherapy on genome damage in patients with prostatic cancer and testicular seminoma</i>	
I. Mrčela, T. Bokulić, M. Budanec, M. Surić Mihić, M. Gregov, M. Mlinarić, Z. Kusić	334
Pregled osobnih doza djelatnika KBC "Sestre Milosrdnice" u desetogodišnjem razdoblju <i>Personal dosimetry in UHC "Sestre Milosrdnice": a 10-years review</i>	
D. Dundara Debeljuh, Đ. Smilović Radojčić, A. Diklić, M. Švabić Kolacio, M. Kasabašić, D. Faj, S. Jurković	340
Kontrola kvalitete megalnog napona portalnog sustava za slikanje <i>Quality control of mega voltage portal imaging system</i>	
J. Praskalo, B. Kočić, J. Marinković	346
Uspoređivanje karakteristika rendgen aparata različitih generacija <i>Comparison of some values of measured parameters between old and new X-ray machines</i>	

Radioekologija / Radioecology

Z. Franić, B. Hanžek, G. Branica, B. Petrinc, G. Marović Pregled razvitka radioekologije Jadranskog mora <i>Review of development of Adriatic marine radioecology</i>	355
M. Rožmarić Mačefat, M. Rogić, D. Barišić, Lj. Benedik, M. Štrok Sustavno praćenje radioaktivnosti priobalnih voda Jadrana korištenjem dagnji (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) kao bioindikatora <i>Systematic radioactivity monitoring of Adriatic coastal waters using mussels (Mytilus galloprovincialis) as bioindicators</i>	361
J. Barešić, S. Fallon, J. Mazerat ¹⁴ C u koraljima iz Indonezijskog mora <i>¹⁴C records from Indonesian Sea</i>	367
A. Vidic, Z. Ilić, M. Antunović Određivanje urana u podzemnim vodama BiH <i>Determination of uranium in groundwater samples in Bosnia and Herzegovina</i>	373
A. Vidic, A. Rašidagić, Z. Ilić, M. Nuhanović Novija određivanja urana i ukupne alfa i beta aktivnosti u podzemnim vodama na području Hadžića <i>Recent determinations of uranium and gross alpha nad beta in groundwater samples of Hadžići area</i>	379
T. Bituh, G. Marović, B. Petrinc, Z. Vučić, I. Prlić Prirodna radioaktivnost u okolišu odlagališta fosfogipsa <i>Natural radioactivity in the phosphogypsum deposition site surroundings</i>	384
I. Bikit, S. Forkapić, D. Mrda, M. Vesković, N. Todorović, J. Nikolov, K. Bikit <i>Long term surveillance of the Vojvodina agricultural soil</i>	390
M. Šoštarić, B. Petrinc, D. Babić ¹³⁷ Cs u tlu i oborini Zagrebačke regije <i>¹³⁷Cs in soil and fallout of the Zagreb region</i>	395
M. M. Rajačić, N. B. Sarap, M. M. Janković, J. D. Nikolić, D. J. Todorović, G. K. Pantelić <i>Radioactivity in chemical fertilizers</i>	401
N. B. Sarap, M. M. Rajačić, M. M. Janković, D. J. Todorović, J. D. Nikolić, G. K. Pantelić <i>Radioactivity in soil samples collected in southern Serbia</i>	407

J. Nikolov, S. Forkapić, J. Hansman, U. Kozmidis-Luburić, I. Bikit, M. Vesković, M. Krmar, N. Todorović, D. Mrđa, K. Bikit <i>Natural radioactivity around former uranium mine Kalna in eastern Serbia</i>	413
I. Lovrenčić Mikelić <i>Elevated massic activities of ^{238}U and ^{226}Ra in sediment of the Kaštela Bay (Adriatic Sea, Croatia)</i>	419
N. Horvatinčić, A. Sironić, J. Barešić, I. Krajcar Bronić <i>Utjecaj globalnog ^{14}C zagađenja atmosferskog CO_2 na krški sustav Plitvičkih jezera</i> <i>Influence of global ^{14}C contamination of atmospheric CO_2 on the karst area of the Plitvice Lakes</i>	425
G. Pehnec, V. Vadić, M. Čačković, G. Marović, J. Senčar <i>Utjecaj centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na okoliš</i> <i>Influence of central wastewater treatment plant on the environment</i>	432
K. Šega, I. Bešlić, G. Marović, J. Senčar <i>Specifična ukupna beta aktivnost lebdećih čestica u atmosferi Zagreba</i> <i>Airborne particular specific total beta activity in Zagreb atmosphere after Fukushima accident</i>	438
M. Čačković, G. Marović, K. Šega, V. Vadić, I. Bešlić, J. Senčar <i>Kisele komponente u PM_{10} frakciji lebdećih čestica i ukupna beta aktivnost zraka</i> <i>Acidic components in PM_{10} particle fraction and total beta activity in the air</i>	444
V. Vadić, G. Pehnec, M. Čačković, G. Marović, J. Senčar <i>Utjecaj postrojenja za eksploataciju prirodnog plina na okoliš</i> <i>Impact of natural gas exploitation plant on the environment</i>	450
P. Jovanović <i>Measurements of aerosol characteristics in Škocjan caves</i>	456
G. Marović, Z. Franić, M. Avdić, B. Skoko, J. Senčar <i>Radioaktivnost mahovine – odgovor na kontaminaciju iz Fukushima</i> <i>Radioactivity in mosses –contamination after Fukushima</i>	462
I. Krajcar Bronić, B. Obelić, B. Breznik, A. Volčanšek, J. Barešić, N. Horvatinčić, A. Rajtarić <i>Šest godina sustavnog praćenja ^{14}C u atmosferi i bilju u okolici Nuklearne elektrane Krško (NEK)</i> <i>Six years of continuous monitoring of ^{14}C activity of atmosphere and plants in vicinity of Nuclear Power Plant Krško (NEK)</i>	468

B. Skoko, G. Marović, D. Babić, I. Vicković	475
Raspodjela ^{137}Cs u mesu i unutarnjim organima divlje svinje <i>Distribution of ^{137}Cs in meat and internal organs of wild boar</i>	

Instrumentacija i mjerne tehnike / Instrumentation and measuring techniques

I. Milanović, M. Nodilo, Ž. Grahek	483
Metodologija i interpretacija rezultata određivanja ukupne alfa i beta aktivnosti u tekućim uzorcima <i>Gross alpha and gross beta activity determination in liquid samples: methodology and results interpretation</i>	
M. Nodilo, G. Karanović, Ž. Grahek	489
Procjena mjernih nesigurnosti i granica detekcije kod određivanja $^{89,90}\text{Sr}$ Čerenkovljevim brojenjem <i>Uncertainty and detection limit in determination of $^{89,90}\text{Sr}$ by Cherenkov counting</i>	
I. Krajcar Bronić, J. Barešić, A. Sironić, N. Horvatinčić	495
Analiza stabilnosti sustava za pripremu i mjerenje ^3H i ^{14}C <i>Stability analysis of systems for preparation and measurement of ^3H and ^{14}C</i>	
B. Petrinc, M. Šoštarić, D. Babić, B. Zorko	502
Specifičnosti interkomparacije na uzorku stijena s otoka Jabuke <i>Specificities of an intercomparison on a rock sample from the island of Jabuka</i>	
D. Mrđa, I. Bikit, J. Slivka, N. Todorović, S. Forkapić, K. Bikit, J. Nikolov	508
<i>Detector background reduction by passive and active shielding</i>	
M. Đurašević, A. Kandić, I. Vukanac, B. Šešlak, Z. Milošević	514
Komparativna analiza metoda za kalibraciju efikasnosti polupovodničkog gama spektrometra <i>Comparative analysis of methods for efficiency calibration of semiconductor gamma ray spectrometer</i>	
I. Vukanac, M. Đurašević, B. Šešlak, A. Kandić, Z. Milošević	520
O pripremi radnih standarda u gama spektrometriji <i>On the preparation of working standards for gamma-ray spectrometry</i>	
M. Vojnić Kortmiš, R. Bernat, B. Vekić	526
Karakteristike Exardin A3 i A4 sfernih ionizacijskih komora <i>Characteristics of Exardin A3 and A4 spherical ionization chambers</i>	

D. Blum, K. Zink, J. Breckow	532
<i>Feasibility study for a two-energy compact medical cyclotron controlled by two pairs of main coils</i>	
M. Attia, V. Grimm, J. Breckow	538
<i>"Au.raex": an automated, long lasting exposimeter for monitoring persons with increased Radon-exposure</i>	

Popis autora / Author index	545

OKRUGLI STOL

ROUND TABLE

ON THE OCCASION OF THE 50th ANNIVERSARY OF ORGANISED RADIATION PROTECTION

Olivera Ciraj-Bjelac, Gordana Pantelić and Miloško Kovačević

Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia

ociraj@vinca.rs

INTRODUCTION

Radioactivity and radiation are parts of our natural environment that existed on Earth before any signs of life. When humans learned how to use radiation, these phenomena have become a part of our life that contributes greatly to the quality of life and the development of science, industry and medicine. Nuclear and isotopic techniques present a wide range of human activities. For more than a decade, they have been applied in different areas of human activities, which include nuclear energy, agriculture and biotechnology, in the management of water and marine resources, industry, science and research, archaeology, history and medicine. Different nuclear technologies bring on daily basis immense benefits in diagnosis and treatment of diseases, in control of industrial processes, as well as for development of science and power generation. In parallel with the expansion of application of radioisotopes and nuclear methods, awareness about the harmful effects of ionizing radiation has increased. The new findings resulted in the development of new scientific and professional discipline that is now known as the Radiation Protection. This discipline pervades all applications of radiation sources and nuclear methods with an aim to protect people and the environment from unnecessary and excessive exposure to ionizing radiation, seeking to maximize the benefit and minimize the risk in any practice that is associated with radiation.

Radiation protection, both as a multidisciplinary scientific discipline and as an attitude, has largely contributed to the protection of man and the environment against the potential harm of ionizing radiation, allowing their beneficial and safe use. It covers a wide range of domains and applications related to the development and operation of nuclear and radiation related technologies. Over the past decades, almost a century, professionals active in the domain of radiation protection have immensely contributed to the development of legislation and regulations, to monitoring and control, to prediction of consequences and to the assessment of risks.

Harmful effects of radiation and call for protection against it were recognized rather early, practically immediately upon the discovery of x-rays. In June 1896, Nikola Tesla, a scientist of the Yugoslav origin who worked in the USA, provided one of the earliest and, at the same time, one of the most fundamental principles of radiation protection: "Experimenters should not get too close to the x-ray tube" [1]. There were also many other examples pointing out the need for radiation protection. Still, in the first thirty years of use of radiation, radiation protection was the task performed by those dealing with it in their everyday practice only - in other words, it was not regulated. Radiation protection regulation, at international level, was related to the foundation of the International Commission on Radiological Protection. In the same period many national societies were established, bringing us in position to celebrate 50th anniversary of organized radiation protection, both on national and international scale.

Fifty years of organized professional activities in the area of radiation protection is certainly an excellent occasion to summarize evolution and achievements of the radiation protection professionals in the region known as former Yugoslavia.

FOUNDATION OF YUGOSLAV RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

Activities in the radiation protection field in Yugoslavia diversified greatly in the beginning of the 60s of the 20th centuries. Only some four years after the adoption of the protection policy its first professional conditions were fulfilled for the organization of an expert meeting – a symposium. The Symposium was held in Portorož (Slovenia) on October 8 – 12, 1963. The program of the Symposium included plenary sessions with general topics and three parallel sessions on Radiation Protection in Medicine and Biology, Technical Radiation Protection, and Environmental Radiation. Short summaries of the presented papers were published in the Book of Abstracts was (Figure 1) [1-4].

Although the first in a series, it was the most attended meeting as 315 participants took part at that time. It was also a great confirmation that a large and already successful radiation protection professional community existed at that time. Established international cooperation and participation international meetings made professionals aware that national radiation professional societies had been already established in other countries.

Besides the outstanding program and number of participants, the Symposium was an occasion during which the Yugoslav Radiation

Protection Association (YRPA) was founded. At the inaugural meeting, the temporary management had been elected, consisting of: Grujica Žarković, president, Andrija Muhek, vice-president, Ljubomir Barberić, vice-president, Vladeta Gajić, general secretary, Zdenko Milavc, secretary, Milovan Vidmar, secretary, Dušan Srdoč, secretary, and members: Milan Babšek, Kazimir Baryla, Zdravko Buzančić, Borivoje Damjanović, Zoran Djukić, Aleksandar Gal, Dragutin Grozdanović, Srdjan Hajduković, Alenka Jeršić, Milica Kačarević, Dušan Kanazir, Miloš Kilibarda, Krista Kostijal, Bраниmir Miletić, Zoran Popović, Petar Mirić, Živana Petrović, Velimir Popović, Ante Spozna, Dušan Stojanović, Toma Tasovac, Velimir Vouk and Selimir Vrbić. At the meeting, held on 23 October 1963, the executive council was also established, consisting of: Grujica Žarković, the president, Andrija Muhek and Ljubomir Barberić, vice-presidents, Vladeta Gajić, general secretary, Predrag Bojović, Dušan Srdoč and Janez Kristan, secretaries, and members: Zdravko Buzančić, Zoran Djukić, Živana Petrović, Velimir Popović, Toma Tasovac and Gligor Tofoski.

During its foundation, it was underlined that Association should be the link between all professionals and organizations interested in radiation protection. All relevant organizations gave their support to the society foundation. It should help the scientific and professional work to be improved and safely applied in practice. The main task would be organizing the scientific meetings and conferences on the radiation protection topic.

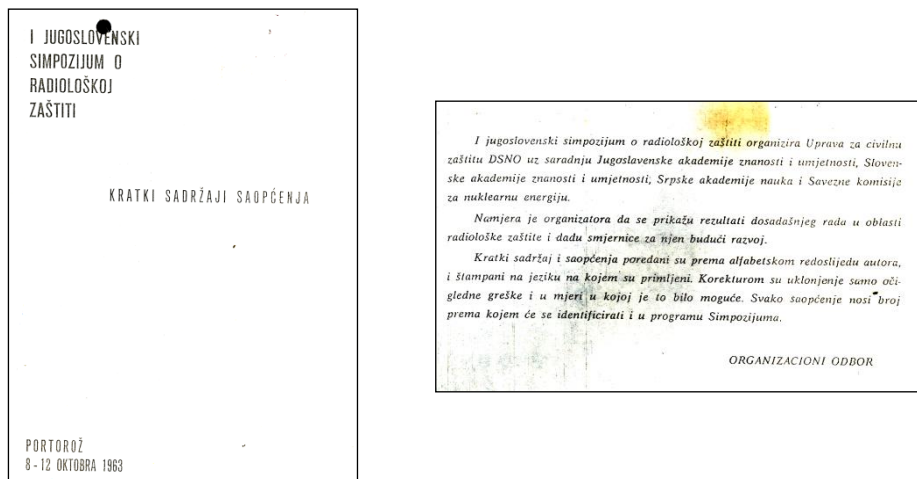


Figure 1. Cover page of the Book of abstracts from the First Radiation Protection Symposium held in Portorož, 8-12 October 1963.

The main tasks and aims of the YRPA were at that time:

- organized activities on the continual environmental quality improvement and protection of the environment, human and animal population from the harmful effects of the radiation;
- organized initiation and support of scientific research in all fields where the radiation sources are used for peaceful purposes;
- continuous training of the workers and continual application of radiation protection principles;
- care for adequate social position of professionals dealing with radiation sources and working in radiation protection departments;
- promotion of professional and ethical principles application in the radiation sources use;
- organized efforts and requirements for continuous public education and information about radiation and radiation protection;
- collaboration with radiation protection associations and societies from other countries and international organizations and professional and scientific experience exchange;
- reviewing and following the radiation protection system organization and suggesting improvements;
- training of the professionals who work with radiation sources and in radiation protection services, for efficient work in accidental conditions;
- organization of symposia, conferences and other scientific meetings;
- active cooperation with International Radiation Protection Association (IRPA) and other international organizations and associations of radiation protection and participation in international professional and scientific conferences and meetings;
- cooperation with other associations professionally interested in radiation protection.

The goals of YRPA were outlined in the statute. The statute cover page and membership card are shown in Figure 2 [4]. The statute of the YRPA has been recommended by IRPA as an example of well designed statutes to other national societies during their foundations [3].

In the period 1963-1970 the name of the society was Yugoslav Society for Radiological Protection (*Jugoslovensko društvo za radiološku zaštitu*), in the period 1972-2003 it was Yugoslav Radiation Protection Association (*Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja*), and in 2005 it

became Radiation Protection Association of Serbia and Montenegro (*Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*), which remained till present.

It must be noted that first days of the YRPA were also associated with certain difficulties related to the technical and financial problems. However, these difficulties were overcome thanks to the enthusiasm of the members who contributed to the organization of the society, so activities of the YRPA became normal in 1966. In the period 1979 – 1981, all republics and provinces of former Yugoslavia established their own radiation protection societies and these societies became collective members of YRPA [4]. Some of them, as the Croatian and Slovenian national associations are presently/today active professional societies and members of the IRPA. General assembly of YRPA was organized regularly, during symposia of YRPA, in particular in Banja Luka in 1967, Baško Polje in 1969, Bled in 1970, Ohrid in 1972, Kaštel Stari in 1973, Herceg Novi in 1975, Jajce in 1977, etc.

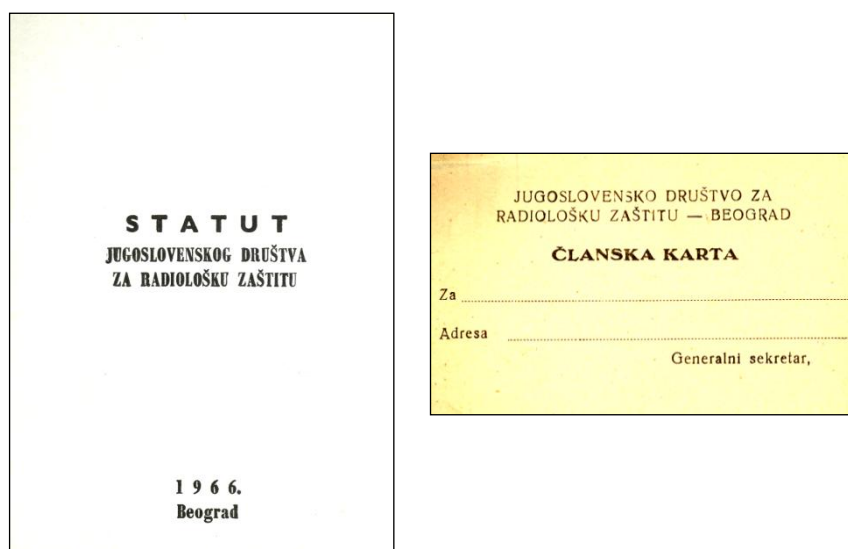


Figure 2. Cover page of the Statute and membership card of the YRPA

From the foundation of the YRPA, the executive board played an important role. It was a coordinator, initiator and executive body for all society's activities. During years the executive board has a number of successful meetings, and number of minutes from these meeting are sort of

proof of this success. Reports from these meetings were also published in the bulletins and become available to the members of the YRPA. Under certain circumstances, when there was a need the executive board established committees consisting of experts in the particular field of radiation protection.

MEMBERSHIP IN THE INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION (IRPA)

Since foundation of YRPA, efforts had been made to contact and cooperate with similar organizations in country and abroad. YRPA representatives participated at the International Radiation Protection Association (IRPA) foundation meeting, held at Paris in 1964 (Figure 3), and its First annual meeting and Congress in Rome, in 1966. Yugoslav Radiation Protection Association became a full member of IRPA in 1969 [2,4].

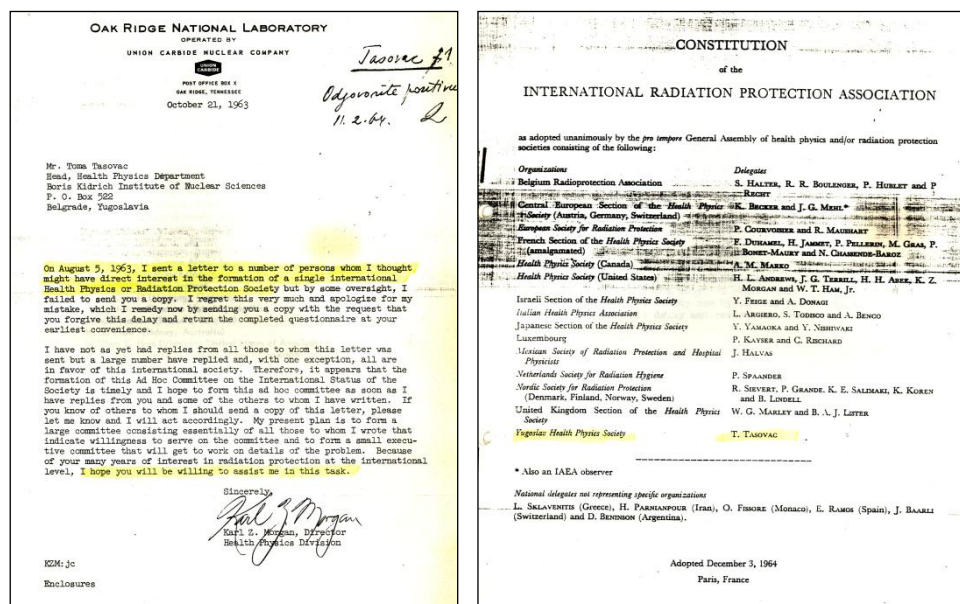


Figure 3. Constitution of the IRPA in Paris 1964 and participation of the YRPA representative

SYMPOSIA, BULLETINS AND OTHER ACTIVITIES

In the period 1963-1991 Yugoslav Radiation Protection Association organized number of symposia, few international and regional meetings, and number of specialized meetings related to the particular radiation protection topic. The symposia were the most important activity of the YRPA, both in terms of topics covered and in terms of number of participants, as presented in Table 1. Symposia were held regularly in biannual intervals in the period 1963 – 2013.

Table 1. Symposia on radiation protection held in the period 1963 – 2013

No	Year	Venue	Number of participants	Number of papers
I	1963	Portorož	310	162
II	1965	Mostar	250	48
III	1967	Banja Luka	210	88
IV	1969	Baško Polje	250	151
V	1970	Bled	200	110
VI	1972	Ohrid	160	96
VII	1973	Kaštel Stari	150	92
VIII	1975	Herceg Novi	150	83
IX	1977	Jajce	150	109
X	1979	Arandelovac	120	88
XI	1981	Portorož	150	116
XII	1983	Ohrid	200	139
XIII	1985	Pula	250	182
XIV	1987	Novi Sad	250	117
XV	1989	Priština	150	119
XVI	1991	Neum	130	108
XVII	1993	Beograd	120	74
XVIII	1995	Bečići	106	86
XIX	1997	Golubac	95	75
XX	1999	Tara	105	90
XXI	2001	Kladovo	94	82
XXII	2003	Petrovac	100	80
XXIII	2005	Donji Milanovac	80	69
XXIV	2007	Zlatibor	95	75
XXV	2009	Kopaonik	74	64
XXVI	2011	Tara	82	78
XXVII	2013	Vrnjačka Banja	-	-

During 50 years history of radiological protection, 26 regular symposia were held with 2581 scientific presentations and more than 4000 participants. In spite to all difficulties, the YRPA held traditions in publishing proceedings from the symposia. Unfortunately, some of them, in particular those from the early period of the YRPA, were not preserved either in the archive of the society or in public libraries. Also, a very nice tradition to publish selected number of contributions in the peer reviewed journals such as Health Physics was not kept, which increased likelihood that some of the activities of the members of the society will be irreversibly lost.

Based on the topics of the papers published in the proceedings, it is obvious that society kept a tradition of a multidisciplinary approach in radiation protection. Papers covered both fundamental and applied aspect of radiological protection. In many cases actual topics, related to the nuclear accidents or similar events related to radiation protection were also presented. Overall, the largest number of papers has been related to the problems in radioecology, followed by topics in radiobiology, dosimetry, radiation measurements and many others.

As, mentioned above, besides regular biannual symposia, thematic meetings and conferences were organized occasionally. Some of them, followed by published proceedings, were:

- Population exposure from external radiation due to non-medical uses of radiation sources, Arandelovac, 20 – 21 May, 1976;
- Health surveillance of workers in medicine, Cavtat, 13 – 15 October, 1988;
- Natural sources of radiation, Belgrade, 1995 (ed. M Kovačević);
- Chernobyl, 10 years after the accident, Budva, 4 – 7 June, 1996.

Starting from the 1960-ties till the end of 1980-ties, YRPA regularly published bulletins, 3 – 4 times per year, bringing important information related to the activities of the society, its executive board, actual topics in the radiation protection, interactions with other similar professional societies, reports from relevant organizations working in the field of radiation protection, news from IRPA and latest literature. The first issue of the bulletin was published in 1965 [2,4]. According to the information provided in the bulletins, it was interesting to see that YRPA had an important liaison role between professional organizations in radiation protection, providing instructions how to implement new approaches,

methodologies or how to unify the reports of measurements. It was interesting to note that members of the YRPA also provided educational material for public related to radiological protection. Unfortunately, due to lack of adequate support, the material has never been published.

Although YRPA was not a direct organizer, many distinguished members of the society contributed to the establishment of the "Summer schools" in radiation protection during 1960-ties, with an idea to establish more intensive cooperation at the international level. Events known as "summer schools" played a very important role. A group of participants in the International Radiation Protection Colloquium held in Herceg Novi (Yugoslavia) in 1966: Ljubomir Barbarić, Predrag S. Bojović and Marko Ninković decided to initiate organization of international radiation protection schools in Yugoslavia. Eventually, four schools were organized in the period from 1970 to 1979, in particular:

- Radiation Dosimetry, Cavtat, 1970;
- Protection of Nuclear Facilities Surroundings, Herceg Novi, 1973;
- Current Problems and Concerns of Health Physicists, Herceg Novi, 1976; and
- Waste Disposal and other Problems in the Nuclear Industry, Dubrovnik, 1979 [1,4].

The most eminent radiation protection scientists (ten or more of them at each school) as K.Z. Morgan, W.S. Snyder, N.G. Gusev, Bo Lindel, H. Jammet, D. Beninson, and others, took part as lecturers, immensely contributing to the overall success of the Schools. It is interesting to note that already in 1976, during the third school, D.H. Sliney and R.T. Ham, from the USA, gave lectures on the danger and protection against non-ionizing radiation.

CURRENT SITUATION

Long tradition of radiological protection was a very good basis for the national societies currently existing in the region. At present, active societies are Croatian Radiation Protection Association (CRPA), Radiation Protection Association of Serbia and Montenegro and Radiation Protection Association of Slovenia. All three organizations are members of the IRPA. Croatian and Serbian societies regularly organize biannual national symposia attracting a number of experts and professionals in radiation protection from the country and from the region. For many years, there is a

formal cooperation between the two societies consisting of regular exchange of delegates and participation of scientists from one country at the national symposia in the other country.

At present, Radiation Protection Association of Serbia and Montenegro has approximately 80 active members and acts as a professional and non-profitable organisation oriented towards improvement of protection of people and environment from harmful effects of radiation. Basic activity of the association is to encourage organized research in all fields of application and use of radiation sources and to stimulate and monitor the professional and ethical principles during use of radiation sources. The association actively participates in the drafting and reviewing the national regulation in the area of radiation protection, cooperates with other professional societies and radiation protection associations from other countries, as well as with international organizations and associations. Together with the Serbian Nuclear Society, Radiation Protection Association of Serbia and Montenegro is a co-founder of a scientific journal *Nuclear Technology and Radiation Protection*. It is an international peer reviewed scientific journal covering the wide range of disciplines involved in nuclear science and technology as well as in the field of radiation protection. The journal is included in ISI Web of Knowledge – Web of Science, Science citation index expanded – SCI, and Journal Citation Reports/Science Edition. With current impact factor of 1.159, it is available for full download at the National Library of Serbia – doiSerbia [5], Directory of open access journals – DOAJ, and Portal of open access e-journals – Open J-Gate.

REFERENCES

- [1] Ninkovic M.M. Radiation protection in the world and in former Yugoslavia and Serbia and Montenegro since discovering of the x-rays to nowadays; FACTA UNIVERSITATIS. Series: Physics, Chemistry and Technology Vol. 4, No 1, 2006, pp. 121 – 132.
- [2] Yugoslav Radiation Protection Association. Twenty years of YRPA, 1963-1983, Bulletin, Year XIV, January-April 1983, No 1, 1983. ed Ljiljana Knezevic
- [3] Yugoslav Radiation Protection Association. Thirty years of YRPA. Bibliography, 1963-1993, YRPA, 1995, ed R. Kljajic
- [4] Archive of the YRPA
- [5] <http://www.doiserbia.nb.rs/> and <http://www.doiserbia.nb.rs/journal.aspx?issn=1451-3994>

ON THE OCCASION OF THE 50th ANNIVERSARY OF ORGANISED RADIATION PROTECTION

Olivera Ciraj-Bjelac, Gordana Pantelić and Miloško Kovačević

Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia

ociraj@vinca.rs

Radiation protection, both as a multidisciplinary scientific discipline and as an attitude, has largely contributed to the protection of man and the environment against the potential harm of ionizing radiation, allowing its beneficial and safe use. Over the past decades, almost a century, professionals active in the domain of radiation protection have immensely contributed to the development of legislation and regulations, to monitoring and control, to prediction of consequences and to the assessment of risks. This paper summarizes evolution and achievements of the radiation protection professionals in the region known as former Yugoslavia the occasion of the fifty years of organized professional activities in the area of radiation protection. The paper covers activities related to the early days of the radiation protection association brings the information about relevant activities as organization of symposia and other meetings, participation in international organizations and publishing activities of the society.

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA: OD JUGOSLAVIJE DO EUROPE

Ines Krajcar Bronić, Saveta Miljanić i Mária Ranogajec-Komor

Institut Ruđer Bošković, Zagreb, i

Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja, Zagreb

krajcar@irb.hr saveta@irb.hr marika@irb.hr

UVOD

Ove 2013. godine obilježavamo 50 godina organizirane zaštite od zračenja u regiji koja počinje osnivanjem Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja (JDZZ) u Portorožu 1963. godine. Sekretar prve privremene uprave bio je Dušan Srdoč iz Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu. Međunarodno društvo za zaštitu od zračenja (IRPA – *International Radiation Protection Association*, www.irpa.net) osnovano je 1965. godine, a JDZZ mu se pridružuje već 1969. godine. IRPA je tada imala 17 društava-članova iz 22 zemlje [1]. Na Prvom međunarodnom kongresu zaštite od zračenja u Rimu 1966. godine [2], koji je kasnije prozvan prvim IRPA kongresom, sudjelovalo je troje predstavnika iz Hrvatske: Valerija Paić, Stanko V. Popović i Dušan Srdoč.

Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja (HDZZ) osnovano je u Zagrebu 16.7.1979. godine kao neprofitna udruga sa svrhom promidžbe i razvoja znanstvenih, obrazovnih i kulturnih aktivnosti u području zaštite od zračenja i srodnih znanosti, a većina članova novog Društva bila je već uključena u Jugoslavensko društvo za zaštitu od zračenja (JDZZ).

Društvo danas okuplja preko 200 znanstvenika i stručnjaka iz cijele Hrvatske. Društvo je interdisciplinarno, kao što je i samo područje znanosti o zračenju i zaštite od zračenja interdisciplinarno. Tako su članovi društva fizičari i kemičari, biolozi, zdravstveni radnici (liječnici, osobito radiolozi, zatim medicinski fizičari i rendgenski tehničari) koji koriste razne vrste zračenja u dijagnostici i radioterapiji. Posebna se pozornost posvećuje mjerenju radioaktivnosti u okolišu i utjecaju radioaktivnosti na čovjeka i njegov okoliš (radioekologija). Također, sve veća primjena zračenja uz uvođenje novih sofisticiranih metoda u medicini kako u dijagnostici, tako i u radioterapiji čini zaštitu od zračenja u medicini posebno važnom.

U ovom radu prikazat ćemo kratki povijesni pregled razvoja HDZZ-a, te glavne aktivnosti Društva koje se odnose na objavljivanje znanstvenih i

stručnih zadataka, kao što su organizacije nacionalnih simpozija, sudjelovanje na međunarodnim IRPA kongresima i međunarodnu suradnju Društva s posebnim naglaskom na suradnju s europskim društvima za zaštitu od zračenja.

POVIJESNI PREGLED

Inicijator osnivanja, jedan od osnivača i prvi predsjednik HDZZ-a bio je Živan Deanović, koji je tu dužnost obavljao od 1979. do 1983. godine. Pod njegovom vodstvom HDZZ je izborio status priznatog strukovnog društva. Naslijedio ga je Berislav Momčilović koji je vodio Društvo do 1987. godine i uspostavio redoviti rad. U to je vrijeme HDZZ organizirao XIII. jugoslavenski simpozij za zaštitu od zračenja u Puli, 1985. godine. Od 1987. do 1989. godine Društvo je vodila Đurđa Horvat, koja je sudjelovala u organizaciji XIV. jugoslavenskog simpozija za zaštitu od zračenja u Novom Sadu, 1987., te 14. regionalnog IRPA kongresa u Kuparima 1987.

U politički osjetljivim vremenima, u razdoblju od 1989. do 1994. godine, predsjednik HDZZ-a bio je Radoslav Despotović. HDZZ je postao jedna od prvih udruga koja se osamostalila u samostalnoj Republici Hrvatskoj. R. Despotović je pokrenuo uključivanje HDZZ-a u IRPA-u, te je od 1992. godine HDZZ punopravni član IRPA-e. Tako je HDZZ postalo jedno od prvih hrvatskih strukovnih društava koje je primljeno u neko međunarodno udruženje. U tom su razdoblju organizirani III. *Italian-Yugoslav Symposium on Low Level Radiation*, Plitvice, 1990., XVI. jugoslavenski simpozij za zaštitu od zračenja, Neum, 1991., te Prvi simpozij Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, Zagreb, 1992. Zbog stručnih i organizacijskih aktivnosti HDZZ je 1993. godine primljen kao punopravni član u organizaciju nacionalnih društava centralne Europe i iste godine suorganizirao *Austrian-Italian-Hungarian Radiation Protection Symposium*, Obergurgl/Tyrol, 1993.

Od 1994. do 1998. godine na čelu HDZZ-a bila je predsjednica Maja Osmak. U tom su razdoblju savjesno provođene brojne znanstvene i druge aktivnosti Društva, te je došlo do proširenja međunarodne suradnje. Organizirani su Drugi i Treći simpozij HDZZ-a u Zagrebu, 1994. i 1996. godine, a HDZZ je bio suorganizator regionalnih kongresa: *Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe*, Portorož, Slovenija, 1995. i *IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe*, Prag, Češka, 1997. godine. Povodom 100. obljetnice otkrića rendgenskih zraka, HDZZ je zajedno sa srodnim društvima organizirao izložbu pod nazivom "Otkriće rendgenskih

zraka 1985. – 1995." u Tehničkom muzeju u Zagrebu, te znanstveni skup "100. obljetnica otkrića rendgenskih zraka", također u Zagrebu, 1995. godine.

Od 1998. do 2008. godine, u dva mandata, predsjednica HDZZ-a bila je Mária Ranogajec-Komor. U tom su razdoblju organizirani 4. (Zagreb, 1998.), 5. (Stubičke Toplice, 2003.), 6. (Stubičke Toplice, 2005.) i 7. simpozij HDZZ-a (Opatija, 2008., organiziran u suradnji s Hrvatskim udruženjem za zaštitu od neionizirajućeg zračenja "Albert Einstein"), kao i Regionalni kongres IRPA u Dubrovniku 2001. HDZZ je na 6. simpoziju u suradnji s Hrvatskim fizikalnim društvom (HFD, www.hfd.hr) obilježio i Svjetsku godinu fizike 2005. (*World Year of Physics 2005*) uvodnim predavanjem koje je povežalo fiziku i zaštitu od zračenja, a kojeg je održao Goran Pichler s Instituta za fiziku u Zagrebu [3]. Za to je razdoblje karakteristično veliko povećanje broja članova HDZZ-a, uspostavljanje financijske stabilnosti društva i, možda najvažnije, stjecanje velikog međunarodnog ugleda HDZZ-a unutar članova IRPA-e. Od samog početka 2004. godine, HDZZ se uključio u rad neformalne organizacije europskih društava za zaštitu od zračenja.

Od 2008. godine predsjednica Društva je Saveta Miljanić, koja je učvrstila međunarodni ugled HDZZ-a organizacijom 6. sastanka europskih društava za zaštitu od zračenja u Zagrebu (2009.) i uključanjem HDZZ-a u europsko natjecanje mladih znanstvenika i stručnjaka na području znanosti o zračenju i zaštite od zračenja. Također je organizirano obilježavanje 30. obljetnice Društva, 8. simpozij HDZZ-a na Krku, 2011, kao i ovaj, 9. simpozij ponovno na prekrasnom Krku.

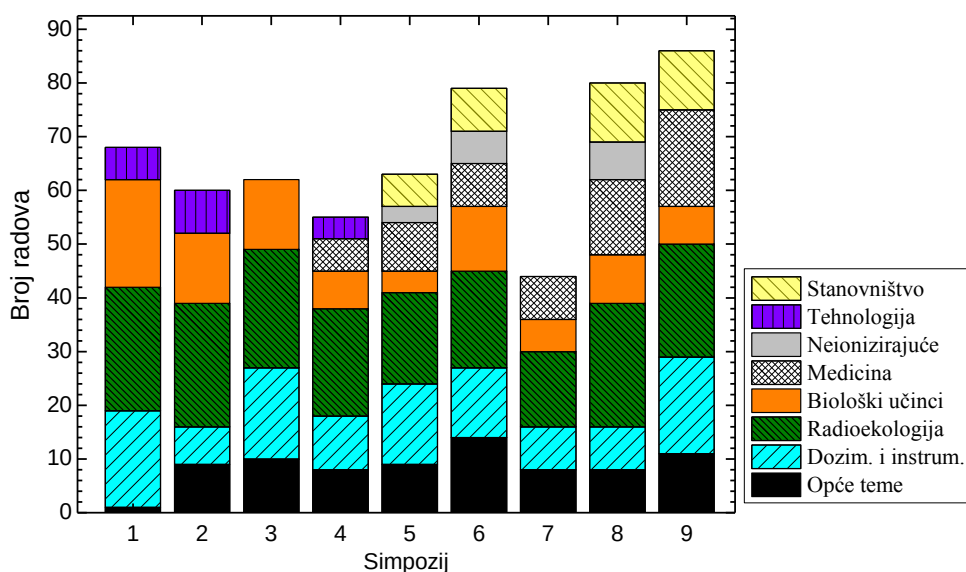
Danas HDZZ ima svoje stranice na internetu (www.hdzz.hr) koje se redovno održavaju i mijenjaju, i na kojima se mogu naći sve bitne informacije o Društvu. Od 2009. godine časopis *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* je službeno glasilo HDZZ-a u kojem se uz redovne znanstvene i stručne članke najavljuju i prikazuju aktivnosti Društva, a časopis je dostupan na adresi <http://hrcak.srce.hr/aiht>. Višegodišnja je praksa da se razne obavijesti, najave i druge informacije šalju članovima na njihove e-mail adrese, a godine 2012. pokrenut je i elektronski Bulletin čime je unaprijeđen način obavještanja.

SIMPOZIJI JDZZ-a I HDZZ-a

JDZZ je organizirao ukupno 16 simpozija, a u njihovoj organizaciji i realizaciji sudjelovali su i članovi HDZZ-a. Analiza priloga iz područja

zaštite od zračenja koji su objavljeni u zbornicima tih skupova kojima su autori iz Hrvatske prikazana je na Prvom simpoziju HDZZ-a [4], te nešto detaljnija analiza po autorima na Drugom simpoziju [5]. Udio hrvatskih autora u jugoslavenskim istraživanjima iznosio je oko 25 %: 302 autora iz Hrvatske izradila su 439 od ukupno 1737 objavljenih priloga. Analiza po institucijama pokazala je da je 85 % svih rezultata u Hrvatskoj bilo ostvareno na dva instituta: Institutu Ruđer Bošković (IRB) 43 % i Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) 42 % [4]. Radovi iz Hrvatske pokrivali su različita područja: radioekologiju (27 %), dozimetriju (25 %), radiotoksikologiju (18 %), opće probleme zaštite od zračenja (15 %), radioaktivni otpad (8 %) i biodozimetriju (7 %).

Od 1992. do danas HDZZ je organizirao 9 simpozija s međunarodnim sudjelovanjem (Zagreb 1992., 1994., 1996. i 1998. godine, Stubičke Toplice 2003. i 2005. godine, Opatija 2008. godine te Krk 2011. i 2013. godine). Uz svaki simpozij tiska se i zbornik radova [6-13]. Broj objavljenih radova (Slika 1) varira od 44 (7. simpozij [12]) do 86 (9. simpozij, ovaj Zbornik), a ukupno je u 9 knjiga objavljeno 597 radova.



Slika 1. Broj radova objavljenih u zbornicima simpozija HDZZ-a od 1992. do 2013. godine. Visina stupca prikazuje ukupan broj radova tiskan u pojedinom zborniku, a broj radova u sekcijama, odnosno područjima, vidljiv je iz različitih osjenčanja dijelova stupaca.

Teme koje su u središtu istraživanja i interesa članova Društva mogu se pratiti kroz tematske cjeline na simpozijima, odnosno u objavljenim zbornicima (Slika 1). Kako se zbog promjena fokusa istraživanja raspored sekcija mijenjao kroz dva desetljeća samostalnog rada Društva, grupirali smo radove u nekoliko širih područja. Tako područje "Opće teme" na Slici 1 uključuje opće teme, kao što su zakonodavstvo na području zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti te edukacija, uvodna predavanja i posebne sekcije (npr. Okrugli stol), područje "Radioekologija" uključuje radioekologiju u užem smislu, radon i slične sekcije, a "Dozimetrija i instrumentacija" uključuje dozimetriju, radijacijsku fiziku i kemiju, mjerne metode, instrumentaciju i kontrolu kvalitete, iako su na nekim simpozijima radovi predstavljeni u odvojenim sekcijama. Navedena područja, kao i područje "Biološki učinci zračenja" prisutni su na svih 9 simpozija. Prema broju radova najzastupljenije je područje radioekologije s prosječno 20,1 radova po simpoziju (u rasponu od 14 do 23) ili 30 % ukupnog broja radova, a slijedi ga područje dozimetrije i instrumentacije s 19 % radova, odnosno 12,8 radova po simpoziju (u rasponu od 7 do 19). Biološki učinci zračenja zastupljeni su s 15 % radova (prosječno 10,2 radova, raspon 6 do 20), a opće teme s 13 % radova (prosječno 8,7 radova, raspon 1 do 14).

Područje "Tehnologija" (Slika 1) uključuje nuklearnu tehnologiju i radioaktivni/nuklearni otpad zastupljeno je na 1., 2. i 4. simpoziju s ukupno 18 radova (3 % ukupnog broja radova), a područje "Neionizirajuće zračenje" na 5., 6. i 8. simpoziju s ukupno 16 radova (~3 %). Područje "Medicina", odnosno zaštita od zračenja u medicini, javlja se kao posebna sekcija na 4. simpoziju, iako su i na prethodnim simpozijima prikazani radovi iz tog područja, ali unutar nekih drugih sekcija. Vidljiv je porast broja radova u području "Medicina" od 6 na 4. simpoziju do 18 na 9. simpoziju, a udio medicinskih radova u ukupnom broju radova je 10 %. Na 5. simpoziju pojavljuje se posebna sekcija "Izloženost stanovništva zračenju" ("Stanovništvo" na Slici 1), u kojoj je dosad objavljeno 36 radova ili 6 % ukupnog broja radova.

Treba napomenuti da raste broj priopćenja o osiguranju i kontroli kvalitete na svim područjima zaštite od zračenja, bilo da se radi o radovima u kojima je to glavna tema ili se u opisu mjernih metoda opisuje kontrola kvalitete mjerenja. Na Osmom simpoziju je i Okrugli stol posvećen kontroli kvalitete s naglaskom na radioekologiju, te iskustva hrvatskih laboratorija pri akreditaciji mjernih metoda i laboratorija.

IRPA KONGRESI – REGIONALNI, EUROPSKI, SVJETSKI

HDZZ je nakon primanja u IRPA-u 1992. godine redovito sudjelovao u organizaciji i radu regionalnih kongresa o zaštiti od zračenja (*IRPA Regional Congresses on Radiation Protection*). U razdoblju 1992. – 2007. održano je sedam regionalnih kongresa za centralnu i jugoistočnu Europu (Austrija 1993., Slovenija 1995., Češka 1997., Mađarska 1999., Hrvatska 2001., Slovačka 2003. i Rumunjska 2007. godine) (Tablica 1). Posebno treba naglasiti vrlo uspješno organiziran Regionalni kongres o zaštiti od zračenja u centralnoj Europi 2001. u Dubrovniku s glavnom temom "*Radiation Protection and Health*" (Zaštita od zračenja i zdravlje). Na tom, "našem" kongresu sudjelovalo je 229 znanstvenika i stručnjaka sa 180 priopćenja iz 29 zemalja s 4 kontinenta. Regionalne kongrese IRPA-e su nakon 2007. godine zamijenili Europski IRPA kongresi.

Sudjelovanje hrvatskih stručnjaka analizirano je prema zbornicima sažetaka i radova i popisa sudionika [14-20]. Prikazan je i ukupan broj radova na kongresu i ukupan broj sudionika (Tablica 1). U prosjeku je na regionalnim IRPA kongresima sudjelovalo 10 sudionika iz Hrvatske (pri tome ne računamo Regionalni kongres 2001. u Dubrovniku), a to je i prosječan broj sažetaka. Prosječan broj cjelovitih radova u odgovarajućim zbornicima je manji, 7 u prosjeku, i najmanji na posljednja dva kongresa. Vjerojatni uzrok tomu je nedovoljno vrednovanje radova objavljenih u zbornicima skupova za znanstveno napredovanje u Hrvatskoj.

Tablica 1. Sudjelovanje hrvatskih znanstvenika i stručnjaka na regionalnim IRPA kongresima 1993. – 2007.

Kongres	Godina održavanja	Broj sudionika ¹	Broj sažetaka	Broj radova u zborniku ²
Obergurgl [14]	1993.	9 (150)	7	6 (164)
Portorož [15]	1995.	9 (143)	10	9 (111)
Prag [16]	1997.	11 (240)	11	7 (169)
Budimpešta [17]	1999.	11 (215)	14	12 (143)
Dubrovnik [18]	2001.	45 (229)	40	40 (217)
Bratislava [19]	2003.	7 (117)	5	4 (91)
Brasov [20]	2007.	15 (340)	11	5 (131)

¹ Uz broj sudionika iz Hrvatske u zagradi je dan ukupni broj sudionika na regionalnom kongresu

² Uz broj radova hrvatskih sudionika u zagradi je dan ukupni broj radova u zborniku

Članovi Društva redovno sudjeluju i u radu (ali i organizaciji kao članovi znanstvenih odbora) europskih (Firenca, 2002. [21]; Pariz, 2006. [22]; Helsinki, 2010. [23]) i svjetskih IRPA kongresa. U razdoblju od 1992. do 2013. godine održano je 6 svjetskih IRPA kongresa: IRPA-8 (Montreal, 1992.), IRPA-9 (Beč, 1996. [24]), IRPA-10 (Hiroshima, 2000. [25]), IRPA-11 (Madrid, 2004. [26]), IRPA-12 (Buenos Aires, 2008. [27]) te IRPA-13 (Glasgow, 2012.). Na Osmom svjetskom kongresu u Montrealu 1992. godine nije bilo sudionika iz Hrvatske, što je razumljivo uzimajući u obzir tadašnju političku i gospodarsku situaciju u Hrvatskoj. Srednji broj sudionika iz Hrvatske na svjetskim i europskim IRPA kongresima je 14,5 s prosječno 13,9 sažetaka (Tablica 2). Može se primijetiti da je broj sudionika kao i broj priopćenja na svjetskim i europskim kongresima veći nego na regionalnima. Ali kao i na regionalnima, broj cjelovitih radova objavljenih u zbornicima (9,5 u prosjeku) je manji od broja priopćenja.

Tablica 2. Sudjelovanje hrvatskih znanstvenika i stručnjaka na europskim i svjetskim IRPA kongresima 1996. – 2012. Dan je broj sudionika, sažetaka i cjelovitih radova u zbornicima.

Kongres	Mjesto održavanja	Godina održavanja	Broj sudionika	Broj sažetaka ¹	Broj radova ¹
IRPA-9	Beč	1996.	20	16 (1001)	16 ²
IRPA-10	Hiroshima	2000.	8	9 (1061)	9 (1049)
1. europski	Firenca	2002.	17	14 (269)	10 (215)
IRPA-11	Madrid	2004.	16	14 (1300)	9 ²
2. europski	Pariz	2006.	12	19 (536)	9 (230)
IRPA-12	Buenos Aires	2008.	19	15 (1500)	10 (924)
3. europski	Helsinki	2010.	13	12 (508)	5 (334)
IRPA-13	Glasgow	2012.	11	12 (1405)	*

¹ Ukupan broj sažetaka, odnosno radova na kongresu dan je u zagradi.

² U zborniku objavljeni sažetci, ukoliko nisu predani cjeloviti radovi.

* Svi radovi, poster i predavanja, prikazani na IRPA-13, objavljeni su na web stranici kongresa <http://www.irpa13glasgow.com/information/downloads/>

MEĐUNARODNA SURADNJA

HDZZ ima vrlo bogatu i uspješnu međunarodnu suradnju. Prvenstveno se to odnosi na suradnju sa društvima za zaštitu od zračenja ili pojedincima iz susjednih i bliskih zemalja centralne i jugoistočne Europe (Slovenija, Austrija, Mađarska, Češka, Slovačka, Poljska, Rumunjska,

Srbija i Crna Gora), kao i sa stručnjacima iz zemalja u regiji koje nemaju nacionalno udruženje (Bosna i Hercegovina, Makedonija, Kosovo).

HDZZ redovno sudjeluje na godišnjim sastancima predstavnika europskih društava za zaštitu od zračenja. Ta su druženja počela neformalnim sastankom u Njemačkoj (München) 2004. godine, a s vremenom su prerasla u službeni forum koji se održava svake godine u jesenskim mjesecima. Na sastancima se usuglašavaju stavovi europskih društava kako bi ojačali nastup na međunarodnoj sceni, odnosno unutar krovne organizacije IRPA. HDZZ je organizirao 6. sastanak u Zagrebu 2009. godine, na kojem je sudjelovao 21 predstavnik iz 12 zemalja, a među njima i 3 člana *Executive Council*-a IRPA-e. Između ostalih aktivnosti, europska društva su pokrenula zajedničku internetsku stranicu radi omogućavanja razmjene informacija, te inicijativu za poticanje mladih znanstvenika i stručnjaka na području zaštite od zračenja i znanosti o zračenju. Tako su sva europska društva usuglasila kriterije za raspisivanje nacionalnih natječaja za najbolji rad (znanstveni, stručni, disertacija) mladih znanstvenika i stručnjaka do 35 godina starosti u dvogodišnjem razdoblju koje prethodi velikim europskim ili svjetskim IRPA kongresima. I HDZZ je 2009. raspisao prvi natječaj, a nagradu je dobila Martina Rožmarić Mačefat s Instituta Ruđer Bošković. U drugom natječaju 2011. godine nagradu je dobio Branko Petrinc s Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada. Oni su predstavljali HDZZ na IRPA kongresima u Helsinkiju 2010. i Glasgowu 2012. godine. I ove godine HDZZ će raspisati natječaj za najbolji rad mladog znanstvenika iz područja znanosti o zračenju ili zaštite od zračenja, a pobjednik će nas predstavljati na Europskom IRPA kongresu u Ženevi 2014. godine.

Na svečanoj sjednici Austrijskog društva za zaštitu od zračenja (ÖVS) održanoj 6.12.2006. u Beču povodom 40. godišnjice osnivanja tog društva, dodijeljene su nagrade "Počasna igla" ("*Honorary Needle*") za dugogodišnji doprinos međunarodnoj zajednici za zaštitu od zračenja. Nagrada je dodijeljena i Márii Ranogajec-Komor, tadašnjoj predsjednici HDZZ-a.

30. OBLJETNICA HDZZ-a

Društvo je 27.10.2009. svečano obilježilo 30. obljetnicu svoga postojanja prigodnim znanstveno-stručnim skupom. Na skupu je predstavljena povijest zaštite od zračenja u Hrvatskoj do početka Drugog svjetskog rata, tj. u vrijeme kad nije bilo organiziranog oblika zaštite od zračenja. Predstavljena je i uspješna inicijativa HDZZ-a za osnivanje

interdisciplinarnog znanstvenog polja "Znanost o zračenju", koju je Nacionalno vijeće za znanost prihvatilo 2009. godine.

Proslava 30. obljetnice HDZZ-a bila je svečana prilika na kojoj je prof. dr. sc. Božo Metzger proglašen prvim počasnim članom Društva za svoje zasluge na području medicinske i radijacijske fizike te zaštite od zračenja, te mu je uručena i prigodna plaketa. Prof. Metzger se, između ostalog, bavio medicinsko-radiološkom fizikom i dozimetrijom, posebno primjenom fizike u rješavanju medicinskih problema. HAZU je posvetio knjigu Boži Metzgeru u kojoj je objavljen i rad o HDZZ-u [28].

Vrlo zanimljiv prikaz [29] o dvojici doajena hrvatske znanosti o zračenju, Dragutinu Mayeru i Boži Metzgeru, objavljen je u časopisu *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*.

UMJESTO ZAKLJUČKA

Kako dalje, kako u Europi? Nastaviti i poboljšavati suradnju među društvima u regiji, podizati međunarodni ugled HDZZ-a u Europi i svijetu, sudjelovati na europskim i međunarodnim kongresima. Organizacija nacionalnog simpozija u redovnim dvogodišnjim ciklusima treba se dalje nastaviti uz poticanje sve većeg sudjelovanja naših kolega iz Europe i svijeta. Važno je i dalje nastaviti s redovnim biranjem najboljeg rada mladih stručnjaka ili znanstvenika iz područja zaštite od zračenja ili znanosti o zračenju u dvogodišnjim ciklusima i financijski pomagati sudjelovanje nacionalnog pobjednika na europskom ili IRPA kongresu. Unatoč sve težoj financijskoj krizi, treba i dalje nastojati pomagati aktivno sudjelovanje članova na velikim europskim i svjetskim kongresima.

Unaprijediti djelovanje HDZZ-a kao stručne i interdisciplinarne organizacije u donošenju propisa vezanih za zaštitu od zračenja, te povećati utjecaj HDZZ-a u informiranju javnosti u svim stručnim pitanjima.

Zahvala

Autorice zahvaljuju svim članovima HDZZ-a na sudjelovanju u provođenju aktivnosti Društva, te svima, posebno Jasminki Senčar, koji su pomogli prikupiti informacije o povijesti društva.

LITERATURA

- [1] <http://www.irpa.net/page.asp?id=111>
- [2] Proceedings of the First International Congress of Radiation Protection, Rome, Italy, September 5-10, 1966, Vol I-II. (Snyder WS, Abee HH, Burton LK, Maushart R, Benco A, Duhamel F, Wheatley BM, eds. Pergamon Press, London, 1968.

- [3] Pichler G. Izvori svjetlosti i svjetlosno zagađenje. U: Garaj-Vrhovac V, Kopjar N, Miljanić S, ur. Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 18-20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. ISBN 953-96133-5-3, Zagreb: HDZZ; 2005. str. 3-8.
- [4] Despotović R. O znanosti u zaštiti od zračenja. U: Despotović R, Kubelka D, Obelić B, Osmak M, Picak V, Ranogajec-Komor M, Salaj-Obelić I, ur. Zbornik radova Prvog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 24-26. studenoga 1992; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ, 1992. str. 1-7.
- [5] Despotović R, Nemet Z. Prilog bibliografiji radova iz zaštite od zračenja. U: Franić Z, Kubelka D, ur. Zbornik radova Drugoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 23-25. studenoga 1994; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ, 1994. str. 13-23.
- [6] Zbornik radova Prvog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 24-26. studenoga 1992; Zagreb, Hrvatska. Urednici: Despotović R, Kubelka D, Obelić B, Osmak M, Picak V, Ranogajec-Komor M, Salaj-Obelić I. Zagreb: HDZZ; 1992.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Proceedings of the Austrian-Italian-Hungarian Radiation Protection Symposium: Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe, April 28-30, 1993; Obergurgl, Austria. Editors: Vana N, Hefner A. Seibersdorf: Österreichischer Verband für Strahlenschutz; vol I-III, 1993.
- [15] Proceedings of Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe-1995, September 4-8, 1995; Portorož, Slovenia. Editor: Glavič-Cindro D. Ljubljana: Jožef Stefan Institute; 1995.

- [16] Proceedings of IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe, September 8-12, 1997; Prague, Czech Republic. Editor: Sabol J. Prague: Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University; 1997.
- [17] Proceedings of the IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, August 22-27, 1999; Budapest, Hungary. Editor: Deme S. Budapest: Health Physics Section of the Roland Eotvos Society; 1999.
- [18] 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.
- [19] Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe. Editor: Nikodemova D. Bratislava, 2004.
- [20] IRPA Regional Congress for Central and Eastern Europe: Regional and Global Aspects of Radiation Protection, 24 – 28.09.2007; Brasov, Romania. The Romanian Society for Radiation Protection RSRP, 2007. (CD-ROM)
- [21] Proceedings of European IRPA Congress 2002. "Towards Harmonisation of Radiation Protection in Europe"; October 8-11, 2002; Florence, Italia. Editors: D'Alberti F, Osimani C. Florence: AIRP, IRPA, EC-JRC; 2002.
- [22] Proceedings of Full Papers, Second European IRPA Congress on Radiation Protection: Radiation Protection – From Knowledge to Action. 15.-19.05.2006. Paris, France 2006. (CD-ROM)
- [23] Third European IRPA Congress: Radiation protection – science, safety and security. 14.-18.06.2010. Helsinki, Finland. <http://www.irpa2010europe.com/>
- [24] Proceedings of IRPA-9, 1996, 9th International Congress on Radiation Protection; April 14-19, 1996; Vienna, Austria. Editor: Duftschmid K E. ISBN 3-9500255-4-5, Seibersdorf: IRPA; Vol I-IV, 1996.
- [25] Proceedings of IRPA-10, 10th International Congress of the International Radiation Protection Association – Harmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem; May 14-19, 2000; Hiroshima, Japan. IRPA; 2000.
- [26] Proceedings of IRPA-11, 11th International Congress of the International Radiation Protection Association – "Widening the Radiation Protection World", 23.-28.05.2004, Madrid, Spain. <http://irpa11.irpa.net/papers/papers.php>
- [27] Proceedings of IRPA-12, 12th International Congress of the International Radiation Protection Association – "*Strengthening Radiation Protection Worldwide*". 19.-24.10.2008, Buenos Aires, Argentina. <http://www.irpa12.org.ar/index.php>
- [28] Krajcar Bronić I, Miljanić S. Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja – prvih 30 godina. U: Pećina M, Fatović-Ferenčić S, ur. Mjesta dodira: Fizika i medicina, Kroz život i djelo prof. dr. sc Bože Metzgera. Zagreb: HAZU; 2011. str. 127-139.
- [29] Hanžek B, Franić Z. Dragutin Mayer i Božo Metzger – velikani znanosti o zračenju i zaštite od zračenja u Hrvatskoj. Arh Hig Rada Toksikol 2010;61:479-498.

CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION: FROM YUGOSLAVIA TO EUROPE

Ines Krajcar Bronić, Saveta Miljanić and Mária Ranogajec-Komor

Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia, and
Croatian Radiation Protection Association, Zagreb, Croatia

krajcar@irb.hr saveta@irb.hr marika@irb.hr

On the occasion of the fifty years of organised radiation protection activities at the area known as "former Yugoslavia", the professional activities and achievements in this field are presented in this paper. Croatian Radiation Protection Association (CRPA, www.hdzz.hr) was founded in 1979. In 1992 it became a regular member of the International Radiation Protection Association (IRPA). The main activities of CRPA members are: scientific research, participation in professional committees, intense cooperation in professional and scientific matters with the IRPA, other international bodies and Croatian scientific and professional societies, and related administrative work. CRPA members continue to provide advice and assistance to authorities, professional societies and individuals within their fields of expertise.

Nine national symposia of CRPA with international participation were organized since 1991. All presentations were published as full papers in the Proceedings. CRPA participated in the organization of all IRPA Regional Congresses in Central Europe from 1993 (Obergurgl, Austria) till 2007 (Brasov, Romania). In 2001 CRPA hosted IRPA Regional Congress in Dubrovnik, Croatia. Members of CRPA are taking part in the organization of IRPA international congresses and in the work of IRPA General Assembly. CRPA has been actively involved in the informal meetings of European radiation protection societies since 2004 and organized their 6th meeting in Zagreb in 2009.

RADIATION PROTECTION IN SLOVENIA OVER THE PAST FIFTY YEARS (1963 – 2013) AND THE SLOVENIAN SOCIETY OF RADIATION PROTECTION

Gregor Omahen¹ and Milko J. Križman²

¹Institute of Occupational Safety, Ljubljana, Slovenia

²Independent Qualified Expert of RP

gregor.omahen@zvd.si, milko.krizman@gmail.com

INTRODUCTION

Activities of the Slovenian Society for Radiation Protection cannot be adequately represented if they are not placed in the context of events that have been running in the field of radiation protection (RP) in Slovenia in parallel. After the first humble beginnings of use of ionising radiation in medicine in the early 1900's, the number of sources and the use of radiation were constantly increasing in the 1950's, also outside medicine. The first regulations on protective measures at work with radiation sources were issued 1947, and were followed by the federal Law on Protection against Ionising Radiation (1959). In the meantime, the use of radiation broadened to industry, research activities, and elsewhere. On the basis of this law the competent administrative authorities were established and designated organisations were authorised to carry out technical protection at work with sources of ionising radiation elsewhere. The initial attitude towards the protection against ionising radiation was by that time rather unprofessional. By establishing the national infrastructure for radiation protection, the true basis for radiation protection was given since it became a legal obligation.

Radiation protection in Slovenia has some particularities. On the one hand, a wide and varied use of ionising radiation and operation of nuclear facilities (reactor, nuclear power plants, mining and processing of uranium and radioactive waste storage) accelerated the safety consciousness. On the other hand, Slovenia was the first of the former Yugoslav republics that joined the EU and had to meet the serious European attitude to radiation protection and nuclear safety.

The aim of this paper is to light up the development of radiation protection in Slovenia being in parallel with the expansion of the use of ionising radiation sources and with the formation of the necessary national infrastructure for radiation protection. The authors tried also to explain a

pretty weak role of the Slovenian Society for Radiation Protection in the above processes.

RADIATION SOURCES AND NUCLEAR FACILITIES IN SLOVENIA

Radiation Sources in Medicine

The first user of radiation sources (X-ray apparatuses and radioactive sources) was medicine, either for the purpose of diagnosis or therapy. In Slovenia, the first X-ray machine was used in the General Hospital in Ljubljana in 1900 [1] and X-ray therapy was launched later (in 1923). The first radioactive source (^{226}Ra) was also used early at the Department of Ophthalmology of the same hospital in 1902 for therapy of eye cancer [2]. The cancer therapy practices accelerated the establishment of the first Slovenian Institute for Cancer Treatment (1938) in Ljubljana, where radium sources and 200 kV X-rays were used. The Institute was renamed in 1945 into the Institute of Oncology (OI). In 1954 the first artificial radioisotopes (^{131}I , ^{198}Au) were applied for diagnostics at the Internal Clinic in Ljubljana, and the application of unsealed sources was continued at the Institute of Oncology with ^{131}I and ^{32}P . The first irradiation facility with a high activity source with ^{60}Co was launched at the OI in 1962. The use of radioisotopes in other nuclear medicine departments occurred in the period 1960 – 1974. In the 1980's the research reactor at the Jožef Stefan Institute (JSI) produced $^{99\text{m}}\text{Tc}$ to cover the current needs of the nuclear medicine in Ljubljana. Of the newer devices in Slovenia there are two PET/CT devices (at OI and Clinic of Nuclear Medicine at the University Hospital Centre).

Radiation Sources in Industry

Industrial radiography in Slovenia began in Ljubljana and Maribor in 1956 with radiation sources ^{137}Cs , ^{60}Co and ^{192}Ir , mainly in metal industry companies and in the next years at all three steel factories at Ravne, Jesenice and Štore [3]. In the early 1960's, the use of radioactive sources of ^{137}Cs , ^{85}Kr , ^{60}Co , ^{144}Ce , ^{147}Pm , ^{241}Am and ^{90}Sr spread in the process techniques in industry, such as in thickness, level and density gauges, electrostatic eliminators with ^{210}Po and ^{241}Am and smoke detectors with ^{226}Ra and ^{241}Am . The speciality in Slovenia was the use of numerous sources of ^{60}Co in the brake mechanisms of the mountain lifts and very restricted installation of lightning rods with ^{152}Eu and ^{60}Co .

Radiation Sources in Research and Educational Institutions

In its early days of its foundation in 1949, the nuclear research institute JSI conducted several military projects for a development of technological processes related to the recovery of uranium and production of nuclear fuel. The scientists also developed a technological process for the production of yellow cake with a closed water circuit for the later needs of uranium mining and milling. Many samples of uranium and thorium minerals are still specimens of mineral collections in museums and universities, as well as in geological research. Many radioactive sources in analytical and research laboratories are built-in in the measuring and analytical devices, often with activities exceeding the exemption levels.

Sources in State Institutions

This includes the use of radiation sources in the police and customs, and the use of radiation sources in the defence forces. Some newer devices used by the police for the detection of narcotics and explosives contain radiation sources that can far exceed the exemption levels. In the defence forces radioactive sources (with ^{226}Ra) are occurring in the vehicles of an older production (in tanks, planes) and in different devices (with ^3H) mostly as marker lights and luminous sights on artillery pieces. On the military radar systems some fields of X-ray radiation, originating from the high-voltage tubes, were indicated.

Nuclear Facilities as Sources of Ionising Radiation

A decade and a half after the construction of the research reactor TRIGA Mark II (in May 1966) the first nuclear power plant at Krško (Westinghouse PWR type) was completed with an installed capacity of 630 MWe (in 1981). A few years later (1986) the repository for low-and-medium level radioactive waste was built at the Reactor Centre at Brinje. At the end of 1984, the Uranium Mine Žirovski Vrh started a trial exploration of uranium. The operation lasted over 5 years and was shut down in July 1990 with a total production of 432 tonnes of yellow cake.

All of these facilities were legally obliged to set up an independent unit for radiation protection. They were required to establish a regular monitoring of environmental radioactivity thus showing they operate within the authorised limits, as required in their operation licenses.

STATE INFRASTRUCTURE OF RADIATION PROTECTION

The basic infrastructure of RP at the national level consists of (1) the law on RP and the relevant regulations, (2) the competent regulatory authorities with inspection services, (3) authorised organisations or approved qualified experts for RP, (4) authorised services to perform specific tasks, and (5) clear determination of responsibility at each stage of the involvement.

Legislation on Radiation Protection

The first Yugoslav legislation on RP, known to the authors, was the "Rules on Protective Measures at Work with X-ray Machines and Radioactive Substances". The Rules were issued by the Federal Ministry of Labour (1947) on the basis of the Law on Labour Inspection. In April 1959 the first Yugoslav Law on Protection against Ionising Radiation was adopted. On its basis six statutory regulations were issued, including that on permissible doses. Further acts on RP were adopted in 1965 and 1977, both with a complete set of RP regulations. Due to the construction of nuclear facilities in Slovenia the national Act on the Protection against Ionising Radiation and for the Safety Measures of Nuclear Facilities was issued in 1980. The Law on Protection against Ionising Radiation and on Nuclear Safety (1984) with its 11 subsequent regulations was last federal law being in force in Slovenia.

In 2002, the Act on Protection against Ionizing Radiation and on Nuclear Energy was adopted. In the coming years 4 decrees and 10 regulations were issued, related to a narrower field of radiation protection. The existing regulations covered all the requirements of the directives and regulations of the European Council in the field of radiation protection.

Competent Authorities

The first competent authority for radiation protection in the former federal state of Yugoslavia was the Labour Inspectorate within the Ministry of Labour (1947). In accordance with the Federal Law on Protection against Ionising Radiation (1959), the highest ranking responsible body for RP was the Federal Commission for Nuclear Energy and later, its designated federal authorities on RP. With the next law (1965) the competence for RP was moved from the federal level to the lower republic level. Radiation protection was the domain of the Ministry of Health (actually, of the Sanitary Inspectorate), only radiation protection in defence forces was the exclusive responsibility of the Ministry of National Defence.

After Slovenia's independence, the new Law on Ionising Radiation Protection and Nuclear Safety (2002) took over responsibilities in the field of RP in industry, research, education and public administration the Slovenian Nuclear Safety Administration (within the Ministry of Environment). The Ministry of Health has retained its competence in the field of health and veterinary medicine. These tasks are actually carried out by its affiliated body, the Slovenian Radiation Protection Administration.

Authorised Technical Support Organisations

In general, these organisations carry out radiation measurements for licence holders, elaborate the expertises and radiation safety assessments, and are also in a function as authorised service providers. In Slovenia, two technical support organisations for RP were authorised, the Institute of Occupational Safety (IOS), and the Jožef Stefan Institute (JSI). The Centre for Radiation Protection at IOS was created in 1961 from the Central Unit for Radiation Protection founded at the Institute of Oncology.

The Institute of Occupational Safety has been developed during fifty years to the modern technical support organisation that controls radiation sources on the whole territory of Slovenia, and is authorised for providing services for personal dosimetry, training courses and medical examinations. It is also approved for radioactivity monitoring of the environment.

The Jožef Stefan Institute is the highly ranking research organization involved in numerous scientific fields. It is also authorised for supervising of radiation sources and radiation practices at the institute and elsewhere in the country. Its role on RP became more important with the operation of exacting nuclear facilities (Krško NPP, Uranium Mine Žirovski Vrh). It represents the leading institute in the area of environmental radioactivity monitoring since it developed specific physical and chemical methods for measurement of radionuclides at low concentrations.

RADIATION PROTECTION

Historical periods of radiation protection in Slovenia

The history of radiation protection in Slovenia could be divided into three periods.

For the most of the *first period* (1900 – 1958) radiation sources were used in medicine but from the middle of the 1950's the use of radiation spread also to industry and other areas. Specifically for this period was a

very weak awareness of health risks of radiation and a lack of organised system of radiation protection. In medicine radiologists and radio-physicists actually met with the problems of radiation protection but the latter was subordinated to the treatment process. Similar situation was in the research institutions, where the majority of the scientists and researchers strongly underestimated the risk for health [4]. Even the activities in the last decade of this period when Yugoslavia entered the nuclear era (by establishing three nuclear institutes, with secret research of uranium fuel and related nuclear activities) did not contribute much to the development of radiation protection issues in this period.

The *second period* of RP was shorter but more intensive and lasted 1959 – 1995. The sudden break in the weak awareness of radiation protection in the whole Yugoslavia happened when the fatal accident occurred on the RB reactor in the Vinča Institute of Nuclear Sciences in October 1958. This tragic event promptly initiated the establishment of the state infrastructure for radiation protection: by the adoption of the first federal law on RP with subsequent statutory regulations, by defining the competent authorities and by appointing the technical support organisations. The further legislation explicitly dealt with radiation protection measures for radiation workers, for the population and for patients undergoing medical examinations. Monitoring of radioactivity in the environment was established in the early 1960's, firstly for the control of global contamination due to atmospheric nuclear weapon tests, and later in the 1980's in Slovenia for the control of local contamination of the environment due to operation of the nuclear facilities. This period was namely characterized also by the construction of nuclear facilities in Slovenia and a further expansion of the use of radiation.

But in general, the administrative control over the radiation sources and radiation practices existed but it was not very rigorous and efficient. Only one inspector was in charge to control thousands of radiation sources and hundreds of licence holders. And the same inspector carried out the control over the existing nuclear facilities, so as for the licensing and as for the inspection.

The *third period* began in the second half of the 1990's and continues until today (1996 – 2013). At this time the international basic safety standards on radiation protection (IAEA BSS, EC BSS) were issued, being prepared on the basis of the recommendations of the ICRP 1990. Slovenia was already underway with initial preparations to join the EU, drafting the new legislation on RP and nuclear safety. According to EC criteria, the

former legislation on RP of Slovenia was only in 29 % of requirements in line with the EU *acquis communautaire*. Especially in the last decade, these changes in legislation made significant shifts ahead in radiation protection, as regards the quality of the implementation of radiation protection measures as the intensity of administrative controls. The increased number of inspectors regularly and directly supervised the radiation practices of the licensees and their use of radiation sources. As the result, the numerous discoveries of unregistered and orphan radiation sources took place as well as identifications of operators of radiation practices that had not the proper licences. The competent authorities were obliged to establish the central state records on radiation sources, licence holders, individual exposures received by domestic and foreign radiation workers, and records of radioactive waste. The state established a control of illegal transport of radioactive sources at the borders, the owners of scrap-yards are required to have a radiation control over scrap metals. Emergency preparedness for radiological and nuclear accident has been raised to the level comparable to other members of EU.

Incidents involving radiation sources in Slovenia

Only two serious radiation events have been reported so far, one resulted in an acute radiation injury and the other caused radioactive contamination of a significant part of the hospital [6]. After the capitulation of the Third Reich in May 1945, the Slovenian inmate returned home and wore with him a dozen of metal sticks in his pocket, not being aware that these items were in fact the radium needles with a total activity of about 1 Ci. A serious wound on the skin was recognised by the doctors of the Institute of Oncology as the radiation damage. The fate of the man has not been known. The next noteworthy accident with a radioactive source happened at the Institute of Oncology in 1961 and resulted in extended contamination of hospital areas due to an improper handling of a damaged ^{226}Ra source. Removing of contaminated items by the experts of the JSI and of the Vinča Institute of Nuclear Sciences resulted in a huge amount of radioactive waste with more than sixty barrels of contaminated material. Several other events with radioactive contamination of workplaces were reported to be of a limited extent (contamination with ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{131}I , uranium, ^{232}Th , ^{241}Am). A case of the lost radiography source with ^{137}Cs at the Metalna factory in Maribor, detected during the inspection survey and recovered by the mobile unit, was reported in 1993.

SLOVENIAN SOCIETY OF RADIATION PROTECTION

Slovenian Society for RP within JDZZ (1963 – 1991)

The Yugoslav Society for Radiation Protection (JDZZ, *Jugoslavensko društvo za zaštitu od zračenja*) was founded on 11 October 1963 in Portorož during the 1st Symposium of the Society. The Provisional Board was elected who appointed an Executive Committee of the JDZZ a month later. The JDZZ Society had become an associate member of the International Radiation Protection Association (IRPA) in 1966, and three years later a full member of the IRPA (1969). Majority of Slovenian experts in the field of radiation protection and many radiation workers were members of the JDZZ and participated in its activities (as members of organizing and technical committees on the symposia, then in drafting regulations on radiation protection, at thematic meetings on RP with experts from other republics, etc). The JDZZ Society organised 16 symposia, and three of them took place in Slovenia: 1st one in Portorož (1963), 5th one at Bled (1970) and 11th one in Portorož again (1981).

The national societies for RP on the republican level were established in the second half of the 1970's as a result of constitutional changes and greater autonomy of the republics. The Slovenian Society for RP (SDVS) was founded during 11th Symposium JDZZ in Portorož (21-24 April 1981). The first president of the Society was Ivan Kobal, the head of RP unit at the JSI. The 1980's were a period of challenging events in RP in Slovenia: drafting the new Slovenian (1980) and the new federal Act of Protection against Ionising Radiation and Nuclear Safety (1984), a completion of the Krško NPP (1981), a yellow cake production at the Uranium mine Žirovski Vrh (1984), and a construction of the interim storage facility for radioactive waste at Brinje (1986), not to mention radioactive contamination of the Slovenian territory due to the Chernobyl nuclear accident (1986). The Slovenian Society was involved in all these activities, more through the engagement of its outstanding members as through its formal role.

Slovenian Society for Radiation Protection (1991 – 2013)

The new National Society for Radiation Protection (DSVS) in the independent Slovenia was launched on 8 November 1991 at JSI, Ljubljana. The president of the Society became Rafael Martinčič from JSI. From the independence onwards, the Society participated at international symposia, conferences and congresses related to RP. Thus, the Slovenian Society organised the Regional Congress of IRPA in Portorož (1995). In the last

decade the topics of radiation protection have been regularly included into the programme the annual international conferences of the Nuclear Society of Slovenia (NSS). Since 2005, the head of the society is Gregor Omahen from IOS.

Society members played an important role in the period of Slovenian accession to EU, especially in the development of new legislation of RP, harmonised with the European directives. The important fact is that the professional staff of both competent authorities was affiliated to the Society too, in addition to the affiliated experts from technical support organisations and radiation workers.

The Slovenian Society is rather small and counts between 50 and 70 members; only about 20 of them could be recognized as actual radiation protection experts. Such a small number could be advantageous since everyone knows each other and can easily come with the problem to be solved. On the other hand, this reduces the need for the Society to be active as a formal association. The Society informs its members about important issues in radiation protection field and related events (international conferences and symposia, international training courses, meetings, etc.) via email. The official web site of the Society has been still in preparation.

CONCLUSION

A brief historical review of the use of sources of ionising radiation in Slovenia, a development of the supporting infrastructure of protection against ionising radiation and the present state of radiation protection showed that the general trends of radiation protection followed the development in the rest of Europe, although with some delay. The formal role of the Slovenian Society for Radiation Protection has not been significant. In Slovenia, the critical mass of membership is obviously too small to be a professional association that may develop its activities and mission similarly as in the bigger countries. But the area of radiation protection in Slovenia is small enough that the participants involved at all levels of competence can mutually and directly participate in the ongoing improvement of radiation protection.

REFERENCES

- [1] Jevtič V. A Short History of the Radiology Institute of Ljubljana. In: Glaser E, ed. Hundred years of X-rays, Slovenian Medical Society, Medico-historical Section, Maribor, 1998 (*in Slovene*)
- [2] Zupanič-Slavec Z, Gaberšček S, Slavec K. The development of nuclear medicine in Slovenia. Radiology and Oncology, Ljubljana, 2012;46(1):81-88.
- [3] Križman M, Janžekovič H. Hundred years of the use of radioactive sources in Slovenia. In: Rožman S, Žefran B, Žagar T, eds. Proceedings of the International Conference Nuclear Energy for New Europe, Portorož, Slovenia, Sept. 8-11, Nuclear Society of Slovenia, Ljubljana, 2008, pp. 1101.1-1101.8.
- [4] Ninković M M. Radiation Protection in the World and in Former Yugoslavia since Discovering of the X-rays to Nowadays. Facta Universitatis, Niš, Vol. 4, No 1, 2006.
- [5] Križman M. Incidents with radiation sources in Slovenia, February 2010 (SNSA archive).
- [6] Zupančič Č. The Story of the First Nuclear Measurement in Ljubljana. In: Osredkar M, Polenec N, eds. Tales about the Jožef Stefan Institute, IJS, Ljubljana, 2000, pp.76-80 (*in Slovene*).

RADIATION PROTECTION IN SLOVENIA OVER THE PAST FIFTY YEARS (1963 – 2013) AND THE SLOVENIAN SOCIETY OF RADIATION PROTECTION

Gregor Omahen¹ and Milko J. Križman²

¹Institute of Occupational Safety, Ljubljana, Slovenia

²Independent Qualified Expert of RP

gregor.omahen@zvd.si, milko.krizman@gmail.com

The use of the ionizing radiation sources in Slovenia started as early as 1900 when X-ray device was put in operation; the first radioactive source was used two years later. Artificial radioactive sources were introduced from 1954 onwards. The use of radioactive sources in industry started in the middle of the 1950's when industrial radiography was introduced due to strong metal industry in Slovenia. Four nuclear facilities were built in Slovenia: the research reactor TRIGA (1966), the Krško nuclear power plant (1983), the mining and milling uranium complex at Žirovski Vrh (1984) and the low and intermediate level radioactive waste storage (1986).

The infrastructure of radiation protection (RP) in the former Yugoslavia was established as late as the first Law on RP was adopted in 1959, the competent authorities were defined and technical support organisations for RP were designated. But the whole infrastructure could not follow the rapid development of nuclear industry and the extent uses of sources. After joining EU, the changes in legislation made a significant shift ahead in radiation protection, as regards the quality of the implementation of radiation protection measures as the intensity of administrative and inspection controls.

Slovenian Radiation Protection Society was established in 1981 during the 11th symposium of the Yugoslav Radiation Protection Society. The role of the Slovenian Society for Radiation Protection has never been significant, mostly due to a small critical mass of membership. This is sometimes advantageous since everyone knows each other and can easily come with the problem to be solved. This feature reduces the need for the Society to be active as a formal association. The main role of the Society is the distribution of actual information on RP and related important events.

OPĆE TEME

GENERAL TOPICS

UGOVOR O OSNIVANJU EUROPSKE ZAJEDNICE ZA ATOMSKU ENERGIJU (EURATOM) I BUDUĆE OBVEZE REPUBLIKE HRVATSKE

Nevenka Novosel

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb

nevenka.novosel@dzrns.hr

UVOD

Ugovor o osnivanju Europske zajednice za atomsku energiju (dalje u tekstu Ugovor o Euratomu) potpisan je u Rimu 1957. godine [1]. Glavni cilj Ugovora o Euratomu bio je razvoj nuklearne industrije u zemljama članicama. Nakon potpisivanja 2007. godine Ugovora kojim se nadopunjuju Ugovor o Europskoj uniji i Ugovor kojim se uspostavlja Europska zajednica, broj članaka Ugovora o Euratomu smanjen je s 234 na 177.

U ovom radu bit će prikazani glavni aspekti Ugovora o Euratomu s posebnim naglaskom na buduća prava i obveze Republike Hrvatske nakon pristupanja EU.

UGOVOR O EURATOMU

Glavni cilj Ugovora o Euratomu je doprinjeti uspostavljanju i razvoju europske nuklearne industrije, kako bi zemlje članice mogle imati koristi od nuklearne energije i sigurnu opskrbu nuklearnim gorivom. U isto vrijeme, Ugovor o Euratomu jamči visoke sigurnosne norme radi zaštite zdravlja stanovništva i sprječava da nuklearni materijal koji je namijenjen za civilnu uporabu bude upotrijebljen u vojne svrhe [2].

Ugovor o Euratomu sadrži 234 članka koji su podijeljeni u šest poglavlja, a prethodi im preambula. Broj članaka je 2007. godine smanjen na 177. U prvom poglavlju navedeno je sedam zadataka koji su temeljem Ugovora o Euratomu dodijeljeni Europskoj uniji (EU). U drugom poglavlju navedene su odredbe za poticanje napretka u području nuklearne energije, kao što su promicanje istraživanja, širenje podataka, osiguranje zdravlja i sigurnosti, osnivanje zajedničkih poduzeća, mjere jamstva, zajedničko nuklearno tržište i dr. U trećem poglavlju navedene su institucije EU i opće financijske odredbe koje su djelomično prilagođene 2007. godine. U četvrtom poglavlju navedene su posebne financijske odredbe. U petom i šestom poglavlju navedene su opće odredbe i odredbe koje se odnose na

početno razdoblje. Nadalje, Ugovor o Euratomu također sadrži pet dodataka, u kojima su navedena područja istraživanja vezana uz nuklearnu energiju (temeljem članka 4.), industrijske aktivnosti (temeljem članka 41.), prednosti zajedničkih poduzeća (temeljem članka 48.), popis roba i proizvoda na zajedničkom nuklearnom tržištu te program za istraživanja i osposobljavanje (temeljem članka 215.). Na kraju su Ugovoru o Euratomu dodana i dva protokola: Protokol o primjeni Ugovora o osnivanju Europske zajednice za atomsku energiju na neeuropske dijelove Kraljevine Nizozemske i Protokol o statutu Suda Europske zajednice za atomsku energiju [2].

Temeljem Ugovora o Euratomu, posebni zadaci Euratoma su:

1. promicanje istraživanja i omogućavanje širenja tehničkog znanja,
2. uspostavljanje jedinstvenih sigurnosnih normi radi zaštite zdravlja radnika i stanovništva i osiguravanje njihove primjene,
3. olakšavanje ulaganja i osnivanje temeljnih postrojenja nužnih za razvoj nuklearne energije u EU,
4. osiguravanje da svi korisnici u EU imaju redovitu i pravičnu opskrbu rudama i nuklearnim gorivom,
5. osiguravanje (i odgovarajući nadzor) da se nuklearni materijali ne koriste u druge svrhe od onih za koje su namijenjeni (Euratom mjere jamstva),
6. uživanje prava vlasništva u odnosu na posebne fisibilne materijale,
7. uspostavljanje takvih odnosa s ostalim zemljama i međunarodnim organizacijama koji će podupirati napredak u miroljubivoj uporabi nuklearne energije,
8. uspostavljanje zajedničkih poduzeća.

Vezano uz točku 1, Europska komisija poziva zemlje članice da objave programe za nuklearna istraživanja. Također je osnovan Zajednički istraživački centar (JRC) koji je prerastao u vodeću instituciju na području nuklearnih istraživanja, ali i na područjima kao što su zaštita okoliša i sigurnost hrane.

Vezano uz točku 2, svaka zemlja članica donosi odgovarajuće zakone ili propise za osiguranje sukladnosti s osnovnim normama uspostavljenim na temelju Ugovora o Euratomu, uključujući potrebne mjere za podučavanje, obrazovanje i osposobljavanje. Odredbe se također odnose na primjene zračenja u medicini i istraživanju, na maksimalne dozvoljene razine radioaktivne kontaminacije hrane i na mjere za zaštitu zdravlja koje se moraju poduzeti u slučaju radiološke opasnosti. Svaka zemlja članica

mora obavijestiti Europsku komisiju o svojim planovima za odlaganje radioaktivnog otpada.

Vezano uz točku 4, opskrba rudama, izvornim materijalom i posebnim fisibilnim materijalom je osigurana temeljem zajedničke politike opskrbe koja se temelji na ravnopravnom pristupu izvorima. U tom smislu osnovana je Euratom agencija za opskrbu koja ima isključivo pravo zaključivati ugovore na teritoriju zemalja članica koji se odnose na opskrbu rudama, izvornim materijalom i posebnim fisibilnim materijalom porijeklom iz ili izvan EU.

Vezano uz točku 5, Ugovor o Euratomu uspostavlja sveobuhvatan i strog sustav mjera jamstva da se nuklearni materijal neće koristiti u svrhe drugačije od onih koje je zemlja članica proglasila. Uz pomoć tima od 300 inspektora, EU ima isključivo pravo primjenjivati Euratom mjere jamstva na teritoriju EU. Europska komisija može poslati inspektore u zemlju članicu koji imaju pristup svim mjestima, podacima i osobama koje su povezane s materijalima, opremom ili postrojenjima koji su u sustavu mjera jamstva. Euratom mjere jamstva se primjenjuju zajedno s mjerama jamstva Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) temeljem tripartitnog ugovora koji potpisuje zemlja članica, EU i IAEA.

Vezano uz točku 7, Europska komisija pregovara i nakon odobrenja Vijeća, sklapa ugovore o nuklearnoj suradnji s trećim zemljama. Trenutno postoje takvi ugovori s mnogim zemljama uključujući SAD, Australiju i Kanadu.

Vezano uz točku 8, zajednička poduzeća se osnivaju za posebne projekte od značaja za razvoj nuklearne industrije u EU. Jedan od primjera je i projekt Međunarodnog termonuklearnog eksperimentalnog reaktora (ITER) [2].

Institucionalna struktura Ugovora o Euratomu je slična onoj Ugovora o Europskoj zajednici i zasniva se na istom institucionalnom trokutu (Vijeće, Europska komisija i Europski parlament). Te institucije su odgovorne za provođenje Ugovora o Euratomu kao i za dva specifična Euratom tijela: Euratom agenciju za opskrbu i Ured za mjere jamstva (koji provodi fizičke i inventarne provjere svih nuklearnih postrojenja u EU).

Značaj Euratoma posebno se može vidjeti u kontekstu proširenja EU. Kao rezultat Euratoma, EU provodi harmonizirani pristup nuklearnoj energiji, kojeg se zemlje kandidati moraju pridržavati. Proširenje EU na istok Europe stavilo je naglasak na pitanja nuklearne sigurnosti. Nuklearna energija je važan energetska izvor u mnogim istočnoeuropskim zemljama, ali sigurnosne norme u nuklearnim elektranama i razina zaštite stanovništva

i radnika nisu uvijek bili dovoljni. Zbog toga je Europska komisija pružila pomoć tim zemljama za poboljšanje postojeće situacije putem PHARE programa. Hrvatska je sudjelovala u PHARE programu i još uvijek sudjeluje u IPA programu posebno namijenjenom nuklearnoj sigurnosti i zaštiti od zračenja.

Tijekom godina i druge nuklearne teme su dobile na značaju, kao što su radna sigurnost nuklearnih postrojenja, zbrinjavanje radioaktivnog otpada i neširenje nuklearnog oružja. Makar su zemlje članice zadržale suverenitet na tim područjima, određena uniformnost je postignuta na međunarodnoj razini pomoću međunarodnih instrumenata (kao što je npr. Konvencija o nuklearnoj sigurnosti) i inicijativa koje su stvorile međunarodni regulatorni okvir za provođenje aktivnosti u nuklearnom sektoru [2].

BUĐUĆA PRAVA I OBVEZE REPUBLIKE HRVATSKE

Istraživačke aktivnosti na području energije provode se u okviru Okvirnog istraživačkog programa Euratoma. Sedmi okvirni program Europske zajednice za atomsku energiju za nuklearna istraživanja i osposobljavanje (FP7 Euratom) provodio se pet godina (2007. – 2011.), ali je odlučeno da se produži za još dvije godine (2012. – 2013.). U okviru FP7 Euratom postoje dva povezana posebna programa, jedan koji pokriva neizravne aktivnosti na području istraživanja fuzije te nuklearne fisije i zaštite od zračenja, i drugi koji pokriva izravne aktivnosti na nuklearnom području koje provodi Zajednički istraživački centar. JRC je također partner u mnogim konzorcijima koji provode neizravne aktivnosti na području fisije. Osnovni cilj FP7 Euratom je rješavanje glavnih problema i izazova u nuklearnim istraživanjima i doprinošenje daljnjoj integraciji Europskog istraživačkog područja (ERA) u nuklearnom energetske sektoru. FP7 Euratom promiče slobodno kretanje istraživača, ideja i znanja. Osnovna svrha Euratom istraživačkog programa je razvoj i skupljanje znanja i poboljšanje znanstvenih i tehničkih sposobnosti i vještina zbog unapređenja sigurnosti, zaštite, pouzdanosti, održivosti i isplativosti nuklearne energije [3]. Iako hrvatske znanstvene i stručne institucije mogu sudjelovati u Okvirnom istraživačkom programu za nuklearna istraživanja na području fuzije i fisije na dobrovoljnoj osnovi, punopravno članstvo u Euratomu, koje će biti postignuto tek nakon pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji, omogućit će hrvatskim znanstvenim i stručnim institucijama sudjelovanje u Euratom istraživačkom programu kao financijski ravnopravnim partnerima. Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske je nadležno za koordinaciju mreže nacionalnih osoba za

kontakt (NCP) za svaki dio FP7 programa. Podaci za kontakt za NCP JRC i za NCP Euratom mogu se pronaći na web stranici Hrvatskog instituta za tehnologiju [4].

ZAKLJUČAK

Za razliku od Ugovora kojim se uspostavlja Europska zajednica, nikakve velike promjene nisu napravljene u Ugovoru o Euratomu, koji je ostao na snazi. Europska zajednica za atomsku energiju nije se spojila s Europskom unijom pa je zadržala zasebnu pravnu osobnost, makar dijeli iste institucije s EU. Ugovorom kojim se nadopunjuje Ugovor o Europskoj uniji i Ugovor kojim se uspostavlja Europska zajednica, potpisanim u prosincu 2007., promijenjene su određene odredbe Ugovora o Euratomu temeljem "Protokola br. 12 kojim se nadopunjuje Ugovor o osnivanju Europske zajednice za atomsku energiju" [5]. Te promjene ograničene su na prilagodbe novim pravilima koja su uspostavljena nadopunjavanjem Ugovora o Euratomu, posebno na institucionalnom i financijskom području.

Nedavno je Europska komisija razmotrila i procijenila perspektive Ugovora o Euratomu. Rezultat je bio pozitivan, posebno na području istraživanja, zaštite zdravlja, praćenja miroljubivog korištenja nuklearnih materijala i međunarodne suradnje. Interes za nuklearnu energiju i dalje postoji zbog potrebe za sigurnim izvorom energije i zbog brige oko klimatskih promjena. Buduća primjena Ugovora o Euratomu fokusirat će se na zaštitu i sigurnost nuklearnih materijala. Europska zajednica za atomsku energiju i nadalje će pomagati razvoj nuklearne industrije i osigurati pridržavanje osnovnih normi za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost [2].

LITERATURA

- [1] <http://eur-lex.europa.eu/en/treaties/dat/12006A/12006A.htm>
- [2] http://europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/treaties/treaties_euratom_en.htm
- [3] http://cordis.europa.eu/fp7/euratom/home_en.html
- [4] www.fp7.hr
- [5] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2007:306:0199:0201:EN:PDF>

TREATY ESTABLISHING THE EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY (EURATOM) AND FUTURE OBLIGATIONS OF THE REPUBLIC OF CROATIA

Nevenka Novosel

State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

nevenka.novosel@dzrns.hr

Treaty establishing the European Atomic Energy Community (further in the text Euratom Treaty) was signed in Rome in 1957. The main objective of the Euratom Treaty is to pool the nuclear industries of Member States. Since 1957, the number of articles was reduced from 234 to 177 following the signature in 2007 of the Treaty amending the Treaty on European Union (EU Treaty) and the Treaty establishing the European Community (EC Treaty).

According to the Euratom Treaty, the specific tasks of Euratom are:

1. to promote research and ensure the dissemination of technical information (establishment of the Joint Research Centre),
2. to establish uniform safety standards to protect the health of workers and of the general public and ensure that they are applied,
3. to facilitate investment and ensure the establishment of the basic installations necessary for the development of nuclear energy in the EU,
4. to ensure that all users in the EU receive a regular and equitable supply of ores and nuclear fuels (establishment of the Euratom Supply Agency),
5. to make certain that civil nuclear materials are not diverted to other (particularly military) purposes (Euratom safeguards),
6. to exercise the right of ownership conferred upon it with respect to special fissile materials,
7. to foster progress in the peaceful uses of nuclear energy by working with other countries and international organizations (like IAEA),
8. to establish joint undertakings (ITER project).

Although Croatian research institutions have possibility to participate in the Framework Euratom Programme on nuclear research in fusion and fission on voluntary basis, full membership in Euratom with all rights and obligations will be obtained upon accession to EU.

In this paper the main aspects of Euratom Treaty is presented with special accent on future rights and obligations of the Republic of Croatia upon accession to EU.

ULOGA REGULATORNOG TIJELA U ZBRINJAVANJU RADIOAKTIVNOG OTPADA U DRŽAVAMA BEZ NUKLEARNOG PROGRAMA

*Dragan Kubelka, Dejan Trifunović, Ivana Kralik, Sanja Krča,
Katarina Šmalcelj i Saša Medaković*

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb

dragan.kubelka@dznrs.hr

UVOD

Prema međunarodnim sigurnosnim standardima, kao što su oni Međunarodne agencije za atomsku energiju, svaka država koja koristi radioaktivne materijale dužna je imati jasno definiran sustav za kontrolu radioaktivnih izvora "od kolijevke do groba" [1-3]. Postojeći kapaciteti u pojedinoj državi koji osiguravaju zaštitu od ionizirajućeg zračenja u slučaju izvanrednog događaja ili nakon prestanka uporabe radioaktivnih izvora, u većini zemalja su u najboljem slučaju mjerljivi kapacitetima državnog regulatornog okvira i gotovo nikad ne mogu ponuditi više.

Okosnicu državne infrastrukture za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, čine regulatorno tijelo (RT), ovlašteni stručni tehnički servisi (Servisi), korisnici radioaktivnih izvora (Korisnici) i operater objekta za obradu i skladištenje radioaktivnog otpada (Operater).

Međunarodni dokumenti iznimnu važnost posvećuju činjenici da RT mora biti u potpunosti neovisno od svih zagovarača uporabe nuklearne energije pa čak i od Korisnika u području medicine, industrije i istraživanja.

Uz sveukupnu odgovornost za funkcioniranje državne infrastrukture za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, uključujući i hitne intervencije te infrastrukture za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, jedan od poslova RT-a je vođenje i održavanje baza podataka o djelatnostima, izvorima ionizirajućeg zračenja, osobnoj dozimetriji izloženih radnika, kao i podataka o radioaktivnom otpadu. Opseg posla RT-a jasno definiraju podaci sadržani u bazama podataka o kojima skrbi, a njegova kapacitiranost za obavljanje tih poslova trebala bi biti sumjerljiva količini tih podataka.

Servisi su najčešće tvrtke koje je ovlastilo RT u skladu s predviđenim standardima. U mogućnosti su na slobodnom tržištu korisnicima ponuditi različite usluge poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja. Obim i vrsta usluge definirani su od strane Korisnika i njih samih.

Korisnici u državama bez nuklearnog programa obično svoje djelatnosti obavljaju u području medicine, industrije ili istraživanja. U takvim zemljama glavni su subjekti čijom djelatnošću nastaje radioaktivni otpad. U cilju zadovoljavanja postavljenih normi zaštite od ionizirajućeg zračenja i fizičke sigurnosti, najčešće koriste usluge Servisa.

Operater je obično tvrtka imenovana od vlade pojedine države, predložena od RT-a. Za djelatnost skladištenja koristi objekt koji se nalazi na lokaciji koju mu je vlada namijenila, a javnost prihvatila [2-4], dok njezin rad treba biti nadziran od strane RT-a. Glavna uloga Operatora je sigurno postupanje s radioaktivnim otpadom nastalim pri aktivnostima koje obavlja Korisnik. Rad Operatora, odnosno sigurno zbrinjavanje radioaktivnog otpada u idealnom bi se slučaju trebalo financirati od strane subjekta čijom djelatnošću je radioaktivni otpad i nastao. Jedna od uloga Operatora trebala bi biti i priprema prijedloga o nacionalnoj strategiji zbrinjavanja radioaktivnog otpada.

Učinkovitost državne infrastrukture za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, kao i njezina dugoročna održivost, uvelike ovisi o međuosobnim odnose gore opisane četiri skupine sudionika, u kontekstu osiguravanja radioaktivnih izvora nakon njihove uporabe. Ne postoji krovni mehanizam koji bi dugoročno osigurao idealne odnose među glavnim sudionicima državne infrastrukture za zaštitu od ionizirajućeg zračenja. Osnova za preduvjete koji će omogućiti stvaranje odgovarajućih odnosa između glavnih sudionika može se osigurati isključivo kroz dugoročne strategije i program provedbe strategije koje se odnose na zbrinjavanje radioaktivnog otpada i koje će se periodično revidirati. Važno je da strategija osigura izradu potrebnih financijskih aranžmana između sudionika, koji će se temeljiti na postojećoj privredi, dozvoljenim mogućnostima odlaganja i ulogama sudionika. Uloga RT-a je osigurati dugoročnu provedbu strategije i programa provedbe strategije, svakako uključujući i mogućnost odlagališta.

ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA U DRŽAVAMA BEZ NUKLEARNOG PROGRAMA

Države bez nuklearnog programa najčešće imaju dugu tradiciju korištenja radioaktivnih izvora i drugih izvora ionizirajućeg zračenja, što rezultira različitim infrastrukturama za zaštitu od ionizirajućeg zračenja. Budući da u najvećem broju država ne postoji krovni financijski aranžman među sudionicima, odnosi i položaj na otvorenom tržištu usluga zbrinjavanja radioaktivnog otpada periodično se mijenjaju, temeljem trenutnih interesa sudionika. Kako bi se izbjegle takve situacije, potrebna je

dugoročna politička volja koja mora biti provedena od strane RT-a i podržana odgovarajućim financijskim aranžmanima među sudionicima. Ova činjenica je od velike važnosti za države koje nemaju nuklearni program, odnosno koje imaju "samo" institucionalni radioaktivni otpad, zbog sklonosti vladinih administrativnih tijela ka zanemarivanju razine opasnosti koja proizlazi iz takve vrste otpada, a uz značajan rast zabrinutosti u javnosti. S druge strane, radioaktivni otpad podrijetlom iz nuklearnih postrojenja smatra se "opasnim samim po sebi" i općenito se aktivno rješava u smislu pronalaženja odgovarajućeg konačnog rješenja.

Budući da države pitanju institucionalnog radioaktivnog otpada daju različitu važnost te obzirom na činjenicu da postojeći pristup i način rješavanja ovog problema unutar državne administrativne infrastrukture nije lako promijeniti u kratkom vremenu, možemo očekivati da postojeća rješenja ne budu u potpunosti u skladu s očekivanim međunarodnim standardima. Tipični problem koji susrećemo u radu RT-a možemo povezati s njegovom neovisnošću, zbog mogućnosti da njegov opseg rada ne bude priznat kao dovoljno širok da bi opravdao njegovu punu neovisnost i unutarnju strukturu.

Problemi Servisa najčešće se odnose na njihov položaj na tržištu usluga poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja. Pružanje njihovih usluga često u velikoj mjeri ovisi o mogućnosti da osiguraju skladištenje radioaktivnih izvora ili izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju više koristiti.

Korisnici su pod izravnim utjecajem mogućih poremećaja na tržištu, jer u velikoj mjeri ovise o uslugama Servisa. U ekstremnim situacijama, oni mogu biti prisiljeni u svoj djelokrug rada uključiti neke aktivnosti za koje se u normalnim okolnostima očekuje da budu u djelokrugu rada drugih sudionika. To je najmanje poželjno rješenje za bilo koji problem koji bi se mogao pojaviti u infrastrukturi za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, pogotovo kada je povezano s gospodarenjem radioaktivnim izvorima nakon prestanka njihove uporabe. Ovakvi poremećaji mogu dovesti do slabljenja pa čak i gubitka cjelokupne institucionalne kontrole, što može imati za posljedicu porast broja izvora bez posjednika ili povećanje broja napuštenih ili izgubljenih radioaktivnih izvora. Stoga Operater treba biti organiziran tako da poremećaji na tržištu imaju najmanji utjecaj na njegov rad.

Iz ovih razloga nije moguće planirati dugoročno održivu državnu infrastrukturu za zaštitu od ionizirajućeg zračenja bez čvrste političke odluke koja mora jasno odrediti ulogu Operatera i lokaciju objekta za obradu i skladištenje radioaktivnog otpada. Putem RT-a moraju se poduzeti

sve potrebne mjere kako bi državna infrastruktura bila dugoročno održiva, a Operater nesmetano mogao u tom periodu obavljati poslove koji su mu dati u nadležnost. Ovo u velikoj mjeri ovisi o financijskom aranžmanu između sudionika te njegovoj periodičnoj reviziji. Zato pri uspostavi potrebne infrastrukture moramo uzeti u obzir, uz međunarodne preporuke, i stanje u privredi, zakonske obveze prenesene u financijske troškove, ljudske resurse i dugoročnu perspektivu utemeljenu na realističnim pretpostavkama. Pri tom se moramo voditi činjenicom da infrastruktura zbrinjavanja institucionalnog radioaktivnog otpada u državama bez nuklearnog programa najčešće nije financijski samoodrživa.

RASPRAVA

Pri uspostavi infrastrukture za zbrinjavanje radioaktivnog otpada moramo se voditi činjenicom da ona mora biti dugoročno održiva. Dugoročna održivost ovisna je o održivosti sustava za financiranje koji je u zemljama bez nuklearnog programa vrlo ograničen.

Obzirom na neophodnost uspostave RT-a te da se aktivnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada mogu u velikoj mjeri obavljati na lokaciji Korisnika, mora se razmotriti mogućnost da se RT aktivno uključi u aktivnosti vezane uz zbrinjavanje radioaktivnog otpada u državi.

ZAKLJUČAK

U nastojanju da se državna infrastruktura za zbrinjavanje radioaktivnog otpada učini dugoročno održivom, države trebaju u najvećoj mogućoj mjeri iskoristiti raspoložive tehničke i ljudske resurse, kako bi se izbjeglo stvaranje novih institucija. Možemo pretpostaviti da će održivost na dulji rok za nove resurse/institucije, uglavnom zbog potrebne dodatne financijske podrške, biti kompromitirana. Bilo koja vrsta dodatnog financijskog opterećenja za državu je nepovoljna jer infrastruktura zbrinjavanja institucionalnog radioaktivnog otpada u državama bez nuklearnog programa uglavnom nije financijski samoodrživa. Za dugoročnu održivost potrebna joj je potpora države.

Stoga se treba voditi dvjema činjenicama. Prvo da se aktivnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada mogu u velikoj mjeri obavljati na lokaciji Korisnika uz pomoć Servisa. A drugo da je postojanje RT-a, nakon što se uspostavi, neupitno. Stoga je potrebno pri uspostavi sustava uzeti u obzir mogućnosti aktivnog angažmana i RT-a u infrastrukturu za zbrinjavanje radioaktivnog otpada.

Razina i opseg uključenosti RT-a mora odražavati situaciju u državi, uzimajući u obzir da RT može osigurati toliko potrebnu održivost. Postupajući tako, političko okruženje trebalo bi biti vođeno rješenjima koja imaju za cilj uspostavu dugoročno održive infrastrukture za zbrinjavanje radioaktivnog otpada.

LITERATURA

- [1] EURATOM. Laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, May 13, 1996. Council Directive 96/29. EURATOM; 1996.
- [2] EURATOM. Establishing a community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste, July 19, 2011. Council Directive 2011/70. EURATOM; 2011.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Safety Standard Series No. GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2011.
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA). Predisposal Management of Radioactive Waste. Safety Standards Series No. GSR Part 5. Vienna: IAEA; 2009.
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA). Selection of Efficient Options for Processing and Storage of Radioactive Waste in Countries with Small Amounts of Waste Generation. IAEA TECDOC-1371. Vienna: IAEA; 2003.

INVOLVEMENT OF REGULATORY BODY IN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN NON-NUCLEAR COUNTRIES

*Dragan Kubelka, Dejan Trifunović, Ivana Kralik, Sanja Krča,
Katarina Šmalcelj and Saša Medaković*

State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

dragan.kubelka@dzrns.hr

This paper challenges internationally accepted concepts of dissemination of responsibilities between all stakeholders involved in national radioactive waste management infrastructure in the countries without nuclear power program. Mainly it concerns countries classified as class A and potentially B countries according to International Atomic Energy Agency. It will be shown that in such countries long term sustainability of national radioactive waste management infrastructure is very sensitive issue that can be addressed by involving regulatory body in more active way in the infrastructure. In that way countries can mitigate possible consequences on the very sensitive open market of radioactive waste management services, comprised mainly of radioactive waste generators, operators of end-life management facilities and regulatory body.

VRIJEME ZA KOMPETENTNE ODLUKE O ZBRINJAVANJU RADIOAKTIVNOG OTPADA U HRVATSKOJ

*Alemka Knapp¹, Ivica Levanat¹, Vladimir Lokner² i
Diana Šaponja-Milutinović¹*

¹Tehničko veleučilište Zagreb, Zagreb

²APO d.o.o., Zagreb

ivica.levanat@tvz.hr

UVOD

U Hrvatskoj se danas nalazi oko 30 m³ radioaktivnog otpada (RAO) koji potječe od uporabe radionuklida u medicini, industriji i istraživanjima, i za koji se razmatraju opcije prikladnijega skladištenja (u nekom centralnom nacionalnom skladištu) od dosadašnjih rješenja.

Ta je količina beznačajna u usporedbi s otpadom iz Nuklearne elektrane Krško (NEK) u Sloveniji, za čije je zbrinjavanje Hrvatska preuzela jednaku odgovornost kao i Slovenija, prema Ugovoru između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško [1] (dalje: Međudržavni ugovor o NEK).

Rješenja za zbrinjavanje otpada iz nuklearke utvrđuju se u zajedničkom Programu razgradnje NEK, kojega izrađuju i revidiraju stručne organizacije iz Slovenije i Hrvatske, prema odredbama i pod nadzorom Međudržavnog povjerenstva iz članka 18. Međudržavnog ugovora o NEK.

Prva revizija Programa razgradnje [2], izrađena žurno i dovršena 2004. godine, tek načelno određuje da će se RAO i istrošeno nuklearno gorivo (ING) iz NEK zbrinjavati u zajedničkim postrojenjima na teritoriju jedne ili druge države. No, izrada druge revizije Programa, koja je trebala preciznije opisati tehničke detalje, financijske procjene i konkretne dogovore, zapela je prije par godina, uglavnom na usuglašavanju scenarija zbrinjavanja otpada [3]. Za sada obje države ignoriraju odredbu Međudržavnog ugovora o NEK koja zahtijeva periodičke revizije Programa najmanje svakih 5 godina.

Najzahtjevnije će biti zbrinjavanje ING nakon prestanka rada elektrane, koje se u konačnici treba odlagati u dubokim geološkim odlagalištima, odnosno barem onaj njegov dio koji bi preostao nakon

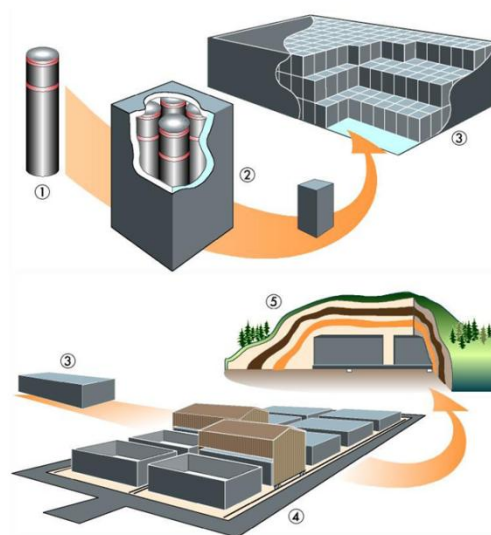
eventualne prerade. Međutim, taj problem nije još konkretno i definitivno riješen niti u najrazvijenijim zemljama, već se za sada pribjegava privremenom skladištenju ING na rok od više desetljeća. U tome pogledu Hrvatska i Slovenija nemaju ambicija tražiti neka originalna vlastita rješenja, te nema značajnijih razlika u gledištima dviju država o daljnjim koracima. Štoviše, u tijeku su dogovori između suvlasnika NEK da se već sada krene s pripremom izgradnje zgrade i nabavke spremnika za suho skladištenje ING na lokaciji elektrane, potaknuti odzivom međunarodne nuklearne zajednice na probleme uočene u Fukušimi. Time se potrebe za konkretnim odlukama o konačnom zbrinjavanju ING iz NEK efektivno odgađaju barem za nekoliko desetljeća.

Za razliku od toga, konkretan dogovor o konačnom zbrinjavanju nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO) iz pogona i razgradnje NEK mogao je biti već utanačen. Radi se o procijenjenoj ukupnoj količini od desetak tisuća m³ otpada (neizvjesnost procjene potječe uglavnom od mogućih razlika u postupcima razgradnje NEK). U svijetu već postoji stotinjak odlagališta za tu vrstu otpada, tehnologije odlaganja su dobro proučene te nema značajnijih nepoznanica. No, obje su države do sada izbjegavale takav konkretni dogovor. Sada, međutim, nakon par desetljeća okolišnih načelnih razmatranja i odgađanja stvarnog dogovora, približava se trenutak odluke: prema EU Direktivi 2011/70 [4], obje države moraju do 23. kolovoza 2015. godine usvojiti konkretne nacionalne programe zbrinjavanja RAO i ING.

NAČELNE MOGUĆNOSTI ODLAGANJA NSRAO IZ NEK

U posljednja dva desetljeća Hrvatska i Slovenija vrlo se različito odnose prema problemu zbrinjavanja NSRAO iz NEK. Zajedničko im je, ipak, da su obje države poduzimale korake prema izgradnji odlagališta na vlastitom teritoriju, takvoga da može prihvatiti ukupni NSRAO iz NEK, ili barem polovicu ako dođe do diobe otpada.

U Hrvatskoj su te aktivnosti bile intenzivne uglavnom u devedesetim godinama, a među njima je osobito značajan bio projekt izbora preferentnih lokacija za odlagalište, okončan uvrštenjem lokacije na Trgovskoj gori u Program prostornog uređenja države u svibnju 1999. godine, uz preporuku za daljnja istraživanja [5]. Projekt je koordinirala državna agencija APO, koja je u to vrijeme provodila i kampanju educiranja najšire javnosti o radioaktivnom otpadu. Na Slici 1 prikazana je generička ilustracija pripovršinskog odlagališta kazetnog tipa, kakvo bi se moglo koristiti za odlaganje NSRAO na Trgovskoj gori, koju je agencija koristila u kampanji.



Slika 1. Skica tipičnog pripovršinskog odlaganja NSRAO kakvo bi se moglo koristiti na Trgovskoj gori

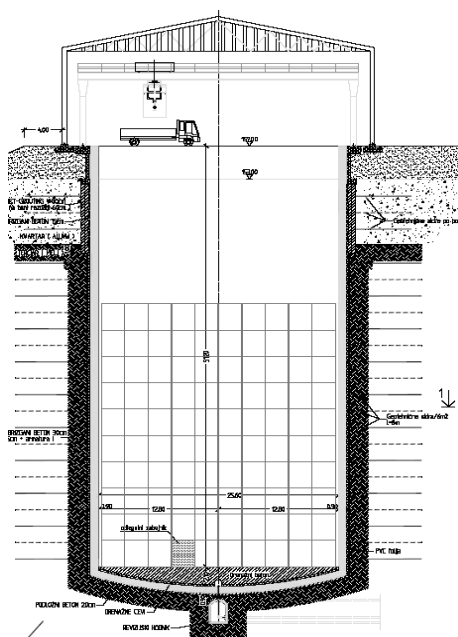
Posljednji veliki projekt vezan uz potencijalno odlagalište na Trgovskoj gori bila je preliminarna procjena sigurnosti dovršena krajem 2000. godine. Ona je pokazala [6] da se, prema tada dostupnim spoznajama, radi o kvalitetnoj lokaciji na kojoj bi rizik od tipskog odlagališta NSRAO (kakvo je prikazano na Slici 1) bio neznan, tj. unutar propisanih granica.

Nakon toga su, međutim, obustavljene sve aktivnosti vezane uz moguću uspostavu odlagališta NSRAO u Hrvatskoj. Nasuprot tome, u Sloveniji se upravo tada intenziviraju pripreme za uspostavu slovenskog odlagališta, pa slovenski Zakon o zaštiti od zračenja i nuklearnoj sigurnosti [7] zahtijeva da odlagalište bude izgrađeno do 2013. godine. Planira se da to bude slovensko nacionalno odlagalište, no slovenski Nacionalni program zbrinjavanja RAO i ING iz 2006. godine [8] dopušta i mogućnost da se u njemu odlaže ukupni NSRAO iz NEK.

Nema, međutim, nikakvih indicija da je gašenje hrvatskog i forsiranje slovenskog projekta odlagališta bilo posljedica kakvog dogovora između dviju država. Naprotiv, slovenski se projekt pokreće i razvija paralelno s izradom prve revizije zajedničkog Programa razgradnje NEK, koja tek načelno predviđa "jedno zajedničko odlagalište NSRAO u Sloveniji ili Hrvatskoj" koje treba biti izgrađeno do 2018. godine. U suprotnosti s takvim načelnim zajedničkim dogovorom, Slovenija jednostrano planira i žuri izgraditi svoje odlagalište (prije nego što bi tehnološki bilo potrebno) te

projekt samostalno financira (dok Program razgradnje NEK predviđa zajedničko financiranje zajedničkih projekata).

U relativno kratkom roku proveden je izbor lokacije za slovensko odlagalište NSRAO, koje će se nalaziti u općini Krško, nedaleko od elektrane i rijeke Save. Usvojen je idejni projekt odlagališta egzotičnog silosnog tipa [9] (kakav se nigdje ne koristi), prilagođen potencijalno plavnoj lokaciji na kojoj će jedinice za odlaganje biti uronjene u podzemni vodotok prema Savi (Slika 2).



Slika 2. Iz idejnog projekta slovenskog odlagališta silosnog tipa

Lokacija odlagališta uvrštena je u prostorni plan Slovenije krajem 2009. godine, a suglasnost lokalne zajednice stimulirana je visokim izravnim financijskim kompenzacijama za gradnju i pogon odlagališta. No, gradnja odlagališta ipak neće ni započeti 2013. godine, jer još nisu dovršene analize ponašanja i sigurnosti projektiranog postrojenja i lokacije.

Procijenjeni troškovi odlaganja NSRAO u tako planiranom odlagalištu neuobičajeno su visoki [9], dijelom zbog zahtjevne konstrukcije postrojenja i njoj prilagođene tehnologije odlaganja, a dijelom zbog visokih kompenzacija lokalnim zajednicama. Ti bi troškovi mogli biti i do dva puta veći nego što bi se, za isti NSRAO, očekivalo u slučaju standardnog

odlagališta kazetnog tipa na lokaciji kakva je Trgovska gora. No, stvarna usporedba s potencijalnim odlagalištem u Hrvatskoj zapravo nije moguća, jer su pripreme za njegovu eventualnu uspostavu prerano obustavljene.

Što se pak tiče usporedbe dvaju koncepata u pogledu zaštite okoliša i ljudskog zdravlja, općenito je poznato da je radiološki rizik od dobro koncipiranog i izvedenog odlagališta NSRAO neznatan. I jedno i drugo postrojenje moralo bi prije dobivanja uporabne dozvole demonstrirati, pomoću procjene sigurnosti, da je rizik manji od propisanih granica. No, i bez provođenja takvoga postupka, unaprijed je jasno da je lakše ostvariti izolaciju otpada na kvalitetnoj lokaciji kakva je Trgovska gora, znatno iznad razine podzemnih voda, nego li u podzemnom vodotoku blizu rijeke. Stoga nije izgledno da bi eventualno hrvatsko odlagalište na Trgovskoj gori moglo predstavljati znatno veći kumulativni rizik za hrvatsku populaciju od slovenskog projekta u Krškome.

HRVATSKI NACIONALNI INTERES I HRVATSKE OPCIJE

Za zbrinjavanje svoje polovice NSRAO iz NEK, Hrvatska očito ima dvije opcije: da sa Slovenijom dogovori odlaganje u odlagalištu u Krškome, ili da izgradi svoje odlagalište na Trgovskoj gori. I bez vremenskih ograničenja koje nameće EU Direktiva, odluku o tome Hrvatska ne bi mogla puno odgađati jer će za desetak godina (u periodu od 2023. do 2025. godine, prema odredbi Međudržavnog ugovora o NEK), morati preuzeti taj otpad ako u međuvremenu ne dogovori zajedničko rješenje sa Slovenijom.

A budući da neće stići ostvariti potrebne preduvjete za preuzimanje NSRAO iz NEK – ako ne pokrene odgovarajuće pripreme unutar par godina – Hrvatskoj će nakon toga preostati samo opcija da dogovara odlaganje u Krškome pod uvjetima koje odredi Slovenija.

Želi li Hrvatska doista sebe dovesti u takav pregovarački položaj? Koji je hrvatski nacionalni interes u toj stvari? I zašto Slovenija žuri s izgradnjom svojega odlagališta?

Obje države planiraju uložiti znatna sredstva (nekoliko stotina milijuna eura) u zbrinjavanje NSRAO iz NEK, i ta se sredstva već prikupljaju u nacionalnim fondovima za razgradnju NEK. U takvim okolnostima, kompetentna državna politika trebala bi se prilikom izbora opcija odlaganja rukovoditi racionalnim motivima i nacionalnim interesima. Kad već mora ulagati sredstva u zbrinjavanje NSRAO iz NEK, gradnja odlagališta na vlastitom teritoriju može i jednoj i drugoj državi biti u nacionalnom interesu iz više razloga.

Vlastito odlagalište ima strateški značaj za eventualni budući razvoj nuklearnog programa u državi. To je osobito aktualno u Sloveniji, koja već neko vrijeme razmatra mogućnost gradnje drugog bloka elektrane odnosno novog reaktora. Za Hrvatsku je slična mogućnost za sada tek hipotetička.

Odlagalište na vlastitom teritoriju dramatično olakšava zbrinjavanje ostalog RAO koji ne potječe iz NEK. Za Sloveniju je ta pogodnost puno značajnija nego za Hrvatsku jer ima puno više takvog otpada.

Gradnja i pogon odlagališta nije beznačajan gospodarski projekt za države veličine Hrvatske ili Slovenije. U njemu sudjeluju građevinske i druge tvrtke, zapošljavaju se radnici, izgrađuje se infrastruktura i izravno pomaže proračun lokalnih zajednica. Velika je gospodarska razlika između pukog financiranja takvog projekta u drugoj državi (ili još skupljeg plaćanja "komercijalnog" odlaganja, samo zato što "ne želimo imati ništa s tim otpadom") i realizacije takvog projekta u svojoj državi. No, ta se gospodarska razlika može značajno umanjiti ako Hrvatska dogovori zajedničku gradnju i korištenje odlagališta u Sloveniji.

Gradnja, pa i ravnopravno sudjelovanje u gradnji odlagališta, razvijaju specifične i interdisciplinarne kompetencije, što je osobito značajno u malim državama poput Hrvatske i Slovenije. Takve kompetencije nisu ograničene samo na zbrinjavanje RAO, nego su izravno primjenjive u različitim aspektima gospodarenja opasnim otpadom i zaštite okoliša.

ZAKLJUČAK

Jasno je da Slovenija neće odustati od gradnje odlagališta NSRAO na vlastitom teritoriju, kako zbog opisanih strateških interesa tako i zbog koraka koje je već poduzela. Preostaje samo dvojba kako će se Hrvatska ponašati u takvim okolnostima.

Najgore što Hrvatska može izabrati jest odlaganje svojeg dijela NSRAO iz NEK u Sloveniji pod komercijalnim uvjetima koje određuje Slovenija. A to će Hrvatskoj ostati kao jedina opcija ako uskoro ne pokaže da na vrijeme može izgraditi vlastito odlagalište.

Ako ipak pokaže da to može, Hrvatska će imati priliku birati između dviju boljih opcija: da ravnopravno sudjeluje u planiranju, gradnji, korištenju i financiranju zajedničkog odlagališta u Sloveniji; ili da gradi vlastita postrojenja za zbrinjavanje NSRAO iz NEK u Hrvatskoj.

Stoga je krajnje vrijeme da Hrvatska pokrene intenzivne pripreme za uspostavu odlagališta NSRAO na Trgovskoj gori – bez obzira na to hoće li se ono doista graditi – jer bez toga neće moći kompetentno odlučivati o svojim gospodarskim i strateškim interesima u zbrinjavanju RAO, niti će moći

kompetentno i uvjerljivo pregovarati o mogućim zajedničkim rješenjima sa Slovenijom. Ako ne uspije uskoro demonstrirati da zna kako može izgraditi vlastito odlagalište, ni Hrvatska sama neće znati je li takva opcija realistična i koliko joj se isplati, a od Slovenije nema razloga očekivati da će joj benevolentno ponuditi povoljne uvjete i ravnopravnu suradnju u korištenju slovenskog odlagališta – kad se za to nije niti pokušala izboriti.

LITERATURA

- [1] 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 9/2002; Uradni list RS 23/2003.
- [2] Krško NPP. Program of Krško NPP Decommissioning and SF & LILW Disposal (Program razgradnje NEK in odlaganja NSRAO in IJG), ARAO; T-1123/03, Ljubljana:2004, APO Ltd.; Environmental Services, 25-04-1348/06, Zagreb:2004.
- [3] Levanat I, Lokner V, Rapić A, Železnik N, Kralj M. Revision 2 of the NPP Krško decommissioning program is stalled. Proceedings of the 9th International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids, June 2-6, 2012; Zadar, Croatia. Zagreb: HND; 2012. pp. S7-111.
- [4] EURATOM. Establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste. Council Directive 2011/70/Euratom. Brussels: July 19, 2011.
- [5] Odluka o donošenju Programa prostornog uređenja Republike Hrvatske, Narodne novine 50/1999.
- [6] Lokner V, Levanat I, Schaller A, Kučar-Dragičević S, Čerškov Klika M, Subašić D. Conclusion of the preliminary safety report for the LILW repository on Trgovska Gora. Proceedings of the 4th International Conference on Nuclear Option in Countries With Small and Medium Electricity Grids, June 16-20, 2002; Dubrovnik, Croatia. Zagreb: HND; 2002. pp. S-6.4.
- [7] Zakon o varstvu pred ionizirajućimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-UPB2) (uradno prečišćeno besedilo), Uradni list RS 102/2004.
- [8] Resolucija o Nacionalnem programu ravnanja z radioaktivnimi odpadki in izrabljenim jedrskim gorivom za obdobje 2006–2015 (ReNPROJG), Uradni list RS 15/2006.
- [9] Levanat I, Lokner V, Rapić A, Kralj M, Mele I, Stropnik P, Železnik N. Revision 2 of the program of NPP Krško decommissioning and SF & LILW disposal. Proceedings of the 8th International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids, May 16-20, 2010; Dubrovnik, Croatia. Zagreb: HND; 2010. pp. S8-55.

TIME FOR COMPETENT DECISIONS ON RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN CROATIA

*Alemka Knapp¹, Ivica Levanat¹, Vladimir Lokner² and
Diana Šaponja-Milutinović¹*

¹Zagreb Polytechnic, Zagreb, Croatia

²APO Ltd., Zagreb, Croatia

ivica.levanat@tvz.hr

After a couple of decades of hesitant and indecisive consultations between Slovenia and Croatia on the management options for the Krško nuclear power plant (KNPP) waste, time for decision making has approached. Council Directive 2011/70/Euratom requires that both countries adopt specific national programs for radioactive waste and spent fuel management before August 23, 2015.

In the nineties, Croatia undertook a campaign aimed at constructing a low and intermediate level waste (LILW) repository. The region of Trgovska gora was designated as the potential repository site, and a preliminary safety assessment indicated that it was suitable for a near surface vault-type disposal facility – but then the campaign was stopped. Soon after, Slovenia intensified preparations for a LILW repository on its territory, and Krško (near the NPP) was selected for disposal site. An exotic and expensive silo-type disposal concept was adopted, disposal units immersed into the groundwater flowing towards the nearby Sava river. The project continues.

Presently, however, Croatia does not know whether it will be allowed to dispose of its share of LILW from the KNPP into the Slovenian repository, nor under what conditions. Croatia does not know whether it will have to build its own repository, nor whether such solution would be financially preferable – although Croatia may have to begin transferring its half of the KNPP waste to its territory in less than ten years.

It is therefore high time for Croatia to resume intensive preparations for the establishment of a LILW repository on Trgovska gora – regardless of whether or not it would actually be constructed. Without such preparations, and the insights gained, Croatia will not be capable of making competent decisions about its national interests regarding the KNPP waste management, nor will it be prepared for competent and convincing negotiations with Slovenia about the options for sharing the Krško facility.

MEDICINSKA FIZIKA I BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO U KLINIČKOM OKRUŽJU I PRAVNOM OKRUŽENJU

Mario Medvedec

Klinički zavod za nuklearnu medicinu i zaštitu od zračenja,

Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb

mario.medvedec@kbc-zagreb.hr

UVOD

Medicinska fizika je primjena fizičkih znanja i vještina u medicini, sa svrhom očuvanja ili poboljšanja zdravlja ljudi i njihove dobrobiti. Biomedicinsko inženjerstvo je primjena inženjerskih i menadžerskih znanja i vještina u biomedicini i zdravstvu, u svrhu potpore i unapređenja skrbi o zdravlju. Medicinski fizičari i biomedicinski inženjeri u kliničkom okružju rade u područje radioterapije, nuklearne medicine, radiologije, zaštite od zračenja, medicinskog oslikavanja i obrade medicinskih slika, menadžmenta biomedicinskih uređaja i opreme, osiguranja i kontrole kvalitete i sigurnosti, biomedicinskih mjerenja i obrade signala, informacijskih i komunikacijskih tehnologija, medicinske informatike i statistike, biomehanike, biomaterijala i biouskladivosti, modeliranja i simuliranja, itd. [1,2].

Proces prepoznavanja, priznavanja i uređenja struka i zanimanja općenito se sastoji od više faza i ovisi o više čimbenika. Obično je karakteriziran ustanovljenjem odgovarajućih naziva, obrazovnih programa, zvanja i zanimanja, ustroja ustanova, znanstvenih područja, polja i grana, zakonskih okvira, tržišta rada i dr.

Svrha ovog rada je razmatranje zanimanja kliničkog medicinskog fizičara i biomedicinskog inženjera unutar suvremenih međunarodnih i hrvatskih pravnih okvira.

MATERIJAL I METODE

Međunarodna organizacije rada (*International Labour Organization* – ILO) objavila je 1958., 1968., 1988. i 2008. godine međunarodne standardizirane klasifikacije zanimanja (*International Standard Classification of Occupations* – ISCO). Republika Hrvatska (RH) je pristupila izradi prve Nacionalne klasifikacije zanimanja 1992. (NKZ-98), a druge 2010. godine (NKZ-10). NKZ su stvarane po uzoru na ISCO i uz

sudjelovanje zavoda za statistiku i zapošljavanje, ministarstva rada, obrazovanja, znanosti i uprave te zainteresiranih komora, društava, ustanova, pojedinaca i dr. [3,4].

Publikacija Međunarodne agencije za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency* – IAEA) o zaštiti od zračenja i sigurnosti izvora zračenja namijenjena je regulatornim tijelima država članica IAEA koja su nadležna i za rad ustanova koje rabe zračenje u medicinske svrhe. Publikacija sadrži novu definiciju medicinskog fizičara i kvalificiranog eksperta [5].

Prva rezolucija o zdravstvenim tehnologijama Svjetske zdravstvene organizacije (*World Health Organization* – WHO) zahtijeva i suradnju s biomedicinskim inženjerima, osobito glede medicinskih uređaja [6]. Krajem 2013. godine očekuje se nova definicija biomedicinskog inženjera u publikaciji WHO *Human Resources for Medical Devices*.

U direktivama Vijeća Europske unije (EU) definiraju se kvalificirani ekspert i ekspert medicinske fizike [7,8].

REZULTATI

Klasifikacija zanimanja

Trenutno važeća međunarodna klasifikacija zanimanja je ISCO-08. Posljednja nacionalna klasifikacija zanimanja u RH je NKZ-10 iz 2010. godine, a do kraja 2013. godine i objave Popisa pojedinačnih zanimanja prema NKZ-10 primjenjivat će se i njena prethodnica NKZ-98. Međunarodne usporedivosti NKZ-98 i NKZ-10 osigurane su vjernim preuzimanjem ISCO-08 i ISCO-10. U ISCO-08 i NKZ-10 se zanimanja medicinski fizičar (*medical physicist*) i biomedicinski inženjer (*biomedical engineer*) po prvi put izrijekom spominju unutar roda 2–Znanstvenici, inženjeri i stručnjaci (*Professionals*), vrste 21–Znanstvenici, inženjeri i stručnjaci (*Science and engineering professionals*) te podvrste 211–Stručnjaci fizikalnih znanosti i geoznanosti (*Physical and earth science professionals*) i skupine 2111–Fizičari i astronomi (*Physicists and astronomers*) u slučaju medicinskih fizičara, odnosno podvrste 214–Stručnjaci tehničko-tehnoloških znanosti (osim elektrotehnike) [*Engineering professionals (excluding electrotechnology)*] i skupine 2149–Stručnjaci tehničko-tehnoloških znanosti (osim elektrotehnike) drugdje nespomenuti (*Engineering professionals not elsewhere classified*) u slučaju biomedicinskih inženjera. Pritom su od osobite važnosti napomene u ISCO-08 i NKZ-10 prema kojima medicinski fizičari i biomedicinski inženjeri, iako odgovarajuće razvrstani u gore navedene skupine 2111 i 2149,

izrijekom pripadaju i skupini zdravstvenih radnika, odnosno sastavni su dio zdravstvenih struka i zanimanja razvrstanih u podvrstu 22-Zdravstveni stručnjaci. Zanimljivo je kako već NKZ-98 sadrži pojedinačno zanimanje 2111.11.7-diplomirani medicinski fizičar i 2144.21.7-diplomirani inženjer medicinske elektronike, no nema saznanja da su u nekoj kliničkoj ustanovi u RH prije 2011. godine bila izrijekom sistematizirana takva radna mjesta [3,4,9].

Znanstvena područja, polja i grane

1. Područje prirodnih znanosti sadrži polje 1.02. Fizika, u kojem se nalazi grana 1.02.07 Biofizika i medicinska fizika. U istom području u polju 1.07. Interdisciplinarne prirodne znanosti nalazi se grana 1.07.04 Znanost o zračenju. Za razliku od medicinske fizike, biomedicinsko inženjerstvo još nije izrijekom klasificirano kao znanstveno polje ili grana. Nadalje, u RH se poslijediplomski specijalistički studij ili specijalizacija ne provodi niti za medicinske fizičare niti za biomedicinske inženjere [9].

Strukovni zakoni i komore

U RH postoji deset zakona i pripadnih komora struka koje su djelatne u zdravstvu, no niti jedan se od tih zakona i komora ne odnose na medicinske fizičare i biomedicinske inženjere, jednako kao što za njih ne postoji niti dragovoljna niti obvezna strukovna registracija ili certifikacija [9].

Zdravstveni radnici i zdravstveni suradnici

Klinički medicinski fizičari i biomedicinski inženjeri u RH svrstani su u zdravstvene suradnike, pa nisu obvezni obaviti pripravnički staž niti položiti stručni ispit. Plaću primaju kao nezdravstveni radnici visoke stručne spreme (VSS) koji sudjeluju u procesu dijagnostike i liječenja. Ovisno o akademskom stupnju, raspon platnih koeficijenata složenosti njihovih poslova javne službe je 1,49 – 1,62, dok su za VSS zdravstvene radnike 1,71 – 1,86, za VSS zdravstvene djelatnike specijaliste u bolnici 2,09 – 2,22, a za VSS zdravstvene djelatnike primarijuse specijaliste u bolnici 2,15 – 2,35 [9].

Opis i uloga zanimanja

Prema definiciji IAEA medicinski fizičar je zdravstveni radnik sa specijalističkim obrazovanjem i uvježbanošću o primjeni fizike u medicini, te je kompetentan samostalno raditi u jednoj ili više specijalnosti medicinske fizike. IAEA nadalje definira kvalificiranog eksperta kao djelatnika koji je na temelju potvrde izdane od strane odgovarajućeg odbora ili društva, strukovnog odobrenja za samostalan rad ili akademskih kvalifikacija i iskustva, priznat kao ekspert u odgovarajućoj specijalističkoj grani, npr. medicinskoj fizici, zaštiti od zračenja, zaštiti zdravlja, sigurnosti

od požara, menadžmentu kvalitete, odnosno bilo kojoj relevantnoj specijalističkoj grani inženjerstva ili sigurnosti [5].

WHO nastoji promicati biomedicinsko inženjerstvo, pa izrijeком poziva svoje države članice na, između ostalog, uključivanje biomedicinskih inženjera u procjene, planiranje, nabavke, uvođenje i upravljanje zdravstvenim tehnologijama, posebice medicinskim uređajima [6].

Ekspert medicinske fizike je, prema direktivama EU, stručnjak u fizici ili tehnologiji zračenja primjenjivoj na ozračivanje u okviru direktive, čije su osposobljenost i kompetencije priznate od strane nadležnih tijela i koji, prema potrebi, sudjeluje u ili savjetuje o dozimetriji, razvijanju i uporabi složenih tehnika, uređaja i opreme, optimiziranju, osiguranju i kontroli kvalitete te drugim poslovima u zaštiti od zračenja, obzirom na ozračivanje u okviru direktive. Nadalje, kvalificirani ekspert je osoba koja posjeduje znanje i uvježbanost za obavljanje fizičkih, tehničkih ili radiokemijskih testova, omogućujući procjenu doze i savjetovanje glede učinkovite zaštite osoba i ispravan rad zaštitne opreme, a čiji je kapacitet djelovanja kao kvalificiranog eksperta priznat od strane nadležnih tijela. Kvalificiranom se ekspertu može dodijeliti tehnička odgovornost glede zaštite od zračenja osoblja i pripadnika stanovništva [7,8].

ZAKLJUČAK

Razvoj biomedicinskih znanosti, organizacija zdravstvene zaštite i pružanje visokokvalitetne i sigurne zdravstvene skrbi u svrhu sprečavanja, prepoznavanja i utvrđivanja, liječenja, nadziranja i praćenja bolesti, posljednjih su desetljeća usko i nedjeljivo povezani s razvojem prirodnih i tehničkih znanosti te potporom naprednih tehnologija. Električni biomedicinski uređaji i oprema su sastavnica mnogih zdravstvenih postupaka, računala i informacijsko-komunikacijski sustavi suštinska su odrednica i zdravstvene svakodnevnice, a menadžment zdravstvenih tehnologija postaje svakim danom sve složeniji. Stoga se i u našim zdravstvenim ustanovama, sukladno u svijetu već poznatoj i priznatoj praksi, nameće nužnost uvođenja većeg broja stručnjaka novih profila, među kojima klinički medicinski fizičari i biomedicinski inženjeri kao zdravstveni radnici zaslužuju profesionalni životni put sličan onom liječnika, stomatologa, medicinskih biokemičara i ljekarnika. Zato bi radi pojedinačnog i općeg dobra najozbiljnija i žurna zadaća svih zainteresiranih strana, od pojedinaca, udruženja i ustanova do agencija, zavoda, ministarstava i vlade RH kao zemlje članice ILO, WHO, IAEA i EU, bila preispitati i prilagoditi svekoliko pravno okruženje novim nazivima,

strukama, tehnologijama i vremenima kliničkog okružja za stručnjake prirodnih, tehničkih, biotehničkih, društvenih i interdisciplinarnih znanosti.

Zahvala

Autor izražava osobitu zahvalnost gospođi Žaklini Čizmović iz Državnog zavoda za statistiku RH i gospođi Marini Gašpar-Lukić iz Ministarstva rada i mirovinskog sustava RH na dosadašnjoj suradnji.

LITERATURA

- [1] Del Guerra A, Bardies M, Belcari N, Caruana CJ, Christofides S, Erba P, Gori C, Lassmann M, Lonsdale MN, Sattler B, Waddington W. Curriculum for Education and Training of Medical Physicists in Nuclear Medicine: Recommendations from the EANM Physics Committee, the EANM Dosimetry Committee and EFOMP. *Phys Med* 2013; 29: 139-62.
- [2] American College of Clinical Engineering (ACCE). Clinical Engineering Certification Study Guide version 2.0. Plymouth Meeting: ACCE; 2007.
- [3] International Labour Organization (ILO). ISCO-08 Group definitions - Final draft (Word) [Internet]. Geneva: ILO; 2008 [citirano: 14. veljače 2013.]. Dostupno na: <http://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/docs/gdstruct08.doc>.
- [4] Državni zavod za statistiku. Nacionalna klasifikacija zanimanja 2010. - NKZ 10 [Internet]. Zagreb: Narodne novine br. 147; 23.12.2010.[citirano 14. veljače 2013.]. Dostupno na: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_12_147_3736.html.
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards: General Safety Requirements - Interim Edition [Internet]. Vienna: IAEA; 2011 [citirano: 14. veljače 2013.]. Dostupno na: http://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim_web.pdf.
- [6] International Labour Organization (ILO). Resolution on Health Technologies WHA60.29 [Internet]. Geneva: ILO; 2008 [citirano: 14. veljače 2013.]. Dostupno na: http://www.who.int/medical_devices/resolution_wha60_29-en1.pdf.
- [7] 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 ionising radiation. *Official Journal of the European Communities*; 1996; 39: No L-159, p 1.
- [8] Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure. *Official Journal of the European Communities*; 1997; 22: No L-180, p. 5
- [9] Medvedec M. Current Legislative Framework for Biomedical Engineering Profession in Croatia. In: Jobbagy A (ed). IFMBE Proceedings 37 - 5th European Conference EMBEC2011. Berlin: Springer, 2011; 37: 1404–1407.

MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING IN CLINICAL ENVIRONMENT AND LEGAL SURROUNDING

Mario Medvedec

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

An application of radiation in medicine is essentially associated with medical physics and biomedical engineering. The purpose of this study is to analyze the perception and the status of clinical medical physicists and biomedical engineers within the current international and Croatian legal framework.

The International Labour Organization (ILO) in its International Standard Classification of Occupations (ISCO-08) notes that medical physicists and biomedical engineers are an integral part of the health workforce, alongside those occupations classified as health professionals. International Atomic Energy Agency (IAEA) in its basic safety standards for radiation protection and safety of radiation sources also defines medical physicists as health professional. The World Health Organization (WHO) urges member states to include biomedical engineers in assessment, planning, procurement, implementation and management of health technologies, in particular biomedical devices. The Council of the European Union (EU) in its directives defines qualified professionals, especially experts in medical physics, as workers who carry out physical, technical and radiochemical work in regard to dosimetry, radiation protection, quality assurance and quality control, equipment management, etc. According to the U.S. Office of Labor Statistics, biomedical engineer is an occupation with the third-fastest growth rate in the economy, as projected for the period 2010-2020.

It is expected that the role and the importance of medical physics and biomedical engineering profession in Croatia, a member state of ILO, WHO, IAEA and EU, will be soon fully regulated in a way comparable to the career paths of other health professionals within a clinical environment, primarily for the benefit of patients and hospital staff, healthcare facilities and healthcare system in general.

50 YEARS OF THE HEALTH PHYSICS SECTION OF THE ROLAND EÖTVÖS PHYSICAL SOCIETY

István Fehér, Sándor Deme and Andor Andrási
Centre for Energy Research, Budapest, Hungary
deme@aeki.kfki.hu

FOUNDATION OF THE SECTION

The Health Physics Section of the Roland Eötvös Physical Society, Hungary was founded in March 1962. The number of members in the time of foundation was as much as 85, mainly specialists in radiation protection. The main goal of the Section was and still is to provide a forum for people working in radiation protection in Hungary in order to assure safe application of ionizing radiation and atomic energy.

Professor László Bozóky was asked to become the president of the Section, while István Fehér has been commissioned for the post of secretary by the General Secretary of the Roland Eötvös Physical Society. In the first period the main activity of the Section restricted to organize 5 – 6 events in a year with presentations on current topics.

IRPA MEMBERSHIP

Our Section was one of the Societies that founded the IRPA (International Radiation Protection Association). The founding IRPA Congress was held in Rome (September 1966) with participation of 15 societies representing 20 countries. Professor L. Bozóky, the president of the Hungarian Health Physics Section, became one of the six members of the first IRPA Executive Council.

RADIATION PROTECTION TRAINING

The following training courses were organised by the Section:

In October 1963 about 120 participants attended the two days Radiation Protection Colloquium, where 33 papers have been presented and later printed in 750 copies.

Radiation Protection School has been organized at Mátrafüred on 1924 October 1964, with 48 participants.

Three weeks training courses for radiation protection professionals were held in Budapest in two occasions. The first course was held in 1965 (35 participants), the second in 1966 (35 participants).

Series of Radiation Protection Upgrading Courses. The first three-days course was held in 1976. This kind of course was repeatedly organised each year until now. Typical number of participants attending the meetings is usually in the range of 120 to 140. The next, 38th course will be in April this year. The courses are also a good forum for presenting and discussing new results achieved by the participants in radiation protection.

INTERNATIONAL MEETINGS

Our Section was the organizer or co-organizer of several international meetings. The first meeting of this kind entitled Symposium on Health Physics was held at Pécs (26–30 September 1966). Total number of participants exceeded 150 including 60 from other countries. The 64 number of presentations has been published in two volumes of printed papers.

The IRPA Second European Congress on Radiation Protection was the next, fully international meeting organized by the Section in Budapest in the period of 3–5 May 1972. The congress was dedicated to health physics problems of internal contamination. Full number of participants was 325 from 25 countries including representatives from IAEA and ICRP. We had 9 scientists from Yugoslavia delivering 5 papers out of the total of 110.

In September 1980 the International Workshop on Environmental Monitoring around Nuclear Installations was held at Dobogókő in a mountain resort close to Budapest. About 50 registered participants arrived from 8 countries and presented 22 papers in three days.

First bilateral Hungarian–Austrian meeting between our Section and Österreichischer Verband für Strahlenschutz took place at Győr, not far from the Austrian border. This meeting was called Hungarian-Austrian Health Physicists Meeting. About 60 participants presented 31 papers.

The next meeting was held in Vienna (20–24 September 1983) and supported by the IRPA. Consequently the meeting was announced as XI Regional Congress of IRPA with the title of "Recent Developments and Trends in Radiation Protection" (220 participants, 95 papers).

Hungarian-Austrian-Yugoslavian Health Physicist Meeting on Computer Aided Methods in Radiation Protection was organized in Budapest (22–25 October 1985).

XIV Regional IRPA Congress "Current problems and concerns in the field of radiation protection" was located in picturesque resort Kupari near

Dubrovnik. This three-lateral meeting was held from 29 September to 2 October 1987.

Six years later at the end of April 1993 at Obergurgl (Austria) the next regional meeting was organized. The Austrian partners invited the Italian Radiation Protection Association as third organizing counterpart instead of the Yugoslavian Society and the conference was entitled as "Austrian-Italian-Hungarian Radiation Protection Symposium, Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe". This was the first time when scientists from the newly independent Slovenia and Croatia participated in such meetings, after the Radiation Protection Association of Slovenia, and Croatian Radiation Protection Association became new IRPA member societies.

The participants agreed in organizing the next meeting in Slovenia. According to this decision "Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe" took place at Portorož, in a well known Slovenian sea resort, from 4 to 8 September 1995. The number of participating countries has grown up to 14 (164 participants, 114 papers).

From 22 to 27 August 1999 Budapest hosted the next meeting entitled "IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe" (27 countries, 200 participants, 141 oral and poster presentations).

The next meeting "Radiation Protection and Health, IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe" (20–25 May 2001) was held at the picturesque town, Dubrovnik (Croatia). Number of participants increased to 230 from 29 countries.

Bratislava (Slovakia) hosted the next "IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe" (22–26 September 2003, 143 participants from 16 countries).

"Regional and Global Aspects of Radiation Protection, IRPA Regional Congress for Central and Eastern Europe" organized in the Rumanian town, Brasov (24–28 September 2007). This Congress proved to be the last IRPA supported Central European meeting after its 25 years long history.

BOOKS

Publication series was initiated to issue in 1983 with a title of Proceeding of Recent Achievements in Radiation Protection (in Hungarian). The first volume of this series was written by Árpád Tóth on Natural Radiation Burden of Population. The next book on Gas Ionisation Detectors was published in 1985 with the authorship of Sándor Deme.

A comprehensive overview is given on "Radiation Protection" in a large volume book covering practically all aspects of the subject (Editors: István Fehér and Sándor Deme, 15 authors, 573 pages, Budapest, 2010).

FORMS OF INFORMATION

"Hírsugár" (Radiation News) are regularly distributed for the members of the Section providing new information on the life and events of the Section. First number was issued in 1996, while the recent one appeared in January 2013 with a Number of 51.

Another form of rapid information is distributed by e-mail as Newsletters. Each year about 25 times a bulk of news are sent to almost 200 e-mail addresses.

Our Homepage address is: <http://www.kfki.hu/elftsv/index.html>.

An on line peer reviewed periodical has been established in September 2008 with a title of Sugárvédelem (Radiation Protection). The papers are accessible on the web page: <http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem>. Since that time 29 papers has been published. Prevailing part of the papers are given in Power Point form on the talks presented in the course of the annually organized Radiation Protection Upgrading Courses.

In 2012 the total number of section members was 165. Now the President of the Section is Tibor Bujtás, and the Secretary, Árpád Vincze.

50 YEARS OF HEALTH PHYSICS SECTION OF THE ROLAND EÖTVÖS PHYSICAL SOCIETY

István Fehér, Sándor Deme and Andor Andrási
Centre for Energy Research, Budapest, Hungary
deme@aeki.kfki.hu

The Health Physics Section of the Roland Eötvös Physical Society (Hungary) was founded 50 years ago in March 1962 by eighty radiation protection specialists. The main goal from the most beginning is to provide forum for people working in radiation protection in Hungary aiming at safe application of ionizing radiation and of atomic energy. Our Section is the member of IRPA since the first IRPA General Assembly (7 September 1966). The second European Regional Congress of IPRA was held in Budapest in 1972. Recently the Section has about 160 members.

The permanent forms of our activities are:

- organisation every year of a 3-day upgrading course in radiation protection. The first course was held in 1976, last year (2012) we had the 37th course in Hajdúszoboszló, Hungary,
- regular issue of Radiation Newsletters, up to now 51 numbers,
- on-line paper Radiation Protection serves for publication of results,
- book on Radiation Protection (in Hungarian) got out in 2010,
- international cooperation in radiation with neighbouring countries including CRPA.

Our paper presents other achievements of the Section as well.

OSVRT NA POSJET DEKONTAMINACIJSKOJ LOKACIJI U PREFEKTURI FUKUSHIMA

*Mária Ranogajec-Komor¹, Saveta Miljanić¹, Željka Knežević¹,
Đurđica Milković² i Margit Osvay³*

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

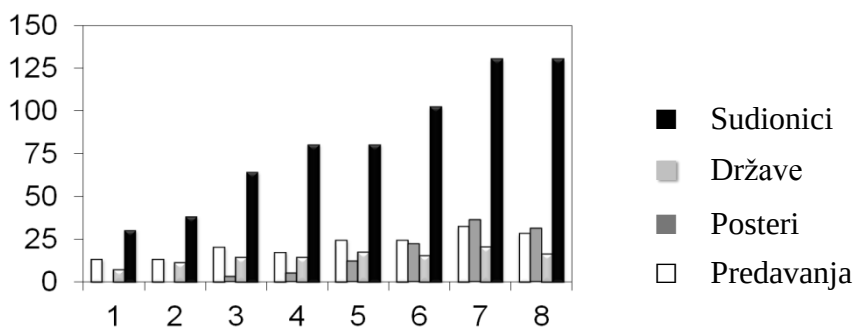
²Dječja bolnica Srebrnjak, Zagreb, Hrvatska

³Centre for Energy Research, Budimpešta, Mađarska

marika@irb.hr

UVOD

U okviru znanstveno-tehnološke suradnje između Chiyoda Technol Corporation (CTC) [1], Japan, i Instituta Ruđer Bošković (IRB), Hrvatska, naša ekipa posjetila je 3. prosinca 2012. godine grad Minamisoma u prefekturi Fukushima u Japanu. Posjet je bio organiziran za inozemne sudionike 8. Međunarodne radionice o monitoringu ionizirajućeg zračenja (8th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring) koja se od 2005. godine svake godine održava u Oaraiu u Japanu. Prva radionica o individualnoj dozimetriji ionizirajućeg zračenja bila je organizirana za sudionike iz istočne Azije, a sljedeće godine, kao rezultat naše suradnje, na radionici su sudjelovala četiri suradnika iz Hrvatske. Zahvaljujući strategiji i viziji voditelja CTC-a i našem angažmanu, radionica je privlačila sve veći broj sudionika iz sve više zemalja (Slika 1), te se tematika proširila od individualne dozimetrije na monitoring ionizirajućeg zračenja općenito [2].



Slika 1. Broj sudionika, država, postera i usmenih izlaganja na 1.-8. Međunarodnoj radionici o monitoringu ionizirajućeg zračenja (2005.-2012.)

Porast broja izlagača (Slika 1) praćen je rastom kvalitete izlaganja tako da su, uz redovito tiskanje Zbornika sa sažecima i prezentacijama predavanja, 2011. godine izabrani radovi objavljeni u časopisu *Radiation Measurements*.

U izlaganjima vezanim uz nesreću u nuklearnoj elektrani Fukushima 2011. godine. u zadnje dvije radionice pojavile su se teme koje pokazuju praćenje aktualnosti u zaštiti od zračenja. U izlaganjima japanskih kolega najvažniji aspekti zaštite od zračenja postaju određivanje kontaminacije hrane, vode, tla itd., te dekontaminacija.

Zbog važnosti ovih tema prošle godine je uz radionicu organiziran Prateći sastanak (Satellite Meeting) pod naslovom "Što možemo učiniti za obnovu Fukushime?" te posjet dekontaminacijskoj lokaciji i privremenom odlagalištu otpada u gradu Minamisoma.

POSJET DEKONTAMINACIJSKOJ LOKACIJI

Organizatori radionice omogućili su sudionicima posjet području u kojem se trenutno provodi dekontaminacija privatnih stambenih kuća i njihovog okoliša.

Minamisoma je oko 25 km udaljena od nuklearne elektrane Fukushima. Grad je pripadao zoni evakuacije i većina stanovnika morala je napustiti svoj dom neposredno nakon nesreće. U proljeće 2012. godine većina stanovnika mogla se vratiti jer brzine doze zračenja na navedenom području nisu bile veće od 20 mSv godišnje. Tu vrijednost postavila je japanska Vlada kao granicu daljnje evakuacije. Područja u prefekturi Fukushima i u gradu Minamisoma su trenutno podijeljena u tri dijela:

- područje stanovanja – na ovom području stanovnici mogu boraviti neograničeno;
- ograničeno područje – može se boraviti do 8 sati dnevno radi obavljanja poslovne djelatnosti, ne smije se spavati u kućama;
- područje evakuacije – zabranjeno bilo kakvo zaustavljanje.

Sada je u tijeku projekt pod naslovom "Dekontaminacija područja stanovanja u gradu Minamisoma" (*Decontaminating the Living Areas in Minamisoma City*). Naručilac projekta je Općina Minamisota dok dekontaminaciju u evakuacijskoj zoni određuje Vlada Japana. Četiri poduzeća (jedan je CTC) ugovorila su posao koji treba biti obavljen u razdoblju od lipnja 2012. do travnja 2013. godine. Cilj zadatka je dekontaminacija stambenih i poslovnih zgrada (njih oko 42000), gradskih i privatnih ulica, cesta (oko 1000 km) i šume unutar 20 m od zgrada. Prije

dekontaminacije obavezno je pribaviti dozvolu vlasnika, tj. dekontaminiraju se objekti samo ukoliko vlasnik to dozvoli. Dekontaminacijom se brzine doze moraju smanjiti za 50 %. Za kontrolu brzine doze u zraku na 1 m visine od tla koristi se NaI scintilacijski brojač. Ukoliko u kući ima djece, kontrolira se zrak i na 50 cm. Za kontrolu brzine doze na površini tla koristi se Geiger-Müllerov brojač.

Krovovi, žljebovi i cijevi za odvod kišnice na kućama pretežno se dekontaminiraju pranjem visokotlačnim vodenim mlazom (Slika 2a) ili prema potrebi brisanjem. Drveće u blizini kuća se obrezuje do polovice visine ili najviše do 5 m visine (Slika 2b).



a)



b)

Slika 2. Dekontaminacija kuće i vrta: a) pranje krova visokotlačnom vodom, b) obrezivanje drveća.

U vrtovima se travnjaci potpuno šišaju, a nekad se skida i gornji sloj površine zemlje koja se poslije popunjava nekontaminiranom zemljom. Pločnici oko kuće se istruguju ili peru visokotlačnim mlazom vode kao i kanali.

POSTUPCI S PRIKUPLJENIM MATERIJALOM – PRIVREMENA ODLAGALIŠTA OTPADA

Otpadna voda sakuplja se u velikim bačvama (Slika 3a) da bi je podvrgnuli postupku čišćenja. Skinuta zemlja s tla i/ili ostali otpad ovisno o materijalu stavljaju se odvojeno u velike plastične vodootporne vreće i tako

kamionima transportiraju do privremenih odlagališta. Kamioni su pokriveni vodootpornom plahtom, a svaka vreća označena je bar kodom za identifikaciju.



a) b)
Slika 3. Postupci s otpadom: a) sakupljanje otpadne vode, b) privremeno odlagalište.

Oko Minamisome izgrađena su četiri privremena odlagališta (Slika 3b) od kojih su već tri i pola bila popunjena tijekom našeg posjeta u prosincu 2012. godine. Već prije izgradnje tih privremenih odlagališta izbila je oštra javna rasprava oko izbora lokacije. Odluka o konačnom odlagalištu još nije donesena. Osim velikog bazena za odlaganje vreća, tu se nalaze i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda koje su prikupljene nakon pranja objekata i cesta.

PRATEĆI SASTANAK - ŠTO MOŽEMO UČINITI ZA OBNOVU FUKUSHIME?

Sastanak je potaknuo i vodio S. Machi (ranije zamjenik direktora Međunarodne agencije za atomsku energiju). Nakon dva uvodna predavanja, razgovor i raspravu o temi vodili su pozvani stručnjaci te sudionici. Predavanja su obradila sljedeće teme: 1. J. Matsubara je govorila o opasnosti uzbunjivanja javnosti koje može izazvati "*Linear No Threshold*" (LNT) hipoteza, tj. da je rizik linearno ovisan o dozi zračenja i da nema praga [3]; 2. T. Suzuki je govorio o kontaminaciji i dozama zračenja nakon nesreće.

U raspravi je poseban naglasak stavljen na potrebu pravovremenog, istinitog izvješćivanja javnosti, te na potrebu jednostavnog načina komuniciranja (bez previše stručnih i detaljnih podataka). Način informiranja u velikoj mjeri utječe i na smjer budućeg razvoja programa nuklearne energije.

ZAKLJUČAK

Do sada je obavljen ogroman posao na dekontaminacijskoj lokaciji Minamisoma u Japanu (pranje kuća, sakupljanje zemlje, obrezivanje drveća, sakupljanje otpada itd.) i taj proces se nastavlja. Rezultat toga je 50 %-tno smanjenje brzina doza na tim lokacijama.

Ostaje pitanje jesu li su sva načela zaštite od zračenja (načelo opravdanosti, optimizacije i ograničenja zračenja), koja su uvrštena u pravni dokument i u Hrvatskoj [4], zadovoljena? Posebna dvojba odnosi se na načelo optimizacije: imaju li opseg, trajanje i trošak intervencija razumno moguć pozitivan učinak?

Kao posljedica nuklearne nesreće, postavlja se pitanje potrebe provedbe inicijalnog i/ili kontinuiranog monitoringa okoliša s integralnim dozimetrijskim sustavima i u Hrvatskoj.

Zahvala

Posjet je ostvaren uz financijsku i organizacijsku potporu CTC. Autori zahvaljuju osoblju CTC u Tokyu, Oaraiu i Fukushima, posebno predsjedniku CTC-a, Toshikazu Hosodi i predsjedavajućem na radionicama, profesoru Takayoshi Yamamotu. M. Ranogajec-Komor zahvaljuje Nevenki Novosel za pomoć u vezi važećih propisa u Hrvatskoj.

LITERATURA

- [1] http://www.c-technol.co.jp/technol_eng/index.html
- [2] Ranogajec-Komor M. Closing speech of the 7th Workshop. In: Yamamoto T, ed. Proceedings of the 7th Workshop of on Ionizing Radiation Monitoring, Dec 1-2, 2011; Oarai, Japan. Tokyo: CTC; 2012.
- [3] Matsubara J. Re-examination of the LNT hypothesis and a trial for the public to comprehend the reality of the low-dose effect of radiation. Int J Low Radiation 2006;3:241-253.
- [4] Vlada Republike Hrvatske. Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te intervencija u slučaju izvanrednog događaja. Narodne novine 102-12. Zagreb: 2012.

REPORT ON THE DECONTAMINATION SITE TOUR IN FUKUSHIMA PREFECTURE

*Mária Ranogajec-Komor¹, Saveta Miljanić¹, Željka Knežević¹,
Đurđica Milković² and Margit Osvay³*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Children Hospital Srebrnjak, Zagreb, Croatia

³Centre for Energy Research, Budapest, Hungary

marika@irb.hr

In the frame of Japanese-Croatian scientific-technical cooperation, our team visited Minamisoma city in Fukushima prefecture, Japan on Dec 3, 2012. The visit was organized for the foreign participants at the 8th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring held in Oarai, Japan.

Minamisoma city is about 25 kilometres north from Fukushima Nuclear Power Plant. The city belonged to the evacuation zone and most of the residents were forced to leave immediately after the accident in 2011. In spring 2012 most of the people were able to return to their homes since dose rates were less than 20 mSv/y, the standard that Japanese government set as a temporary maximum radiation limit. Recently, a project of "Decontaminating the Living Areas in Minamisoma City" was established. Enormous job has been carried out at the decontamination site (washing the houses, collection of soil, cutting trees, collecting the waste, etc). However, according to some experts, the cost-benefit effect of applied radiation protection principle is questionable.

Our team with other participants visited one decontamination site and one temporary waste disposal site. After that a Satellite Meeting entitled "What can be done for the reconstruction of Fukushima" was organized. In the discussion special attention was given to the public information and communication considering well known fear from radiation and its influence to the future of nuclear power program.

The authors are grateful to Chiyoda Technol Corporation, Japan, for the organization of the Satellite Meeting and the Decontamination Site Tour as well as for support of participation.

CURRENT STATUS OF PERSONAL MONITORING IN JAPAN AFTER THE FUKUSHIMA ACCIDENT

Yasuhiro Koguchi, Nobuhiro Takeuchi and Takayoshi Yamamoto
Oarai Research Center, Chiyoda Technol Corporation, Oarai, Japan
koguchi-y@c-technol.co.jp

On 11 March 2011 Japan suffered a magnitude 9.0 earthquake. The 2011 Great East Japan Earthquake created a series of massive tsunami waves that struck to the east coast of Japan, causing serious damage to Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants (NPPs). The radioactive materials such as ^{134}Cs and ^{137}Cs were released into the environment in widespread area of east Japan, especially Fukushima prefecture. Many people living in Fukushima prefecture especially parents of children up to junior high school age have been worrying about the effect of health risk by contaminated radioactive materials. In addition, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) has recommended that the dose (effective dose) limits in planned exposure situation for public is 1 mSv in a single year. Therefore, the local governments in Fukushima prefecture have decided to measure the exposed dose using passive dosimeter for public especially children in order to the health risk assessment and the optimum planning of decontamination. The RPL glass dosimeter, we called Glass Badge, based on radiophotoluminescence (RPL) technology is one of suitable dosimeters for the personal monitoring. More than 300 000 Glass Badges were distributed in Fukushima area up to the end of 2012 since the Fukushima Daiichi NPPs accident. It is very easy to know the individual dose and also useful for the health risk assessment.

RADIJACIJSKA METODA U SPAŠAVANJU PREDMETA KULTURNE BAŠTINE U SLUČAJEVIMA UGROŽENOSTI ŠIRIH RAZMJERA

Branka Katušin-Ražem¹, Romana Jagić² i Mario Braun²

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb

²Hrvatski restauratorski zavod, Zagreb

brazem@irb.hr

UVOD

Predmeti kulturne baštine organskog porijekla podložni su razgradnji uslijed biološkog djelovanja nametnika [1]. Do biodegradacije osobito dolazi nakon prirodnih katastrofa i vremenskih nepogoda, npr. poplava, ali i nekih ljudskih aktivnosti (npr. ratnih sukoba), u kojima se remete uvjeti sigurnog čuvanja baštinskih predmeta. U takvim okolnostima, kada dolazi do izmještanja predmeta većih razmjera, i kontakta nezaraženih i zaraženih predmeta, nerijetko dolazi do naglog razvoja nametnika koji istovremeno ugrožavaju brojne predmete i cijele zbirke, a čija množina onda otežava organizirano spašavanje. U praksi metode za suzbijanje masovne biokontaminacije, vezane uz brzinu djelovanja, su izlaganje predmeta otrovnim plinovima ili ionizirajućem zračenju. Šira upotreba najčešće primjenjivanih otrovnih plinova, etilen oksida ili metil bromida, u posljednje vrijeme drastično je ograničena strogim propisima o zaštiti radnika i okoliša. Radijacijska metoda, tj. postupak izlaganja gama zračenju, srećom se pokazala vrlo učinkovitom u spašavanju predmeta kulturne baštine.

Radijacijski postupak dekontaminacije predmeta kulturne baštine razvijao se usporedo s komercijalnim postupcima sterilizacije medicinskih i farmaceutskih materijala, te dekontaminacije hrane i kozmetike [2]. Doprinos tom razvoju dale su komercijalne tvrtke za ozračivanja, a osobito dvije organizacije, koje su tijekom 40 godina obrađivale isključivo predmete kulturne baštine: Laboratoire ARC-Nucleart, CEA, Grenoble, Francuska i Uređaj za konzerviranje zračenjem, Muzej Središnje Češke, Roztoky, Češka. Najveći dio njihove aktivnosti pokriva radijacijska dezinfekcija pojedinačnih drvenih predmeta kulturne baštine. Dezinfekcija zračenjem kompletnih inventara muzeja u prigodama njihove nužne povremene obnove pruža primjere uspješne masovne primjene radijacijske metode [3,4]. U slučajevima pak jake ugroženosti mnogobrojnih predmeta u zbirkama gljivicama i plijesnima uzrokovane povećanom vlagom uslijed većih

nepogoda (npr. poplave), radijacijska dezinfestacija se pokazala kao metoda najboljeg izbora.

Stručna literatura navodi neke posebno uspješne primjere upotrebe radijacijske metode za dekontaminaciju izuzetno ugroženih zbirki:

- dokumenti iz Alan Mason Chesney Medical Archives, Johns Hopkins Medical Institutions, Boston, MA, SAD (1982) [5];
- knjige iz zbirke Morgan, Fort Collins, CO, SAD (1997) [6];
- logoraška obuća, Državni muzej Majdanek, Poljska (2000) [7];
- filmske vrpce iz Rumunjskog filmskog arhiva, Bukurešt (2001) [8];
- arhiv Palače pravde, Haag, Nizozemska (2007) [9,10].

U Hrvatskoj raspolažemo višenamjenskim panoramskim uređajem za ozračivanje gama zrakama ^{60}Co u Laboratoriju za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD) Instituta Ruđer Bošković (IRB). Osim upotrebe za znanstvene svrhe, te komercijalnih ozračivanja medicinskih potrepština, farmaceutika, kozmetičkih materijala i namirnica za njihovu sterilizaciju, dekontaminaciju i dezinfestaciju [11], uređaj se posljednjih 25 godina rabi i za očuvanje i zaštitu predmeta kulturne baštine. U suradnji s Hrvatskim restauratorskim zavodom (HRZ) i drugim ustanovama, ozračivanjem je tretirano nekoliko tisuća drvenih skulptura, dijelova oltara, pokućstva, te drugih drvenih, papirnih, kožnih i tekstilnih predmeta [12]. LRKD sudjeluje već niz godina i u intenzivnoj međunarodnoj suradnji na projektu zaštite kulturne baštine nuklearnim metodama pod pokroviteljstvom Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA).

PRINCIP RADIJACIJSKE METODE

Univerzalni biocidni učinak zračenja zasniva se na svojstvu zračenja da oštećuje molekule DNK bioloških zagađivala. Najvažniji parametar prilikom ozračivanja je apsorbirana doza zračenja. Potrebna doza zavisi od razine početne kontaminacije, radioosjetljivosti kontaminirajuće flore i željenog faktora redukcije nametnika. Dok se za radijacijsku sterilizaciju primjenjuje doza od 25 kGy, za kontrolu gljivica obično dostaje 2 – 10 kGy, a doza od 0,5 kGy učinkovito uništava insekte u svim fazama razvoja [13].

Prilikom ozračivanja predmeta sastavljenih od osjetljivih prirodnih polimera, npr. papira, tekstila i kože, dozu treba podesiti tako da i najmanja doza, učinkovita protiv čimbenika biorazgradnje, istovremeno bude manja od doze koja bi izazvala degradaciju materijala. U praksi upotrijebljene dezinfekcijske doze za nužne slučajeve spašavanja do 10 kGy, ne izazivaju značajnije kemijske promjene u ozračenim papirnim materijalima [9,10,14].

UREĐAJ ZA OZRAČIVANJE U INSTITUTU RUĐER BOŠKOVIĆ

Uređaj za ozračivanje u LRKD je panoramskog tipa; izvor zračenja se nalazi u prostoriji kad se obavlja ozračivanje, a sklanja se u sigurni položaj kad je potrebno ući u prostoriju za ozračivanje ili kad se uređaj ne koristi. Izvor zračenja ima oblik valjkastog kaveza, čije rešetke tvore šipke ^{60}Co . Prostorija za ozračivanje pravokutnog je oblika u kojoj ima mjesta za 4 – 6 m³ materijala u svakoj šarži. Topografija polja zračenja izmjerena je pomoću etanol-klorbenzenskog dozimetrijskog sustava.

ZRAČENJE U SPAŠAVANJU UMJETNINA UGROŽENIH RATOM U HRVATSKOJ

Rat na tlu Hrvatske (1991. – 1995.) ozbiljno je ugrozio i hrvatsku kulturnu baštinu. Već tijekom jeseni 1991. godine, zbog ratnih razaranja, tadašnji konzervatorsko-restauratorski zavodi započeli su veliku akciju spašavanja predmeta kulturne baštine. Sklanjane su muzejsko-galerijske zbirke, crkveni, knjižnični i arhivski inventari, te pohranjivani u predviđene, često i improvizirane prostore. Pokretni sakralni spomenici s područja sjeverne Hrvatske bili su smješteni u 15 odabranih tajnih spremišta izvan ratnih zbivanja. U akcijama konzervatora i restauratora i uz intenzivnu suradnju pripadnika Zbora narodne garde i kasnije Hrvatske vojske, crkve i drugih angažiranih grupa i pojedinaca, evakuirano je oko 5000 predmeta, uglavnom drvenih polikromiranih skulptura, slika, dijelova oltara i drugih predmeta [15,16].

Pošto u ratu ne može biti idealnog plana spašavanja, u tijeku ratnih razaranja, unatoč naporima, nastradala je značajna količina predmeta kulturne baštine. Oštećeno je ili uništeno oko 40 % ukupnog spomeničkog fonda hrvatske graditeljske baštine. Na popisu nestalih, uništenih i oštećenih predmeta iz crkava, samostana, manastira i župnih dvorova (162 objekta) nalazi se 3098 slika, kipova, crkvenog namještaja i sl. [17]. Štete u muzejima i galerijama koje je popisao Muzejski dokumentacijski centar (MDC) broje 3178 uništenih i 2283 oštećena predmeta [18].

Ratni uvjeti, poremećeno održavanje i čuvanje, preseljavanje, i neadekvatni privremeni skladišni prostori uzrokovali su ozbiljno pogoršanje stanja predmeta kulturne baštine. Da bi se smanjio problem biodegradacije širokih razmjera, odlučeno je da se u spašavanju umjetnina primjeni radijacijska metoda u uređaju za ozračivanje u IRB.

U suradnji s HRZ, jedna trećina u sjevernoj Hrvatskoj izmještenih uglavnom sakralnih predmeta (što sačinjava oko 1000 oltarnih cjelina) sučesivno je donošena u IRB i ozračivana dezinfekcijskom i po potrebi

dezinfekcijskom dozom zračenja prije odlaganja u predviđene čuvaonice [12]. Nakon adaptacije dvorca Batthany u Ludbregu, koju su obavili hrvatski stručnjaci uz pomoć bavarskih stručnjaka i Bavarske vlade, predmeti su premješteni u novoformiranu restauratorsku radionicu i depoe. Proces obnove i saniranja posljedica ratnih stradanja predmeta kulturne baštine provodi se još i danas u raznim radionicama diljem Hrvatske.

ODABRANI PRIMJER SPAŠAVANJA UMJETNINA ZRAČENJEM

Pavlini samostan u Kamenskom kraj Karlovca bio je za vrijeme rata okupiran i razoren. Neposredno pred okupaciju, u jesen 1991. godine, iz crkve je sklonjeno 29 skulptura i slika. Oltar Sv. Križa iz samostanske crkve Blažene Djevice Marije Snježne iz 1685. godine, koji nije sklonjen, uglavnom je u potpunoj devastaciji crkve spaljen.

Nakon 4 godine, po oslobođenju, djelatnici HRZ s voditeljicom konzerviranja i restauriranja oltara Romanom Jagić pristupili su spašavanju [19]. Zidovi crkve, freske i dijelovi oltara nađeni su intenzivno prekriveni mikroflorom, pogotovo predmeti u kripti nasilno otvorenoj bombom (Slika 1).



Slika 1. Posljedice razaranja:
ostaci oltara u kripti
prerašteni mikroflorom



a)



b)

Slika 2. Oltar Sv. Križa (a) i element oltara (b)
nakon obnove

Ostaci spaljenog oltara Sv. Križa prikupljani su u nekoliko navrata, sušeni, zamatani u foliju, pakirani u kartonske kutije i transportirani na dezinfekciju i dezinfekciju zračenjem u IRB. U svrhu dezinfekcije materijal

je ozračen dozom od 5 kGy. Gljivicama jako prerašteni ostaci iz kripe zahtijevali su višu dekontaminacijsku dozu od 20 kGy. Nakon zračenja dijelovi oltara su preneseni u radionice HRZ u Ludbregu gdje je uslijedilo višegodišnje konzerviranje i restauriranje. Nađeni elementi ukrasa omogućili su potpunu rekonstrukciju, te je obnovljeni oltar (Slika 2) vraćen u crkvu 2008. godine [20].

ZAKLJUČAK

Metoda dezinfekcije zračenjem pokazala se veoma pogodnom u situacijama kad je u kratkom vremenu potrebno tretirati velik broj predmeta, kao u primjerima obnove i preseljenja kompletnih i voluminoznih muzejskih zbirki napadnutih insektima. U slučajevima jake ugroženosti mnogobrojnih predmeta gljivicama i plijesnima uzrokovane povećanom vlagom uslijed većih nepogoda, radijacijska dezinfekcija se pokazala kao metoda najboljeg izbora.

Upotreba radijacijske metode u svrhu dezinfekcije i dezinfekcije u spašavanju predmeta kulturne baštine od biodegradacije širokih razmjera izazvane ratom u Hrvatskoj (1991. – 1995.) prepoznata je u međunarodnoj stručnoj javnosti kao posebno uspješan primjer upotrebe te metode.

LITERATURA

- [1] Tiano P. Biodegradation of cultural heritage: Decay mechanisms and control Methods. CNR - Centro di studio sulle Cause Deperimento e Metodi Conservazione Opere d'Arte, Via G. Capponi 9, 50121 Firenze, Italia. 2001. http://www.arcchip.cz/w09/w09_tiano.pdf. (pristup. 1.3.2013.).
- [2] Ramiere R. Protection de l'environnement culturel par les techniques nucleaires. U: Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology. Proc. IAEA Symposium; 1981; Grenoble, France. Vienna: IAEA; 1982:255-270.
- [3] Cortella L. ARC-Nucleart, CEA, Grenoble. Privatno priopćenje (2007).
- [4] Urban J, Justa P. Conservation by gamma irradiation: the Museum of Central Bohemia in Roztoky. Museum 1986;38:165-167.
- [5] Sinco P. The use of gamma rays in book conservation. Abbey Newsletter 2000;24: s.p. (Reprinted from Nuclear News 2000; (April): 38-34.
- [6] Silverman R. The day the University changed. <http://cool.conservation-us.org/byauth/silverman/day/index.html> (pristupljeno 1.3.2013.).
- [7] Perkowski J, Gozdicki T. Disinfection of prisoners' shoes from the National Museum in Majdanek. Conservator–Restorers' Bulletin 2002;13: 219-223.

- [8] Mitran A, Ponta C, Danis A. Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma. U: La conservation a` l'ere du numerique. Actes des Quatriemes Journees Internationales d'Etudes de l' ARSAG; May 27-30, 2002; Paris France. Association pour la Recherche Scientifique sur les Arts Graphiques, Paris: ARSAG; 2002. 235-248.
- [9] Kost I, Vervliet J, Havermans J, Hadeel Abdul Aziz. Kilometers schimmels verleden tijd: de behandeling van de boekencollectie. CR: interdisciplinair vakblad voor conservering en restauratie 2007;8:16-18.
- [10] Havermans J. TNO, Delft, The Netherlands. Privatno priopćenje (2009).
- [11] Ražem D. Twenty years of radiation processing in Croatia. Radiat Phys Chem 2004;71:597-602.
- [12] 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.
- [13] Brower JH, Tilton EW. The potential of irradiation as a quarantine treatment for insects infesting stored-food commodities. U: Moy JH (Ed.), Radiation Disinfestation of Food and Agricultural Products. Honolulu, Hawaii. University of Hawaii at Manoa: 1985. 75-86.
- [14] Magaudda G. The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved. Journal of Cultural Heritage 2004;5:113-118.
- [15] Laszlo Ž. Zaštita i obnova pokretnih spomenika kulture u ratu. Informatica Museologica 1992;1/4:58-61.
- [16] Laszlo Ž. MDC, Zagreb. Privatno priopćenje (2011).
- [17] Saračević-Wurt R. Kulturna baština - spašavanje. U: Zbornik referata sa Stručnog okruglog stola o sklanjanju stanovništva i materijalnih dobara: 15. prosinca 2005; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: Državna Uprava za zaštitu i spašavanje, Služba za civilnu zaštitu; 2005. 37-41.
- [18] Muzejski dokumentacijski centar <http://www.mdc.hr/RatneStete/hr/> (pristupljeno 1.3.2013.).
- [19] Cvetković S, Jagić R. Oltar Sv. križa iz crkve Blažene Djevice Marije Snježne u Kamenskom (plakat br. 3). Zbornik prezentacija Seminara: Radijacijske metode u zaštiti kulturne baštine, 4 - 6. listopada 2011; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HRZ – IRB; 2011. <http://www.h-r-z.hr/index.php/djelatnosti/struni-skupovi/318-radijacijske-metode-u-zatiti-kulturne-batine> (pristupljeno 1.3.2013.).
- [20] Sunara SM. Ljetna praksa: Konzervatorski zahvati na oltarima iz Kamenskog. 2002. Umjetnička Akademija Split (UMAS); 2002. <http://www.e-insitu.com/hr/praksa/praksa/ljetna-praksa-izvjestaj-o-konzervatorsko-restauratorskim-zahvatima-na-oltarima-iz-kamenskog.html> (pristupljeno 1.3.2013.).

IRRADIATION AS A METHOD OF SALVATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS UNDER MASSIVE JEOPARDY

Branka Katušin-Ražem¹, Romana Jagić² and Mario Braun²

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Croatian Conservation Institute, Zagreb, Croatia

brazem@irb.hr

Cultural heritage artefacts made of organic materials are susceptible to deterioration caused by the action of insects, moulds, fungi and bacteria. The problem of biodeterioration becomes especially acute after natural catastrophes and weather inclemencies, or after human activities conducive to an abrupt development of pests. Usually a large number of objects are imperilled at the same time and their sheer number aggravates any organized preservation effort. Irradiation has proven an effective method of preservation under the circumstances, e.g. for the prevention of massive proliferation of fungal infestation of books wetted by flood.

War destructions in Croatia 1991 – 1995 seriously jeopardized many cultural objects. Their treatment by ⁶⁰Co gamma rays in the Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory of the Ruder Bošković Institute played a significant role in the prevention of massive biodeterioration. In co-operation with the Croatian Conservation Institute, one third of 5000 evacuated objects, mostly polychromic wooden sculptures, were irradiated for desinsection and disinfection, enabling their joint accommodation in depots until restoration. This contribution to the preservation of jeopardized cultural heritage objects has been recognized internationally as a specially significant and successful case of the application of irradiation to cultural heritage.

The presentation describes in more detail the preservation and restoration of the altar of the Holy Cross from the church of the Blessed Virgin Mary of the Snow in Kamensko.

DOZIMETRIJA ZRAČENJA

RADIATION DOSIMETRY

ODREĐIVANJE APSORBIRANE DOZE U VODI ZA LEKSELL GAMMA KNIFE UREĐAJ

Hrvoje Hršak

Klinika za onkologiju i radioterapiju, Klinički bolnički centar Zagreb,
Zagreb

hhrsak@kbc-zagreb.hr

UVOD

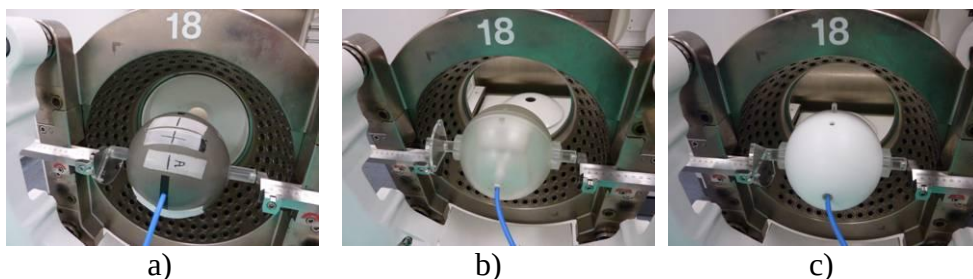
U Gamma Knife radiokirurgiji mozga (GKRG) za jednokratno precizno ozračivanje malih intrakranijskih lezija koristi se uski fotonski snop od 201 izvora ^{60}Co (promjera 4, 8, 14 i 18 mm), stoga je važno točno odrediti apsorbiranu dozu koju će pacijent primiti tijekom radiokirurškog postupka. Za određivanje apsorbirane doze u vodi D_w jedan od standardno korištenih protokola jest Technical Reports Series No. 398 (TRS-398) [1]. Međutim, zbog fiksiranog sferičnog rasporeda fotonskih snopova primjena ovakvog protokola za Leksell Gamma Knife (LGK) praktički je nemoguća. Apsorbirana doza u vodi za LGK u praksi se određuje mjerenjem u centru plastičnog sferičnog fantoma promjera 16 cm. Osim standardnog plastičnog fantoma (ABS – akrilonitril butadin stiren) kojeg isporučuje proizvođač uređaja (Elekta AB, Stockholm, Švedska), mnogi LGK centri koriste sferične fantome i drugih proizvođača [2]. Izmjerena brzina doze u plastičnom fantomu koristi se u GKRG za izračun terapijske doze, a računalni sustav za planiranje radiokirurškog postupka Leksell Gamma Plan (LGP, Elekta AB, Stockholm, Švedska) uzima tu vrijednost kao brzinu doze izmjerenu u vodi na dubini 8 cm. Iako bi zbog razlike u sastavu i gustoći materijala plastičnih fantoma u odnosu na vodu, izmjerenu dozu D_{pl} u plastičnom fantomu trebalo preračunati na vrijednost doze u vodi D_w , u mnogim radiokirurškim centrima ta se razlika zanemaruje, što je izvor pogrešaka u izračunu terapijske doze [3]. U ovom radu izmjerena je brzina apsorbirane doze D'_{pl} u centru tri različita plastična fantoma promjera 16 cm: ABS, polimetil-metakrilat (PMMA, PTGR GmbH, München, Njemačka) i PMMA+politetrafluoretilen (PMMA+teflon).

Izmjerena brzina doze D'_{pl} preračunata je na brzinu doze u vodi D'_w primjenom metode korekcije atenuacije fotona uz pretpostavku da apsorbirana doza u vodi i plastici opada eksponencijalno s dubinom.

Ekvivalentna dubina u vodi (*EWD*) za različite plastične fantome izračunata je pomoću relativnih elektronskih gustoća materijala.

MATERIJAL I METODE

D'_{pl} je izmjerena cilindričnom ionizacijskom komoricom tipa Semiflex s aktivnim mjernim volumenom $0,125 \text{ cm}^3$ uz pomoć elektrometra UNIDOS-E (PTW, Freiburg, Njemačka), uz primjenu fotonskog snopa od 201 izvora ^{60}Co , kolimiranog 18 mm kolimatorom LGK uređaja od 18 mm. Mjerenje je izvedeno u centru tri različita sferična plastična fantoma promjera 16 cm (dubina 8 cm): ABS, PMMA i PMMA uz dodatak sferne teflonske ljuske debljine 5 mm koja svojom elektronskom gustoćom simulira kosti glave (Slika 1).



Slika 1. Plastični fantomi u položaju za mjerenje:
a) ABS, b) PMMA, c) PMMA+teflon

Ionizacijska komorica kalibrirana je na apsorbiranu dozu u vodi prema protokolu TRS-398, u dozimetrijskom laboratoriju proizvođača (kvaliteta zračenja ^{60}Co , faktor korekcije kvalitete zračenja $k_{Q,Q_0} = 1$). Zbog geometrije fotonskih snopova pomak efektivne točke mjerenja ionizacijske komorice u ovom radu nije uziman u obzir. Brzina doze mjerena je 10 puta za svaki fantom s mjernim intervalom 10 minuta uz položaj komorice duž z-osi LGK uređaja (Slika 1).

Izmjerena brzina doze D'_{pl} preračunata je na brzinu doze u vodi D'_w primjenom metode korekcije atenuacije fotona uz pretpostavku da doza $D(x)$ u vodi i plastici opada eksponencijalno s dubinom (1).

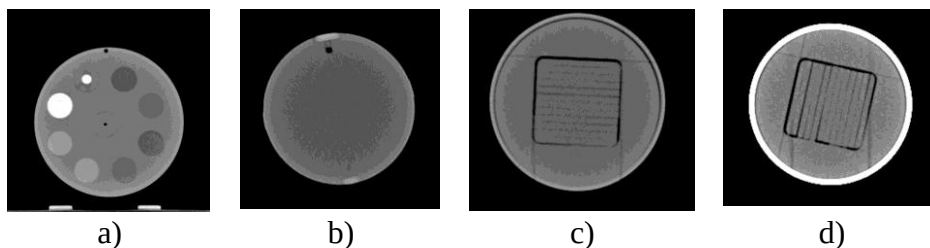
$$D(x) = D_0 e^{-\mu_w x} \quad (1)$$

gdje je μ_w efektivni atenuacijski koeficijent fotonskog snopa u vodi za LGK uređaj ($\mu_w = 0,0621 \text{ cm}^{-1}$) [3], a D_0 je konstanta.

Ekvivalentna dubina u vodi (EWD) za različite plastične fantome izračunata je pomoću relativnih elektronskih gustoća materijala od kojih su fantomi izrađeni (2) [4].

$$EWD = \sum_i L_i (\rho_{e,rel})_i \quad (2)$$

gdje je L_i duljina prolaska fotonskog snopa, a $(\rho_{e,rel})_i$ relativna elektronska gustoća materijala i . Relativne elektronske gustoće plastičnih fantoma izračunate su iz vrijednosti njihovih brojeva kompjutorizirane tomografije (CT-broj). Odnos CT-broj – elektronska gustoća određen je mjerenjem CT-broja za različite materijale poznate elektronske gustoće u referentnom fantomu (Electron Density Reference Phantom Model 062, CIRS, Norfolk, SAD) [5]. CIRS fantom i plastični dozimetrijski fantomi za te su potrebe skenirani CT uređajem (SIEMENS Somatom Sensation Open), uz parametre skeniranja: debljina aksijalnih slojeva 2 mm, napon rendgenske cijevi 120 kV, struja katode 130 mA, rezolucija dobivenih CT slojeva 512×512 piksela (Slika 2).



Slika 2. Aksijalni CT slojevi fantoma:
a) CIRS, b) ABS, c) PMMA, d) PMMA+teflon

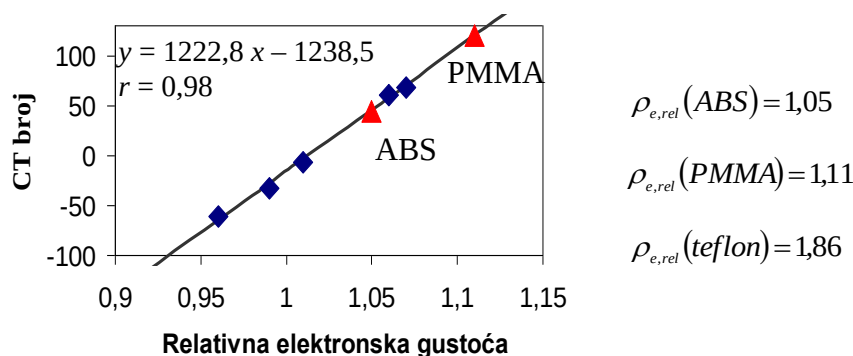
Brzina doze u vodi D'_w na referentnoj dubini 8 cm izračunata je iz brzine doze u plastičnom fantomu D'_{pl} na referentnoj dubini 8 cm, koja odgovara $D'_w(EWD)$ (3,4).

$$D'_{pl}(8\text{cm}) = D'_w(EWD) \quad (3)$$

$$D'_w(8\text{cm}) = D'_w(EWD) e^{-\mu_w(8\text{cm}-EWD)} \quad (4)$$

REZULTATI

Linearnom regresijom određen je odnos CT-broj – relativna elektronska gustoća (Slika 3).



Slika 3. Linearni odnos CT-broj – relativna elektronska gustoća. Plavi kvadratiči predstavljaju 5 tkivo-ekvivalentnih umetaka u CIRS fantomu, koji određuju pravac linearne regresije $y = 1222,8x - 1238,5$ pomoću kojeg je izračunata relativna elektronska gustoća ABS, PMMA fantoma i teflona.

Izmjerena brzina doze u plastičnom fantomu na referentnoj dubini 8 cm, te preračunata vrijednost brzine doze na referentnoj dubini 8 cm u vodi prikazana je u Tablici 1 zajedno sa *EWD* vrijednostima za pojedine fantome.

Tablica 1. Brzina doze u vodi na dubini 8 cm izračunata je korekcijom atenuacije fotona prema ekvivalentnoj dubini u vodi za svaki fantom

Fantom, dub. L (cm)	$D'_{pl}(8\text{ cm})$ (Gy/min)	<i>EWD</i> (cm)	$D'_w(8\text{ cm})$ (Gy/min)	$(D'_w - D'_{pl})/D'_w$ (%)
ABS 8 cm	3,312	8,400	3,395	2,52
PMMA 8 cm	3,129	8,880	3,305	5,62
PMMA 7,5 cm teflon + 0,5 cm	3,064	9,255	3,312	8,11

Relativna elektronska gustoća ljudskog mozga odgovara vodi, a za kosti lubanje odgovara teflonu, pa uz prosječnu debljinu frontalne, temporalne i okcipitalne kosti lubanje od 0,6 cm [6], *EWD* za mozak s kostima lubanje približno odgovara ABS fantomu (Tablica 2).

Tablica 2. EWD za mozak s kostima lubanje približno odgovara ABS fantomu, razlika u $D'_w(8\text{ cm})$ 1,5 %

		$D'_{pl}(8\text{cm})\text{-ABS}$ (Gy/min)	EWD (cm)	$D'_w(8\text{ cm})$ (Gy/min)
Fantom	ABS 8cm	3,312	8,400	3,395
Mozak + kosti	Voda 7,4 cm teflon + 0,6 cm	3,312	8,516	3,342

ZAKLJUČAK

Apsorbirana doza mjerena je za LGK uređaj u standardnim komercijalno dostupnim fantomima i preračunata na vrijednosti u vodi primjenom korekcije atenuacije fotonskog snopa. Izmjerene vrijednosti veće su od ekvivalentnih vrijednosti u vodi za istu dubinu, posebno za PMMA fantom s teflonskom ljuskom (ABS 2,5 %, PMMA 5,6 %, PMMA+teflon 8,1 %). Preračunate doze u vodi imaju konzistentnije vrijednosti (maksimalna razlika 2,6 %). EWD mozga i kosti lubanje približno odgovara EWD ABS fantoma (razlika ekvivalentne doze u vodi 1,5 %), stoga je primjena ABS fantoma klinički najprihvatljivija. Obzirom da mnogi radiokirurški centri koriste različite fantome, određivanje doze u vodi metodom korekcije atenuacije fotonskog snopa predstavlja korisnu metodu za smanjivanje sustavne pogreške koja se pojavljuje zbog različitih materijala od kojih su fantomi izrađeni.

LITERATURA

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical Reports Series No. 398. Vienna, IAEA; 2000.
- [2] Mack A, Mack G, Hones A, et al. Quality assurance in stereotactic space. Determination of the accuracy of aim and dose in single dose radiosurgery. *Strahlenther Onkol* 1999;179:760-766.
- [3] Chung HT. Application of IAEA TRS-398 protocol to Gamma Knife model C. *J Korean Med Phys* 2007; 18:194-201.
- [4] Seco J, Evans PM. Assessing the effect of electron density in photon dose calculations. *Med Phys* 2006; 33:540-552.
- [5] Battista JJ, Rider WD, Van Dyk J. Computed tomography for radiotherapy planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1980; 6:99-107.
- [6] Hwang K, Kim JH, Baik SH. The thickness of the skull in Korean adults. *J Craniofac Surg* 1999;10:395-399.

DETERMINATION OF ABSORBED DOSE TO WATER FOR LEKSELL GAMMA KNIFE UNIT

Hrvoje Hršak

Department of Oncology and Radiotherapy,
University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia
hhrsak@gmail.com

Because of geometry of photon beams in Leksell Gamma Knife Unit (LGK), there are several technical problems in applying standard protocols for determination of absorbed dose to water (D_w). Currently, D_w in LGK unit, measured at the center of spherical plastic phantom, is used for dose calculation in LGK radiosurgery. Treatment planning software (LGP TPS) accepts this value as a measurement in water and since plastic phantom has higher electron density than water, this leads to systematic errors in dose calculation. To reduce these errors, a photon attenuation correction (PAC) method was applied. For that purpose, measurements of absorbed dose in a center of three different plastic phantoms with 16 cm diameter (ABS – acrylonitrile butadiene styrene, PMMA – polymethyl metacrylate, PMMA + teflon - polytetrafluoroethylene 5 mm shell) were made with ionization chamber (Semiflex, PTW Freiburg). For measured dose values, PAC to water was applied based on electron density (ED) and equivalent water depths (EWD) of the plastic phantoms. The relation between CT number and ED was determined by measuring CT number of standard CT to ED phantom (CIRS Model 062 Phantom). Absorbed dose in plastic phantoms was 2.5 % lower than calculated dose in water for ABS phantom and more than 5.5 % lower for PMMA and PMMA+teflon phantom. Calculated dose in water showed more consistent values for all three phantoms (max. difference 2.6 %). EWD for human cranial bones and brain has value close to the EWD of ABS phantom, which makes this phantom most suitable for dose measurements in clinical application. In LGK radiosurgery determination of errors related to the difference of phantom materials should not be neglected and measured dose should be corrected before usage for patient treatment dose calculation.

PROVJERA RAČUNA APSORBIRANE DOZE U XIO RAČUNALNOM SUSTAVU ZA PLANIRANJE RADIOTERAPIJE

*Mihaela Mlinarić, Mirjana Budanec, Iva Mrčela, Marin Gregov,
Tomislav Bokulić, Ana Fröbe i Zvonko Kusić*
Klinika za onkologiju i nuklearnu medicinu,
KBC "Sestre milosrdnice", Zagreb
mihaela.mlinaric@kbcsm.hr

UVOD

Cilj radioterapije je isporuka apsorbirane doze u ciljni volumen, uz izbjegavanje organa rizika, sa svrhom eliminacije tumorskih stanica. Preporučena točnost doze u referentnoj točki je $\pm 3,5\%$, radi što veće vjerojatnosti tumorske kontrole, pri čemu su u taj iznos uračunate sve nepouzdanosti radioterapijskog procesa [1].

U modernoj radioterapiji računanje apsorbirane doze u bolesniku provodi se gotovo isključivo računalnim sustavima za planiranje. Točnost tih sustava ograničena je nepouzdanostima u mjerenjima i aproksimacijama u algoritmima. Prema preporuci Međunarodne agencije za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency* - IAEA) prilikom prihvatnog testiranja linearnog akceleratora provodi se i prihvatno testiranje sustava za planiranje, pomoću skupa testnih podataka prikupljenih u tu svrhu [2].

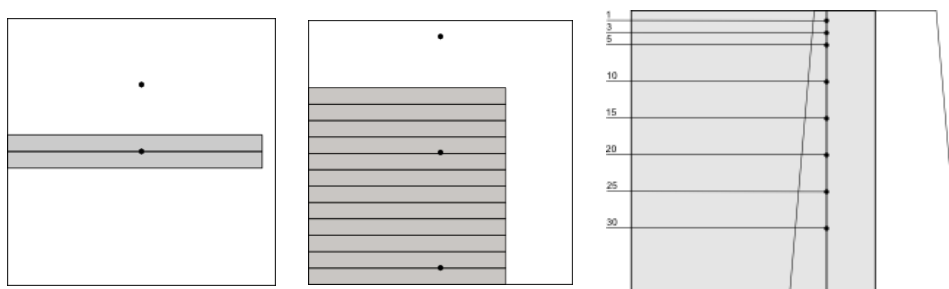
U ovom radu opisana je prilagodba preporučenih testova za mjerenja i pripadna analiza sa svrhom provjere modela fotonskih snopova u sustavu za planiranje linearnog akceleratora postavljenog u Klinici za onkologiju i nuklearnu medicinu Kliničkog bolničkog centra "Sestre milosrdnice".

MATERIJAL I METODE

Linearni akcelerator Elekta Synergy S može proizvesti dva fotonska snopa nominalne energije od 6 i 18 MV te pet elektronskih snopova energija 6, 9, 12, 15 i 20 MeV. Za prilagodbu snopa uređaj nudi asimetričnu kolimaciju, univerzalni (motorizirani) klin od 60° te konformalno oblikovanje polja višamelarnim kolimatorom (*multileaf collimator* – MLC) i lijevanim blokovima. Apsolutna kalibracija uređaja provedena je mjerenjem doze u vodi po IAEA protokolu TRS 398 [3].

Apsorbirana doza (u nastavku teksta - doza) računata je pomoću Elekta CMS XiO 4.62 sustava za planiranje. XiO nudi četiri algoritma za račun doze fotonskih snopova – Clarksonov algoritam, konvolucijski algoritam (*FFT Convolution*), algoritam temeljen na superpoziciji (*Multigrid Superposition*) i brzaj superpoziciji (*Fast superposition*). Za klinički rad je odabran prvi superpozicijski algoritam te su pripadni modeli snopova predmet ovog ispitivanja.

Mjerenje za potrebe testiranja sustava za planiranje provedeno je vodootpornom ionizacijskom komoricom Farmerovog tipa (30013), u automatiziranom vodenom fantomu MP3 s programom MEPHYSTO mc² (PTW, Freiburg). Uspoređivani su rezultati mjerene i izračunate doze u reprezentativnim točkama.



Slika 1. Položaj točaka za test 5 (lijevo), test 7 (sredina) i test 10a (desno)

Za svaku geometriju polja ispitivano je nekoliko pozicija u uzdužnoj (*inplane*) osnoj ravni polja, na do osam dubina u rasponu od 1 do 30 cm. Svi testovi (osim testa 3) provedeni su pri udaljenosti izvora do površine (SSD) od 100 cm, tj. s izocentrom smještenim na površini vode. Ukupno je izmjereno 854 točaka za 11 grupa testova. U Tablici 1 prikazani su položaji i pripadne tolerancije točaka u kojima je ispitivanje provedeno, grupirani po usporedivim položajima (a, b i c).

U sklopu testa 4 osim u središtu polja (a), mjerene su doze van osi pod tanjim (b) i debljim (c) dijelom klina. U testu 5 središte polja blokirano je s dvije lamele najbliže izocentru (Slika 1, lijevo), a mjerene su doze u središtu (a), i van osi polja (b). Sve točke u testu 6 udaljene su 4 cm od osi polja. Polje u testu 7 oblikovano je višelamelarnim kolimatorom u oblik slova L, a mjerene su doze u zatvorenom (a i b) i otvorenom području polja (c) (Slika 1, sredina). Test 9 proveden je s osi polja pod kutom od 45° prema površini fantoma, a mjerena je doza u točkama 3 cm lijevo (a) odnosno desno (b) od

osi snopa. U testu 10 os snopa prolazi kroz vanjsku stijenku fantoma (Slika 1, desno). U testovima 11 i 12 provjerava se doza asimetričnog polja, u ravnini geometrijske sredine otvorenog dijela polja. U slučaju testa 12 polje smo podijelili na područja središnjeg (a), tanjeg (b) i debljeg dijela klina (c).

Tablica 1. Popis testova s navedenim položajima u odnosu na središte i tolerancijama na odstupanje po IAEA preporukama [2]. Usporedivi položaji grupirani su po (a), (b) i (c) (središte, van osi polja i izvan polja)

Test	Opis polja	Položaji (tolerancija) / cm		
		(a)	(b)	(c)
1a	5×5 cm ²	0 (2%)	1 (3%)	5 (3%)
1b	10×10 cm ²	0 (2%)	3 (3%)	9 (3%)
1c	25×25 cm ²	0 (2%)	9 (3%)	19 (3%)
2a	5×25 cm ²	0 (2%)	1 (3%)	5 (3%)
2b	25×5 cm ²	0 (2%)	9 (3%)	19 (3%)
3	10×10 cm ² , SSD=85 cm	0 (2%)	2,5 (3%)	7 (3%)
4	9×9 cm ² , klin	0 (3%)	-2,5 (3%)	2,5 (3%)
5	16×16 cm ² , središnji blok (Slika 1)	0 (3%)	4 (3%)	
6	10×10 cm ² , van osi 4 cm	0 (3%)	3 (3%)	8 (3%)
7	16×16 cm ² , oblik slova L (Slika 1)	0 (3%)	7 (3%)	-7 (3%)
9	10×10 cm ² , kosi upad	0 (3%)	-3 (3%)	3 (3%)
10a	10×10 cm ² , defekt tkiva (Slika 1)		4 (3%)	
10b	20×20 cm ² , defekt tkiva		5; 9 (3%)	
11a-d	Asimetrično 15×15 cm ²	0 (3%)	-6 (3%)	6 (3%)
12a-f	Asimetrično 15×15 cm ² , klin	0 (4%)	-6 (5%)	6 (5%)

Promatrana veličina je odstupanje izračunate (D_{TPS}) od mjerene doze (D_M), normirano na mjerenu dozu pri istoj dubini. U slučaju točke mjerenja unutar polja jednostavne geometrije, relativno odstupanje je:

$$\Delta_1 = 100 \times \frac{D_{TPS} - D_M}{D_M} \% \quad (1)$$

Kod točke mjerenja van polja ili pod blokom, odstupanje je normirano na dozu mjerenu na osi snopa ili u ekvivalentnoj točki otvorenog polja.

Za većinu odstupanja IAEA preporuča toleranciju od 3 %. U slučaju jednostavnih konfiguracija (kvadratna i pravokutna polja na osi snopa) preporuča se da tolerancija bude do 2 %. Za složenije slučajeve poput

asimetričnih polja s klinom, dopušteno je do 4 % odstupanja na osi, odnosno 5 % van osi snopa [2]. Položaji mjerenja po testu i pripadne vrijednosti tolerancija prema IAEA protokolu prikazane su u Tablici 1.

S obzirom na veliki broj mjerenja i po uzoru na ranije radove, kao procjenu uspješnosti provedenog testa koristili smo granicu pouzdanosti (*confidence limit*) δ , definiranu jednadžbom (2), gdje je Δ srednja vrijednost relativnog odstupanja za usporedivi set mjerenja, a σ standardna devijacija tih odstupanja [1,4]:

$$\delta = |\Delta| + 1,5\sigma \quad (2)$$

REZULTATI

Analizom je utvrđeno da je odstupanje izračunate od mjerene doze slično za obje energije, stoga su ti podaci objedinjeni radi bolje statistike (Tablica 2). Granice pouzdanosti računate su po testovima, u skladu s prikazom iz rada Venselaara i suradnika [4]. Svi testovi su unutar tolerancije (3 %, odnosno 4 % za testove 5 i 12), osim testa 7.

Tablica 2. Rezultati usporedbe mjerene i izračunate doze iskazani preko intervala pouzdanosti za grupe točaka (a), (b) i (c). Istaknute su vrijednosti odstupanja van tolerancije.

Test	Granica pouzdanosti po testu	Granica pouzdanosti po položajima		
		(a)	(b)	(c)
1a-c	2,4%	1,6%	1,4%	3,5%
2a-b	2,7%	1,6%	1,1%	3,6%
3	2,8%	1,7%	0,8%	4,0%
4	1,5%	1,5%	1,6%	0,6%
5	2,7%	2,2%	2,6%	
6	3,0%	1,5%	2,0%	3,6%
7	4,8%	1,1%	0,5%	5,8%
9	2,3%	1,7%	2,9%	2,1%
10a-b	3,0%		3,0%	
11a-d	2,2%	1,6%	3,4%	1,1%
12a-f	3,2%	2,9%	5,6%	2,5%

Odstupanja za jednostavna polja veća su od očekivanih. Zbog toga su određene granice pouzdanosti po položajima u grupama testova te su uspoređene s IAEA preporukama [2]. U ovom prikazu vidljivo je da su veća

odstupanja u ukupnoj granici pouzdanosti posljedica većih odstupanja u slučaju mjernih točaka van polja. Test 7 u području otvorenog polja pokazao je odstupanja od oko 6 %. U slučaju testa 12 - rezultati za tanji dio klina - odstupanje je gotovo 6 %.

Točke u slučaju testova 7 i 12 nalaze se u području velikog gradijenta doze (blizu samog ruba polja, a za test 12 postoji i gradijent od klina). Postoji mogućnost da je zbog efekta volumnog usrednjavanja pri mjerenju s komoricom Farmer tipa u ovom području izmjerena doza manja od stvarne. Potrebna su dodatna mjerenja prikladnim detektorom manjeg volumena da bi se provjerila ispravnost ove pretpostavke i utvrdilo porijeklo povećanog odstupanja u tim testovima.

ZAKLJUČAK

Rezultati našeg ispitivanja u skladu su s rezultatima ranijih ispitivanja [4]. Rezultati testa 7 i 12 upućuju na oprez u kliničkom radu zbog česte upotrebe nepravilnih polja (poput polja 7) i poluotvorenih polja s klinom (poput polja u testu 12). Proizvođač sustava za planiranje preporuča da se referentna točka mora nalaziti barem 2 cm od ruba polja i dublje od položaja maksimuma postotne dubinske doze, a taj uvjet je teško zadovoljiti kod konfiguracije polja koja pokazuju veća odstupanja u ovom radu. Ispitivanje upućuje na potrebu za što pažljivijim odabirom referentne točke pri planiranju te na provjeru složenijih planova zračenja nekom od metoda mjerenja doze na pacijentu ili u odgovarajućem fantomu.

LITERATURA

- [1] Venselaar J, Welleweerd H, Mijnheer B. Tolerances for the accuracy of photon beam dose calculation of treatment planning systems. *Radiother Oncol* 2001;60:191-201.
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Specification and Acceptance. Testing of Radiotherapy Treatment Planning System, IAEA-TECDOC-1540. Vienna: IAEA; 2007.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water, IAEA-Technical Reports Series 398. Vienna: IAEA; 2000.
- [4] Venselaar J, Welleweerd H. Application of a test package in an intercomparison of the photon dose calculation performance of treatment planning systems used in a clinical setting. *Radiother Oncol* 2001;60:203-213.

VERIFICATION OF ABSORBED DOSE CALCULATION WITH XIO RADIOTHERAPY TREATMENT PLANNING SYSTEM

*Mihaela Mlinarić, Mirjana Budanec, Iva Mrčela, Marin Gregov,
Tomislav Bokulić, Ana Fröbe and Zvonko Kusić*
Department of Oncology and Nuclear Medicine,
University Hospital Center "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia
mihaela.mlinaric@kbcsml.hr

Modern radiotherapy relies on computerized treatment planning systems (TPS) for absorbed dose calculation. Most TPS require a detailed model of a given machine and therapy beams. International Atomic Energy Agency (IAEA) recommends acceptance testing for the TPS (IAEA-TECDOC-1540). In this study we present customization of those tests for measurements with the purpose of verification of beam models intended for clinical use in our department.

Elekta Synergy S linear accelerator installation and data acquisition for Elekta CMS XiO 4.62 TPS was finished in 2011. After the completion of beam modelling in TPS, tests were conducted in accordance with the IAEA protocol for TPS dose calculation verification. The deviations between the measured and calculated dose were recorded for 854 points and 11 groups of tests in a homogenous phantom.

Most of the deviations were within tolerance. Similar to previously published results, results for irregular L shaped field and asymmetric wedged fields were out of tolerance for certain groups of points.

INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY WITH SIMULTANEOUSLY INTEGRATED BOOST AT UNIVERSITY HOSPITAL CENTRE ZAGREB (KBC ZAGREB)

*Timor Grego, Juraj Bibić, Lovro Barišić, Nenad Kovačević
and Hrvoje Hršak*

Medical Physics Division, Clinic of Oncology,
University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia
tgrego@kbc-zagreb.hr

PURPOSE

Intensity Modulated Radiation Therapy technique (IMRT) is state of art in modern radiotherapy for bilateral Head and Neck (H&N) malignancies. It allows delivering 70 Gy to Planning Target Volume (PTV) and (simultaneously) keeping doses to Organs at Risk (OAR) very low. Particularly, mean doses to both parotid glands (PG) can be kept below 25 Gy, maximal dose to spinal cord below 40, brain stem below 50 and cochlea below 45 Gy.

IMRT of real patients is implemented at KBC Zagreb since June 2012. Our method is inspired partly by Hull IMRT technique and partly by ConPas technique. It differs from standard IMRT beam layout (7 beams, gantry angles in 51° steps) and it avoids direct irradiation of OARs. We also use simultaneous integrated boost (SIB IMRT) fractionation. SIB IMRT has dosimetric, logistic and radiobiological advantages over standard fractionation.

The aim of this paper is to present in some details the whole process of our SIB IMRT including plan quality assurance. Results for several patients together with comparison with ConPas and standard IMRT are presented.

MATERIALS AND METHODS

IMRT is modern radiotherapy method for H&N and other cancers. It is superior to 3D conformal radiotherapy (3D CRT) (e.g. [1]). In our department, in last several years, routine method for H&N cancer RT was ConPas [2,3]. During this period we (together with ConPas plans) produced standard IMRT plans with seven equidistant fields for actual patients. Our

comparative analysis showed clear superiority of IMRT over ConPas for H&N radiotherapy [4]. Since spring 2012 we have produced also non-standard IMRT plans that are based on Hull (U.K.) [5] experience, with beam gantry angles at 0, 50, 80, 150, 210, 280 and 310°. Also, in this method, direct irradiation of OARs (particularly spinal cord) is avoided by shielding as initial constraint. This approach proved to be better than standard IMRT in all analyzed cases. Having all this in mind, we decided to implement "our" IMRT technique on real patients.

Second essential point is SIB fractionation (also known as dose-painting IMRT). In H&N treatments there are usually up to three PTVs with different dose regimens. An example of SIB fractionation for nasopharynx is: PTV1 66 Gy/30 fr. (to PTV-GTV); PTV2 60 Gy/30 fr. (to high risk subclinical disease); PTV3 54 Gy/30 fr. (to low risk subclinical disease). That is PTV1 receives 2.2 Gy/fr., PTV2 2 Gy/fr., PTV3 1.8 Gy/fr. First SIB advantage is dosimetric: it is much easier to achieve good plan (superiour PTV conformality and sparing of OARs) than in standard fractionation. Second benefit is logistic: whole treatment is significantly shorter. Third benefit is radiobiological: Due to higher dose/fr. (to the target) and lesser duration of treatment, the Normalized Total Dose is actually higher than the Nominal Dose [6]. Patients' follow-up shows clearly superiority of SIB IMRT [7,8].

We performed extensive measurements with accent on small fields on Siemens Oncor Expression, in order to model reliable "IMRT machine" in CMS XiO 4,70 treatment planning system. Siemens linacs allow "step and shoot" beam delivery.

The structures and constraints are given for H&N IMRT calculation. Structures of type "Planning Organs at Risk Volume" (PRV) [9,10] are defined, and also "Avoid" type of structures are contoured to ease control of dose escalation in some regions. Dose constraints are given in terms of Dose (Max, Min, Goal) or Dose-Volume. Different ranks, weights and powers are given to structure objectives in order to achieve desired dose distributions (through iteration process). The first step (optimisation) is governed by cost (or objective) function. The fluence across individual beams is modulated to create "beamlets" of different fluences in order to achieve dose distribution closest to desired prescription. Second step is transformation of optimal plan to actual step and shoot delivery: Different mini-beams ("segments") are created, superposition of which form each beam. Our segment constraints are 5MU and 2 cm per segment and ten intensity levels, to avoid very small MUs and fields (as they are dosimetrically questionable).

Once segments are calculated and satisfying dose distributions achieved, it is necessary to see if TPS does calculations well and if linac is actually delivering segments and doses as expected. The patient's plan is applied to CT dataset of 2D-Array Seven29 (PTW Freiburg) placed between slabs of solid water RW3 (PTW) and beams' gantry angles are set to zero. The plan is recalculated and Seven29 irradiated accordingly. Point doses are measured and compared with calculation using VeriSoft3.1 software (PTW) and Gamma index method [11]. We choose: a) 3 mm distance to agreement and 3 % dose difference, b) increased tolerance of 5 % dose difference below 10 cGy, and c) suppression of doses below 5 % of maximum field dose. We also keep in mind that high dose gradient regions (at field borders) cannot be recorded with high precision due to 1 cm distance between chambers in Seven29.

To gain confidence that "segments" are delivered correctly for gantry angles different from zero, we applied the above method to cylindrical IMRT Verification Matrix Phantom (PTW). Construction of the phantom allows placement of 0.125 cm³ Semiflex ionization chambers (PTW) at various locations inside it, with very high precision. We follow absorbed dose to water code of practice IAEA TRS 398. The patients plan is applied to phantoms scan-set, keeping original gantry angles. Comparison of measured and calculated doses at several points inside phantom showed very good agreement (always within 2 %). Points were chosen away from high dose gradients, inside PTVs. Linearity of linac response MU/dose is regularly checked.

Positioning of the patient is essential in radiotherapy. As a routine we use thermoplastic masks for fixation of head and neck. Alignment between CT scan-set (and digitally reconstructed radiographs) imported from TPS and MVCBCT set (and portal images) acquired by linac before RT session is checked once per week. We keep the record of positioning inaccuracies for further evaluation of overall precision and for scrutiny of PTV margins [3]. It gives us confidence in our good positioning repeatability.

RESULTS

Table 1 shows plan QA. We choose 3 mm/3 % Gamma index and passing rate >85 %. All fields of three patients pass except P2 0° field, which is slightly below. Table 2 shows measured and calculated values in cylindrical IMRT phantom for two actual patients at two points each. Point sum dose agreement is always inside 2 %.

Comparison of "our" IMRT plan (full line) and ConPas plan in terms of Dose-Volume histogram is presented in Figure 1. Figure 2 shows comparison of "our" IMRT plan (full line) and equidistant IMRT (dashed).

Table 1. Passing rate for 3 mm /3 % Gamma index

PATIENT	GANTRY ANGLE						
	0°	50°	80°	150°	210°	280°	310°
P1	88.0%	95.4%	99.6%	95.7%	94.4%	96.7%	93.2%
P2	82.2%	94.0%	96.2%	94.3%	97.5%	93.8%	93.2%
P3	89.8%	86.6%	96.4%	95.9%	100%	98.6%	86.5%

Table 2. Calculated and measured doses at spots inside cylindrical phantom

	0°	50°	80°	150°	210°	280°	310°	Total
XiO(cGy)	48.2	25.4	13.8	2.4	48.7	47.6	19.3	205.4
Measured	49.9	24.9	14.6	1.8	48.8	47.2	19.5	206.7
XiO(cGy)	24.5	19.6	8.9	1.5	40.4	25.0	28.2	148.1
Measured	24.6	20.1	9.7	1.5	38.9	25.9	28.2	148.9
XiO(cGy)	49.7	41.7	3.2	51.9	11.1	11.4	27.1	196.1
Measured	51.2	40.8	9.0	49.3	10.2	12.3	27.5	200.3
XiO(cGy)	38.6	27.5	21.4	47.1	3.7	29.5	9.9	177.7
Measured	36.7	26.9	23.6	47.7	2.9	30.5	8.3	176.6

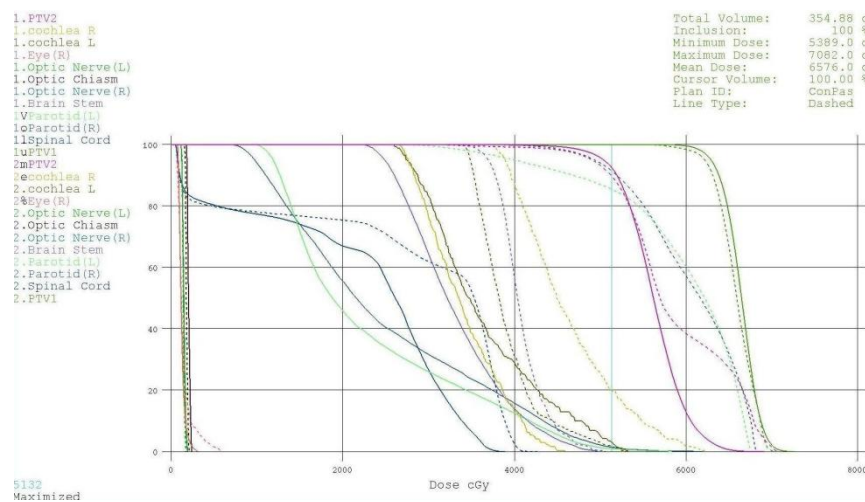


Figure 1. IMRT vs. ConPas

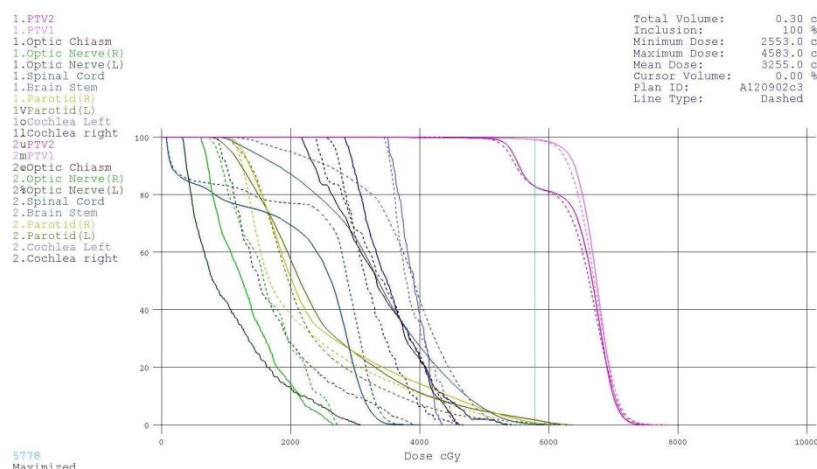


Figure 2. IMRT vs. standard IMRT DVHs

REFERENCES

- [1] Cozzi L, Fogliata A, Bolsi A, et al. 3D CRT vs. IMRT in H&N cancer patients: comparative analysis of dosimetric and technical parameters. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2004; 58(2):617-624.
- [2] 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;181:673-82.
- [3] Kovačević N, Hršak H, Bibić J Dosimetric verification and evaluation of 3D conformal parotid gland sparing irradiation technique for bilateral neck treatment at UHC Zagreb. *Proceedings of 8th Symposium of the CRPA Krk Croatia April 13-15, 2011;Zagreb: CRPA; 2011. pp. 106-112.*
- [4] Kos S, Grego T, Kovačević N, Bibić J, Barišić L. IMRT and 3D CRT DVH plan comparison for head and neck cancer treatment. *Proceedings V Alpe-Adria Medical Physics Meeting Trieste, Italy, May 3-5, 2012, pp. 142-143.*
- [5] Beavis A, Marsden J, Hull and East Yorkshire Hospitals, NHS Trust
- [6] Fowler J. 21 years of Biologically Effective Dose. *The British Journal of Radiology* 2010;83:554-568.
- [7] Lee N et al. A comparison of intensity-modulated radiation therapy and concomitant boost radiotherapy in the setting of concurrent chemotherapy for locally advanced oropharyngeal carcinoma. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2006;66(4):966-974.
- [8] de Arruda FF, Puri DR, Zhung J, et al. Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for advanced oropharyngeal carcinoma: the MSKCC experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;64:363–373.
- [9] ICRU Report 83: Prescribing, Recording and Reporting Photon-beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT). *Journal of the ICRU* 2010;10(1).
- [10] ICRU Report 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supp. to ICRU Report 50). Bethesda, Maryland, USA: ICRU; 1999.
- [11] Low D-A, Harms WB, Mutic S, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Med Phys* 1998;25:656-61.

**INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY
WITH SIMULTANEOUSLY INTEGRATED BOOST AT
UNIVERSITY HOSPITAL CENTRE ZAGREB
(KBC ZAGREB)**

*Timor Grego, Juraj Bibić, Lovro Barišić, Nenad Kovačević
and Hrvoje Hršak*

Medical Physics Division, Clinic of Oncology,
University Hospital Centre Zagreb, Croatia
tgrego@kbc-zagreb.hr

Intensity Modulated Radiation Therapy technique (IMRT) is state of art in modern radiotherapy for bilateral Head and Neck (H&N) malignancies. IMRT of real patients is implemented at KBC Zagreb since June 2012. Our method is inspired partly by Hull IMRT technique. It differs from standard IMRT beam layout (7 beams, gantry angles in 51° steps) and it avoids direct irradiation of OARs. We also use simultaneous integrated boost (SIB IMRT) fractionation.

The aim of this paper is to present in some details the whole process of our SIB IMRT including plan quality assurance. Results for several patients together with comparison with ConPas and standard IMRT are presented.

In our department, in last several years, routine method for H&N cancer RT was ConPas. During this period we (together with ConPas plans) produced standard IMRT plans with seven equidistant fields for actual patients. Our comparative analysis showed clear superiority of IMRT over ConPas for H&N radiotherapy. Since spring 2012 we have produced also non-standard IMRT plans that are based on Hull (U.K.) experience, with beam gantry angles at 0, 50, 80, 150, 210, 280 and 310°. Also, in this method, direct irradiation of OARs (particularly spinal cord) is avoided by shielding as initial constraint. This approach proved to be better than standard IMRT in all analyzed cases. Having all this in mind, we decided to implement “our” IMRT technique on real patients. Second essential point of our method is SIB fractionation. It has dosimetric, logistic and radiobiological advantages over standard fractionation.

IMRT plan QA is routinely performed using Seven29 and Gamma index method. We take 3 mm/3 % Gamma index and 85 % of passed points as passing rate.

UPORABA AKTIVNOG ELEKTRONIČKOG OSOBNOG DOZIMETRA U INTERVENCIJSKOJ RADIOLOGIJI I UROLOGIJI

Marija Surić Mihić¹, Ivica Prlić¹, Tomislav Meštrović¹ i Iva Mrčela²

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Klinički bolnički centar "Sestre milosrdnice", Zagreb

msuric@imi.hr

UVOD

Za rutinsko provođenje osobnog dozimetrijskog nadzora osoba profesionalno izloženih ionizirajućem zračenju uobičajeno se koriste pasivni osobni dozimetri - filmski i terminoluminiscentni (TL) dozimetri. Takvi dozimetri, osim ukupne vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ primljenog tijekom perioda nošenja dozimetra, mogu još pružiti informaciju o energiji primljenog zračenja, kutu izlaganja te da li je primljena doza bila posljedica jednokratnog ili višestrukog izlaganja ionizirajućem zračenju. No niti jedna vrsta pasivnih dozimetara ne omogućava rekonstrukciju dinamike izloženosti u smislu poznavanja trenutka izlaganja te brzine doze kojoj je bio izložen nositelj dozimetra.

Elektronički dozimetri su se godinama koristili kao dodatni alarm dozimetri i tek su nedavno uzeti u razmatranje kao regularni dozimetri za osobni dozimetrijski nadzor. Provedeni su opsežni projekti koji istražuju domete korištenja aktivnih elektroničkih osobnih dozimetara (AEPD) u intervencijskoj radiologiji i kardiologiji [1]. Nove tehnologije su omogućile proizvodnju dovoljno malih elektroničkih dozimetara, s niskom potrošnjom energije, a istovremeno velikim mogućnostima sakupljanja podataka i svojstvima mjerenja u realnom vremenu.

AEPD-ovi omogućavaju direktno očitavanje i mjerenja u realnom vremenu s funkcijom alarma koji daje upozorenje u mogućim situacijama akcidentalnog izlaganja ionizirajućem zračenju. Takva svojstva omogućuju provođenje optimizacije izlaganja zračenju kako profesionalno izloženih osoba tako i pacijenata što je u medicini od iznimnog značaja, a direktno doprinosi ALARA principu.

Uporaba AEPD-ova ALARA osobnih dozimetara (OD) [2,3] omogućila je uvid u dinamiku izloženosti dvije skupine profesionalno izloženih osoba: u intervencijskoj radiologiji (IR) gdje je poznato da postoji

trend rasta godišnjih vrijednosti efektivne doze koju primaju intervencijski radiolozi i u intervencijskoj urologiji (IU) gdje se također provode intervencije uz uporabu rendgenskih uređaja. Tijekom provođenja intervencijskih postupaka u IR ili IU operater povremeno izlaže nezaštićene dijelove svog tijela (ekstremitete) primarnom snopu zračenja, dok je istovremeno trup izložen indirektnom raspršenom rendgenskom zračenju.

MATERIJALI I METODE

AEPD ALARA OD je korišten, uz kontrolne TL dozimetre, za mjerenje ukupnog osobnog doznog ekvivalenta $Hp(10)$ te bilježenje vremenske raspodjele primanja $Hp(10)$ tijekom izlaganja liječnika specijalista radiologa odnosno urologa raspršenom rendgenskom zračenju u sklopu provođenja postupaka u IR odnosno IU. Redovni TL dozimetar je nošen na prsištu ispod zaštitne olovne pregače, a AEPD zajedno s dodatnim TLD-om je nošen iznad zaštitne olovne pregače, a ispod jednokratne kute koja se koristi tijekom operacije.

AEPD-ovi su bilježili ukupnu akumuliranu dozu, početno vrijeme i trajanje svake provedene fluoroskopske ekspozicije rendgenskog zračenja tijekom intervencijskih postupaka. Način rada AEPD-a ALARA OD opisan je u literaturi [3].

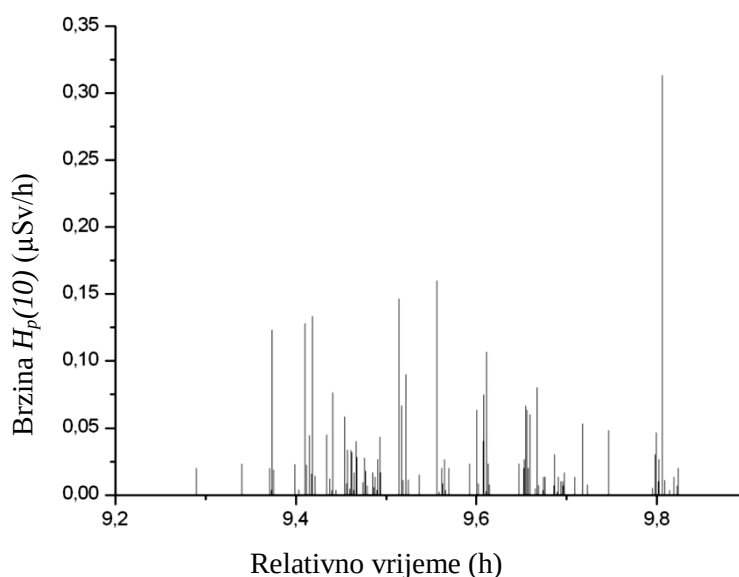
Mjerenja pozadinskog zračenja (*local background radiation* - LBG) provedena su korištenjem RS 131 Reuter Stokes ionizacijske komore pod visokom tlakom. Korišten je težinski faktor za rendgensko zračenje $w_T = 1$. AEPD-ovi su bili usklađeni i umjereni za mjerenje LBG-a te posebno za energije rendgenskog zračenja od oko 70 keV, što je standardno umjeravanje za uobičajene angiografske jedinice koje se koriste u intervencijskoj radiologiji [4,5]. Prije samog eksperimenta provedena su mjerenja u sklopu postupaka za kontrolu kvalitete (QC) korištenog rendgenskog uređaja koji se koristi za postupke u IR i IU. Provjerena je stabilnost visokog napona, doza u snopu, razlučivanje, kontrast te doze u prostoru oko rendgenskog uređaja.

U ovom eksperimentu, oprema i pacijenti su smatrani izvorima sekundarnog zračenja – raspršenog rendgenskog zračenja.

REZULTATI

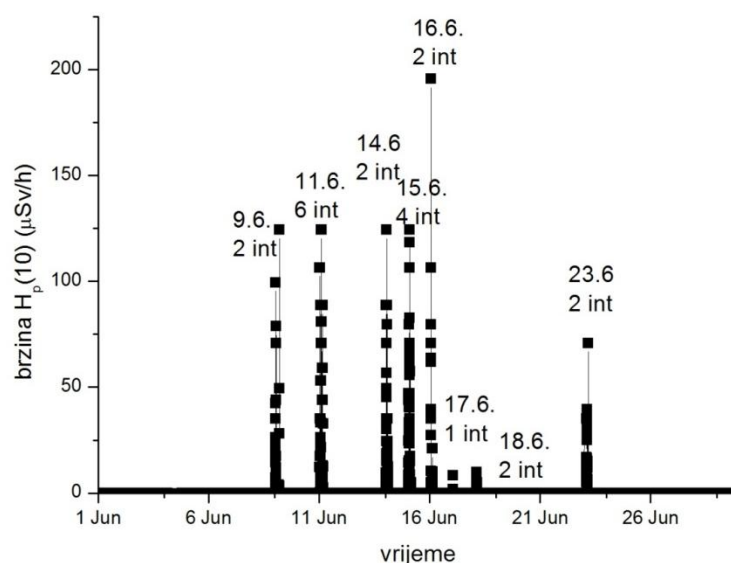
S obzirom na značajno veći broj provedenih intervencija dnevno te broja ekspozicija unutar jedne intervencije u IR u odnosu na IU, dani su rezultati prikaza vremenske dinamike primanja doze tijekom jedne intervencije u IR te tijekom jednog mjeseca u IU.

Slika 2 prikazuje dinamiku izloženosti operatera u IR tijekom jednog intervencijskog postupka perkutane revaskularizacije zdjelice i gornjih arterija noge u ukupnom trajanju od 40 minuta. Ukupno vrijeme fluoroskopije je bilo 245 s, maksimalna "brzina $H_p(10)$ " kojoj je bio izložen operater je bila 320 nSv/h, no uzevši u obzir 99 fluoroskopiranja tijekom te intervencije, ukupna primljena doza operatera je bila 5 μ Sv. Uobičajene doze tijekom takvih postupaka u IR su u rasponu od 4-7,5 μ Sv, ovisno o iskustvu operatera te složenosti samog provedenog postupka. Za razliku od AEPD-a, kontrolni TL dozimetar nije zabilježio dozu koja se mogla pravilno interpretirati jer joj je vrijednost bila u području ispod praga detekcije metode. Na mjesečnoj razini vrijednost efektivne doze koju je zabilježio AEPD bila je 420 μ Sv, a ona koju je zabilježio kontrolni TLD 390 μ Sv.



Slika 2. Dinamika primanja doze koju je AEPD operatera u IR zabilježio tijekom jednog postupka. Postupak je bio na rasporedu 9:15-9:55 h na dan mjerenja, zabilježeno je 99 vremenskih intervala kada je AEPD radio u E načinu rada [3]. Vrijednosti izračunate brzine doze tijekom E načina rada prikazane su stupcima i odgovaraju vremenu kada je dijaskopija bila uključena.

U IU se općenito provodi manji broj intervencijskih postupaka u odnosu na IR iako s obzirom na trendove u medicini se može očekivati i njihov porast. Slika 3 prikazuje vremensku dinamiku izloženosti operatera u IU tijekom jednog mjeseca. Iako su maksimalne vrijednosti "brzine $H_p(10)$ " kojima je bio izložen operater bile i do $200 \mu\text{Sv/h}$, ukupna vremena ekspozicije su bila kratka (1-3 s) tako da je ukupno zabilježena vrijednost efektivne doze na mjesečnoj razini bila $97 \mu\text{Sv}$ dok je kontrolni TLD zabilježio vrijednost od $109 \mu\text{Sv}$.



Slika 3. Dinamika primanja doze koju je AEPD zabilježio tijekom jednog mjesečnog razdoblja. Za svaki datum je naznačen ukupan broj intervencija toga dana.

Razlike u vrijednostima dobivenim AEPD-om i kontrolnim TLD-om u obje profesije se mogu objasniti različitim načinom oduzimanja lokalnog pozadinskog zračenja kod AEPD-a i TLD-a. Naime, kod AEPD-a se oduzima lokalno pozadinsko zračenje na položaju korisnika dok se pri očitavanju TLD-ova oduzima prosječno pozadinsko zračenje na lokaciji dozimetrijskog laboratorija.

ZAKLJUČAK

Uporaba AEPD-a za mjerenje ukupne vrijednosti doze i brzine doze tijekom izloženosti raspršenom zračenju pri pojedinoj intervenciji u IR i IU omogućava retrospektivno izračunavanje frakcija izloženosti čak i za vrlo niske doze. Uporaba pasivnih dozimetara nije mogla omogućiti takav uvid u dinamiku izloženosti niti omogućiti mjerenje vrijednosti efektivne doze koju primi operater u pojedinom intervencijskom postupku. Usporedba izloženosti u IR i IU pokazuje da je izloženost liječnika specijalista intervencijske radiologije znatno veća od specijalista urologa. Ukupna doza po intervencijskom postupku varira ovisno o složenosti postupka, broju projekcija snimanja, karakteristikama pacijenta, stručnosti liječnika, zaštitnim sredstvima te izlaznim parametrima rendgenskog uređaja. Uporaba AEPD-a u ovakvim slučajevima pokazala se iznimno praktičnom jer smo dobili uvid u način izlaganja liječnika u intervencijskoj radiologiji i urologiji koji se, iako se koristi isti tip rendgenskih uređaja, znatno razlikuju u trajanju ekspozicija i maksimalnim brzinama doze od onih u intervencijskoj radiologiji.

LITERATURA

- [1] ORAMED projekt (2008-2011), suradnički projekt podržan od Europske komisije unutar 7. okvirnog programa, <http://www.oramed-fp7.eu/>, pristup 1. ožujka 2012.
- [2] Prlić I, Surić Mihić M, Milković-Kraus S, Meštrović T, Vrtar M. Characterization of workplaces in interventional radiology using active dosimeters ALARA OD. *Radiat Prot Dosim* 2007;125(1-4):379-382.
- [3] Prlić I, Surić Mihić M, Vučić Z. Active electronic personal dosimeter in interventional radiology. *Radiat Prot Dosim* 2008;132(3):308-312.
- [4] International Atomic Energy Agency IAEA. Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, Safety Series. Safety Guide RS-G-1.3. Vienna: IAEA, ILO; 1999.
- [5] Prlić I, Surić Mihić M, Meštrović T, Vučić Z, Cerovac Z. «ALARA OD» Active Electronic Personal Dosimeter – implementing a new concept in radiation dosimetry. Book of Abstracts. 10th International Symposium on Radiation Physics. 2006; Coimbra, Portugal.

USE OF ACTIVE ELECTRONIC PERSONAL DOSIMETERS IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY AND UROLOGY

Marija Surić Mihić¹, Ivica Prlić¹, Tomislav Meštrović¹ and Iva Mrčela²

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Clinical Hospital Centre "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia

msuric@imi.hr

In the regular personal dosimetry of individuals professionally exposed to ionizing radiation, passive dosimeters such as film or thermoluminescent dosimeters (TLD) are widely used. However, passive dosimeters can provide information only on the total accumulated dose equivalent, and not on the exposure dose rates or the actual moment and duration of an exposure. The active electronic personal dosimeter ALARA OD was used to quantify dose and dose rate levels of the exposure of interventional radiologists and urologists to scattered X-ray radiation from patients while performing procedures in interventional radiology and urology.

Fluoroscopy-guided procedures in interventional urology utilise the same radiological equipment as in interventional radiology. Time-dependent dose and dose rate data measured by an AEPD worn by an urologist have revealed that exposures in interventional urology were usually shorter (up to a few seconds) and with lower maximum dose rates (up to 200 $\mu\text{Sv/h}$) compared to those in interventional radiology.

We have also obtained a new type of data – a characteristic pattern of dose rate versus time for any single radiological intervention – which has not been reported in the relevant literature so far.

The use of an AEPD in interventional procedures has enabled selective retrospective dosimetry - a feature that not all passive dosimeters can provide.

RASPODJELA OSOBNOG DOZNOG EKVIVALENTA $H_p(10)$ MJERENOG U JEDINICI ZA DOZIMETRIJU ZRAČENJA I RADIOBIOLOGIJU, IMI, ZA 2011. I 2012. GODINU

*Jerko Šiško, Marija Surić Mihić, Selvije Idrizi, Tomislav Meštrović i
Ivica Prlić*

Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju, Institut za medicinska
istraživanja i medicinu rada, Zagreb
jsisko@imi.hr

UVOD

Osobni dozimetrijski nadzor provodi se nad osobama koje su u svom radu izložene ionizirajućem zračenju pri čemu je procijenjena vrijednost godišnje efektivne doze veća od 1 mSv [1]. Na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu dozimetrijski nadzor se provodi uporabom termoluminiscentnih dozimetara (TLD) od ožujka 2010. godine. Trenutno Institut pruža uslugu osobnog dozimetrijskog nadzora za oko 2000 izloženih radnika. Ti izloženi radnici se općenito mogu raspodijeliti u tri osnovne skupine prema njihovoj djelatnosti: medicina, industrija te istraživanje. Unutar pojedine skupine postoje značajne razlike u primljenim dozama ovisno o radnom mjestu i tipu izvora ionizirajućeg zračenja uz koji rade.

MATERIJAL I METODE

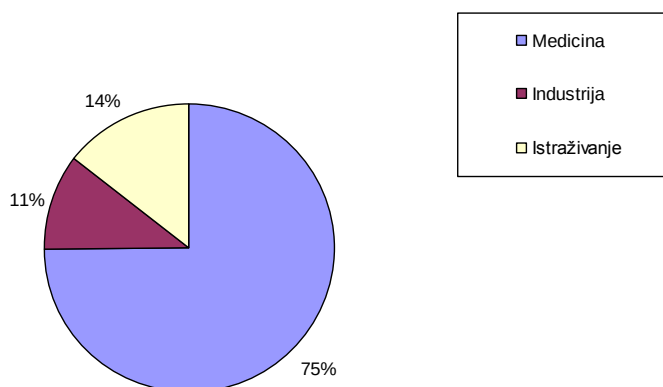
Osobni dozni ekvivalent $H_p(10)$ izloženih radnika određivan je uporabom TLD-ova u sklopu akreditirane metode. Vrijednost pozadinskog zračenja mjeri se u dozimetrijskom laboratoriju na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada, a prema zakonskoj regulativi [2] doze manje od 85 μ Sv u jednom mjernom razdoblju se ne bilježe.

Tijekom 2011. godine oko 1300 izloženih radnika bilo je mjesečno pod dozimetrijskim nadzorom dok je tijekom 2012. godine taj broj rastao od 1400 u prva tri kvartala do 1800 u zadnjem kvartalu.

REZULTATI I RASPRAVA

Slika 1 prikazuje raspodjelu djelatnika pod dozimetrijskim nadzorom u tri bitne djelatnosti. Najveći postotak osoba (75 %) pod dozimetrijskim

nadzorom nalazi se unutar djelatnosti medicine. Ostatak osoba pod dozimetrijskim nadzorom je iz industrije (11 %) i istraživanja (14 %).



Slika 1. Raspodjela djelatnika pod dozimetrijskim nadzorom u navedenim djelatnostima

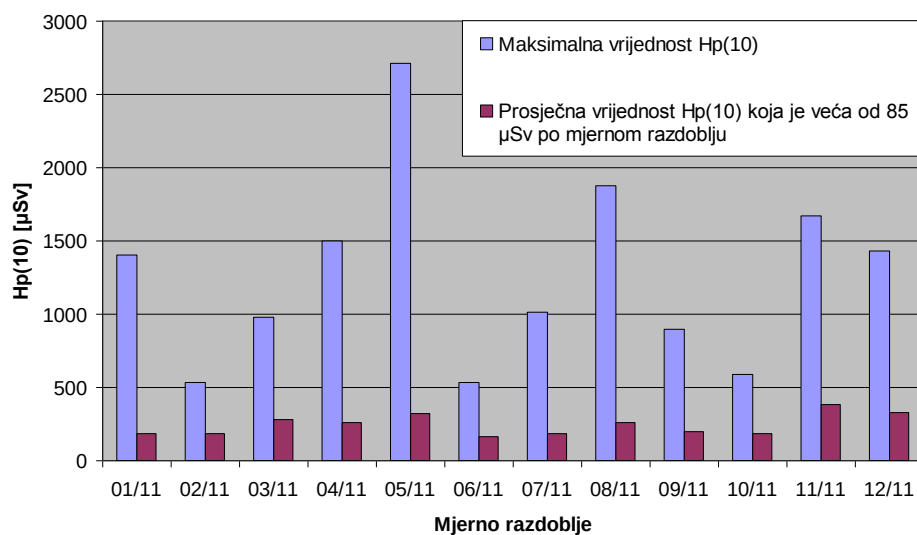
Slike 2 i 3 prikazuju trend raspodjela osobnog doznog ekvivalenta kroz 2011. i 2012. godinu. Vidljivo je da u prva tri mjeseca 2012. godine dolazi do bitnog skoka u maksimalnim a tako i u prosječnim vrijednostima osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$.

Bitno je za napomenuti da su maksimalne vrijednosti $H_p(10)$ za industriju i istraživanje bitno manje od onih dobivenih u medicini. Raspodjela je napravljena na uzorku od oko 1400 djelatnika kroz dvije godine pri čemu ih je oko 1000 iz medicine.

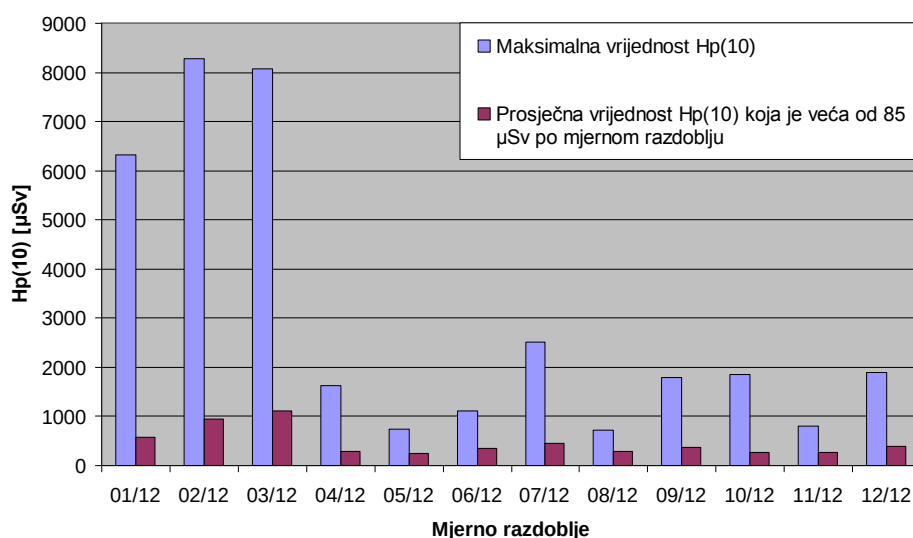
Broj djelatnika kojima je izmjerena vrijednost osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ u 2011. godini iznad $85 \mu\text{Sv}$ je prosječno 25 djelatnika po mjernom razdoblju.

Vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ u medicini kroz 2011. godinu variraju između 500 i $2500 \mu\text{Sv}$ (Slika 2) pri čemu je prosječna maksimalna vrijednost $H_p(10)$ kroz 2011. godinu oko $1200 \mu\text{Sv}$. Prosječne vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ u medicini konzistentne su po svim mjesecima, a prosječna vrijednost osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ u medicini za 2011. godinu je oko $250 \mu\text{Sv}$.

Broj djelatnika kojima je izmjerena vrijednost osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ u 2012. godini u medicini iznad $85 \mu\text{Sv}$ je prosječno 25 djelatnika po mjernom razdoblju.



Slika 2. Raspodjela vrijednosti $H_p(10)$ u medicini za 2011. godinu



Slika 3. Raspodjela vrijednosti $H_p(10)$ u medicini za 2012. godinu

Vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ kroz 2012. godinu variraju između 500 i 8500 µSv (Slika 3) pri čemu je prosječna maksimalna vrijednost $H_p(10)$ kroz 2012. godinu oko 3000 µSv. Prosječne vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta nisu konzistentne po svim mjesecima (prvi kvartal 2012. godine iskače iz trendova za ostatak mjernih razdoblja kroz

2011. i 2012. godinu), a prosječna vrijednost osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ za 2012. godinu je oko 450 μSv .

Vrijednosti $H_p(10)$ iz prvog kvartala 2012. koje iskaču od ostalih mjernih razdoblja, primarno su takve zbog jednog djelatnika iz intervencijske radiologije koji je u prva tri mjeseca 2012. radio s izvorom ionizirajućeg zračenja mnogo više vremena nego je to preporučljivo. Iz Slike 3 vidi se ponovni pad u maksimalnim te prosječnim vrijednostima $H_p(10)$ jer je gore navedeni djelatnik dobio zabranu rada u zoni zračenja od travnja 2012.

ZAKLJUČAK

Tijekom 2011. i 2012. godine broj osoba pod dozimetrijskim nadzorom povećavao se kroz mjerna razdoblja pri čemu je u ovom trenutku oko 2000 djelatnika koji rade s izvorima ionizirajućeg zračenja pod dozimetrijskim nadzorom pri Jedinici za dozimetriju zračenja i radiobiologiju.

Navedeni podaci pokazuju samo raspodjelu vrijednosti osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ u medicini zbog toga jer je prilikom obrade podataka i pomnog razmatranja uvrđeno da industrija i istraživanje nemaju konzistentne trendove u vrijednostima izmjerenog osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$. Za razliku od medicine, u industriji i istraživanju djelatnici ne rade kontinuirano s izvorima ionizirajućeg zračenja već po potrebama djelatnosti (u industriji nekad nema potrebe po nekoliko mjernih razdoblja raditi s izvorima ionizirajućeg zračenja, a isti slučaj je i s istraživanjem).

Djelatnost medicine pogodnija je za promatranje raspodjele osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ jer djelatnici tamo u svakom mjernom razdoblju rade u jednakim vremenskim intervalima sa jednakim izvorima zračenja sa kojima rade u ostalim mjernim razdobljima.

LITERATURA

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation. Safety guide/jointly sponsored by International Atomic Energy Agency and the International Labour Office. Vienna: IAEA; 1999.
- [2] Pravilnik o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima; Narodne novine 41/12. Zagreb 2012.

$H_p(10)$ DISTRIBUTION MEASURED AT THE IMROH RADIATION DOSIMETRY AND RADIOBIOLOGY UNIT FOR 2011 AND 2012

*Jerko Šiško, Marija Surić Mihić, Selvije Idrizi, Tomislav Meštrović and
Ivica Prlić*

Radiation Dosimetry and Radiobiology Unit,
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
jsisko@imi.hr

Radiation Dosimetry and Radiobiology Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health (IMROH) performs the service of dosimetry for approximately 2000 users. The number of users has gradually risen from 1000 to nearly 2000 persons in an interval of two years (2011 –2012). Most users work in medicine (75 %) while others are in research (14 %) and industry (11 %).

$H_p(10)$ distribution over the two years of consideration was mainly consistent. A deviation from this consistency was observed during the first three months of the year 2012. The maximum $H_p(10)$ and average $H_p(10)$ distributions measured for the months in question were much higher than for any other month under consideration.

The reason for this deviation was one exposed person who worked in the field of interventional radiology, a field within which worker spent much more time exposed to sources of ionizing radiation than recommended.

There was a clear drop in the measured $H_p(10)$ after the first three months of 2012 because the person responsible for the high measurements had to stop working in the field of ionizing radiation. Thus, the measured $H_p(10)$ values for April 2012 and subsequent months were significantly lower (consistent with all other months under consideration).

The evaluation of the $H_p(10)$ distribution is very important because any deviations in the expected effective doses for a certain occupation or field of interest may prove significant from the radiation protection point of view.

IZRAČUN MJERNE NESIGURNOSTI ZA MJERENJE OSOBNOG DOZNOG EKVIVALENTA ($H_p(10)$ I $H_p(0,07)$) TL DOZIMETRIMA

Robert Bernat, Branko Vekić i Maja Vojnić Kortmiš

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

rbernat@irb.hr

UVOD

Mjerna nesigurnost termoluminescentnog (TL) dozimetrijskog sustava je najbolja mjerna sposobnost ispitnog laboratorija za osobnu dozimetriju tj. stručnog tehničkog servisa. Može se izraziti kao mjerna nesigurnost cijelog mjernog raspona ili kao mjerna nesigurnost određenih dijelova mjernog područja (npr. od 0,05 do 0,99 mSv, od 0,99 do 19,99 mSv, od 20 do 100 mSv). U ovom radu mjerna nesigurnost izražena je kao jedna veličina za cijelo mjerno područje (od 0,05 mSv do 1 Sv) u rasponu energija od 33 keV do 1,33 MeV.

Mjerna nesigurnost metode za mjerenje osobnog doznog ekvivalenta napravljena je na ThermoFisher Scientific (Harshaw) sustavu (čitač model 6600 za TL dozimetre na osnovi LiF:Mg,Ti), u skladu s važećim dokumentima Zajedničkog odbora za upute u mjeriteljstvu [1], Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) [2], te Europske akreditacije (EA) [3]. Mjerenja su provedena kroz 20 mjeseci, a za potrebe ispitivanja korišteno je više od 500 TL dozimetara.

MATERIJAL I METODE

U ovom radu dan je pregled komponenti koje ulaze u izračun mjerne nesigurnosti tzv. "fish-bone" pristupom. Za potrebe budžeta mjerne nesigurnosti napravljen je tipni test prema zahtjevima norme HRN IEC 61066:2007 [4]. Osigurana je sljedivost sustava prema primarnom standardnom dozimetrijskom laboratoriju.

Standardna mjerna nesigurnost dozimetrijskog sustava dobiva se kombinacijom oba tipa nesigurnosti, tipa A i B. U osobnoj dozimetriji, tipični izvori mjerne nesigurnosti tipa A su: ujednačenost osjetljivosti detektora, varijabilnost očitavanja detektora zbog ograničene osjetljivosti pozadinskog zračenja te varijabilnost očitavanja neozračenih dozimetara. Sljedeći izvori obično se smatraju kao izvori nesigurnosti tipa B: energijska

ovisnost, kutna ovisnost, nelinearnost odziva detektora, slabljenje signala (*fading*) ovisno o sobnoj temperaturi i vlažnosti, utjecaj izloženosti svjetlu, učinci izloženosti dozimetara različitim vrstama ionizirajućeg zračenja, mehanički utjecaji, pogreške pri umjeravanju te varijabilnost prirodnog zračenja.

Rezultati su izraženi kao proširena mjerna nesigurnost razine pouzdanosti 95 % (uz faktor prekrivanja od 1,96), koja je dobivena kombinacijom oba tipa nesigurnosti A i B (pretpostavimo pravokutnu raspodjelu nesigurnosti tipa B):

$$U = 2u_c = 2\sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} = 2\sqrt{u_A^2 + \frac{1}{3} \sum_i a_i^2} \quad (1)$$

gdje je U proširena mjerna nesigurnost, u_c je standardna mjerna nesigurnost, u_A je mjerna nesigurnost tipa A, u_B je mjerna nesigurnost tipa B, a a_i je polovica raspona vrijednosti za pojedini izvor mjerne nesigurnosti koju bi, pretpostavimo, parametar i poprimio.

U rutinskim mjerenjima (ispitivanjima) svi su uvjeti prilagođeni, primjenjeni su određeni korekcijski (ECC) i kalibracijski (RCF) faktori. Uz primjenu navedenih faktora, izmjerena vrijednost istovjetna je naznačenoj vrijednosti. Te postavke uzrokuju mjernu nesigurnost koja može biti određena iz prethodno izmjerenih (npr. tipni test) odstupanja korekcijskih faktora (izraženi kao pola širine korekcijskog intervala), te izmjerenom odstupanju pribrojnika.

Dozimetri su zračeni u sekundarnom standardnom dozimetrijskom laboratoriju (SSDL) Instituta Ruđer Bošković sljedećim kvalitetama: N-40, N-60, N-100, N-150, N-200, N-250, ^{137}Cs , ^{60}Co i $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, te gdje je primjenjivo pod kutovima od 45° i 60° . Testovi za kutnu ovisnost, energijsku ovisnost, nelinearni odziv i koeficijent varijacije, aditivnost, "fading" i samoozračivanje napravljeni su u skladu s normom HRN IEC 61066:2007. Norma IEC 61066 ne propisuje uvjete za mjernu nesigurnost, ali su oni definirani publikacijom IAEA [2] gdje je definirano da standardna mjerna nesigurnost može biti manja ili jednaka 0,21. Vrijeme između zračenja i očitavanja je 24 h, osim kod testa za "fading".

REZULTATI

U Tablici 1 dan je pregled standardne mjerne nesigurnosti po utjecajnim veličinama za Harshaw TLD sustav te, zaključno, proširena

mjerna nesigurnost TLD sustava. U Tablici 2 dan je pregled budžeta mjerne nesigurnosti.

Tablica 1. Pregled utjecajnih veličina za Harshaw TLD sustav i njihov doprinos mjernoj nesigurnosti

Utjecajna veličina	Tip $u_A (a_i)$		Tip $u_B (a_i)$		Razdioba gustoće vjerojatnosti	Napomena
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$		
samoozračivanje	0,007	0,004			normalna	tipni test
aditivnost			0,011	0,012		tipni test
nelinearni odziv			0,033	0,024	pravokutna	tipni test
energijska i kutna ovisnost			0,105	0,103	pravokutna	tipni test
"fading"			0,033	0,020	pravokutna	tipni test
kalibracija			0,015	0,015	pravokutna	SSDL
utjecaji okoline			0,050	0,050	pravokutna	procjena
mehanički i elektromagn. utjecaji			0,050	0,050	pravokutna	procjena
RCF	0,0204	0,0198			normalna	kalibracija čitač
ECC	0,005	0,005			normalna	kalibracija detektor
$\sum_i u_x^2$	$4,9 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	0,019	0,017		
$U(H_p(10))$: 0,276				$U(H_p(0,07))$: 0,264		

Tablica 2. Budžet mjerne nesigurnosti

Utjecajna veličine	Udio u ukupnom budžetu, %	
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$
samoozračivanje	2,13	1,32
aditivnost	3,33	3,97
nelinearni odziv	10,02	7,93
energijska i kutna ovisnost	31,88	34,02
"fading"	10,02	6,61
kalibracija	4,56	4,95
utjecaji okoline	15,18	16,51
mehanički i elektromagnetski utjecaji	15,18	16,51
RCF	6,19	6,54
ECC	1,52	1,65

Mjerna nesigurnost za energetska i kutna ovisnost dozimetara, očekivano, daje najveći doprinos mjernoj nesigurnosti u odnosu na bilo koji drugi izvor pogreške. Najmanji doprinos daju korekcijski faktori pojedinog TL detektora (ECC) te samoozračivanje istih. Nadalje, mjerna nesigurnost za $H_p(0,07)$ odstupa manje od 5 % od mjerne nesigurnosti za $H_p(10)$.

Omjer očitane i stvarne vrijednosti svakog pojedinog detektora (oko 500 kom.) u granicama je Trumpet krivulje koja je definirana prihvatljivim granicama točnosti za određene vrijednosti doza.

ZAKLJUČAK

Napravljen je proračun mjerne nesigurnosti za mjerenje osobnog doznog ekvivalenta ($H_p(10)$ i $H_p(0,07)$) TL dozimetrima. Najveći doprinos mjernoj nesigurnosti daje energijska i kutna ovisnost, a najmanji samoozračivanje i korekcijski faktori pojedinih detektora (ECC). Mjerna nesigurnost opisanog TL sustava može se smanjiti ponovnom analizom utjecaja okoline te elektromagnetskih i mehaničkih utjecaja. Ukupna proširena mjerna nesigurnost ovog sustava ne odstupa od mjerne nesigurnosti koju je prijavila većina stručnih tehničkih servisa u Europi.

LITERATURA

- [1] Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008), Zajednički odbor za upute u mjeriteljstvu; 2008.
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation.. Safety Standards Series, Safety Guide (RS-G-1.3), Vienna: IAEA; 1999.
- [3] Izražavanje mjerne nesigurnosti pri umjeravanju (EA-4/02), Zagreb: Državni zavod za mjeriteljstvo (prijevod), 2008.
- [4] Termoluminescentni dozimetrijski sustavi za mjerenja doza u osobnoj dozimetriji i u okolišu (IEC 61066:2007), Zagreb: Hrvatski zavod za norme; 2007.
- [5] Ling Z. Luo, Long term study of Harshaw TLD LiF – LLD and uncertainty. Radiat Meas 2010;45(3-6):569–572.
- [6] Ling Z. Luo, Long term study of Harshaw TLD LiF – Glow curve peaks and sensitivities. Radiat Meas 2011;46(12):1448-1452.
- [7] Ling Z. Luo, Kenneth J, Velbeck J, Rotunda E. Experience of type testing Harshaw advanced TLD system to new IEC-61066 standard. Radiat Meas 2008;43(2-6):594-598.

UNCERTAINTY BUDGET FOR MEASUREMENT OF PERSONAL DOSE EQUIVALENT $H_p(10)$ AND SKIN DOSE EQUIVALENT $H_p(0.07)$ USING TL DOSEMETERS

Robert Bernat, Branko Vekić and Maja Vojnić Kortmiš

Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

rbernat@irb.hr

The uncertainty budget for measurements of personal dose equivalent $H_p(10)$ and skin dose equivalent $H_p(0.07)$ was performed on the ThermoFisher Scientific (Harshaw) system (model 6600 reader and thermoluminescent dosimeters (TLD) LiF: Mg,Ti), according to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM) guidelines.

This paper gives an overview of components which enter into the calculation of the so-called fish-bone approach for uncertainty evaluation. For purposes of the uncertainty budget, the type testing against the requirements of HRN IEC 61066:2007 was made. Measurements itself, as well as the calculation of measurement uncertainty, were performed for the personal dose equivalent $H_p(10)$ as well as for the skin dose equivalent $H_p(0.07)$. The type test includes tests for linearity, energy and angular dependence, additivity and signal fading.

Results are expressed as an expanded uncertainty with confidence of 95 % (a factor overlay of 1.96), which is obtained by combining two types of uncertainty, type A and type B.

Measurements were carried out for 20 months, and for the purposes of testing more than 500 TL dosimeters were used. Dosimeters were irradiated in the Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) at the Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia with an energy range from 33 keV to 1.33 MeV.

The highest contribution to the overall uncertainty gives energy and angular dependence; the lowest gives self-irradiation and correction factors of individual detectors (ECC). Overall uncertainty of described TL system could be reduced by reanalysis of electromagnetic, environmental and mechanical effects. The total expanded uncertainty of this system does not deviate from the uncertainty reported by the majority of technical services in Europe.

USPOREDBA TL I RPL DOZIMETARA ZA MJERENJA DOZA U OKOLINI

*Mária Ranogajec-Komor¹, Željka Knežević¹, Harald Dombrowski²
i Stefan Neumaier²*

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

²Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Njemačka
marika@irb.hr

UVOD

Integralni, pasivni dozimetri čvrstog stanja, kao što su termoluminescentni (TL), radiofotoluminescentni (RPL) i optički stimulirani luminescentni (OSL) dozimetri, vrlo su učinkoviti u monitoringu doza zračenja u okolini [1]. TL dozimetri se u rutinskom monitoringu [2-5] na Institutu Ruđer Bošković (IRB) koriste već dugi niz godina te su bili predmet međunarodnih istraživanja [3-6]. RPL dozimetri još do danas nisu službeno uvršteni u rutinski monitoring u Hrvatskoj usprkos tome da su u interkomparacijama pokazali vrlo dobre rezultate [3,5], a rukovanje i način mjerenja su jednostavni. Prednost RPL dozimetara je i da oni spadaju u akumulacijski tip dozimetara, tj. dozimetri se mogu uzastopno više puta očitavati bez brisanja signala.

Zbog harmonizacije postupaka mjerenja doza u okolini u Europi postoji stalna potreba za interkomparacijom različitih dozimetrijskih sustava. Interkomparacija služi za unapređenje i poboljšanje metoda monitoringa okoline, a istovremeno služi i kao periodična kontrola kvalitete pojedinih dozimetrijskih sustava [3,7]. U 2012. godini PTB je organizirao međunarodnu interkomparaciju za 14 različitih dozimetrijskih sustava sa ciljem osiguranja kvalitete pasivnih dozimetrijskih sustava. Interkomparacija je bila usmjerena na provjeru jesu li apsolutne vrijednosti doza dobivene dozimetrijskim sustavima, koji su sudjelovali u interkomparaciji, u skladu s referentnim vrijednostima PTB-a.

U ovom radu opisani su rezultati međurodne interkomparacije TL i RPL dozimetrijskih sustava koji se koriste na IRB za mjerenja doza u okolini.

MATERIJAL I METODE

IRB je sudjelovao u međunarodnoj interkomparaciji dozimetara s dva dozimetrijska sustava. TL sustav je sastavljen od tri detektora na bazi LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H), CaF₂:Mn i Al₂O₃:C, a RPL stakleni dozimetri su bili tipa SC-1 [8]. Da bi se pristupilo ovim mjerenjima potrebno je bilo prethodno testirati TL i RPL sustave [1,8] prema međunarodnom standardu [9]. Parametri dozimetrijskih sustava i načina evaluacije prikazani su u ranijim radovima [5,10] dok je postupak mjerenja doza u okolini pretežno bio u skladu s protokolom opisanim u radovima [3,5,10].

U ovoj interkomparaciji polazilo se od pretpostavke da je transportna doza na odlasku jednaka transportnoj dozi u povratku. Transportni dozimetri su poslani zajedno s terenskim mjernim dozimetrima u PTB i ostali su tamo do izlaganja u referentnom polju terenskih dozimetara. Nakon početka monitoringa transportni dozimetri su poslani natrag na IRB gdje su pohranjeni u olovni toranj do dolaska svih dozimetara iz PTB-a. Mjesto pohrane transportnih, kalibracijskih i kontrolnih dozimetara bio je olovni toranj na IRB-u u kojem je poznata brzina doze.

Korigirana doza gama zračenja (D_{Li}) na lokaciji i računa se:

$$D_{Li} = D_i - D_t + \dot{D} \times t_m \quad (1)$$

gdje D_i : izmjerena doza na lokaciji i

D_t : izmjerena transportna doza

$\dot{D}$: brzina doze po danu na mjestu gdje se pohranjuju transportno dozimetri za vrijeme monitoringa

t_m : vrijeme mjerenja (monitoringa) na lokaciji (dani).

Dozimetri su bili ozračeni tijekom 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 ¹³⁷Cs u primarnom standardnom laboratoriju PTB-a [7]. Na izvoru je dodatno ozračen dio dozimetara koji su bili 6 mjeseci na otvorenoj lokaciji. Doza ozračivanja na ¹³⁷Cs je: $D_{Cs} = 10 \times D_{otvoreno}$.

Sve vrijednosti izražene su kao ambijentalni dozni ekvivalent $H^*(10)$ prema Europskoj direktivi 96/29 [11].

REZULTATI

Rezultati usporedbe TL i RPL dozimetara u referentnim poljima zračenja te usporedbe izmjerenih i referentnih vrijednosti prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Rezultati usporedbe TL i RPL dozimetara

Način ozračivanja	Rezultat	RPL	TL
Otvoreno polje	Izmjerena doza* (mSv)	0,30	0,32
	Omjer **	1,01	1,09
	Rel. mjerna nesigurnost (%)	7,8	3,4
	Referentna vrijednost (mSv)	0,30	
Ozračivanje na izvoru ¹³⁷ Cs ***	Izmjerena doza* (mSv)	4,94	4,61
	Omjer **	0,96	0,90
	Rel. mjerna nesigurnost (%)	1,2	2,8
	Referentna vrijednost (mSv)	5,15	
Kozmičko zračenje	Izmjerena doza* (mSv)	0,17	0,18
	Omjer **	1,08	1,13
	Rel. mjerna nesigurnost (%)	2,5	3,6
	Referentna vrijednost (mSv)	0,16	
Transportna doza	Izmjerena doza (mSv)	0,02	0,05
Zračenje iz tla ****	Izmjerena doza* (mSv)	0,13	0,14
	Omjer **	0,92	1,05
	Rel. mjerna nesigurnost (%)	65,9	38,4
	Referentna vrijednost (mSv)	0,14	

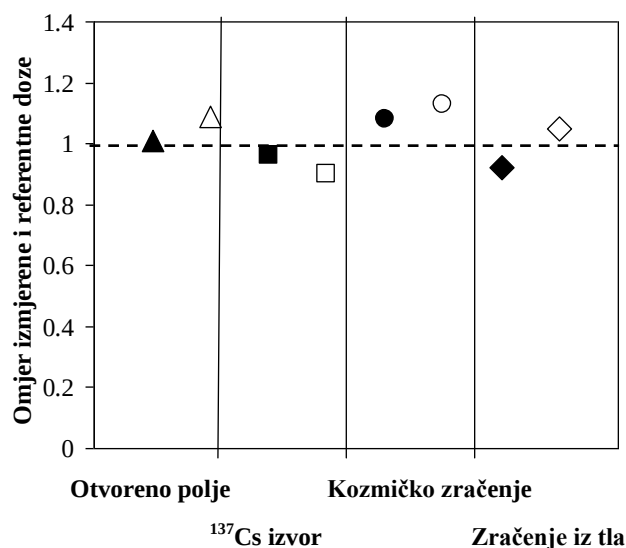
* Izmjerene doze su izražene kao $H^*(10)$

** Omjer izmjerene i referentne vrijednosti

*** Ozračivanje s deseterostrukom dozom od prirodne doze zračenja na referentnom mjestu

**** $Doza_{tlo} = Doza_{otvoreno} - Doza_{kozmičko}$

Omjeri na tri lokacije i izračunata komponenta zračenja iz tla dobiveni s RPL i TL dozimetrima prikazani su na Slici 1.



Slika 1. Omjer izmjerene i referentne vrijednosti doza različitih komponenta zračenja. Puni simboli: RPL dozimetri, Prazni simboli: TL dozimetri

Rezultati TL i RPL dozimetara ne pokazuju sustavnu razliku. Doze u otvorenom polju (0,30 mSv s RPL i 0,32 mSv sa kombiniranim TL dozimetrima) odgovaraju prirodnoj dozi zračenja u okolini za vrijeme monitoringa (6 mjeseci). Omjeri izmjerene vrijednosti doze sa TL i RPL dozimetrima prema referentnoj vrijednosti PTB-a su bili 1,01 i 1,09 u otvorenom polju u okolini, 0,94 i 0,90 nakon ozračivanja deseterostrukom dozom prirodnog zračenja, 1,08 i 1,13 za kozmičko zračenje te 0,92 i 1,05 za zračenje iz tla (Slika 1).

ZAKLJUČAK

Sudjelovanje u međunarodnoj interkomparaciji unapređuje dozimetrijske metode, poboljšava osiguranje kvalitete i neophodno je u postupcima akreditacije. Rezultati IRB-a u interkomparaciji dozimetara za mjerenja doza u okolini, organiziranu od strane PTB-a, pokazali su da je omjer izmjerene vrijednosti doze sa TL i RPL dozimetrima prema referentnoj vrijednosti PTB-a unutar 10 %. Nije bilo sustavne razlike između rezultata za TL i RPL dozimetre. Doze u otvorenom polju odgovaraju prirodnoj dozi zračenja u okolini za vrijeme monitoringa (6 mjeseci).

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] Vekić B, Ranogajec-Komor M, Korenika DŽ, Dvornik I, Vrhovac A, Šojat V. Mjerenje doza zračenja u SR Hrvatskoj. U: Mihajlov A, ur. Zbornik radova XIV jugoslavenskog simpozija za zaštitu od zračenja, 8-11. lipnja 1987; Novi Sad, Jugoslavija. Beograd: Jugoslavensko društvo za zaštitu od zračenja; 1987. str. 56-63.
- [3] Ranogajec-Komor M, Vekić B, Piesch E, Burgkhardt B, Szabó PP. Intercomparison of solid state dosimeters within environmental monitoring. Radiat Prot Dosim 1996;66:139-144.
- [4] Ranogajec-Komor M, Klemic G, Sengupta S, Knežević Ž, Raccach F, Vekić B. Investigation of the performance of $^7\text{LiF:Mg,Cu,P}$ under environmental conditions. Radiat Prot Dosim 1999;85:217-222.
- [5] Ranogajec-Komor M, Klemic G, Uray I. Thermoluminescence dosimetry in environmental monitoring. (70-01). In: Obelić B, Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Krajcar Bronić I, eds. CD-ROM Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe "Radiation Protection and Health", May 20-25, 2001; Dubrovnik, Croatia. Zagreb: CRPA; 2002.
- [6] Štuhec M, Zorko B, Mitić D, Miljanić S, Ranogajec-Komor M. Quality assurance of environmental gamma radiation monitoring in Slovenia. Radiat Prot Dosim 2006;121:191-194.
- [7] Dombrowski H, Neumaier S. Long-term PTB intercomparison of passive H*(10) dosimeters used in area monitoring. JINST 2012;7:P04017.
- [8] Ranogajec-Komor M, Knežević Ž, Miljanić S, Vekić B. Characterisation of radiophotoluminescent dosimeters for environmental monitoring. Radiat Meas 2008;43:392-396.
- [9] International Electrotechnical Commission (IEC). Radiation protection instrumentation - passive integrating dosimetry systems for environmental and personal monitoring - Part 1: General characteristics and performance requirements. EC 62387-1:2007. modified IEC; Geneva: IEC; 2007.
- [10] Ranogajec-Komor M, Mócsy I, Csige I, Knežević Ž. Mjerenje doze u okolini s TL i RPL dozimetrima. 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; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2011. str. 82-87.
- [11] 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.

COMPARISON OF TL AND RPL ENVIRONMENTAL DOSEMETERS

*Mária Ranogajec-Komor¹, Željka Knežević¹, Harald Dombrowski²
and Stefan Neumaier²*

¹Ruđer Bošković Institute (RBI), Zagreb, Croatia

²Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany
marika@irb.hr

To harmonise environmental radiation monitoring in Europe there is a constant need for intercomparisons, which help to improve environmental monitoring methods and serve as periodic quality control at the same time. A large scale intercomparison was organized by PTB for quality assurance of passive solid state environmental dosimeters, i.e. to check that the absolute dose values of the participating dosimetry systems are in agreement with the PTB reference values. RBI participated with two dosimeter systems: thermoluminescence (TL) and radiophotoluminescence (RPL) dosimeters. The TL dosimeter set contains three different detectors LiF:Mg,Cu,P,(TLD-100H), CaF₂:Mn and Al₂O₃:C, while the RPL glass dosimeter type SC-1 was applied.

Three sets of dosimeters were prepared for irradiation by PTB: The first for free-field dose measurements at a dedicated PTB reference measuring site, the second for an additional artificial irradiation with 10 times the field dose and the third for an exposure at the PTB reference measuring site for cosmic radiation. In addition to the dosimeters to be tested, control and transport dosimeters were prepared for corrections. The reference values of all irradiations (natural and artificial) are traceable to the primary PTB standards.

Results obtained by TL and RPL dosimeters did not show systematic differences. The dose values measured on the free-field (0.30 mSv with RPL and 0.32 mSv with combined TL dosimeters) correspond to the natural integral background in the environment during the monitoring period (6 months). The ratio of the response of the RPL and the TL dosimeters to the reference value was within 10 %.

INTERCOMPARISON OF ENVIRONMENTAL DOSEMETERS USING VARIOUS TL MATERIALS AND DOSIMETRY SYSTEMS

*Benjamin Zorko¹, Željka Knežević², Boštjan Črnič¹, Marija Majer²,
Sandi Gobec¹ and Mária Ranogajec-Komor²*

¹Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

benjamin.zorko@ijs.si

INTRODUCTION

External gamma radiation from radionuclides naturally present in the environment or released from man-made practices or events is usually an important component of the exposure of human populations. The measurement of environmental gamma ray doses can provide important information for the evaluation of external irradiation of general population. The natural external radiation can be divided into cosmic radiation, radiation of primordial radionuclides in the earth's crust (⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U) and airborne component (radon and its progeny). The man-made external radiation consists of radionuclides generated either for or from nuclear, medical and industrial installations.

For environmental dosimetry different passive solid state dosimeters can be applied [1]. The dosimeter systems have to fulfil the requirement to measure the man-made contribution to environmental radiation under variable environmental conditions (UV sunlight, humidity, temperature). To reach international standards and to improve the environmental dosimetry methods there is a need for intercomparisons.

The aim of the present work was to compare the ambient dose equivalent ($H^*(10)$) values determined at 20 sites around NPP Krško, using thermoluminescence (TL) dosimeters with different TL materials and radiophotoluminescence (RPL) dosimetry system.

MATERIAL AND METHODS

Dosimeter systems

The Jožef Stefan Institute (JSI), Ljubljana, Slovenia applied CaF₂:Mn (TLD-400) TL detectors developed in JSI. These dosimeters were read out

by an in-house semiautomatic TL dosimeter reader (TLD-MR-200 C), which has been used successfully for almost 20 years in personal and environmental dosimetry [2]. The measuring parameters can be easily changed, which makes the MR-200 C system suitable for experiments with different thermoluminescent materials. The working procedures for reading the doses and the preparation of the dosimeters are exactly explained elsewhere [3].

The Ruđer Bošković Institute (RBI), Zagreb, Croatia applied LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H), CaF₂:Mn and Al₂O₃:C TL detectors as well as radiophotoluminescence (RPL) glass dosimeters type SG1 [4]. TL detectors were evaluated with a TOLEDO 654 (Vinten) reader [5] while for RPL FGD-202 reader was used [4].

All dosimeters provided by JSI were calibrated by ¹³⁷Cs source in the ambient dose equivalent $H^*(10)$, a quantity which is widely used in environmental dosimetry. The calibrations were performed in the Laboratory for dosimetry standards at JSI [6].

The dosimeters provided by RBI were calibrated in air kerma using ¹³⁷Cs source in the Secondary Standard Dosimetry Laboratory of RBI [7]. The $H^*(10)$ values were calculated according to [8].

Protocol

Two groups of dosimeters were prepared for field dose measurements. The dosimeters from the Group 1 were deployed at 10 locations in Slovenia and the sites were labelled from 11 to 20. The dosimeters from the Group 2 were deployed at 10 locations in Croatia. They were labelled from 1 to 10. On all locations routine environmental monitoring is carried out continuously for the Krško nuclear power plant. At each location JSI had 2 dosimeters, each contained 2 TLD-400 detectors, RBI applied at each location one TL dosimeter with three detectors and one RPL dosimeter.

The dosimeters were placed at the same locations in as much as possible same conditions, packed in plastic bags or similar material, 1 m above the ground, and away from buildings and other objects that could influence, block or veil the flux of the external radiation to the detector.

The calibration, control and transport detectors (not deployed in the environment) were held in dark storage containers with known dose rate and used to determine the transport and background radiation which was subtracted from the measured values for the dosimeters set outside [9]. The TL responses were also corrected for individual sensitivity of the detectors.

All ambient dose equivalents in this intercomparison were calculated to the monitoring time of the dosimeters in the environment.

RESULTS

Table 1 shows the summarised experimental results for the Group 1, i.e. the mean value of results reported by JSI and by RBI at the locations in Slovenia. The accumulated ambient dose equivalent $H^*(10)$ for the IJS dosimeters (Mean SLO) and the RBI dosimeters (Mean TL+RPL) averaged over the sites labelled by 12 to 20 was (0.40 ± 0.03) mSv. These doses were obtained from the dosimeters which are deployed in the countryside. The average ambient dose equivalent obtained by the dosimeters at the location 11 was (0.29 ± 0.01) mSv, which was placed above the area where the soil was removed and re-filled with the gravel.

Table 1. $H^*(10)$ at various locations in Slovenia reported by JSI and RBI (Group 1). Monitoring time: 176 days

Location SLO	Mean CRO TL	Mean CRO (TL+RPL)	Mean SLO TLD-400
	$H^*(10)$ [mSv]		
11	0.30 $\pm$ 0.05	0.30 $\pm$ 0.05	0.28 $\pm$ 0.04
12	0.46 $\pm$ 0.07	0.44 $\pm$ 0.07	0.43 $\pm$ 0.06
13	0.41 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.05	0.38 $\pm$ 0.06
14	0.46 $\pm$ 0.07	0.45 $\pm$ 0.07	0.45 $\pm$ 0.07
15	0.46 $\pm$ 0.06	0.38 $\pm$ 0.06	0.44 $\pm$ 0.07
16	0.41 $\pm$ 0.06	0.38 $\pm$ 0.06	0.38 $\pm$ 0.06
17	0.40 $\pm$ 0.08	0.50 $\pm$ 0.08	0.39 $\pm$ 0.06
18	0.42 $\pm$ 0.06	0.38 $\pm$ 0.06	0.37 $\pm$ 0.06
19	0.38 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.05	0.37 $\pm$ 0.06
20	0.44 $\pm$ 0.06	0.40 $\pm$ 0.06	0.39 $\pm$ 0.06

The average $H^*(10)$ for the IJS TLD-400 was (0.43 ± 0.03) mSv while for the combined RBI $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ (TLD-400), LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H), $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$, and RPL dosimeters were (0.47 ± 0.03) mSv, (0.40 ± 0.05) mSv, (0.41 ± 0.04) mSv, and (0.40 ± 0.06) mSv, respectively. From these results it can be seen that the $H^*(10)$ obtained by the dosimeters of various types deployed in the countryside fluctuate less than 10 %. The highest $H^*(10)$ values were measured with $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ detectors reported by RBI. It is well-

known that $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ detectors show enhanced read-out sensitivity for the photon energies below 200 keV. According to the measurement protocol at the JSI the measured results for the $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ were multiplied by a factor of 0.88, thus the values are lower than those reported by the RBI. The ratio between the results reported by the JSI and RBI for the $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ was (0.86 ± 0.02) .

The results reported by JSI and RBI for the dosimeters used in the Group 2 are shown in Table 2. The average $H^*(10)$ for the TLD-400 dosimeters for the sites labelled from 1 to 10 was (0.40 ± 0.07) mSv while the average $H^*(10)$ obtained by RBI dosimeters was (0.39 ± 0.06) mSv.

Table 2. $H^*(10)$ at various locations in Croatia reported by JSI and RBI (Group 2). Monitoring time: 174 days

Location CRO	Mean SLO TLD-400	Mean CRO (TL-RPL)	Mean CRO TL
	$H^*(10)$ [mSv]		
1	0.49 $\pm$ 0.07	0.47 $\pm$ 0.09	0.48 $\pm$ 0.06
2	0.44 $\pm$ 0.06	0.40 $\pm$ 0.10	0.42 $\pm$ 0.08
3	0.45 $\pm$ 0.07	0.47 $\pm$ 0.08	0.50 $\pm$ 0.03
4	0.43 $\pm$ 0.06	0.38 $\pm$ 0.13	0.37 $\pm$ 0.11
5	0.29 $\pm$ 0.04	0.31 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.05
6	0.36 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.06	0.38 $\pm$ 0.02
7	0.45 $\pm$ 0.06	0.43 $\pm$ 0.09	0.46 $\pm$ 0.07
8	0.33 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.07	0.32 $\pm$ 0.05
9	0.45 $\pm$ 0.07	0.41 $\pm$ 0.09	0.43 $\pm$ 0.07
10	0.33 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.05	0.34 $\pm$ 0.05

From data in Tables 1 and 2 the average ratio of the $H^*(10)$ reported by JSI and RBI for both groups of dosimeters can be calculated. For the Group 1 the average ratio was 0.94, ranging from 0.88 to 0.99. The average ratio for the dosimeters from the Group 2 was 1.00, found in the interval from 0.89 to 1.17.

CONCLUSION

The comparison between the measurement results reported by two independent institutions from Slovenia and Croatia was performed with a satisfactory outcome. All the results reported by the JSI and RBI were found

comparable within the measurement uncertainty. This conclusion is very important from the point of view that the results were obtained by various TL materials, and different dosimetry systems (TL and RPL) which utilize different measurement protocols. The outcome should emphasize also in the manner that the results obtained and reported in the intercomparison can be traceable to the primary standards.

REFERENCES

- [1] Ranogajec-Komor M. Passive solid state dosimeters in environmental monitoring. In: New techniques for the detection of nuclear and radioactive agents (Ed. Aycick GA). Dordrecht, The Netherlands; Springer: 2009; 97-112.
- [2] Zorko B, Miljanić S, Vekić B, Štuhec M, Gobec S, Ranogajec-Komor M. Intercomparison of dosimetry systems based on $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ TL detectors. *Radiat Prot Dosim* 2006;119:300-305.
- [3] Rupnik Z, Miklavžič U, Diallo B, Mihelič M. Control and data processing of thermoluminescent analyzer. In: NI Days 2001, A Technical Symposium on Measurement and Automation, National Instruments Italia, 2001, 59-60.
- [4] Knežević Ž, Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Vekić B. Karakterizacija RPL dozimetara za mjerenje doza u okolini. U: Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 29-31. svibnja 2008; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2008. str. 83-88.
- [5] Knežević Ž, Krpan K, Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Vekić B, Rupnik Z. Povezivanje termoluminescentnog čitača s računalom te razvoj programa za obradu mjernih podataka. U: Zbornik radova Šestoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 18-20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2005. str. 111-116.
- [6] Štuhec M, Zorko B, Vekić B, Miljanić S, Basić B, Ban R. Harmonization of individual dosimetry quality control within metrology system of a small country. *Radiat Prot Dosim* 2007;125:117-120.
- [7] Vekić B, Ban R, Miljanić S. Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij Instituta Ruđer Bošković, Zagreb. *Arh Hig Rada Toksikol* 2006;57:189-194.
- [8] International Organization for Standardization (ISO). X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy – Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Measurement of Their Response as a Function of Energy and Angle of Incidence. International standard ISO 4037-3. Geneve: ISO; First Edition 1999.
- [9] Ranogajec-Komor M, Vekić B, Piesch E, Burgkhardt B, Szabo P P. Intercomparison of solid state dosimeters within environmental monitoring. *Radiat Prot Dosim* 1996;66:139-144.

INTERCOMPARISON OF ENVIRONMENTAL DOSEMETERS USING VARIOUS TL MATERIALS AND DOSIMETRY SYSTEMS

*Benjamin Zorko¹, Željka Knežević², Boštjan Črnič¹, Marija Majer²,
Sandi Gobec¹ and Mária Ranogajec-Komor²*

¹Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

benjamin.zorko@ijs.si

The aim of the present work was to compare the ambient dose equivalent ($H^*(10)$) values determined at 20 sites around NPP Krško, using different thermoluminescence (TL) materials and various dosimetry systems. The $H^*(10)$ was measured by the $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ (TLD-400) provided by the Jožef Stefan Institute (JSI) Ljubljana, Slovenia. These dosimeters were deployed in the environment in plastic bags and suspended inside the plastic bottles. On the other hand the Ruder Bošković Institute (RBI), Zagreb, Croatia applied LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H), $\text{CaF}_2\text{:Mn}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ TL detectors and radiophotoluminescence (RPL) glass dosimeters type SG1. They were placed at the same locations in as much as possible same conditions as JSI detectors.

According to the protocol established for this intercomparison, the control and transport detectors (not deployed in the environment) were held in dark storage containers and used to determine the background radiation. The TL responses were corrected for individual sensitivity of the TL detectors which is an important factor after the calibration irradiations. The calibration irradiations were performed by ^{137}Cs sources provided in Secondary Standard Dosimetry Laboratory facilities at the JSI and RBI.

The results obtained by different TL materials and different dosimetry systems show interesting features especially concerning local environmental peculiarities. The $H^*(10)$ obtained by the dosimeters of various types deployed in the countryside fluctuate less than 10 %. The outcome should emphasize also in the manner that the results obtained and reported in the intercomparison are traceable to the primary standards.

BIOLOŠKI UČINCI ZRAČENJA
BIOLOGICAL EFFECTS OF RADIATION

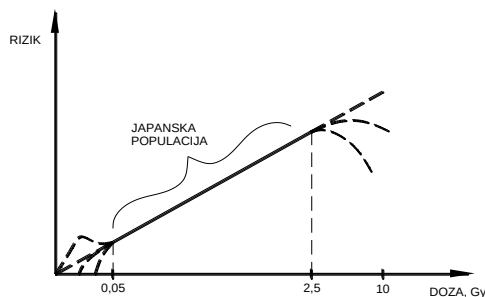
INTRIGANTNA VEZA RIZIKA I MALIH DOZA

Marija Majer, Željka Knežević i Saveta Miljanić
Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska
mmajer@irb.hr

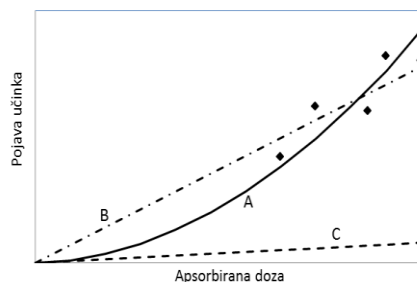
UVOD

Svaka primjena ionizirajućeg zračenja u dijagnosticiranju i liječenju bolesti, osim iznimno velike dobrobiti, predstavlja nažalost i potencijalnu opasnost za nastanak štetnih posljedica. Stoga kada je u pitanju primjena ionizirajućeg zračenja vrlo je važno znati kakve rizike, tj. štetne posljedice po zdravlje ljudi, možemo očekivati ovisno o primljenoj dozi zračenja. Posebice je važno poznavati vezu rizika za nastanak karcinoma pri upotrebi malih doza ionizirajućeg zračenja.

Današnja slika ovisnosti rizika i doza prikazana je na Slici 1. Za područje srednjih doza epidemiološki podaci i radiobiološka saznanja podržavaju tzv. linearni model bez praga (*Linear No-Threshold*, LNT). Drugim riječima, ovisnost je linearna i svaka doza predstavlja rizik. Iako i za manje doze postoje epidemiološki podaci, statistička ograničenja, tj. nepouzdanost tih podataka, otežavaju procjenu rizika. Isprekidane linije na Slici 1 prikazuju neke od mogućih scenarija.



Slika 1. Ovisnost rizika o dozi



Slika 2. Ovisnost učestalosti učinka zračenja o dozi za područje do nekoliko Gy

Za područje malih doza najprihvaćeniji je LNT model, dok se za velike doze očekuje odstupanje od linearnosti i smanjivanje rizika.

U ovom radu ograničit ćemo se na procjenu rizika za nastanak karcinoma od malih (do 0,1 Gy) i srednjih doza (od 0,1 do 2,5 Gy) X i γ -zračenja te elektrona koristeći se LNT modelom i rezultatima iz izvještaja BEIR VII [1]. U sljedeća dva poglavlja opisani su važni koraci i saznanja korišteni za procjenu rizika.

PROCJENA RIZIKA ZA MALE DOZE

Rizik za male doze procjenjuje se ekstrapolacijom poznatih epidemioloških podataka i korištenjem radiobioloških saznanja.

Interakcija zračenja sa stanicama je slučajna tj. stohastičan proces. Uz pretpostavku da je vjerojatnost interakcije opisana Poissonovom raspodjelom, u području do nekoliko Gy ovisnost učinka zračenja E o dozi D može se opisati kvadratnom funkcijom (krivulja A na Slici 2):

$$E(D) = \alpha D + \beta D^2 \quad (1)$$

Linearni član predstavlja jednostruke, a kvadratni dvostruke pogotke stanice. U području srednjih doza umjesto relacije (1) dovoljno je koristiti linearnu aproksimaciju (pravac B na Slici 2, tzv. LNT model) jer je greška koja se time unosi u procjenu rizika puno manja od one koju unose nepouzdanosti samih podataka (simboli na Slici 2). Jedino se za leukemiju mora primijeniti relacija (1). Za male doze vjerojatnost dvostrukog pogotka stanice je zanemariva, pa se kvadratni član u relaciji (1) može zanemariti i dobiva se pravac C na Slici 2. Linearna ekstrapolacija podataka (dobivenih na većim dozama i brzinama doza) na male doze (pravac B na Slici 2) daje prevelike učinke. Stoga se tako dobiveni rezultati moraju umanjiti za redukcijski faktor (*Dose and Dose-Rate Effectiveness Factor*, DDREF) koji je jednak omjeru koeficijenata smjerova pravaca C i B na Slici 2. Redukcijski faktor se procjenjuje statističkim metodama (Bayesova analiza) i on je jedan od većih izvora nepouzdanosti u kasnijoj procjeni rizika. U BEIR VII [1] se koristi vrijednost 1,5. Rezultati radiobioloških eksperimenata slažu se da je u području doza 20 – 100 mGy veza učinka i doze najvjerojatnije linearna. Iako postoje rezultati koji potvrđuju linearnost i za manje doze, ovisnost ispod oko 20 mGy nije jasna.

EPIDEMIOLOGIJA I LSS POPULACIJA

Vezu između zračenja i pojave karcinoma kod ljudi epidemiolozi pokušavaju dobiti prateći i uspoređujući ozračenu i neozračenu populaciju. Za procjenu rizika uvedene su veličine EAR (*Excess Absolute Risk*), ERR (*Excess Relative Risk*) i RR (*Relative Risk*) definirane kao:

$$EAR = h - h_o \quad (2)$$

$$ERR = (h / h_o) - 1 = RR - 1 \quad (3)$$

pri čemu su:

h = broj oboljelih od karcinoma u ozračenju populaciji

h_o = broj oboljelih od karcinoma u populaciji koja nije bila ozračena

Životni rizik za obolijevanje od karcinoma (*Lifetime Attributable Risk*, LAR) predstavlja vjerojatnost da ozračena osoba tijekom svog života oboli od karcinoma izazvanog zračenjem. Za osobu koja je u dobi e primila dozu D , LAR je

$$LAR(D, e) = \sum_{a=e+L}^{a_{max}} M(D, e, a) \frac{S(a)}{S(e)} \quad (4)$$

pri čemu su:

a = doživljena dob

e = dob u kojoj je osoba ozračena

L = razdoblje tijekom kojeg se ne očekuje pojava karcinoma uzrokovanog zračenjem ($L = 2$ za leukemiju, a $L = 5$ za ostale)

$S(a)$ = vjerojatnost da osoba doživi dob a

$S(e)$ = vjerojatnost da osoba doživi dob e

$M(D, e, a)$ je $EAR(D, e, a)$ ili $ERR(D, e, a)$ ili neka njihova kombinacija ovisno o tome kako se radi prijelaz s populacije za koju imamo podatke na druge populacije. U slučaju kada je h_o neovisan o populaciji prikladniji je EAR, a kada se značajno razlikuje bolji je ERR (npr. Japanci imaju puno veći h_o od bijelaca za karcinom želuca i jetre, a manji za grudi, pluća i štitnjaču). Prijelaz s jedne na drugu populaciju je jedan od većih izvora nepouzdanosti konačnih procjena rizika. U [1] se nalaze rezultati za životni rizik za obolijevanje od karcinoma za različite radioosjetljive organe ovisno o dobi i spolu osobe koja je primila dozu 0,1 Gy pomoću kojih se mogu procijeniti rizici za druge doze i dobi. Prema tim rezultatima rizici za djecu su najveći i smanjuju se s dobi. Za većinu radioosjetljivih organa rizik za žene je veći nego za muškarce. Najveći LAR-ovi za žene su za karcinom grudi, pluća i štitnjače, a za muškarce za debelo crijevo i pluća.

Najveću epidemiološki proučavanu populaciju čini oko 120 000 osoba iz Hiroshime i Nagasakija koje su preživjele eksploziju atomske bombe (LSS populacija, *Life Span Study*). Navedena populacija predstavlja najvažniji izvor podataka za procjenu rizika jer, osim što je brojčano

najveća, uključuje osobe oba spola i svih godina, ozračene po cijelom tijelu, te dug period praćenja (od popisa stranovništva 1950. do 2000. godine). Međutim, LSS populacija, ima i brojna ograničenja koja treba uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata. Populaciju čine Japanci i to oni koji su preživjeli početne učinke zračenja i koji su bili izloženi zračenju visoke brzine doze, tako da se na temelju LSS populacije ne može dobiti informacija o utjecaju brzine doze na rizik. Procjene rizika dobivene su većinom na temelju doza iznad 0,5 Gy, a podaci o dozama izračunati su pomoću DS86 i novijeg DS02 dozimetrijskog proračuna [2,3]. Prvi karcinom koji je povezan sa zračenjem u LSS populaciji je leukemija. Leukemija ima najveći relativni rizik (44 % u [4]) i jedini je karcinom za koji linearna ovisnost nije prikladna nego se ovisnost rizika o dozi opisuje kvadratnom funkcijom.

PROCJENA RIZIKA ZA DJECU ZBOG RADIOKIRURGIJE NA GAMMA KNIFE-U

Dozimetrijska grupa na IRB-u u okviru projekta zaštite od zračenja u u medicini uključila je i procjenu rizika. Do sada su napravljena dozimetrijska mjerenja i procjena rizika za:

- odrasle pacijente zbog višestrukog CT prsišta [5] i
- djecu zbog radiokirurškog zahvata na Gamma Knife-u [6,7].

Tablica 1. Procjena rizika za pojavu sekundarnog karcinoma za desetogodišnje dječake i djevojčice zbog ozračivanja pri radiokirurškom zahvatu Gamma Knife-om. Svi podaci o mjerenjima su u [6,7].

Organ	Težinski faktor, W_T [8]	Mjerena doza (mGy)	LAR*	
			Dječaci	Djevojčice
Štitnjača	0,04	85	43	234
Pluća	0,12	40	86	200
Jetra	0,04	19	8	4
Želudac	0,12	15	8	11
Mokraćni mjehur	0,04	7	11	11
Debelo crijevo	0,12	9	22	15
Jajnici	0,08	8	-	6
Maternica	0,01	7	-	3
Prostata	0,01	7	4	-
Grudi	0,12	50	-	354

*Broj karcinoma u 10^5 ozračene djece

Procjena rizika za djecu je posebno važna jer ona predstavljaju populaciju za koju se očekuje da dožive životnu dob kada se mogu pojaviti sekundarni karcinomi uzrokovani zračenjem. Rezultati za LAR prikazani u Tablici 1 izračunati su na temelju srednje mjerene doze u pojedinim organima antropomorfnog fantoma koji odgovara desetogodišnjem djetetu.

ZAKLJUČAK

Broj radioloških pregleda, te postotak višegodišnjeg preživljavanja pacijenata nakon radioterapije i radiokirurgije su u stalnom porastu. Zbog svega toga, procjena rizika je jako važna. Usavršavanje postojećih modela kao i nova saznanja u području najmanjih doza željno se očekuju.

LITERATURA

- [1] National Research Council Committee (NRCC). Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR VII) – Phase 2. Washington: National Academy of Sciences; 2006.
- [2] Young R W, Kerr G D. Report of the joint US-Japan working group. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki – Dosimetry System 2002. The Radiation Effects Research Foundation, 2005.
- [3] Kerr G D. DS86 and DS02 organ dose calculations. Radiat Prot Dosim 2011; 1-6.
- [4] Pierce D A, Preston D L. Radiation-related cancer risk at low doses among atomic bomb survivors. Radiat Res 2000;154:178-186.
- [5] Knežević Ž, Majer M, Popić-Ramač J. Procjena doza i rizika na pojedinim organima za CT prsišta. Zbornik radova Devetoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 2013.
- [6] Miljanić S, Hršak H, Knežević Ž, Majer M, Heinrich Z. Periferne doze kod djece liječene radiokirurški na Gamma Knife-u. Zbornik radova Devetoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, 2013.
- [7] Miljanić S, Hršak H, Knežević Ž, Majer M, Heinrich Z. Peripheral doses in children undergoing Gamma Knife radiosurgery and second cancer risk. Radiat Meas 2013 (u tisku).
- [8] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Elsevier, 2007.

CANCER RISKS FROM EXPOSURE TO LOW DOSES OF IONISING RADIATION

Marija Majer, Željka Knežević and Saveta Miljanić
Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia
mmajer@irb.hr

Although ionising radiation provides great benefits in diagnosis and radiotherapy of different diseases, we should be aware that every exposure of healthy tissue can contribute to the cancer risk. In order to justify an exposure, both the benefits and the risks must be evaluated and compared. The estimation of cancer risks is not trivial and involves processes which are currently not completely understood. Special challenge is to estimate relationship between risk and exposure to low doses (below 0.1 Gy). In this paper some important steps needed for better understanding of the cancer risk estimation for low doses as biologically based mathematical model and epidemiological studies are presented. At the end, Lifetime Attributable Risk (LAR) of cancer incidence for selected radiosensitive organs for children undergoing Gamma Knife radiosurgery using measured organ doses in anthropomorphic phantom has been estimated.

STUDY OF RADIATION INDUCED RADICALS IN HAP AND β -TCP BASED BONE GRAFT MATERIALS BY EPR SPECTROSCOPY

Nadica Maltar-Strmečki¹ and Ivo Matković²

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Private dental practice Mr. sci. dr. Ivo Matković, Zagreb, Croatia

nstrm@irb.hr

INTRODUCTION

Calcium phosphates (CaP) such as beta-tricalcium phosphate (β -TCP) and hydroxyapatite (HAP) are commonly used as blocks, cements, pastes, powders or granules and have gained acceptance for various dental applications such as fillers for periodontal defects. The main force behind the use of CaP as bone substitute materials is their chemical similarity to the mineral component of mammalian bones and teeth [1]. In addition, they are biocompatible, non-toxic, not recognized as foreign materials in the body and, most importantly, exhibit bioactive behavior and integrate into living tissue by the same processes as in bone healing, termed osteointegration. Currently, different synthetic or natural bone substitution materials were characterized by high-resolution x-ray (XRD), infrared spectroscopy (FTIR), thermogravimetry (TGA) and scanning electron microscopy [2]. The composition and morphology of all investigated materials were found strongly different suggesting wide range of applications. Because of their resorption in the body and direct contact with tissues, in order to inactivate bacteria, fungal spores and viruses, they are usually sterilized by γ -irradiation. However, literature provides little information about effects of γ -irradiation [3,4]. Furthermore, there are lots of studies of ionic substitutions in CaP, including Si, Sr, Mg, Zn and Mn, as a tool to improve the biological performance [5,6]. The ion that was demonstrated to be the strongest inhibitor of precipitation from calcium phosphate calcifying solution was Mn^{2+} . In this study, Electron Paramagnetic Resonance spectroscopy (EPR) was used to distinguish details in HAP and β -TCP based dental implants present on the market, in the subtle structural differences within different ion substitutions and defects in the structure of CaP obtained by γ -radiation at the atomic level that were not detected by XRD, FTIR and TGA.

MATERIAL AND METHODS

Eight different dental graft materials were investigated by EPR spectroscopy. The following data of investigated bone substitution materials were obtained from manufacture's specification. Bioresorb[®] Macropore, Poresorb[®]-TCP, Easy-Graft[™] and Cerasorb[®] are synthetic β -tricalcium phosphates, Easy-Graft[™] crystal and Ossceram[®] are two phase synthetic CaP consisting of 60 % HAP and 40 % β -TCP, while Dexabone[®] and Bio-Oss[®] are bone graft material of bovine origin.

All samples were obtained from the manufacturers in sealed vials and used without further treatment for analysis.

EPR spectra were recorded at Varian E109 X-band EPR spectrometer using a Bruker ER 041 XG microwave bridge, operating at 9.5 GHz with 100 kHz modulation, equipped with a variable temperature unit ER4111VT by Bruker Instruments. DPPH was used as external magnetic field marker.

RESULTS

EPR spectra of two-phase CaP Easy-graft[™] crystal are shown in Figure 1. Spectrum is characterized by the broad line centered at $g = 2.000$ of the linewidth 60.0 mT that suggests large dipolar interaction between paramagnetic ions, Mn^{2+} and/or Fe^{3+} .

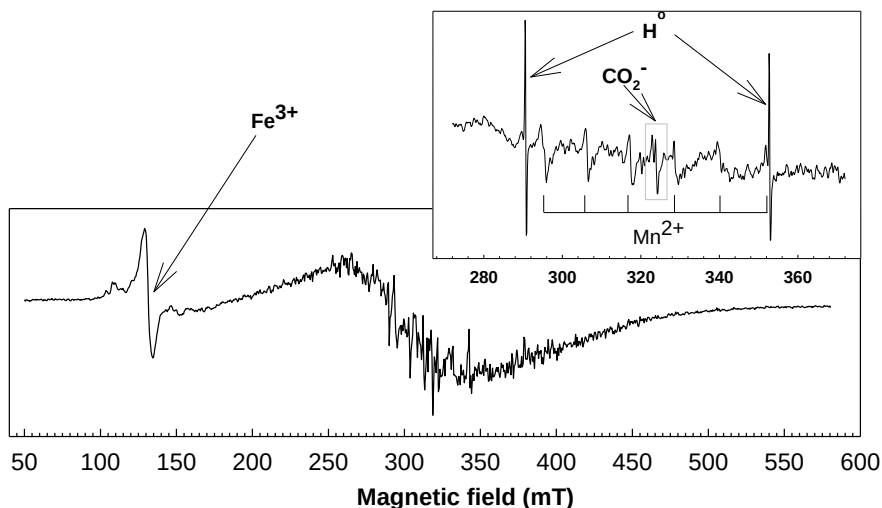


Figure 1. X-band EPR spectrum of Easy-graft[™] crystal at room temperature. Experimental conditions: microwave power 6.3 mW and modulation amplitude 0.4 mT (in insert microwave power 1.0 mW).

The absence of the zero field splitting suggests that Mn^{2+} ions are not located in the biphasic Easy-graftTM crystal structure (in β -TCP nor in hydroxylapatite [7-9]). The line at $g = 4.27$ is due to Fe^{3+} ions, and suggests that a part of Fe^{3+} ions are incorporated into the structure of hydroxylapatite phase [10]. In Figure 1 in insert spectrum with six sharp hyperfine lines split by $A = 9.2$ mT suggest Mn^{2+} ions located in CaCO_3 at the surface of the sample as impurity. The lines at $g = 2.000$, prominent in the rectangle, are due to $\cdot\text{CO}_2^-$ paramagnetic center, while two sharp hyperfine lines separated by $A = 49.7$ mT confirm presence of trapped hydrogen atoms, formed by γ -irradiation during the sterilization process [11]. Although Ossceram[®] is two-phase CaP, EPR shows less paramagnetic species: Mn^{2+} ions that are not located, Fe^{3+} and CO_2^- radicals.

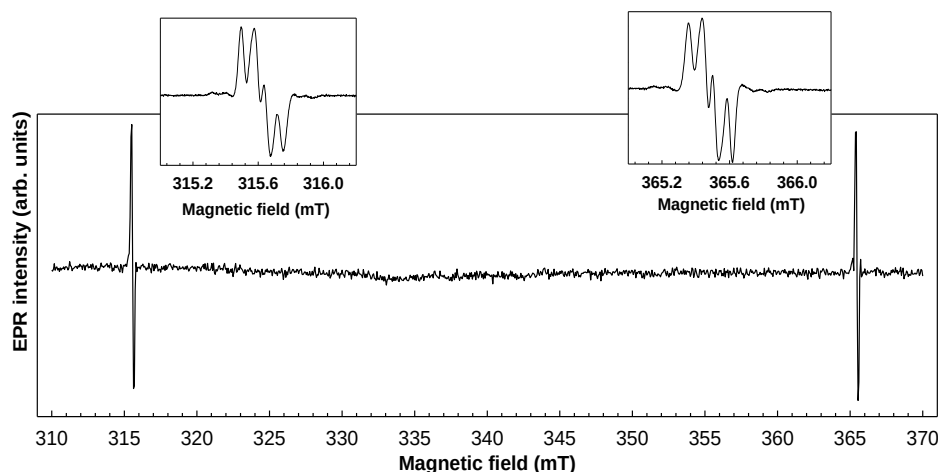


Figure 2. X-band EPR spectrum of Bioresorb[®] Macropore sample at room temperature recorded at microwave power 1.0 mW and modulation amplitude 0.01 mT.

EPR studies of β -TCP structures reveal: in Easy-graftTM, Mn^{2+} and Cr^{3+} , and trapped H-atoms, in Bioresorb[®] Macropore, Cr^{3+} , trapped H-atoms, while in Poresorb[®]-TCP and Cerasorb[®] only Mn^{2+} ions. In Figure 2 EPR spectrum of sample Bioresorb[®] Macropore is presented. Spectrum is characterized by the two lines with the hyperfine splitting constant $A = 49.9$ mT due to the hydrogen atoms. Each line is split in four super-hyperfine lines (low field, 315.6 mT, and high field, 365.5 mT, the lines are shown in insert) due to two ^{31}P atoms from the two different neighbouring $^{31}\text{PO}_4$

groups ($A_{31p}^1 = 0.15 \text{ mT}$, $A_{31p}^2 = 0.07 \text{ mT}$) confirming that hydrogen atoms are incorporated in the structure of β -TCP as impurity during the γ -sterilization [12, 13]. As in the Easy-graftTM sample Cr^{3+} ions incorporated into the structure of this sample were detected but far away from the trapped H-atoms.

EPR spectra of bone graft samples from bovine origin highly depend on composition, method of preparation[14], γ -sterilization and storage conditions. In both samples, Dexabone[®] and Bio-Oss[®] $\cdot\text{CO}_2^-$ radicals were detected. In Dexabone[®] Fe^{3+} ions, trapped H-atoms ($A = 49.9 \text{ mT}$) and $\cdot\text{NO}_3^{2-}$ ($A_{\perp} = 3.4 \text{ mT}$, $A_{\parallel} = 6.8 \text{ mT}$) were recognized. The absence of trapped H-atoms and $\cdot\text{NO}_3^{2-}$ radicals in other sample can be due to thermal treatment after irradiation [12].

CONCLUSION

EPR spectra of eight bone graft samples show that spectroscopic parameters depend on the structure of the bone graft materials and its constituents. So, the impact of sterilization by irradiation is expected to be different regarding each sample. Further EPR analysis of the impact of sterilization is necessary for each of these samples separately due to the differences in the synthesis and structures. Additionally, EPR spectroscopy can provide information on stability of irradiation induced radicals and processes for reducing them.

The results obtained by EPR spectroscopy suggest that this technique has to be introduced in the procedure of development of new bone graft materials. The techniques XRD, FTIR and TGA cannot detect structural details due to ionic substitutions, nor the free radicals induced during the sterilization processes. In the process of formation of new bone graft materials such an EPR study of the new material seems to be inevitable.

Acknowledgment

The Croatian Ministry of Science, Education and Sports, grants no. 098-0982915-2939, supported this work.

REFERENCES

- [1] Dorozhkin SV. Bioceramics of calcium orthophosphates. *Biomaterials* 2010;31:1465-85.
- [2] Tadic D, Epple M. A thorough physicochemical characterisation of 14 calcium phosphate-based bone substitution materials in comparison to natural bone. *Biomaterials* 2004;25:987-94.
- [3] Nguyen H, Morgan DA, Forwood MR. Sterilization of allograft bone: is 25 kGy the gold standard for gamma irradiation? *Cell Tissue Bank* 2007;8:81-91.
- [4] Nguyen H, Morgan DAF, Forwood MR. Validation of 11 kGy as a Radiation Sterilization Dose for Frozen Bone Allografts. *J Arthroplasty* 2011;26:303-8.
- [5] Boanini E, Gazzano M, Bigi A. Ionic substitutions in calcium phosphates synthesized at low temperature. *Acta Biomater* 2010;6:1882-94.
- [6] Bracci B, Torricelli P, Panzavolta S, Boanini E, Giardino R, Bigi A. Effect of Mg(2+), Sr(2+), and Mn(2+) on the chemico-physical and in vitro biological properties of calcium phosphate biomimetic coatings. *J Inorg Biochem* 2009;103:1666-74.
- [7] Mayer I, Cohen S, Gdalya S, Burghaus O, Reinen D. Crystal structure and EPR study of Mn-doped beta-tricalcium phosphate. *Mater Res Bull* 2008;43:447-52.
- [8] Mayer I, Cuisinier FJG, Popov I, Schleich Y, Gdalya S, Burghaus O, et al. Phase relations between beta-tricalcium phosphate and hydroxyapatite with manganese(II): Structural and spectroscopic properties. *Eur J Inorg Chem* 2006:1460-5.
- [9] Mayer I, Jacobsohn O, Niazov T, Werckmann J, Iliescu M, Richard-Plouet M, et al. Manganese in precipitated hydroxyapatites. *Eur J Inorg Chem* 2003:1445-51.
- [10] Sutter B, Wasowicz T, Howard T, Hossner LR, Ming DW. Characterization of iron, manganese, and copper synthetic hydroxyapatites by electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Soil Sci Soc Am J* 2002;66:1359-66.
- [11] Murata T, Shiraishi K, Ebina Y, Miki T. An ESR study of defects in irradiated hydroxyapatite. *Appl Radiat Isotopes* 1996;47:1527-31.
- [12] Matković I, Maltar-Strmečki N, Babić-Ivančić V, Dutour Sikirić M, Noethig-Laslo V. Characterisation of β -tricalcium phosphate-based bone substitute materials by electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Radiat Phys Chem* 2012;81:1621-8.
- [13] Nakashima K, Kakihana M, Yamauchi J. Characterization of x-ray-irradiated beta-Ca-3(PO₄)(2): Dy by means of ESR spectroscopy. *Appl Magn Reson* 2008;33:37-43.
- [14] Kusriani E, Sontang M. Characterization of x-ray diffraction and electron spin resonance: Effects of sintering time and temperature on bovine hydroxyapatite. *Radiat Phys Chem* 2012;81:118-25.

STUDY OF RADIATION INDUCED RADICALS IN HAP AND β -TCP BASED BONE GRAFT MATERIALS BY EPR SPECTROSCOPY

Nadica Maltar-Strmečki¹ and Ivo Matković²

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Private dental practice Mr.sci.dr. Ivo Matković, Zagreb, Croatia

nstrm@irb.hr

Calcium phosphates such as beta-tricalcium phosphate (β -TCP) and hydroxyapatite (HAP) are frequently used as dental implants due to proven excellent biocompatibility. Because of their resorption in the body and direct contact with tissues, in order to inactivate bacteria, fungal spores and viruses, they are usually sterilized by γ -irradiation. However, literature provides little information about effects of γ -irradiation on the formation and stability of the free radicals in the bone graft materials during and after sterilization procedure. In this study EPR (electron paramagnetic resonance) spectroscopy was used to investigate HAP and β -TCP based dental implants present on the market. Eight dental graft materials present on the market were investigated: Bioresorb[®] Macropore, Poresorb[®]-TCP, Easy-Graft[™] and Cerasorb[®] synthetic β -tricalcium phosphates, Easy-Graft[™] crystal and Ossceram[®] two phase synthetic CaP consisting of 60 % HAP and 40 % β -TCP, and Dexabone[®] and Bio-Oss[®] bone graft material of bovine origin.

EPR study shows that this is the only technique for characterization of free radicals that can simultaneously determine not only the presence and content, but also the position and the structure of free radicals formed by γ -sterilization in the investigated materials, as well as the paramagnetic substitutions incorporated in the materials during the synthesis (such as Mn^{2+} , Fe^{3+} or Cr^{2+}). Additionally, EPR provides information on stability of irradiation-induced radicals (CO_2^- , trapped H-atoms, NO_3^{2-} etc.) and processes for reducing them. Results show that EPR should be considered as a valuable technique in improving the quality of bone graft materials, which must be sterile, and to offer the high quality, efficacy and reliable materials to the patients.

THE ASSESSMENT OF DNA DAMAGE IN POULTRY SPERMATOZOA AFTER EXPOSURE TO LOW DOSES OF IONISING RADIATION

*Mirta Milić¹, Marinko Vilić², Vilena Kašuba¹, Jadranka Pejaković Hlede²,
Željko Gottstein³, Martina Karadjole⁴ and Saveta Miljanić⁵*

¹Mutagenesis Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health,
Zagreb, Croatia

²Department of Physiology and Radiobiology, University of Zagreb,
Faculty of Veterinary Medicine, Zagreb, Croatia

³Department of Poultry Diseases with Clinic, University of Zagreb,
Faculty of Veterinary Medicine, Zagreb, Croatia

⁴Laboratory for Assisted Reproduction, Clinic of Obstetrics and
Reproduction, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb,
Zagreb, Croatia

⁵Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

mmilic@imi.hr

INTRODUCTION

Male exposure to ionising radiation can cause dramatic effects such as decrease in fertility, lower sperm production, increased frequency of germ line mutations that can all predispose future generations to dominant lethal mutations or to cancer [1,2,3]. In this kind of exposure, sperm DNA integrity represents an important parameter in the evaluation of semen functionality, particularly regarding dose-related induction of DNA strand breaks in spermatozoa following *in vitro* exposure to ionising radiation in humans and mouse samples [4]. Maintaining of normal sperm becomes even more important when it is known that DNA in semen samples is already fragmented in certain amount in human and turkey semen [5]. It is also worth mentioning that sperm lacks the DNA repair mechanisms, and that makes sperm DNA damage irreversible [6,7], showing the importance of studies on sperm DNA damage.

One of the methods for detecting primary DNA damage at the individual cell level is comet assay with different variants (alkaline, neutral, enzyme modified) [8]. The technique is well established in DNA damage evaluation for mammalian semen samples [9] but less for poultry semen [6,7,10]. Since there are differences in DNA sensitivity between different

poultry species, there are different protocols used, but the approach for avian samples is similar considering the use of proteinase K and dithiotreitol (DTT, for cross-linked proteins-protamines removal).

The aim of this paper was to provide an insight in the amount of DNA damage detected in chicken spermatozoa after radiation with small doses of ionising radiation and to address the question of the potential ecological consequences of the damage.

MATERIALS AND METHODS

For this study 5 cocks of heavy line (45 weeks old) were used. The cocks were trained to give regular semen samples for 30 days before experiment. Ejaculates from each male were collected by dorso-abdominal massage method. Immediately after collection, samples were diluted 1:1 with modified Ringer solution, divided into 5 plastic tubes and irradiated with doses of 0.3, 0.5, 1 and 2 Gy gamma radiation from panoramic ^{60}Co source (activity about 3 PBq) at Ruđer Bošković Institute, Zagreb [11].

The dose rate was about 0.0117 Gy/s. For measuring DNA damage we used method described by Gliozzi *et al.* [7] and Sakkas *et al.* [10] with slight modifications. All samples were made in duplicate and on each slide we measured 50 randomly captured comets avoiding the edges of the slide. Images were captured with black and white camera and software from Perceptive Instrument Comet Assay IV. Scored parameters included tail intensity or tail DNA% (TI), tail length (μm ; TL) and tail moment (TM; (tail mean $\times$ head mean) $\times$ (TI/100)).

One-way ANOVA was used to compare differences in DNA damage among different doses. Data are expressed as mean $\pm$ S.E. (standard error). For normalisation of results distribution, all the values were logarithmed with the function $\log_{10}(v+1)$.

RESULTS AND DISCUSSION

It has been known that the sensitivity of comet assay can be seen after exposure of the cells to 0.25 Gy doses, but the significant differences in DNA damage values can be seen only after 0.5 Gy [12]. Our results have shown that comet assay can detect significant DNA damage even after exposure to 0.3 Gy doses and that this modified protocol is equally sensitive like the other techniques used to measure sperm DNA damage [12]. On the other side, after irradiation with 0.5, 1 and 2 Gy doses, no dose-related responses were detected in any of the observed parameters (Table 1, Figure 1). We have also shown dose related increase in the number of

detected apoptosis. Since there are no articles for comparison of the results for TI, TL and TM, we can just confirm that our TI and TM values were lower than the values for fresh chicken semen samples described by Gliozzi *et al.* [7]. Although it is possible that adaptive response is involved in DNA damage response after exposure to doses higher than 0.3 Gy, since it is known that poultry semen does not have DNA repair mechanisms, we must be careful in conclusions. Namely, when we compare the distribution of DNA damaged cells (Figure 2), although the mean values for DNA damage are lower for doses higher than 0.3 Gy, the proportion of damaged DNA is more widely spread after exposure to 0.5, 1 and 2 Gy doses. That actually means that higher number of cells is more damaged, but that the damage does not have high values in the individuals cells like in the lower doses and that can contribute to explanation of adaptive response.

Table 1. Effects of ionising radiation on comet parameters of DNA damaged spermatozoa, values are represented as mean $\pm$ standard error.

	Tail length (μm)	Tail moment
Control samples	$23.11 \pm 0.35^{\#}$	$1.27 \pm 0.06^{\#}$
0.3 Gy	$27.87 \pm 0.36^{*z}$	$2.50 \pm 0.11^{*}$
0.5 Gy	$22.09 \pm 0.35^{\#}$	$1.43 \pm 0.07^{\#}$
1 Gy	$20.97 \pm 0.29^{*\#}$	$1.15 \pm 0.08^{\#z}$
2 Gy	$26.85 \pm 0.35^{*z}$	$1.76 \pm 0.12^{\#}$

*significant difference $P < 0.05$ from the control samples; $^{\#}$ significant difference $P < 0.05$ from 0.3 Gy, ^{z} significant difference $P < 0.05$ from 0.5 Gy

CONCLUSION

In conclusion, we could only speculate that exposure to low doses and higher doses of ionising radiation can have different effects considering the amount of DNA damage and a number of damaged cells and different mechanisms involved in creation of the damage (such as adaptive response) Since there are no articles on this topic, further larger studies are needed to answer that question.

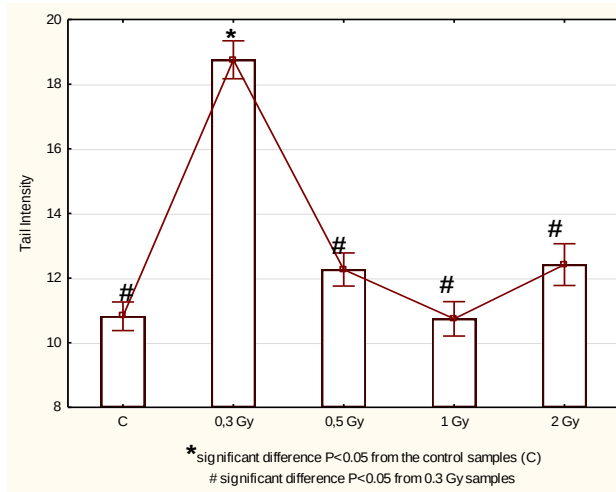


Figure 1. Values (Mean $\pm$ S.E.) for tail intensity in chicken sperm samples before radiation (C), and after radiation with 0.3, 0.5, 1 and 2 Gy doses

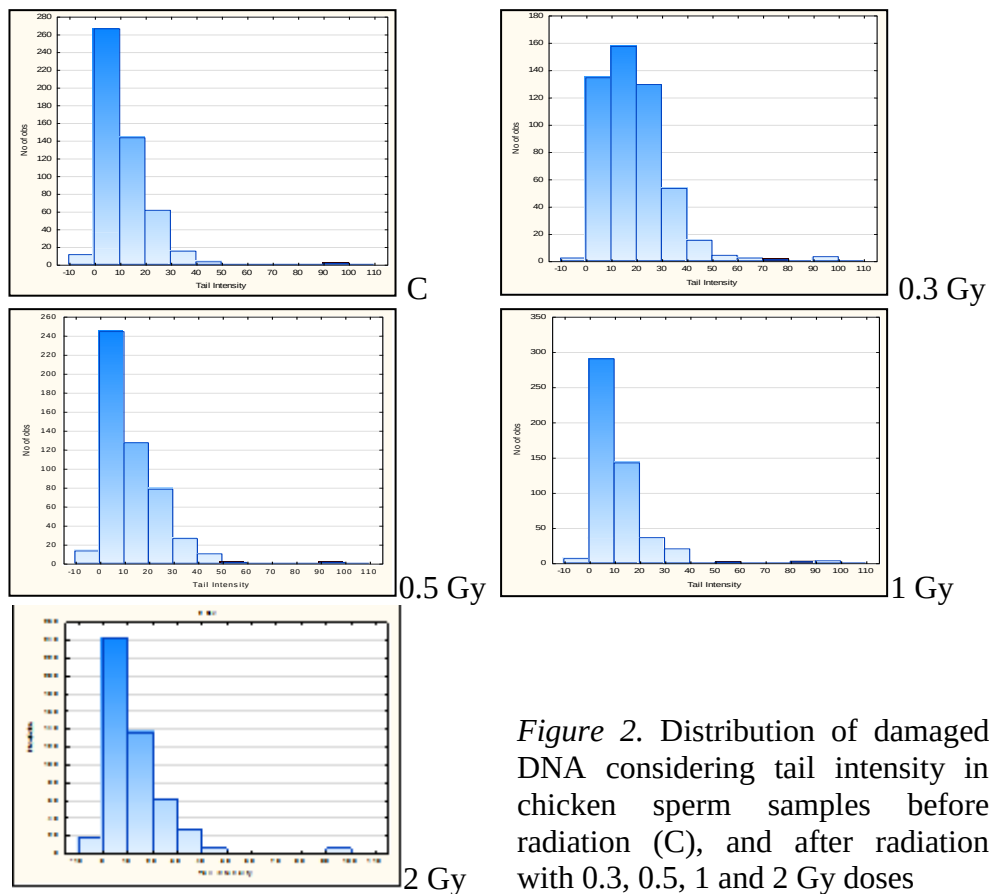


Figure 2. Distribution of damaged DNA considering tail intensity in chicken sperm samples before radiation (C), and after radiation with 0.3, 0.5, 1 and 2 Gy doses

REFERENCES

- [1] Friedler G. Paternal exposures: impact on reproductive and developmental outcome. An overview. *Pharmacol Biochem Behav* 1996; 55:691-700.
- [2] Lord BI. Transgenerational susceptibility to eukaemia induction resulting from preconception, paternal irradiation. *Int J Radiat Biol* 1999;75:801-810.
- [3] Hales BF, Robaire B. Paternally mediated effects on development. In: R.D. Hood, ed. *Handbook of Developmental Toxicology*. Boca Raton, FL, CRC Press; 1997. pp.91-107.
- [4] Haines G, Marples B, Daniel P, Morris I. DNA damage in human and mouse spermatozoa after in vitro-irradiation assessed by the comet assay. *Adv Exp Med Biol* 1998; 444:79-93.
- [5] Evenson DP, Wixon R. Clinical aspects of sperm DNA fragmentation detection and male infertility. *Theriogenology* 2006;65:979-991.
- [6] Kołowska M, Dietrich G, Wojtczak M, Karol H, Ciereszko A. Effects of liquid storage on amidase activity, DNA fragmentation and motility of turkey spermatozoa. *Theriogenology* 67;2007:276-286.
- [7] Gliozzi TM, Zaniboni L, Cerolini S. DNA fragmentation in chicken spermatozoa during cryopreservation. *Theriogenology*. 2011;75:1613-22.
- [8] Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL. A simple technique for quantification of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988;175:184-91.
- [9] Sharma RK, Said T, Agarwal A. Sperm DNA damage and its clinical relevance in assessing reproductive outcome. *Asian J Androl* 2004;6:139-48.
- [10] Sakkas D, Moffatt O, Manicardi GC, Mariethoz E, Tarozzi N, Bizzaro D. Nature of DNA damage in ejaculated human spermatozoa and the possible involvement of apoptosis. *Biol Reprod* 2002;66:1061-7.
- [11] Miljanić S, Ranogajec-Komor M. Application of cavity theory to the response of various TLDs to 60Co gammas degraded in water. *Physics in Medicine and Biology* 1997;42:1-15.
- [12] Haines GA, Hendry JH, Daniel CP, Morris ID. Germ Cell and Dose-Dependent DNA Damage Measured by the Comet Assay in Murine Spermatozoa after Testicular X-Irradiation. *Biology of Reproduction* 2002;67:854-61.

THE ASSESSMENT OF DNA DAMAGE IN POULTRY SPERMATOZOA AFTER EXPOSURE TO LOW DOSES OF IONISING RADIATION

*Mirta Milić¹, Marinko Vilić², Vilena Kašuba¹, Jadranka Pejaković Hlede²,
Željko Gottstein³, Martina Karadjole⁴ and Saveta Miljanić⁵*

¹Mutagenesis Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health,
Zagreb, Croatia

²Department of Physiology and Radiobiology, University of Zagreb,
Faculty of Veterinary Medicine, Zagreb, Croatia

³Department of Poultry Diseases with Clinic, University of Zagreb,
Faculty of Veterinary Medicine, Zagreb, Croatia

⁴Laboratory for Assisted Reproduction, Clinic of Obstetrics and
Reproduction, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb,
Zagreb, Croatia

⁵Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia
mmilic@imi.hr

The existence of dose-related induction of DNA strand breaks in spermatozoa following *in vitro* exposure to ionising radiation represents sperm DNA integrity as an important parameter in the evaluation of semen functionality. Maintaining of normal sperm becomes even more important when it is known that DNA in semen samples is already fragmented in certain amount in human and turkey semen and that it lacks DNA repair mechanisms making DNA damage irreversible. The aim of this paper was to provide an insight in the amount of DNA damage detected in chicken spermatozoa (5 cocks, 45 weeks old) of heavy line after radiation with doses of 0.3, 0.5, 1 and 2 Gy gamma radiation and to address the question of the potential ecological consequences of the damage that was measured with comet assay. Scored parameters included tail intensity, tail length and tail moment. Results showed sensitivity of comet assay technique that detected significant DNA damage even after exposure to 0.3 Gy, but also showed no dose-related responses after 0.5, 1 and 2 Gy. Distribution of damaged cells was widely spread for the higher doses, showing the influence of possible adaptive response, but for further conclusions, larger studies are needed to answer that question.

INHIBITION OF GENOTOXIC EFFECTS OF UVC RADIATION ON HUMAN KERATINOCYTE HaCaT CELLS BY *Echinacea purpurea* (L.) Moench HERBAL EXTRACT

Maja Šegvić Klarić¹, Ivan Kosalec¹, Mirta Milić² and Nevenka Kopjar²

¹Department of Microbiology, Faculty of Pharmacy and Biochemistry,
University of Zagreb, Zagreb, Croatia

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

msegvic@pharma.hr

INTRODUCTION

Exposure of cells to UV radiation results in DNA damage by direct excitation of DNA or involves excitation of cellular chromophores [1]. The most common direct excitation of DNA generates cyclobutane pyrimidin dimer (CPD) and 6-4 pyrimidin-pyrimidon photoproducts which are responsible for cytotoxic, mutagenic and carcinogenic activity of short-wave UVC and UVB radiation [1]. Both UVC and UVB are primarily absorbed by epidermal layer causing sunburn and basal cell carcinoma [2]. Studies showed that *Echinacea purpurea* extracts exert anti-genotoxic, anti-oxidative, immunomodulatory and anti-inflammatory effects which could be attributed to phenolic acids, alkylamides and acetylamides [3-6].

Our previous study showed that *Echinacea purpurea* (L.) Moench (EH) extract, rich in phenolic acids, has protective effect on human blood lymphocytes exposed to UVC radiation [7]. In this study we checked whether the pre-treatment of human keratinocyte HaCaT cells with lyophilisate of EH could reduce or prevent primary DNA damage induced by UVC radiation (253.7 nm) in laboratory conditions.

MATERIALS AND METHODS

Plant material was prepared as previously described [7]. Composition of plant extract (3.47 % of total phenolic acids, cichoric acid 3.65 %, flavonoids 0.13 %, tannins 0.86 % and proanthocyanidins 0.26 %) was reported in the same study [7]. Concentrations of 1 mg/mL and 10 mg/mL

used in experiment were prepared by dissolving ethanolic extract liophilisate in ultrapure water.

Human keratinocyte HaCaT cells were kept in 75 cm² flasks with DMEM, supplemented with 10 % heat-inactivated FBS, 100 IU/mL penicillin and 100 µg/mL streptomycin at 37 °C in a 5 % CO₂ atmosphere.

Experimental groups were as it follows: control-untreated cells, cells treated with EH 1 mg/mL (EH1) and 10 mg/mL (EH2) for 2 h, cells exposed to UVC for 30 min (UV1) and 60 min (UV2), cells 1 h pre-treated with EH1 or EH2 and afterwards exposed to UVC 30 min or 60 min (EH1+UV1; EH2+UV1; EH1+UV2; EH2+UV2). Source of UVC radiation (253.7 nm) was germicide lamp (15 W; 57415P/40 Philips, USA). During treatment, plates with cells were incubated at 37 °C, at 10 cm distance from the source of UVC radiation.

For MTT test and alkaline comet assay HaCaT cells were seeded at plating density 10⁵/mL, in a 96-well and 12-well flat-bottomed microplate, respectively. After 24 h of incubation cells were exposed to EH and UVC as it was previously described. For MTT reduction assay at the end of the treatment, the medium was removed and 100 µL of MTT reagent diluted in growth medium (0.5 mg/mL) without fetal bovine serum was added in each well. Viable cells have active mitochondrial dehydrogenase enzymes which metabolize MTT-tetrazolium salt into purple formazan. After 3.5 h of incubation MTT reagent was replaced with 200 µL of 0.04 M HCl diluted in isopropanol to dissolve formazan and cells were incubated at room temperature on rotary shaker for 15 min. The absorbance was measured on a microplate reader at wavelength of 600 nm [8].

The alkaline comet assay was carried out according to standard protocol [9]. Slides were scored using an image analysis system (Comet assay II, Perceptive instruments Ltd., UK) connected to a fluorescence microscope (Zeiss, Germany). All experiments were performed in duplicate, and in each experiment images of 150 randomly selected cells were measured. Only comets with a defined head were scored. Comet parameters considered in this study were the tail length, the proportion of DNA in the comet tail (tail intensity), and tail moment, which was calculated as the product of the fraction of DNA in the comet tail and the tail length. The results of MTT test and alkaline comet assay are represented as mean ± SD (standard deviation) and were statistically analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA) followed by a multiple comparison procedure (Tukey test). The Kolmogorov–Smirnov test was used to verify whether the results

of comet parameters were normally distributed. Data were logarithmically transformed to normalize distribution. The level of $P < 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS AND DISCUSSION

MTT test showed that exposure of cells to EH and UVC alone or EH in combination with UVC radiation did not significantly reduced cell viability (Figure 1A).

UVC radiation (30 and 60 min) caused a significant increase in the level of primary DNA damage ($P < 0.001$) while EH alone was not genotoxic to HaCaT cells. Concentration of 1 mg/mL EH successfully protected the cells against the effects of 30 min exposure to UVC radiation. However, when cells were treated with EH2+UV1, EH1+UV2 and EH2+UV2 significant DNA damage was observed in respect to control as well as to single EH or UVC treatment (Figures 1B-D). Our previous study on human lymphocytes showed that both concentrations of EH significantly reduced comet tail length after 30 and 60 min of UV radiation. Pre-treatment with 1 mg/mL significantly reduced the values of tail intensity and tail moment while 10 mg/mL also lowered these parameters but not significantly [7]. Results obtained for HaCaT cells could be explained with a higher susceptibility of keratinocytes to direct genotoxic effect of UVC, which generates CPD and 6-4 photoproducts, in combination with pro-oxidative activity of some EH compounds [1,10]. The last might be influenced by concentration and oxidation potential of some phenolic acids in the EH [11]. Nevertheless, these results calls for attention and further research on antigenotoxic activity of *E. purpurea* which will include spectrum of plant extract concentrations.

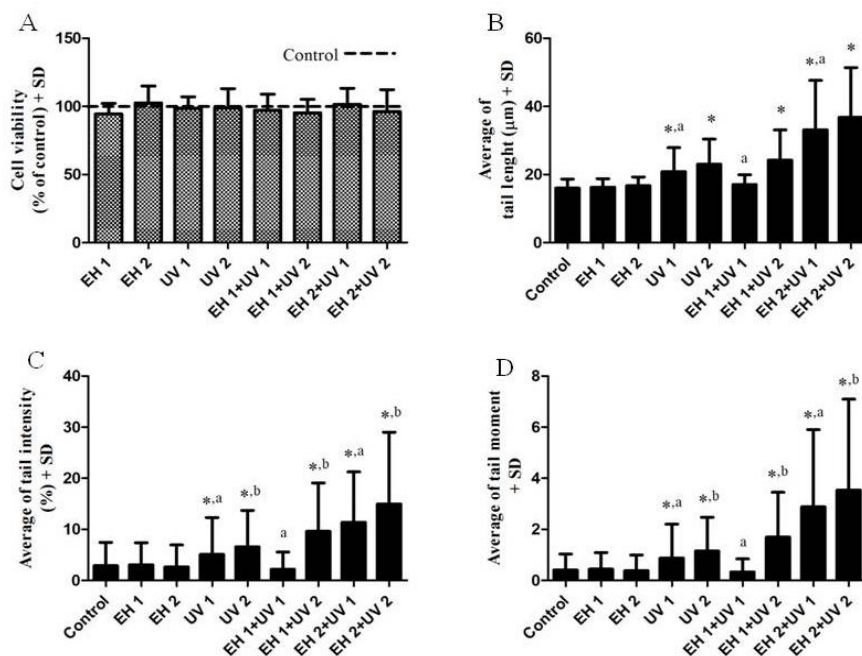


Figure 1. Cytotoxic and genotoxic activity of EH and UVC radiation on HaCaT cells obtained by MTT test (A) and alkaline comet assay (B-D).

Control: untreated cells; EH1 and EH2: cells treated (2 h) with liophylisate of *E. purpurea* extract dissolved in water (1 mg/mL and 10 mg/mL); UV1 and UV2: cells exposed to UVC for 30 and 60 min; EH1+UV1, EH2+UV1, EH1+UV2, EH2+UV2: cells 1 h pre-treated with EH1 or EH2 and afterwards exposed to UVC 30 min and 60 min.

Statistics: *- as compared to control ($P < 0.05$); a-UV1 vs EH1+UV1 and EH2+UV1 ($P < 0.05$); b-UV2 vs EH1+UV2 and EH2+UV2

CONCLUSION

Inhibition of genotoxic effect of UVC radiation on human keratinocytes is highly influenced by concentration of EH extract; lower concentration showed protective effect while high concentration potentiated genotoxicity of UVC. Taken together positive results obtained in experiments with both human keratinocytes and peripheral blood lymphocytes speak in favour of continuing the research on effectiveness of *Echinacea purpurea* extracts and their potential application in developing cosmetic products for skin protection.

Acknowledgements

This work was financially supported by Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia (Grants No. 006-0061117-1242, 022-0222148-2137)

REFERENCES

- [1] Kielbassa C, Roza L, Epe B. Wavelength dependence of oxidative DNA damage induced by UV and visible light. *Carcinogenesis* 1997;18:811-816.
- [2] Roberts JE. Therapeutic effects of light in humans. In: Coohil TP, Valenzano DP, eds. *Photobiology for the 21st century*, pp. 17-29. Overland Park, Kansas, Vandemar Publishing Company, 2001.
- [3] Nichols JA, Katiyar Santosh K. Skin photoprotection by natural polyphenols: Anti-inflammatory, anti-oxidant and DNA repair mechanisms *Arch Dermatol Res* 2010;302:71.
- [4] Joksić G, Petrović S, Joksić I, Leskovac A. Biological effects of *Echinacea purpurea* on human blood cells. *Arh Hig Rada Toksikol* 2009;60:165-172.
- [5] Kopjar N, Želježić D, Kosalec I, Bakmaz M, Jug M. Cytoprotectivity of plant extracts on doxorubicin and irinotecan-treated human peripheral blood lymphocytes. *Planta Med* 2007;73:981.
- [6] Kosalec I. *Echinacea* vrste-biljni imunostimulansi (od iskustva Indijanaca do moderne fitofarmacije). Vlastita naklada, Zagreb, 2006. ISBN 953-95571-0-0.
- [7] Šegvić Klarić M, Kosalec I, Milić M, Vladimir-Knežević S, Blažeković B, Kopjar N. Inhibition of photo-genotoxic effects of UV radiation on human peripheral blood lymphocytes by *Echinacea purpurea* (L.) Moench herbal extract. Proceedings of the Eight symposium of the Croatian Radiation Protection Association, Zagreb 2011,173-178.
- [8] Slater K. Cytotoxicity tests for high-throughput drug discovery. *Curr Opin Biotechnol* 2001;12:70-74.
- [9] Singh NP, Mc Coy MT, Tice RR, Schneider EL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988;175:184-191. Histopaque®-1077 (Procedure No. 1077). [access on: February 10, 2011].
[http://www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Sigma/General Information/1/1077.Par.0001.File.tmp/1077.pdf](http://www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Sigma/General%20Information/1/1077.Par.0001.File.tmp/1077.pdf)
- [10] Sakihama Y, Cohen MF, Grace SC, Yamasaki H. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology* 2002;177:67-80.
- [11] Simić A, Manojlovi D, Šegan D, Todorović M. Electrochemical behavior and antioxidant and prooxidant activity of natural phenolics. *Molecules* 2007; 12, 2327-2340.

INHIBITION OF GENOTOXIC EFFECTS OF UVC RADIATION ON HUMAN KERATINOCYTE HaCaT CELLS BY *Echinacea purpurea* (L.) Moench HERBAL EXTRACT

Maja Šegvić Klarić¹, Ivan Kosalec¹, Mirta Milić² and Nevenka Kopjar²

¹Department of Microbiology, Faculty of Pharmacy and Biochemistry,
University of Zagreb, Zagreb, Croatia

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

msegvic@pharma.hr

Exposure of skin to ultraviolet (UV) radiation might provoke acute and chronic inflammation and oxidative stress which might cause DNA damage leading to skin photoaging and photocarcinogenesis. Previously we showed that *Echinacea purpurea* (L.) Moench (EH) extract, rich in phenolic acids, has protective effect on human blood lymphocytes exposed to UVC radiation. In this study we checked whether the pre-treatment of human keratinocyte HaCaT cells with lyophilisate of EH (1 and 10 mg/mL) could reduce or prevent primary DNA damage induced by UVC radiation (253.7 nm) in laboratory conditions. Prior to that experiment we examined cell viability using MTT test upon exposure to EH and UVC (30 and 60 min) alone and in combination. Primary DNA damage in HaCaT cells was studied using the alkaline comet assay. Exposure of cells to EH and UVC alone or EH in combination with UV radiation did not reduce cell viability. Opposite to that UV radiation (30 and 60 min) caused a significant increase in the level of primary DNA damage ($P < 0.001$). Pre-treatment of cells with both concentrations of EH was not genotoxic to HaCaT cells. Only concentration of 1 mg/mL EH successfully protected the cells against the effects of 30 min exposure to UVC radiation. Positive results obtained in this study speak in favour of continuing the research on effectiveness of *Echinacea purpurea* preparations and their potential application in developing cosmetic products for skin protection.

EFFECT OF THE GAMMA RADIATION AND TEMPERATURE ON HISTAMINE PRODUCTION, LIPID PEROXIDATION AND ANTIOXIDANT PARAMETERS IN SARDINE (*Sardina pilchardus*)

*Nadica Maltar-Strmečki¹, Blanka Ljubić-Beer², Renata Laškaj³,
Jasna Aladrović² and Petar Džaja²*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Faculty of Veterinary Medicine, Zagreb, Croatia

³University Hospital for Infectious Diseases "Dr. Fran Mihaljević", Croatia
nstrm@irb.hr

INTRODUCTION

Sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) is pelagic fish widely distributed in the Adriatic Sea and one of the most commercially important fish species in the fisheries of all countries located along the coast of the Adriatic Sea. Safety and hygienic quality, as well as economic efficiency are directly related to the duration between when the sardine is caught and when it reaches the end consumer as well as upon the harvest methods, the on-board handling and temperature exposures throughout the processing, transit and storage. Radiation processing of fish is recognised as a safe and effective method among the existing technologies for preservation[1].

Histamine is only amine with established legal limits for the human consumption [2] because it is extremely variable and is a function of species and individual fish, the part of fish sampled, time and temperature throughout the processing, transit and storage [3]. Besides that, oxidative changes are the main factor responsible for spoilage[4]. Lipid peroxidation is probably the main cause of the decrease of nutritional value and meat quality during storage at different temperatures leading to the formation of odour and the loss of taste, texture and consistency[4]. EPR (electron paramagnetic resonance) spectroscopy has been used as the only method that determines the antioxidant potential by direct detection of free radicals [5]. Therefore this study was undertaken to investigate the effects of irradiation dose on histamine production and the antioxidant defences in the muscles of sardine during the storage at two different temperatures 4°C and 30°C.

MATERIAL AND METHODS

Fresh samples of Sardine (*Sardina pilchardus* Walb., 1792) were purchased from fisherman after harvesting, delivered to the laboratory on ice and under hygienic conditions ($N = 480$) and divided in three groups for irradiation at different dose. Within 3 hours, two groups were irradiated with panoramic ^{60}Co source at the Ruđer Bošković Institute with a dose rate capacity of 3 Gy/s until a mean level of respectively 1 and 3 kGy had been reached. After irradiation, each group was stored at two different temperatures (4°C and 30°C) throughout the experimental period. Initial determinations were made within 8 hours of purchase. The concentration of histamine was determined by using the commercial competitive enzyme immunoassay Histamin Food ELISA (DRG Instruments GmbH) according to the kit instructions. Lipid peroxide concentration measured as thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) was performed according to the method of Ohkawa *et al.* (1979) [6]. EPR spectroscopy was applied on the galvinoxyl free radical as proposed by Quiles *et al.* [5]. Measurements were performed at room temperature using a Varian E-109 spectrometer equipped with a Bruker ER 041 XG microwave bridge. Statistical analysis was performed by Mathematica 8 (Wolfram Research, Inc.). Data were expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD). Normality of distribution was tested by the Kolmogorov-Smirnov test. Analysis of variance (ANOVA) was used for a comparison of parameters between the subgroups and differences among the mean values were processed by *post hoc* Duncan multiple range. $P < 0.05$ was accepted to indicate a significant difference.

RESULTS

Changes of histamine in gamma irradiated fish samples stored at two different temperatures are shown in Tables 1 and 2. Significant differences were found in histamin level within non-irradiated and irradiated samples stored at 4°C after 24 hours. The histamine concentrations of irradiated samples for both doses (1 and 3 kGy) were lower. Indeed, as expected histamine concentrations remain safe for consumption, $< 50 \text{ ppm} = 5 \text{ mg/100g}$ [2] during the 24 hours. The storage at 30 °C increases the histamine production rapidly. The histamine concentration when stored at 30 °C for 12 hours became toxic ($> 500 \text{ ppm}$). In this study, irradiation indicated that this safe consumption can be prolonged by irradiation with dose of 3 kGy which is in agreement with previously reported results [3, 7].

Table 1. Changes in histamine of irradiated sardine during storage at 4°C

Storage time	Histamine concentration (ppm)		
<i>T</i> (h)	0 kGy	1 kGy	3 kGy
0	3.27 ± 0.92 ^a	3.72 ± 1.52 ^a	2.51 ± 1.85 ^a
1	1.93 ± 0.75 ^a	3.35 ± 0.52 ^b	4.21 ± 1.24 ^b
3	3.90 ± 1.11 ^a	4.65 ± 1.12 ^a	4.98 ± 0.86 ^a
6	3.16 ± 1.24 ^a	2.16 ± 0.48 ^a	2.61 ± 1.48 ^a
12	3.83 ± 2.22 ^a	2.52 ± 1.04 ^a	4.71 ± 3.99 ^a
24	13.04 ± 4.02 ^a	6.17 ± 0.77 ^b	6.13 ± 1.49 ^b
30	11.02 ± 2.07 ^a	6.87 ± 2.79 ^b	4.69 ± 2.40 ^b
48	17.18 ± 10.01 ^a	4.60 ± 2.13 ^b	3.39 ± 2.11 ^b

a, b: different letters within a same row indicate significantly different values ($p < 0.05$).

Table 2. Changes in histamine of irradiated sardine during storage at 30°C

Storage time	Histamine concentration (ppm)		
<i>T</i> (h)	0 kGy	1 kGy	3 kGy
0	3.52 ± 0.73 ^{ab}	2.71 ± 1.63 ^a	4.73 ± 0.73 ^b
1	3.98 ± 1.89 ^a	4.34 ± 0.72 ^a	3.32 ± 0.92 ^a
3	12.24 ± 8.01 ^a	4.39 ± 2.64 ^b	3.74 ± 0.88 ^b
6	102.18 ± 44.2 ^a	11.88 ± 14.35 ^b	2.65 ± 1.56 ^b
12	568.45 ± 206.21 ^a	363.81 ± 244.53 ^b	63.55 ± 59.92 ^b

a, b: different letters within a same row indicate significantly different values ($p < 0.05$).

Lipid peroxidation (TBARS) levels (Figure 1) in fish meat stored at 4 °C in the first three hours was the highest in fish irradiated with 1 kGy, and the third hour reveals significantly higher level than the levels obtained in the other two groups. During further storage at 4 °C the TBARS level was significantly higher in the irradiated fish for both doses compared to non-irradiated samples. In the study reported previously for sardine fish no differences in TBARS values between the irradiated samples were detected

[8], while the study of the Nile tilapia lipid-oxidation showed a tendency to increase when increasing the irradiation dose [9]. Reduced oxidative stability was previously found in irradiated chicken meat [10] where during storage at 30 °C, as the initial value and the value after 3 hours of storage were lower in the fish meat irradiated with a dose of 3 kGy compared to non-irradiated samples. Storage of meat leads to increase of lipolytic activity and thereby, free fatty acid in meat. Beside that irradiation of meat slows down the process of lipolysis and thus may lead to lower levels of lipid peroxides. Therefore, it can be concluded that there are differences because the complex effects of both processes, as well as the influence of the storage conditions, the radiation dose and of the type of fish meat.

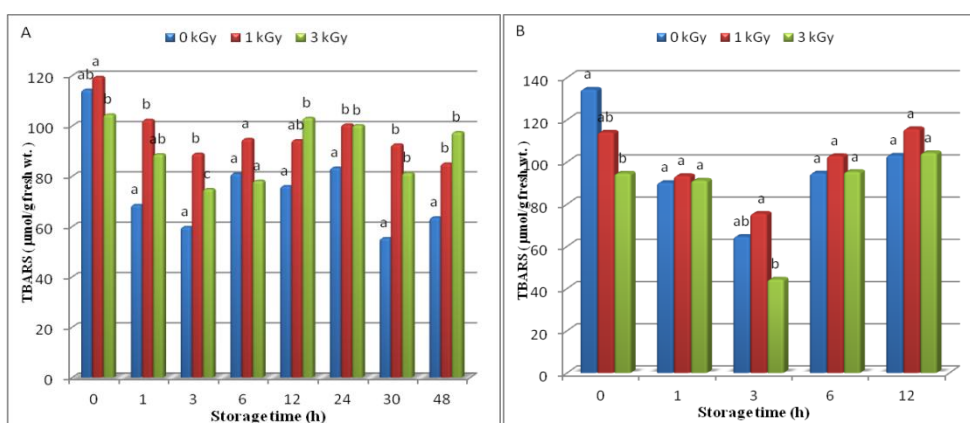


Figure 1. TBARS level for storage temperature at 4°C (A) and 30°C (B). Different letters within the same storage time indicate significant differences ($p < 0.05$) among TBARS values.

The change of radical concentration detected by EPR is the result of the antioxidant activity during reaction time, t . Typical decay curves are presented in Figure 2 for samples stored at 30 °C for 12 h. EPR analysis shows that decrease of the signal intensity is a function of reaction time t and dose. These results suggest that gamma radiation undoubtedly induces antioxidant defence system in sardine meat. However, further research is necessary to elucidate the precise role that the antioxidant system plays under influence of gamma radiation.

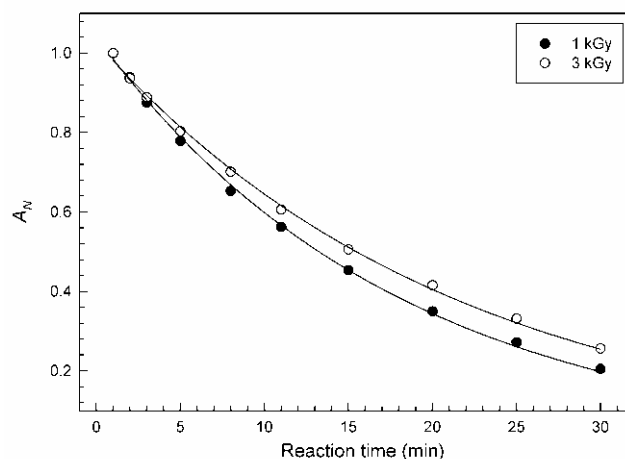


Figure 2. The normalized EPR signal intensity (A_N) of the galvinoxyl radical measured as a function of the reaction time t .

CONCLUSION

The results obtained in this study on the histamine production, lipid peroxidation and antioxidant parameters for the application of different dose rates of ionizing radiation to sardine fish during storage at different temperatures could provide the food industry with information concerning the definition of the best processing conditions to maximize the food quality.

Acknowledgment

This work was supported by the Croatian Ministry of Science, Education and Sports, grants no. 098-0982915-2939 and 053-0532264-3129. The authors thank the Laboratory for Radiation Chemistry and Dosimetry, RBI, for providing the use of the ^{60}Co -gamma irradiation source.

REFERENCES

- [1] Olszyna-Marzys AE. Radioactivity and Food Preservation. *Nutr Rev* 1992;50(6):162-5.
- [2] Prester L. Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: a review. *Food Addit Contam A* 2011;28(11):1547-60.
- [3] Visciano P, Campana G, Annunziata L, Vergara A, Ianieri A. Effect of storage temperature on histamine formation in *Sardina pilchardus* and *Engraulis encrasicolus* after catch. *J Food Biochem* 2007; 31(5):577-88.

- [4] Torstensson NTL, Jönsson AG. Protease inhibitors from *Streptomyces violascens*. *Arch Mikrobiol* 1972;83(1):63-70.
- [5] Liu LX, Chow WS, Anderson JM. Light Quality during Growth of *Tradescantia-Albiflora* Regulates Photosystem Stoichiometry, Photosynthetic Function and Susceptibility to Photoinhibition. *Physiol Plantarum* 1993;89(4):854-60.
- [6] Dalal NS, Kennedy DE, Mcdowell CA. EPR Detection of Conformational-Changes and Internal Rotations in Organic Stable Free-Radicals in Solution. *Chem Phys Lett* 1975;30(2):186-9.
- [7] Clarke D, Gilbert BC, Hanson P. Heterocyclic Free-Radicals .5. Electron-Spin Resonance Investigation of Cation-Radicals of 10-Phenylphenoxazine and 10-Phenylphenothiazine. *J Chem Soc Perk T 2* 1975(10):1078-82.
- [8] Rasmussen M, West R, Burgess J, Lee I, Scherson D. Bifunctional Trehalose Anode Incorporating Two Covalently Linked Enzymes Acting in Series. *Anal Chem* 2011;83(19):7408-11.
- [9] Takeuchi K, Nakazawa M, Ebina Y. Effects of Trehalose on VEGF-Stimulated Angiogenesis and Myofibroblast Proliferation: Implications for Glaucoma Filtration Surgery. *Invest Ophth Vis Sci* 2011;52(9):6987-93.
- [10] Thorisson S, Gunstone F, Hardy R. The Antioxidant Properties of Ethoxyquin and of Some of Its Oxidation-Products in Fish Oil and Meal. *J Am Oil Chem Soc* 1992;69(8):806-9.

EFFECT OF THE GAMMA RADIATION AND TEMPERATURE ON HISTAMINE PRODUCTION, LIPID PEROXIDATION AND ANTIOXIDANT PARAMETERS IN SARDINE (*Sardina pilchardus*)

*Nadica Maltar-Strmečki¹, Blanka Ljubić-Beer², Renata Laškaj³,
Jasna Aladrović² and Petar Džaja²*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb, Croatia

³University Hospital for Infectious Diseases "Dr. Fran Mihaljević",
Zagreb, Croatia

nstrm@irb.hr

Radiation processing of fish is recognized as a safe and effective method for reducing microorganisms and viruses as well for inactivating pathogens among the existing technologies for preservation. Safety and hygienic quality is directly related to the duration between when the fish is caught and when it reaches the end consumer and depends upon conditions how the sardine is handled and upon which conditions. As sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) is pelagic fish widely distributed in the Adriatic Sea and one of the most commercially important fish species in the fisheries of all countries located along the coast of the Adriatic Sea in the present study, the effects of gamma irradiation on the histamine production, lipid peroxidation and antioxidant parameters in sardine during the storage at two different temperatures (4 °C and 30 °C) were investigated. The results indicate that histamine concentration was reduced by gamma irradiation and that the safe consumption can be prolonged for both temperatures of storage. However, irradiation treatment induced oxidative damage, as evidenced by changes in levels of lipid peroxidation and radical kinetic rate detected by EPR (electron paramagnetic resonance) spectroscopy. These results suggest that gamma radiation undoubtedly induces antioxidant defence system in sardine fish. However, further research is necessary to elucidate the precise role that the antioxidant system plays under the influence of gamma radiation and temperature.

USE OF γ -H2AX FOCI ASSAY ON HUMAN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES AS SENSITIVE BIOMARKER OF EXPOSURE

Marko Gerić¹, Alja Štraser², Goran Gajski¹, Jana Nunić², Bojana Žegura², Metka Filipić² and Vera Garaj-Vrhovac¹

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²National Institute of Biology, Ljubljana, Slovenia

vgaraj@imi.hr, metka.filipic@nib.si

INTRODUCTION

In modern medicine, it is impossible to imagine diagnostics and radiotherapy treatments without equipment that emits various types of radiation (X-ray, CT, PET, etc.). Usually, the dose delivered to patients during radiotherapy ranges from 1 – 50 Gy [1], while the radiation doses in diagnostics are several times lower ranging from 0.3 – 30 mGy [2]. In that manner ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle and dosimetry are the bases of assuring patients and technicians safety [3,4].

Recently, the γ -H2AX foci assay is becoming very efficient biodosimetry tool which indirectly measures DNA double strand breaks (DSBs) through visualization of phosphorylated variants of histones H2AX [5,6]. After occurrence of radiation induced DSBs cell machinery starts phosphorylation of H2AX Ser-139 residue predominantly mediated by ataxia telangiectasia mutated (ATM) protein, while other mechanisms of induction DSBs are phosphorylation mediated by ataxia telangiectasia related (ATR) protein, or DNA dependent protein kinases [6]. This event is a signal for triggering DNA repair system so the γ -H2AX foci assay has potential use in detection of DSBs, which can arise from radiation, environmental genotoxicants, drugs, and aging, but also for measurement of DNA repair kinetics [7,8], and in that manner evaluation of H2AX phosphorylation can be used in clinical practice as a marker of premalignant lesions and to predict cell sensitivity to radiotherapy and chemotherapy [9].

The aim of the present study was to evaluate the possibility of γ -H2AX foci assay to detect the radiation induced DSBs on human peripheral blood lymphocytes *in vitro*. We have selected doses (2 and 4 Gy) that could be used in therapeutic purposes on two volunteers in order to exclude inter-individual differences in response to radiation exposure.

SUBJECTS AND METHODS

10 mL of peripheral blood was taken from the medial cubital vein of two healthy male volunteers (age 25 and 32), that were not exposed to radiation, vaccinated or treated with drugs within a year before blood sampling, and placed into heparinised vacutainers (Becton Dickinson, USA).

The blood was then irradiated at the Institute of Oncology Ljubljana, Slovenia, using X-ray machine Darpac 2000 XE (Gulmay Medical Ltd., Shepperton, UK) at 220 kV and 10 mA. Radiation doses of 2 and 4 Gy were achieved at time periods of 55.8 and 111 s. Immediately after irradiation, the blood samples were placed on ice to stop DNA repair mechanisms. Before starting the γ -H2AX foci assay protocol, the samples were incubated at 37 °C and 5 % CO₂ conditions for 30 min to enable phosphorylation of H2AX histones. After isolation of lymphocytes using Histopaque, they were fixed in 70 % ethanol at 4 °C for 2 h. To remove the ethanol the lymphocytes were centrifuged at 4500 rpm for 10 min. Then the FITC labelled anti-H2AX mouse antibodies (1:2000 diluted in PBS; Merck Millipore, USA) were added to each sample and subsequently the samples were incubated on ice in dark for 30 min. The antibodies were then removed by centrifugation at 4500 rpm for 3 min and the lymphocytes were resuspended in PBS. The FITC signal intensities of individual cells were analysed by flow cytometry (FACSCalibur, Becton Dicson, USA) in the FL1-H channel. At least 10 000 cells were analysed per sample.

RESULTS

The results of γ -H2AX foci assay from the first volunteer clearly demonstrate the increase in the amount of γ -phosphorylated histone H2AX after irradiation of peripheral blood with 4 Gy compared to the un-irradiated control sample (Figure 1). The increase in the FITC signal detected using flow cytometry is the indirect evidence of existence of DSBs.

To confirm our results and to test the sensitivity of the method we have irradiated the blood from the second volunteer with 2 and 4 Gy. Similar observations were made; there was a clear dose-dependent shift in FITC intensity in the FL1-H histograms (Figure 2) suggesting that the method efficiently measures DSBs in irradiated peripheral blood lymphocytes.

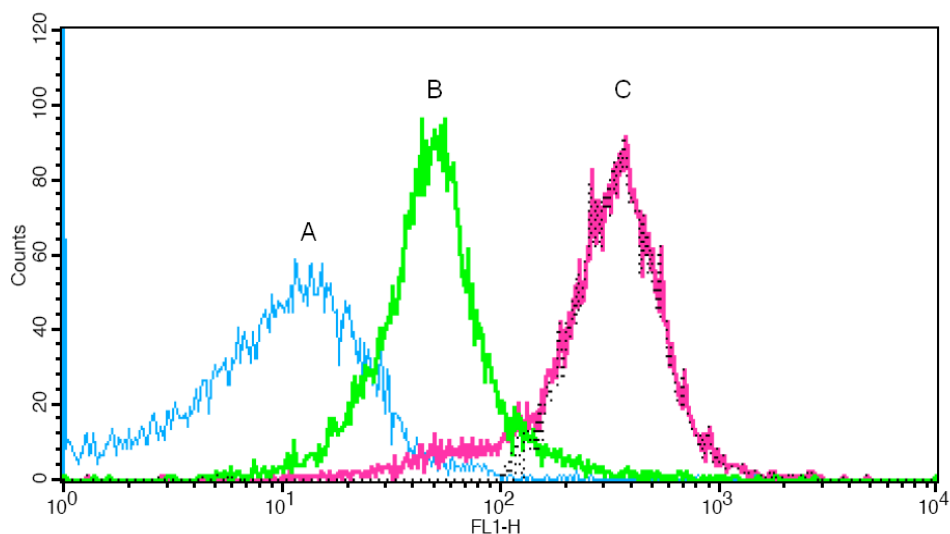


Figure 1. The FL1-H histograms of the FITC signal of the antibody labelled γ -phosphorylated H2AX histones that indirectly represent DNA double strand breaks. Line A – non-labelled control; Line B – labelled vehicle control; Line C – labelled 4 Gy irradiated blood sample.

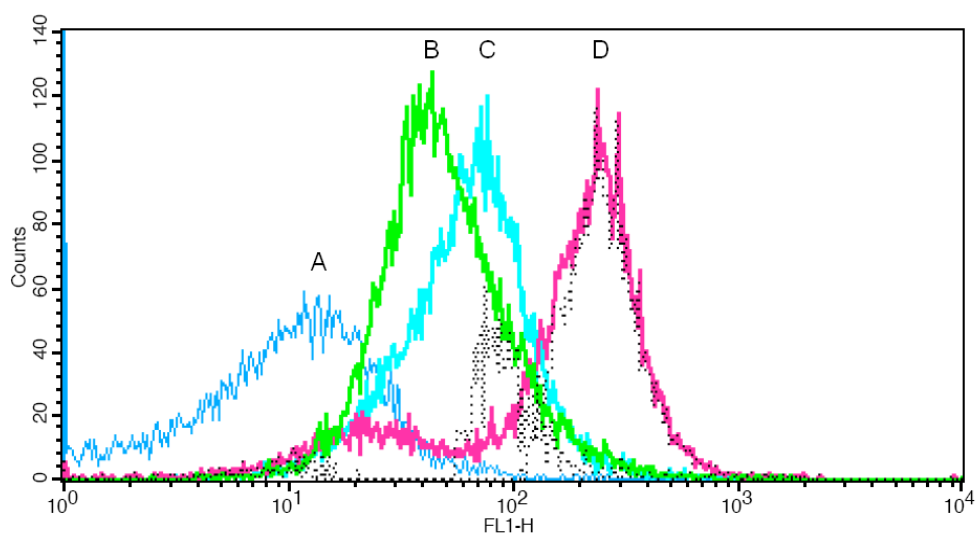


Figure 2. The FL1-H histograms of the FITC signal of the antibody labelled γ -phosphorylated H2AX histones that indirectly represent DNA double strand breaks. Line A – non-labelled control; Line B – labelled vehicle control; Line C – labelled 2 Gy irradiated blood sample; Line D – labelled 4 Gy irradiated blood sample.

CONCLUSION

The appearance of γ -H2AX foci assay perhaps represents a new chapter in biodosimetry as it is a sensitive and efficient method that detects the formation of DSBs. The effects of systematic or localized irradiation can easily be monitored by the changes in the genome of human peripheral blood lymphocytes that are already established as very sensitive and reliable targets of exposure [10,11].

Our results suggest that this method efficiently detects disruptions in genome of peripheral blood lymphocytes. DSBs are one of the most severe lesions that can initiate cell death and could potentially lead to cancer [12]. After occurrence of DSBs, the H2AX histone is being phosphorylated through several pathways and recruited to the site of DSBs [6]. Therefore we can use the appearance of γ -H2AX to visualize the existence of DSBs in the cell.

There was a certain degree of incensement of the amount of γ -H2AX in the control, which could represent the basal level of phosphorylated H2AX in the cells and/or could have arisen during the procedure. Nevertheless after exposure to X-rays, we observed clear dose-dependent increase in the γ -H2AX signal thus leading to conclusion that the frequency of DSBs increased with the higher doses of radiation. At the same time there is practically no difference in response between two donors at the dose of 4 Gy compared to accompanying control.

Due to increase in the genomic instability after irradiation exposure, which could potentially lead to cancer initiation, the ALARA principle should be incorporated into all radiation exposure activities, especially in diagnostics. It should be kept in mind to minimize the risk for both patients and technicians that are executing the diagnostic and/or treatment procedures. In that manner the γ -H2AX foci assay represents a modern sensitive, specific, rapid, reliable biodosimetry tool that uses lymphocytes, which are an excellent radiation exposure model. All these advantages suggest that in the future this method should become a standard technique that will allow the insight to the individual amount of DNA damage for each patient therefore minimizing negative effects of radiation.

Acknowledgment

This study was supported by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia (Grant No. 0022-0222148-2125), Slovenian Research Agency: Program P1-0245, and EU FP7 project CytoThreat (n. 265264).

REFERENCES

- [1] Paganetti H. Assessment of the risk for developing a second malignancy from scattered and secondary radiation in radiation therapy. *Health Phys* 2012;103:652-661.
- [2] Filippova I. Patient and staff doses in radiology and cardiology in Estonia. *Radiat Prot Dosimetry* 2005;117:59-61.
- [3] Catalano C, Francone M, Ascarelli A, Mangia M, Iacucci I, Passariello R. Optimizing radiation dose and image quality. *Eur Radiol* 2007;17:26-32.
- [4] Moores BM, Regulla D. A review of the scientific basis for radiation protection of the patient. *Radiat Prot Dosimetry* 2011;147:22-29.
- [5] Redon CE, Nakamura AJ, Gouliaeva K, Rahman A, Blakely WF, Bonner WM. The use of gamma-H2AX as a biodosimeter for total-body radiation exposure in non-human primates. *PLoS One* 2010;5:1-8.
- [6] Rakiman I, Chinnadurai M, Baraneedharan U, Paul SFD, Venkatachalam P. γ -H2AX assay: a technique to quantify DNA double strand breaks. *Adv Bio Tech* 2008;7:39-41.
- [7] Redon CE, Nakamura AJ, Martin OA, Parekh PR, Weyemi US, Bonner WM. Recent developments in the use of γ -H2AX as a quantitative DNA double-strand break biomarker. *Aging* 2011;3:168-174.
- [8] Rothkamm K, Horn S. γ -H2AX as protein biomarker for radiation exposure. *Ann Ist Super Snita* 2009;45:265-271.
- [9] Podhorecka M. gamma H2AX in the recognition of DNA double-strand breaks. *Postepy Hig Med Dosw (Online)* 2009;63:92-98.
- [10] Chaudhry MA. Biomarkers for human radiation exposure. *J Biomed Sci* 2008;15:557-563.
- [11] Mohrenweiser HW, Jones IM. Variation in DNA repair is a factor in cancer susceptibility: a paradigm for the promises and perils of individual and population risk estimation? *Mutat Res* 1998;400:15-24.
- [12] Helleday T, Lo J, van Gent DC, Engelward BP. DNA double-strand break repair: from mechanistic understanding to cancer treatment. *DNA Repair (Amst)* 2007;6:923-935.

USE OF γ -H2AX FOCI ASSAY ON HUMAN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES AS SENSITIVE BIOMARKER OF EXPOSURE

Marko Gerić¹, Alja Štraser², Goran Gajski¹, Jana Nunić², Bojana Žegura², Metka Filipić² and Vera Garaj-Vrhovac¹

¹Institute for Medical Research and Occupational Health,
Zagreb, Croatia

²National Institute of Biology, Ljubljana, Slovenia
vgaraj@imi.hr, metka.filipic@nib.si

In modern medicine, it is impossible to imagine diagnostics and treatments without equipment that emit radiation (X-ray, CT, PET, etc.). At the same time there is a need to minimize the amount of radiation that the patient will gain during such medical examination. In that manner ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle and dosimetry are the bases of assuring patients safety. The induction of gamma phosphorylated H2AX histone is newly developed tool in biodosimetry, which is more sensitive for the detection of radiation caused DNA damage than currently used micronucleus and comet assay. Gamma phosphorylation of H2AX histone is a consequence of DNA double strand breaks and its role is to trigger the DNA repair mechanisms. In this study, we tested the effect of 2 and 4 Gy X-rays on human peripheral blood lymphocytes from two healthy volunteers using γ -H2AX foci assay. The FITC signal from labelled antibodies was monitored using flow cytometry and clearly demonstrated the difference in control samples and irradiated samples. There was also the difference between the exposed blood samples from the two volunteers. The results of present study reveal new sensitive method that is capable of detecting changes in DNA when exposed to different doses of radiation, and thus potentially optimizing the ALARA principle.

THE COMBINED EFFECT OF ANESTHETIC SEVOFLURANE AND IONISING RADIATION ON PRIMARY DNA DAMAGE IN MICE

Vesna Benković¹, Sanja Halovanić¹, Anica Horvat Knežević¹, Nikola Borojević², Nada Oršolić¹ and Mirta Milić³

¹Department of Animal Physiology, Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia

²General Hospital Zabok, Radiology Department, Zabok, Croatia

³Mutagenesis Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
mmilic@imi.hr

INTRODUCTION

It is well known that exposure to ionising radiation can cause DNA damage in different cells, but during the radiotherapy, individuals are also exposed to the influence of anaesthetics that can also cause DNA damage [1,2]. Among them, widely used inhalation anaesthetic is sevoflurane (hexafluoroisopropyl fluoromethyl ether). Its benefits are mostly due to its low solubility and non-irritability, in induction and maintenance of general anesthesia but also it was shown that it has antioxidative capacities [3]. Combined effects of both sources of DNA damage is not well understood, especially for the small doses of ionising radiation. Also, for detection of DNA damage after exposure to low doses, sensitive technique is crucial. One of the methods for primary DNA damage assessment is alkaline version of comet assay. It has been known that the sensitivity of comet assay can be seen after exposure of the cells to 0.25 Gy doses [4] and that this method can detect alkaline labile sites but also single and double strand DNA breaks [5].

The aim of the study was to examine the degree of sensitivity of different types of cells after single exposure to ionising radiation and anaesthetic in Swiss albino mice, since the immune response is similar to human.

MATERIALS AND METHODS

Swiss albino mice were old 60 ± 5 days, were kept as it was written in the *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, DHSS (NIH) Publ #*

86–23, with constant temperature of 25 °C, with an 12 hours of day light and 12 hours of dark, and fed with standard animal laboratory food (Standard Diet GLP, 4RF 1, Mucedola, Settimo Milanese MI, Italy), with constant water availability *ad libitum*.

For anesthesia, sevoflurane (2,4 vol%, ‘Sevorane®’, Abbott Laboratories Ltd, Queenborough, Great Britain) was mixed with oxygen 50:50 in special incubator connected with anaesthetic equipment (Sulla 800; Dräger, Germany) and inspiration concentrations were measured and controlled through the respiration monitor (PM 8050; Dräger, Germany). The anaesthetic treatment lasted for 2 hours.

After anesthesia, mice were irradiated with 1 Gy of ionising X-radiation (⁶⁰Co–Theratron Phoenix teletherapy unit, Atomic Energy Ltd.) with the dose velocity of 1.88 Gy per minute. Animals were divided in 5 groups (5 animals in each group) that were sacrificed in time periods: control, immediately after, 2, 6 and 24 hours from single exposure to radiation and anaesthesia.

Samples of different types of tissue (brain, liver and kidneys) and peripheral blood leukocytes were taken for primary DNA damage assessment. Tissue samples were collected in homogenisation buffer (pH 7.5, 0.075 M NaCl (Kemika) and 0.024 M Na₂EDTA (Sigma)) and mechanically transformed into single cell suspensions and kept at +4 °C until further step.

All samples were made in duplicate and on each slide we measured 50 randomly captured comets avoiding the edges of the slide. Images were captured with black and white camera and software from Perceptive Instrument Comet Assay IV. Scored parameters included tail intensity or tail DNA% (TI), tail length (µm; TL) and tail moment (TM; (tail mean*head mean)*(TI/100)). To test the difference in the amount of repair between blood and various tissues, cellular DNA repair index (CRI) was calculated. For estimation of real DNA damage amount, we also calculated the number of cells with long-tailed nucleus (LTN) that represents additional parameter that can be compared with other parameters especially when the amount of damage is covered with mean values of comet tail length. LTNs are all the comets whose TL is longer than the value of 95th percentile of control values for TL [6].

Break down one-way ANOVA with post-hoc Scheffes modification (STATISTICA 9.0, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, SAD) was used to compare differences in DNA damage among different doses. Datas are expressed as mean ± S.E. (standard error), with median and range values. For

normalisation of results distribution, all the values were logarithmed with the function $\log_{10}(v+1)$. χ^2 -test was used for LTN comparison.

RESULTS AND DISCUSSION

Although we have measured three different parameters of comet assay, we have chosen TI and TL (Tables 1 and 2) as most significant and reliable ones. Although those parameters showed that significant DNA damage was made only after 6 hours from the exposure, LTN number (Figure 1) showed that strongest genotoxic effects were measured in kidney and brain cells 2 hours, in the blood 6 hours, and in the liver 24 hours after the treatment of the animals as compared to a control group.

To test the difference in the amount of repair between blood and various tissues, cellular DNA repair index (CRI) was calculated, which showed different sensitivity of organs and different status of repaired damage after the exposure. Liver and brain cells showed similar results, with the fact that 24 hours from the exposure, 50 % (TI) and 28 % (TL) was not repaired in liver, and CRI values lowered from the 35 % of damaged cells for both parameters in brain cell immediately after the treatment to really low number 24 hours from the treatment.

Table 1. Values of TI for leukocytes and cells of liver, kidney and brain after combined effect of 1 Gy and sevoflurane (Swiss albino mice). Values are represented as mean $\pm$ standard error, median and range (minimum-maximum)

TI	control	0 h	2 h	6 h	24 h
leukocytes	1.13 $\pm$ 0.17 0.26 0.00-19.76	4.99 $\pm$ 0.62 ^a 2.21 0-100	3.79 $\pm$ 0.36 ^a 1.10 0.01-23.04	3.77 $\pm$ 0.34 ^a 1.47 0.01-21.01	4.71 $\pm$ 0.36 ^a 2.77 0.01-19.14
liver	2.43 $\pm$ 0.33 0.21 0.00-28.53	3.58 $\pm$ 0.37 0.90 0.00-24.95	3.85 $\pm$ 0.37 1.40 0.00-22.83	5.18 $\pm$ 0.51 ^a 1.99 0.00-37.83	5.37 $\pm$ 0.49 ^a 2.57 0.00-34.23
kidney	4.86 $\pm$ 0.57 0.41 0-39.81	7.70 $\pm$ 0.72 ^a 2.70 0.00-39.81	8.80 $\pm$ 0.74 ^a 4.16 0-39.67	6.84 $\pm$ 0.61 2.79 0.01-36.68	7.61 $\pm$ 0.52 5.86 0.01-33.88
brain	8.96 $\pm$ 0.71 5.42 0-38.61	15.66 $\pm$ 0.79 ^a 13.51 0.01-39.27	20.82 $\pm$ 0.84 ^{a,b,d} 20.22 0.39-39.47	18.59 $\pm$ 0.84 ^{a,d} 18.38 0.13-39.03	13.60 $\pm$ 0.79 ^a 11.26 0.00-37.99

*significantly higher than: a – control; b – 0 h; c – 2 h; d – 24 h

Table 2. Values of TL for leukocytes and cells of liver, kidney and brain after combined effect of 1 Gy and sevoflurane (Swiss albino mice). Values are represented as mean $\pm$ standard error, median and range (minimum-maximum)

TL	control	0 h	2 h	6 h	24 h
leukocytes	12.53 $\pm$ 0.10	15.80 $\pm$ 0.32 ^a	18.36 $\pm$ 0.40 ^{a,b}	21.35 $\pm$ 0.36 ^{a,b,c}	20.00 $\pm$ 0.45 ^{a,b,c}
	12.82	15.42	16.67	20.83	20.21
	9.62-16.67	8.75-29.17	9.17-38.33	10.42-44.17	7.50-37.92
liver	14.68 $\pm$ 0.26	15.53 $\pm$ 0.51	15.68 $\pm$ 0.47	18.35 $\pm$ 0.50 ^{a,b,c}	19.78 $\pm$ 0.52 ^{a,b,c}
	14.58	12.92	13.33	16.67	19.17
	7.08-22.50	7.92-49.58	7.92-39.17	7.92-37.50	7.92-39.58
kidney	15.43 $\pm$ 0.28	17.96 $\pm$ 0.53 ^a	17.70 $\pm$ 0.50 ^a	17.08 $\pm$ 0.52	16.78 $\pm$ 0.47
	15.00	15.83	14.79	15.00	14.58
	6.25-24.17	7.92-42.08	8.33-36.67	7.50-40.83	8.33-42.08
brain	22.16 $\pm$ 0.63	25.70 $\pm$ 0.60 ^a	34.49 $\pm$ 0.64 ^{a,b,d}	33.37 $\pm$ 0.62 ^{a,b,d}	24.44 $\pm$ 0.63
	22.08	24.58	35.00	33.96	23.33
	7.92-36.67	7.50-41.25	15.00-50.83	9.58-48.33	8.33-44.17

*significantly higher than: a – control; b – 0 h; c – 2 h; d – 24 h.

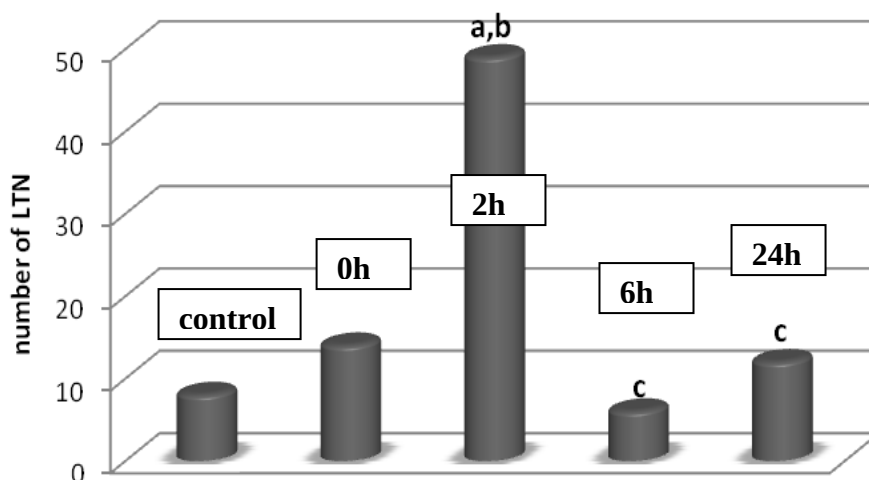


Figure 1. Number of LTN for kidney cells in control, immediately after (0 h), 2 h, 6 h and 24 hours after exposure to 1 Gy and sevoflurane, significantly higher than: a-control; b-0h; c-significantly lower than 2h

CONCLUSION

The results showed that DNA repair after the exposure to low doses of ionising radiation can start in less than 24 hours, but that there is also synergistic effect of combined interaction between anaesthetic and ionising radiation, pointing out the necessity for extreme precaution in choosing and dealing with anesthetics during radiotherapy procedures.

REFERENCES

- [1] Eroglu F, Yavuz L, Ceylan BG, Yilmaz F, Eroglu E, Delibas N, Naziroğlu M. New volatile anesthetic, desflurane, reduces vitamin E level in blood of operative patients via oxidative stress. *Cell Biochem Funct* 2010;28:211-6.
- [2] Oršolić N. 2012: Fizička karcinogeneza.
http://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/3._KARCINOGENEZA_FIZICKA-ORIGINAL1.pdf; access on: 17.09.2012.
- [3] Allaouchiche B, Debon R, Goudable J, Chassard J, Duflo F. Oxidative stress status during exposure to propofol, sevoflurane and desflurane. *Anaesth Analg* 2001;93:981-5.
- [4] Haines GA, Hendry JH, Daniel CP, Morris ID. Germ Cell and Dose-Dependent DNA Damage Measured by the Comet Assay in Murine Spermatozoa after Testicular X-Irradiation. *Biology of Reproduction* 2002;67:854–61.
- [5] Collins AR, Oscoz AA, Brunborg G, Gaivão I, Giovannelli L, Kruszewski M, Smith CC, Stetina R. The comet assay: topical issues. *Mutagenesis* 2008; 23:143-51.
- [6] Poli P, Buschini A, Spaggiari A, Rizzoli V, Carlo-Stella C, Rossi C. DNA damage by tobacco smoke and some antitubercular drugs evaluated using the Comet assay. *Toxicol Lett* 1999;108:267-76.

THE COMBINED EFFECT OF ANESTHETIC SEVOFLURANE AND IONISING RADIATION ON PRIMARY DNA DAMAGE IN MICE

*Vesna Benković¹, Sanja Halovanić¹, Anica Horvat Knežević¹,
Nikola Borojević², Nada Oršolić¹ and Mirta Milić³*

¹Department of Animal Physiology, Faculty of Science,
University of Zagreb, Croatia

²General Hospital Zabok, Radiology Department, Zabok, Croatia

³Mutagenesis Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health,
Zagreb, Croatia
mmilic@imi.hr

In induction and maintenance of general anesthesia, an inhalation anaesthetic sevoflurane (hexafluoroisopropyl fluoromethyl ether) is widely used mostly due to its low solubility and non-irritability.

The aim of the study was to examine the degree of sensitivity of different types of tissue (brain, liver and kidneys) and peripheral blood leukocytes after interaction of γ -radiation (^{60}Co) in a clinically relevant dose (1 Gy) with anesthetic sevoflurane (2.4 %, 50:50) in the model of Swiss albino mice.

For primary DNA damage assessment, the method of alkaline comet assay was applied immediately after and 2, 6 and 24 h after exposure to radiation and anaesthesia. The strongest genotoxic effect was measured in kidney and brain cells 2 hours, in the blood 6 hours, and in the liver 24 hours after the treatment of the animals as compared to a control group.

To test the difference in the amount of repair between blood and various tissues, cellular DNA repair index (CRI) was calculated, which showed different sensitivity of organs.

The results showed synergistic effect of combined interaction between anaesthetic and ionising radiation, pointing out the necessity for extreme precaution in choosing and dealing with anaesthetics during radiotherapy procedures

IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA ZRAČENJU

PUBLIC EXPOSURE

PERIODIČNOSTI U OKOLIŠNOJ RADIOAKTIVNOSTI U ZAGREBU U RAZDOBLJU 1985. – 2011.

*Dinko Babić, Jasminka Senčar, Branko Petrinc, Gordana Marović,
Tomislav Bituh i Božena Skoko*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

dbabic@imi.hr

UVOD

Jedna od glavnih zadaća zaštite od zračenja je praćenje okolišne radioaktivnosti, što se može provoditi na više načina. Razlučivanje aktivnosti radionuklida u okolišu vrši se spektrometrijskim metodama, koje najčešće zahtijevaju prikupljanje uzoraka, a ponekad i njihovo procesiranje u laboratoriju. Taj pristup osigurava preciznu informaciju, ali kontakt s okolišem nije neprekidan. Druga metoda osniva se na jednostavnijim instrumentima koji se postavljaju na odabrana mjesta i mjere zračenje bez prekida. Oba su pristupa prisutna u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) u Zagrebu, a u ovom ćemo se radu osvrnuti na potonji; taj uključuje mjerenje brzine doze (D) gama zračenja pomoću kalibriranog Geiger-Müllerovog (GM) brojača, smještenog u dvorištu IMI-a, koji radi neprekidno. Time se dobiva informacija o trenutnom stanju radioaktivnosti u okolišu – što je važno zbog pravovremenog postupanja u slučaju povišenih očitavanja – a istovremeno se prikupljaju podaci za praćenje dugogodišnjih trendova. Iako su fluktuacije u izmjeranim vrijednostima prilične – jer je pri izboru prikladnog instrumenta bila presudna njegova robusnost – numerička analiza istih razotkriva finu strukturu okolišnog zračenja u vidu periodičnih pojava koje utječu na razinu radioaktivnosti u okolišu. To je tema ovog rada.

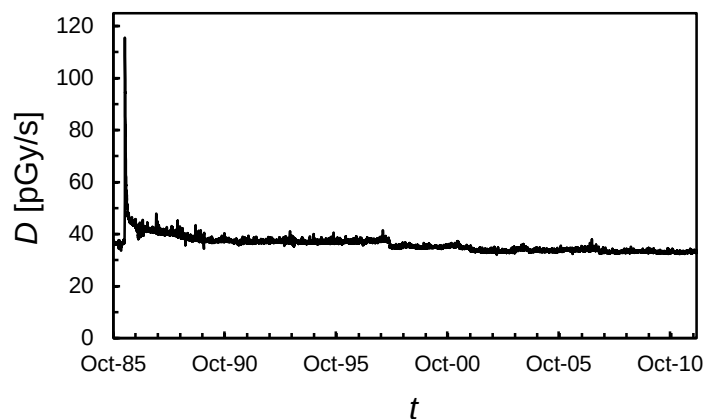
MJERNI POSTAV I METODA MJERENJA

Za mjerenje brzine doze korištena je komercijalna Philips ZP1201 GM cijev. Njezina upotreba usklađena je s međunarodnim preporukama za mjerenje okolišne doze gama zračenja [1]. Taj brojač detektira fotone energije 50 – 1250 keV, a broj detektiranih pulseva preračunava se u dozu zračenja sukladno baždarenju prema ionizacijskoj komori znanih karakteristika. Instrument je smješten na visini od 1 m iznad tla (trava) u dvorištu IMI-a, radi neprestano, te ga svake minute očitava mjerno računalo.

Prosjeak minutnih vrijednosti kroz 24 sata daje D za taj dan, i to je podatak koji se unosi u bazu. Taj je pristup opravdan jer se značajne promjene radioloških uvjeta u okolici instrumenta gotovo uvijek događaju na vremenskoj na skali duljoj od jednog dana. Rezultati prikazani u ovom radu odnose se na razdoblje od 23. listopada 1985. do 31. prosinca 2011.

MJERENA BRZINA DOZE KAO FUNKCIJA VREMENA

Na Slici 1 prikazana je mjerena D kao funkcija vremena t u spomenutom razdoblju.

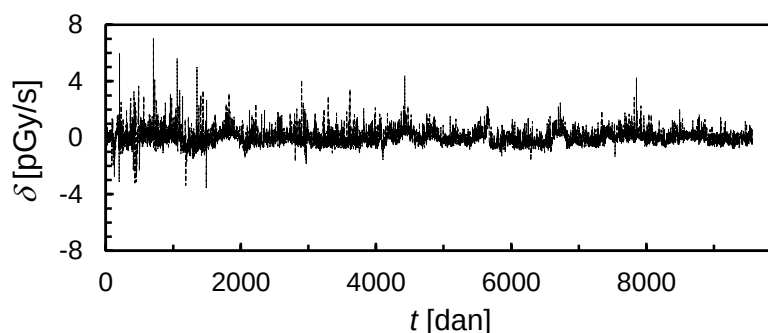


Slika 1. Mjerena $D(t)$. Naglašeni vrh posljedica je černobilske nesreće, dok D prije i dovoljno kasnije ima stalnu vrijednost u rasponu 30 – 35 pGy/s.

Fluktuacije, povremeni lomovi krivulje i slične pojedinosti u $D(t)$ posljedice su relativne grubosti instrumenta, koji primarno mora zadovoljiti uvjet pouzdanog rada u svim vremenskim uvjetima; te neregularnosti ne utječu na identifikaciju mogućih periodičnosti koje zasjenjuje šum. Vidljiv je naglašeni maksimum u travnju 1986., koji je posljedica strmog rasta D neposredno nakon černobilske nesreće. Nakon tog maksimuma D opada i postupno se vraća prema konstantnoj vrijednosti od 30 – 35 pGy/s. Tu vrijednost D ima i u vrijeme nesreće u Fukushima u ožujku 2011., iako spektrometrijski podaci iz istog razdoblja pokazuju blagi porast koncentracija ^{131}I , ^{134}Cs i ^{137}Cs u zraku uzorkovanom na IMI-u [2]. Te su koncentracije bile vrlo male – svakako premale da bi bile opažene GM detektorom – pa stoga i nije bilo potrebe za izvanrednim mjerama vezanima uz zaštitu od zračenja.

Podaci na Slici 1 nisu prikladni za analizu prisutnosti periodičnih komponenti u okolišnoj radioaktivnosti. Treba ih pripremiti za numerički proračun, što se provodi uklanjanjem trenda – to jest glatke funkcije prosjeka $d(t)$ oko koje D oscilira – čime se dobiva relativna brzina doze $\delta(t) = D(t) - d(t)$. Funkciju $d(t)$ određuje se segmentnom prilagodbom odabranih fenomenoloških funkcija mjerenim rezultatima. Ovaj postupak ne utječe na moguće periodičnosti u $D(t)$, jer radi se o oduzimanju neoscilatorne komponente ukupnog signala.

Rezultat tog postupka prikazan je na Slici 2. Tako pripremljeni podaci omogućuju pronalaženje mogućih periodičnosti metodom Fourierove transformacije podataka za $\delta(t)$.



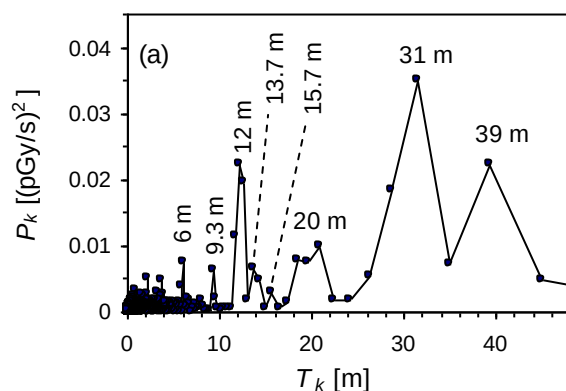
Slika 2. Relativna brzina doze $\delta(t)$.

FOURIEROVA TRANSFORMACIJA RELATIVNE BRZINE DOZE

Pretpostavimo li da $\delta(t)$ pored nasumičnog šuma $R(t)$ sadrži i harmoničku komponentu, možemo je napisati u obliku

$$\delta(t) = \sum_{k=1}^{N/2} \left[a_k \sin\left(\frac{2\pi}{T_k} t\right) + b_k \cos\left(\frac{2\pi}{T_k} t\right) \right] + R(t) , \quad (1)$$

gdje su a_k i b_k Fourierovi koeficijenti uz periode T_k . Ako je $P_k = a_k^2 + b_k^2$ za neki k različit od nule, $\delta(t)$ sadrži periodičnu komponentu perioda T_k . Fourierova transformacija provodi se numerički upotrebom prikladnog programa (ovdje Statistica 10, StatSoft, Inc.) za izračun P_k . Periode za koje se vrši izračun, a kojih je $N/2 = 4783$, program postavlja kao $T_k = \tau/k$, gdje je $\tau = 9566$ dana vremenski raspon podataka za $D(t)$.



Slika 3. $P_k(T_k)$ za $\delta(t)$, gdje je T_k izražen u mjesecima (m).

Na Slici 3 prikazan je rezultat te transformacije, gdje je T_k izražen u mjesecima (m). Iz njega slijedi prisutnost periodičnosti sa sljedećim T_k : $6,0 \pm 0,2$ m, $9,3 \pm 0,3$ m, $12,0 \pm 0,6$ m, $13,7 \pm 1,0$ m, $15,7 \pm 0,6$ m, 20 ± 2 m, 31 ± 2 m, 39 ± 3 m. Ovaj rezultat ukazuje da $\delta(t)$ sadrži ne samo nasumičan šum već i više periodičnih komponenti čiju pozadinu treba istražiti. Postojanje te modulacije odnosi se, naravno, i na $D(t)$.

UZROCI PERIODIČNOSTI U BRZINI DOZE

Dvije pronađene periodičnosti lako je interpretirati, a to su one čiji su periodi 6 m i 12 m. Naime, analiza $\delta(t)$ usrednjavanjem po mjesecima ukazuje na jedan sezonski minimum koji pada u ljeto i uzrok je perioda od 12 m, te dva sezonska maksimuma – u proljeće i jesen – koji su uzrok perioda od 6 m [2]. Nesezonski periodi ne mogu se objasniti na tako jednostavan način.

Dio zračenja kojeg mjeri GM brojač dolazi od radionuklida u tlu i oborinama, ali ti doprinosi zasigurno nemaju periodičnosti nesezonskog karaktera. Značajan doprinos daje i zrak, u radioaktivnosti kojeg dominira ^7Be . Taj radionuklid emitira gama fotone energije 477,6 keV – što je mjerljivo od strane instrumenta – a kozmogenog je porijekla: nastaje međudjelovanjem kozmičkog zračenja i jezgara kisika i dušika u višim slojevima atmosfere, otkuda dolazi do Zemljine površine. Nadalje, poznato je da intenzitet kozmičkog zračenja ovisi o aktivnosti Sunca koje pokazuje određene periodičnosti [3]. To vodi do hipoteze da su periodične modulacije u $D(t)$ povezane s utjecajem Sunčeve aktivnosti na nukleosintezu ^7Be .

Literaturni podaci [3-5] ukazuju da je u solarnim ciklusima 22 (1986. – 1996.) i 23 (1996. – 2008.) aktivnost Sunca bila periodična s

periodima od približno 9,4 m, 13,4 m, 15,6 m, 20,4 m i 29 m, što se unutar eksperimentalne pogreške slaže s našim periodima od 9,3 m, 13,7 m, 15,7 m, 20 m i 31 m. Što se tiče perioda od 39 m, on u literaturi nije identificiran za cikluse 22 i 23, ali se za neke prijašnje cikluse navode periodi 35 – 42 m. Kako nalaženje pojedinih periodičnosti predstavlja složen problem i na razini kritičkog razmatranja izmjerenih podataka i na razini numeričke matematike, nije isključeno da taj dugi period bude potvrđen i za solarne cikluse 22 i 23 u nekoj budućoj analizi.

Sve gore navedeno prilično čvrsto podupire hipotezu po kojoj fine oscilacije u $D(t)$ potječu od varijacija u kozmogenoj nukleosintezi ^7Be . Prvi odjek [6] spomenutog rezultata daje za naslutiti da se radi o nezanemarivom doprinosu tekućoj raspravi o periodičnostima u aktivnosti Sunca.

ZAKLJUČAK

Kontinuiranim mjerenjima okolišne brzine doze D na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu sačinjena je baza podataka s dnevnim vrijednostima iste u razdoblju od 23. listopada 1985. do 31. prosinca 2011. Osim znatnog povišenja u vrijeme černobilske nesreće, D je uvijek konstantna i iznosi 30 – 35 pGy/s. Kad se provede Fourierova transformacija za D kao funkciju vremena, razotkriva se čitav niz periodičnosti sakrivenih u šumu. Pripadni periodi su 6 mjeseci (m), 9,3 m, 12 m, 13,7 m, 15,7 m, 20 m, 31 m i 39 m. Dva se perioda (6 m i 12 m) mogu objasniti sezonskim atmosferskim efektima, a ostali se periodi dobro slažu s periodima u aktivnosti Sunca. To se može povezati s nukleosintezom ^7Be u atmosferi pod utjecajem kozmičkog zračenja.

LITERATURA

- [1] Thompson IMG, Botter-Jensen L, Deme S, Pernicka F, Saez-Vergara JC (Eds). Technical recommendations on measurements of external environmental gamma radiation doses, A report of EURADOS Working Group 12 "Environmental radiation monitoring", European Commission, 1999.
- [2] Babić D, Senčar J, Petrinc 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.
- [3] Kudela K, Rybak A, Antalova A, Storini M. Time evolution of low-frequency periodicities in cosmic ray intensity, Sol Phys 2002;206:165-175.
- [4] Kato C, Munakata K, Yasue S, Inoue K, McDonald F B. A ~1.7 year quasi-periodicity in cosmic ray intensity variation observed in the outer heliosphere. J Geophys Res 2003;108(A10):1367-1373.
- [5] Kane RP. Short-term periodicities in solar indices. Sol Phys 2005;227:155-175.
- [6] Kudela K, 2013; privatna komunikacija.

PERIODICITIES IN THE ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY IN ZAGREB BETWEEN 1985 AND 2011

*Dinko Babić, Jasminka Senčar, Branko Petrinec, Gordana Marović,
Tomislav Bituh and Božena Skoko*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
dbabic@imi.hr

Continuous measurements of the environmental dose rate D at the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb have resulted in a database containing daily values of D between October 23, 1985, and December 31, 2011. Apart from the appreciable increase in the time of the Chernobyl accident, D was always constant and amounted to 30 – 35 pGy/s. Fourier transform of D as a function of time reveals a number of discernible periodicities hidden in the noise. The corresponding periods are 6 months (m), 9.3 m, 12 m, 13.7 m, 15.7 m, 20 m, 31 m, and 39 m. Two of the periods (6 m and 12 m) can be explained by seasonal atmospheric effects, whereas the other periods agree well with periods in solar activity. This can be linked to the nucleosynthesis of ^7Be in the atmosphere under the influence of cosmic rays.

RADIATION PROTECTION FOR RADON IN DWELLINGS – CONSEQUENCES OF THE ICRP PUBLICATION 115

Anna-Lisa Grund, Tahar Azzam Jai, Volker Grimm and Joachim Breckow
Technische Hochschule Mittelhessen, University of Applied Sciences,
Institute for Medical Physics and Radiation Protection, Giessen, Germany
Anna-Lisa.Grund@mni.thm.de

INTRODUCTION

Radon is an inert gas, which naturally occurs in soil and rocks. It concentrates in living spaces, what causes a radiation exposure of the lung, and by implication, the potential risk of lung cancer.

In Publication 65 (ICRP, 1993), an approach was considered, which analysed the epidemiological case-control-studies of underground-miners. With these data, they compared the risk of fatal lung cancer caused by a special exposure (in WLM or Jh/m³) with the total risk of detriment per effective dose (in mSv). This leads to the "dose conversion convention", with values of mSv/WLM or mSv/Jh m⁻³. With this convention, the exposure to radon will be translated to an effective dose. The Commission notifies in ICRP Publication 115 (ICRP, 2011) that the "dose conversion convention" will be replaced in the future using reference biokinetic and dosimetric models to get a consistent system of conversion from an exposition to an effective dose.

The nominal probability coefficient, which is used to convert an exposure to a risk of lung cancer, was revised in ICRP Publication 115. The new nominal risk coefficient was thereby determined as $5 \cdot 10^{-4}$ per WLM and $8 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³, respectively. Foundation for this was recent epidemiological and miner studies which were reviewed. In the former ICRP Publication 65, the coefficient has been $2.83 \cdot 10^{-4}$ per WLM and $4 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³, respectively. In this paper, the basic pooled studies will be listed and the consequences of the doubling of the nominal risk coefficient in the ICRP Publication 115 will be analysed and discussed.

ICRP PUBLICATION 115

The studies in ICRP Publication 115 considered data since 1993 with lower levels of radon. Studies, which focused especially on the behaviour of

the participants, such as smoking habits, were emphasized in particular. This is crucial because the risk of lung cancer is not an additive but assumes to be a multiplicative effect.

Three pooled studies from Darby, Krewski and Lubin [1-3] verify the increase of the risk with higher expositions. The conclusion of the three studies was nearly the same: The increased risk (*excess relative risk*, ERR) is about 1.09 per 100 Bq/m³, on condition of exposition duration of about 30 years. Even by regarding only exposures below a level of 200 Bq/m³, the increased risk of lung cancer was similar. By exclusion of uncertainties in the radon measurement or only considering participants with residential stability, the studies of Darby, Krewski and Lubin showed an increase of the excess relative risk up to 1.16, 1.18 and 1.32 [1-3].

For comparing the excess relative risk (ERR) with the lifetime excess absolute risk (LEAR), some assumptions have to be taken. Tomasek *et al.* [4] used the BEIR VI TSE-age-concentration model [5] to calculate the LEAR. This model is based on miner-studies with low level of exposure and provides data for the analysis of the modifying effects of attained age, time since exposure and exposure rate. With this concept, Tomasek *et al.* [4] got to a LEAR of $5.3 \cdot 10^{-4}$ per WLM. On the same basis, Tomasek *et al.* used another model to calculate the ERR into the LEAR. This model based on the Czech-French cohorts analyses [6]. This model is based on only those miner data with good accuracy and considers age and time since exposure at low radon exposure levels and leads to an LEAR of $4.4 \cdot 10^{-4}$ per WLM.

In part of ICRP Publication 115 other calculations were undertaken to confirm the results. They based on several studies and resulted in the commission's recommendation of the new LEAR of $5 \cdot 10^{-4}$ per WLM, which is twice of the value in ICRP Publication 65.

The excess relative risk coefficient was calculated in another way, with a lot of assumptions like a mean duration of stay, the equilibrium factor and the ordinary exposition, which leads to an ERR of 0.16 per 100 Bq/m³. This is equal to the value recognized in the BEIR VI-report. It is also the same value as in the European study from Darby *et al.* [1] and shows the good compliance of the procedures.

CONSEQUENCES OF ICRP PUBLICATION 115

In view of the recommendations in ICRP Publication 103 (ICRP, 2007), 10 mSv per year is the reference level for radon in dwellings. This value was determined concerning the range of the reference level of 1 to 20 mSv/a for radiation exposure with a benefit of the situation for the

people. With the conversion factor of $2.83 \cdot 10^{-4}$ per WLM and $4 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³ respectively from ICRP Publication 65, the upper value of 600 Bq/m³ for radon in dwellings was recommended. According to the recent calculations (ICRP Publication 115) with the new factor of $5 \cdot 10^{-4}$ per WLM and $8 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³ respectively, an annual dose of approximately 20 mSv per year can be calculated by 600 Bq/m³ in dwellings. Therefore the Commission revised the reference level for radon concentration in dwellings from the value in ICRP Publication 103 of 600 Bq/m³ to 300 Bq/m³.

This will have drastic effects for the homeowner. Sanctions to reduce the radon concentration in existing dwellings have to be introduced and precautions have to be taken for new buildings. Close-meshed measurement has to be accomplished to recognize high-risk-territories. The government has to provide consultants for the population for more information about how to reduce and avoid radon in buildings. Especially, information about the risk of high radon exposure has to reach the inhabitants because the problem of radon is still unknown in the society. The government has not already taken the suggestions concerning the radon problem into regulations. Without any nationally settlement the reference level of 10 mSv/a will not be complied.

Until now the known effective dose from all radiation sources amounts for inhabitants in industrialized countries to an average of almost 3.5 mSv per year. Within that value, the natural radiation exposure contributes more than half of the total dose. The other part arises from medicine, especially x-ray diagnostics. The inhalation of radon and its short-lived decay products delivers thereby the main contribution of the natural amount with 1.2 mSv per year (Figure 1), calculated with the dose conversion convention of ICRP Publication 65.

Using the new dose conversion convention of the ICRP Publication 115, a value of approximately 2.3 mSv can be calculated for the yearly effective dose caused by radon in dwellings in Europe (Figure 1). Basis for this is the average concentration of 60 Bq/m³ for radon in dwellings. This increases the effective dose from all radiation sources for inhabitants from 3.5 mSv per year to approximately 4.6 mSv per year.

The International Commission of Radioprotection (ICRP) has not specifically mentioned that the mean effective dose will also be doubled using their new recommendation (ICRP Publication 115). But this is especially one of the main consequences of the new conversion factor because the population will get a higher exposition of natural radiation sources (Figure 1).

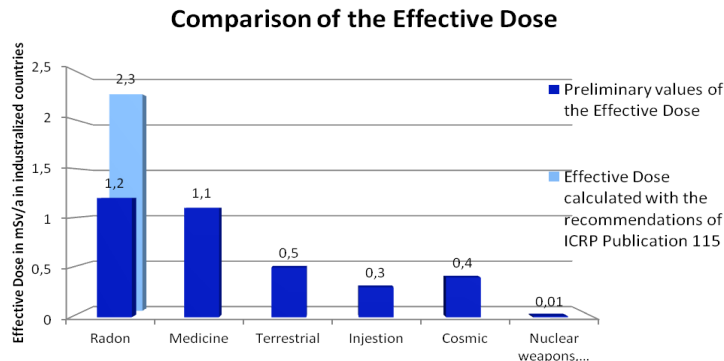


Figure 1. Average effective dose per year (mSv/a), values caused by radon calculated with the recommendation of ICRP Publication 65 or 115 [7]

All former comparisons of artificial radiation with natural radiation have to be revised because of the higher natural radiation exposure. The reference levels or boundary values have to be updated and the population has to be informed. This is a main point of the consequences, which will be expected. The population is frightened of the artificial exposure, especially from the nuclear technology, without knowing where the main part of the radiation comes from. This part has to be limited, even if it originates from a natural source.

CONCLUSION

The revised studies show consistently compliance to the new probability coefficient of $5 \cdot 10^{-4}$ per WLM and $8 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³, respectively. This leads to a higher effective dose from 1.2 mSv/a to 2.3 mSv/a by radon exposure. The upper reference level for radon gas in dwellings will have to be adapted from 600 Bq/m³ to 300 Bq/m³ for observing the limit of 10 mSv/a for radon in dwellings according to ICRP Publication 103.

Just by a change of the conversion factor, the effective dose of the population becomes about 25 % higher than before. The risk of lung cancer is not an additive but assumes to be a multiplicative effect. Since smokers have an obvious higher risk to contract on lung cancer, the main part of the additional effective dose concerns to smokers. A possible way to reduce the risk of lung cancer, even the radon attributed risk, is simply to reduce smoking itself.

Even the effects of the higher natural effective dose concerning the comparisons of artificial and natural exposure have to be observed. It is not possible to cast the exposure from e.g. medicine in a positive light just because the part of radon is higher. In the other way round, the comparisons have to be updated for bringing the different types of exposure into accordance with the potential risks.

It has to be published and mentioned, that the mean effective dose caused by radon will be doubled using the new recommendation (ICRP Publication 115). The European commission has to take necessary actions, including the setting of new boundary concentration values of radon in existing and new dwellings.

REFERENCES

- [1] Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Falk R, Farchi S, Figueiras A, Hakama M, Heid I, Hunter N, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruosteenoja E, Rosario AS, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R.: Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe. *Scand J Work Environ Health* 2006; 32(Suppl 1):1-83.
- [2] Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, Klotz JB, Létourneau EG, Lynch CF, Lyon JL, Sandler DP, Schoenberg JB, Steck DJ, Stolwijk JA, Weinberg C, Wilcox HB; A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J Toxicol Environ Health A* 2006;69(7):533-97.
- [3] Lubin JH, Wang ZY, Boice JD Jr, Xu ZY, Blot WJ, De Wang L, Kleinerman RA.; Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int J Cancer* 2004;109(1):132-7.
- [4] Tomasek L, Rogel A, Laurier D, Tirmarche M.; Dose conversion of Radon exposure according to new epidemiological findings. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;130(1):98-100.
- [5] Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI), National Research Council; Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI; National Academy Press; 1999
- [6] Tomasek L, Rogel A, Tirmarche M, Mitton N, Laurier D.; Lung cancer in French and Czech uranium miners: Radon-associated risk at low exposure rates and modifying effects of time since exposure and age at exposure. *Radiat Res* 2008;169(2):125-37.
- [7] Sources and Effects of Ionizing Radiation; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR 2008

RADIATION PROTECTION FOR RADON IN DWELLINGS – CONSEQUENCES OF THE ICRP PUBLICATION 115

Anna-Lisa Grund, Tahar Azzam Jai, Volker Grimm and Joachim Breckow
Technische Hochschule Mittelhessen, University of Applied Sciences,
Institute for Medical Physics and Radiation Protection, Giessen, Germany
Anna-Lisa.Grund@mni.thm.de

In the last decade several epidemiological studies on risk estimations due to exposure to radon in dwellings revealed higher risks to radon exposure than estimated previously. Thus, in ICRP Publication 115 (ICRP, 2011) a revised nominal probability coefficient for radon and its progeny-induced lung cancer was propounded. Based on the results of the exposure from residential studies and underground miners, the risk of lung cancer was estimated as $5 \cdot 10^{-4}$ per WLM (lifetime excess absolute risk, LEAR) and $8 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³, respectively. In the former Publication 65 (ICRP, 1993), the coefficient has been $2.83 \cdot 10^{-4}$ per WLM and $4 \cdot 10^{-10}$ per Bq·h/m³, respectively. Typical radon activity concentration in dwellings is about 60 Bq/m³ in many parts of Europe. According to the ICRP Publication 65-dose coefficients, this concentration leads to a mean annual effective dose of 1.2 mSv. If the new nominal risk coefficient from ICRP Publication 115 is applied, the effective dose due to radon in dwellings increases to approximately 2.3 mSv per year. Referring the reference level of 10 mSv/a for radon exposure in dwellings in ICRP Publication 103 (ICRP, 2007) and based on the new recommendations in ICRP Publication 115, actions have to be taken to reduce the upper reference level for radon gas in dwellings from 600 Bq/m³ to 300 Bq/m³.

RADON CONCENTRATION INTERCOMPARISON IN SERBIA

*Gordana Pantelić¹, Miloš Živanović¹, Maja Eremić Savković² and
Sofija Forkapić³*

¹Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade,
Belgrade, Serbia

²Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović",
Belgrade, Serbia

³Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia
pantelic@vinca.rs

INTRODUCTION

Radon is a colourless and odourless radioactive gas, produced by the radioactive decay of radium, a naturally occurring radioactive element that is found in trace amounts in all soils as well as building materials. Radon gets into buildings mainly through cracks in floors or gaps around pipes or cables. Airborne radon can be released during normal household activities, such as showering, dishwashing, etc. Radon is and always has been a natural component of the air we breathe and can pose a huge potential health risk.

According to Law on Ionizing Radiation Protection and on Nuclear Safety [1] radioactivity testing in Serbia may be performed only by accredited laboratories. Accredited laboratories ought to participate in interlaboratory comparison or proficiency-testing programme for each accredited method [2].

The call for intercomparison was announced in July 2012 and it was conducted in August 2012. The participants were Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović", Department of Physics at Faculty of Sciences, University of Novi Sad and Radiation Protection Laboratory, Vinča Institute of Nuclear Science. The laboratories are practicing the same method for radon measurement using charcoal canisters US EPA protocol 520/5-87-005 [3]. This method is based on the high affinity of activated charcoal for several gasses and vapors, one of which is ²²²Rn. Radon is adsorbed onto the charcoal grains and decays to radon short-lived progenies: ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po and ²¹⁰Pb.

The results of intercomparison were evaluated by using the u -test. The u -score value was calculated according to the IAEA criteria [4], by using the following formula:

$$u = \frac{|A_s - A_l|}{\sqrt{u_s^2 - u_l^2}} \quad (1)$$

where $|A_s - A_l|$ is the difference between the reference value and measured value, u_l the total uncertainty of the measured value, and u_s the total uncertainty of the reference value. It was decided to use the calculated mean value of all the measurements that do not differ more than 10 % from the mean as reference value. Measurements with u -score lower than or equal to 2.58 were considered acceptable.

CHARCOAL EXPOSURE

Eight canisters were exposed at two sites in Vinča Institute, four canisters were used in each location simultaneously. Exposure times were between 2 and 3 days (Table 1). Difference in masses before and after exposure was measured in order to perform the correction for humidity. Canisters were positioned at 1 m distance from floor and walls when possible, or as close to 1 m otherwise.

Table 1. Radon canisters exposure data

No. of canister	Start mass (g)	Exposure start	Exposure end	End mass (g)	Location
1	160.51	24.8.2012. 14:54	27.8.2012. 8:17	164.89	Vinča, building 24, office
2	160.90	24.8.2012. 14:54	27.8.2012. 8:17	165.33	
3	162.22	24.8.2012. 14:55	27.8.2012. 8:18	164.69	
4	161.45	24.8.2012. 14:55	27.8.2012. 8:18	163.96	
5	161.25	24.8.2012. 15:03	27.8.2012. 9:40	167.79	Vinča, building 21, ware- house
6	160.77	24.8.2012. 15:03	27.8.2012. 9:40	167.51	
7	161.42	24.8.2012. 15:03	27.8.2012. 9:40	166.19	
8	161.76	24.8.2012. 15:03	27.8.2012. 9:40	166.41	

The canisters were exposed by removing the metal lid. During the exposure, radon is being adsorbed to and desorbed from the activated charcoal, and it also undergoes radioactive decay. After the exposure, canisters were sealed by replacing the metal lid and vinyl tape.

MEASUREMENT METHOD

Measurement was conducted by the gamma spectrometry of radon progeny. Three gamma lines were used, 295 keV and 352 keV lines of ^{214}Pb and 609 keV line of ^{214}Bi . It is necessary to wait at least 3 hours between sealing the canister and measurement, in order to attain radioactive equilibrium.

Due to all the processes that take place during and after exposure of canisters, gamma photons count rate is not a linear function of the exposure time of the canister. Canisters are therefore calibrated by using radon calibration chambers (chambers with known radon concentrations and with controlled environmental conditions) for defined exposure periods [3].

Standard and background canisters were 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. This is achieved by placing a known amount of ^{226}Ra , which is the parent radionuclide of ^{222}Rn and which has the half-life of 1600 years. This canister was used for determining the efficiency of the detector system. Background canister is a regular radon measurement canister, which has never been exposed.

Before every exposure, canisters must be appropriately prepared. This process is done by heating open canisters for a set period of time at 110 °C. During the heating, adsorbed water vapor, radon and its progeny, as well as other adsorbed species, are being desorbed. After the heating, canisters were sealed and were ready for the next exposure.

RESULTS

All eight charcoal canisters were measured in all three participating laboratories on gamma spectrometers. The characteristics of HP Ge detectors (manufacturer, resolution and relative efficiency at 1332 keV), thickness of Pb shield, software for peak determination and measurement time are shown in Table 2. Key to the columns in Table 2 is the following: number 1 corresponds to Institute Vinča, number 2 to Institute "Dr Dragomir Karajović" and number 3 to the University of Novi Sad.

Table 2. HP Ge detectors characteristics

Institute	1	2	3
Producer	Canberra	ORTEC	Canberra
Resolution (1332 keV)	1.9 keV	1.85 keV	1.79 keV
Relative efficiency	50 %	40 %	36 %
Thickness of Pb shield	10 cm	10 cm	12 cm
Software	Canberra Genie 2000	Gamma Vision®-32	Canberra Genie 2000
Measurement time	1800 s	1800 s	3000 s

Radon concentration as well as measurement uncertainty was calculated according to US EPA protocol 520/5-87-005 [3]. For each series of canisters bought from the F&J Speciality Products, INC, laboratories obtained two calibration curves. The first one relates calibration factor to weight gain (water) for the canisters for a 2-day exposure (48 h). The second curve relates exposure time to adjustment factors for 20, 50 and 80 percent humidity. The adjustment factor is used to modify the calibration factor for exposure times different from the desired 2-day exposure time. If a canister is exposed for exactly 2 days, the adjustment factor is 1.

Each laboratory corrects the results with calibration factor and with adjustment factor. The activities of radon concentrations were calculated independently, and are given in Table 3. The measurements that meet the criteria to be included in the mean value calculation are shaded. Key to the columns in Table 3 is the same as in Table 2.

Table 3. Results of radon concentration measurements

No.	Radon concentration (Bq/m ³)			mean
	1	2	3	
1	91 ± 7	104 ± 7	119 ± 9	91 ± 6
2	92 ± 7	86 ± 7	91 ± 6	
3	80 ± 6	96 ± 6	89 ± 6	
4	74 ± 6	91 ± 6	90 ± 4	
5	134 ± 10	103 ± 6	182 ± 10	148 ± 22
6	134 ± 10	155 ± 8	160 ± 8	
7	126 ± 9	146 ± 8	106 ± 6	
8	121 ± 9	156 ± 8	181 ± 8	

The mean value with 2 standard deviation is shown in the last column. The u -scores were calculated for all the measurements by using formula (1), and it shows that only one measurement does not meet the pre-set criteria. The obtained results are presented in Table 4.

Table 4. The final results of intercomparison

Lab.	Institute Vinča			Institute "Dr Dragomir Karajović"			University of Novi Sad		
No.	u	A_i/A_s	Final	u	A_i/A_s	Final	u	A_i/A_s	Final
1	0.00	1.00	A	1.41	1.14	A	2.59	1.31	N
2	0.11	1.01	A	0.54	0.95	A	0.00	1.00	A
3	1.30	0.88	A	0.59	1.05	A	0.24	0.98	A
4	2.00	0.81	A	0.00	1.00	A	0.14	0.99	A
5	0.58	0.91	A	1.97	0.70	A	1.41	1.23	A
6	0.58	0.91	A	0.30	1.05	A	0.51	1.08	A
7	0.93	0.85	A	0.09	0.99	A	1.84	0.72	A
8	1.14	0.82	A	0.34	1.05	A	1.41	1.22	A

CONCLUSION

The performance evaluation results showed that 95.8 % of all reported results obtained a score of "Acceptable" (A).

From the comparison of the performance of these 3 laboratories, it can be seen that all of them had an excellent performance in this intercomparison, which indicates the stability of the performance of the analytical system in these laboratories.

REFERENCES

- [1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, Sl. Glasnik Republike Srbije, 39, 2009.
- [2] General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISO/IEC 17025:2006.
- [3] Grey DJ, Windham ST, EERF Standard Operating Procedures for Radon-222 Measurement Using Charcoal Canisters, EPA 520/5-87-005, 1987.
- [4] ALMERA Proficiency Test on the Determination of Gamma Emitting Radionuclides in Spinach, Soil, and Water, IAEA-CU-2007-04, IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications No. IAEA/AQ/3 International Atomic Energy Agency, 2009. ISSN 2074-7659.

RADON CONCENTRATION INTERCOMPARISON IN SERBIA

*Gordana Pantelić¹, Miloš Živanović¹, Maja Eremić Savković² and
Sofija Forkapić³*

¹Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade,
Belgrade, Serbia

²Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović",
Belgrade, Serbia

³Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia
pantelic@vinca.rs

According to Law on Ionizing Radiation Protection and on Nuclear Safety radioactivity testing in Serbia may be performed only by accredited laboratories. Accredited laboratories ought to participate in interlaboratory comparison or proficiency-testing programme for each accredited method. The participants in radon concentration intercomparison in 2012 in Serbia were three laboratories. The laboratories are practicing the same method for radon measurement using charcoal canisters US EPA protocol 520/5-87-005, 1987. The results of intercomparison were evaluated by using the *u*-test which was calculated according to the IAEA criteria. Measurements with *u*-score lower than or equal to 2.58 are considered acceptable. Eight canisters were exposed at two sites in Vinča Institute, four canisters were used in each location simultaneously. Exposure times were between 2 and 3 days. Difference in masses before and after exposure was measured in order to perform the correction for humidity. Standard and background canisters are used 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. All eight charcoal canisters were measured in all three participating laboratories on HP Ge detectors. Each laboratory corrects the results with calibration factor and with adjustment factor obtained from canisters manufacturer. The activities of radon concentrations were calculated independently. From the comparison of the performance of these 3 laboratories, it can be seen that all of them had an excellent performance in this intercomparison, which indicates the stability of the performance of the analytical systems in these laboratories.

RADON MEASUREMENTS IN VOJVODINA

*Sofija Forkapić, Ištvan Bikit, Miroslav Vesković, Nataša Todorović,
Dušan Mrđa, Kristina Bikit and Jovana Nikolov*

Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia

sofija@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Radon, the natural radioactive gas which can be accumulated in indoor air to significant concentrations, gives the great contribution to annual effective dose of population in the world. The internal exposure is caused by the inhalation of radon (^{222}Rn), thoron (^{220}Rn) and their short lived decay products. The most important source of indoor radon is the underlying soil, so the enhanced levels of radon are usually expected in mountain regions where the rocks contain high concentrations of uranium ^{238}U . However, radon levels in plain areas might be also elevated due to soil porosity. The Pannonian Plain, in place of the ancient Pannonian Sea, is a region where such effects should be investigated. The presence of numerous underground hot spring and sources of natural gas, as well as some crude oil reservoirs, point to the possibility of elevated radon levels. In this paper the results of the first indoor radon survey in a South Pannonian Province Vojvodina (Serbia) are presented.

MEASUREMENT METHOD

The main aim of the present study was to determine the maximal annual effective dose due to exposure to radon and to highlight the regions with elevated levels of indoor radon. Based on previous indoor radon measurements, target sampling locations were chosen to be old adobe houses with no concrete construction of the floor. The measurement of indoor radon was performed by Department of Physics in Novi Sad using the etched track detectors CR39 in about 1000 dwellings in all 45 municipalities of Vojvodina. The time of exposure was 90 days during the winter season, from December 2002 to March 2003. The number of detectors per municipality was determined proportional to the number of citizens in the municipality. The detectors were distributed to students of high schools through the cooperation with professors of physics who

supervised also the placing and exposure of detectors. The education of students and their relatives and also increasing the public awareness of radon was the advantage of this project. The CR39 films were exposed inside plastic closed containers with such dimensions of micro pores to prevent the entrance of radon progenies (and usually of thoron, ^{220}Rn , as well). The etching, evaluating and counting of tracks were performed by Radosys Company. The measurements were continued during the winter 2003 – 2004 and also 2004 – 2005 in the same manner.

RESULTS

The first radon map was obtained by calculations of the local averages on the basis of administrative boundaries of municipalities and the results were published in [1]. Based on the log-normal distribution of measured radon activity concentrations (Figure 1) the geometric averages were chosen.

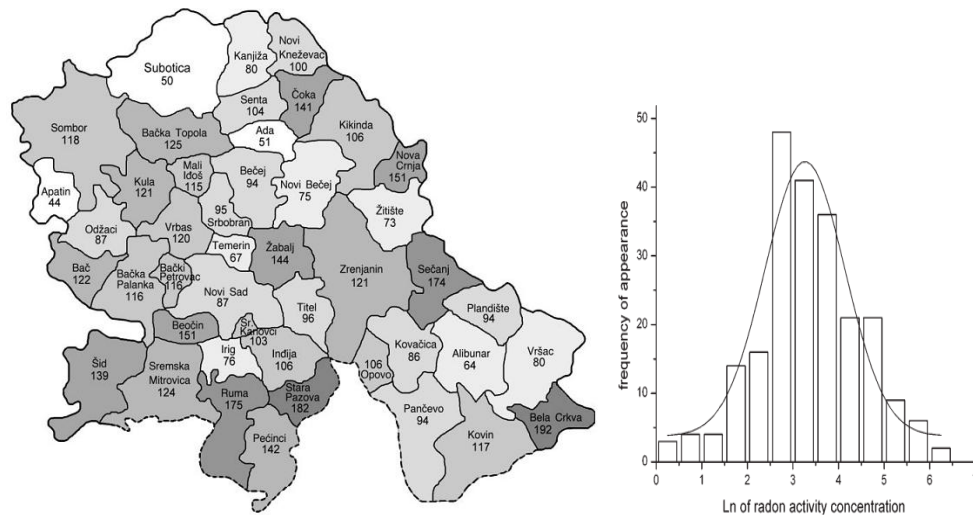


Figure 1. First radon map of Vojvodina with ln-normal distribution of measurements.

About 4 % of the measurements were elevated indoor radon concentrations above 400 Bq/m^3 which is the intervention level in radiation protection legislative in Serbia. According to [2] the mean annual radon concentration could be estimated as:

$$C_0 = 0.73 \times \text{GeoMean} [\text{Bq/m}^3] \quad (1)$$

where 0.73 is the seasonal correction factor for 3 months duration of the measurement started in December. The effective dose [nSv] can be calculated from the following formula [3]:

$$Dose = C_0 (\varepsilon_0 + \varepsilon_d F) O \quad (2)$$

where C_0 is the mean annual radon activity concentration in Bq/m^3 , ε_0 (0.17 nSv/h per Bq/m^3) and ε_d (9 nSv/h per Bq/m^3) are dose conversion factors for radon dissolved in blood following inhalation intake and for inhaled radon, respectively, F is the equilibrium factor between radon and its short-lived progeny ($F = 0.4$ assumed) [4], and O is the occupational factor (time spent indoors by average European, $O = 0.7 \times 8.76 \times 10^3 \text{ h}$). Using these relations, with the mean annual radon activity concentration of 76.1 Bq/m^3 , an annual effective dose for the whole body of 1.76 mSv/a was estimated which is in good agreement with the WHO value of 2.5 mSv/a [5].

Table 1. Results of the first indoor radon survey of Vojvodina region

survey period	season	number of dwellings	measurement time (days)	A_{SR} [Bq/m^3]	GeoMean [Bq/m^3]	MAX [Bq/m^3]
2002/03	winter	968	90	144	104.2 ± 2.3	893
2003/04	winter	941	90	102	68.1 ± 2.6	599
2004/05	winter	926	90	103	73.3 ± 2.3	896

Finally, the influence of house parameters to radon levels was determined concerning the database of 3000 measurements. It was concluded that the construction parameters and life habits of population have dominant influence to radon levels. New buildings with poor isolation concrete floors also have elevated radon levels like the old ones with adobe walls and without floor construction. Geological aspects effect the indoor radon concentration if the houses are single-storied with no basement. Heating modes do not effect too much radon accumulation in rooms, but if the ventilation is poor it may result with significant elevated radon levels.

In Table 2 the statistics of radon potential are showed. According to [2] radon potential is the number of dwellings exceeding a given radon level (200 Bq/m^3) among 1000 dwellings. For these dwellings with elevated radon levels the impact of construction parameters, heating mode, basement and flatness were analysed.

Table 2. The analysis of radon potentials for all radon maps and percentage abundance of house parameters in dwellings exceeding 200 Bq/m³

	2002/2003	2003/2004	2004/2005
Radon potential	22 %	13 %	11 %
old house	46 %	45 %	42 %
new house	54 %	55 %	58 %
basement	9 %	8 %	13 %
no-basement	91 %	94 %	87 %
concrete floor	64 %	66 %	71 %
soil / wood	36 %	34 %	29 %
single storied	94 %	99 %	99 %
more-storied	6 %	1 %	1 %
electric heating	35 %	31 %	38 %
solid fuel	38 %	25 %	44 %
gas	21 %	42 %	18 %

CONCLUSION

Recent analyses of epidemiological studies of lung cancer risk from residential exposures demonstrate a statistically significant increase per unit of exposure below average annual concentrations of about 200 Bq/m³ [6]. Experiences and conclusions of the radon mapping in Vojvodina province of Serbia are discussed in the paper. The benefit of the indoor radon survey of Vojvodina is that the houses with elevated radon levels were found and not expensive reparation were recommended to owners, like plastic isolation, better ventilation etc. The results of repeated measurements confirm the decreasing of indoor radon concentrations to ordinary levels. The future plans are to collaborate in regional and national projects of radon mapping, intercomparisons and common methods of sampling with neighbouring countries, applications to FP7 common radon projects and also to prepare the data for submission to European indoor radon map, using a reference grid with resolution of 10 km × 10 km [7].

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia, within the projects No171002 and No43002.

REFERENCES

- [1] Forkapić S, Bikit I, Slivka J, Čonkić Lj, Vesković M, Todorović N, Varga E, Mrđa D, Hulber E. Indoor radon in rural dwellings of the South-Pannonian region. *Radiation Protection Dosimetry* 2006;123(3):378-383.
- [2] Miles JCH, Howarth CB. Validation scheme for laboratories making measurements of radon in dwellings: 2000 Revision NRPB-M1140. (Chilton: NRPB) p.11 (2000).
- [3] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiation. (New York: United Nations) (2000).
- [4] International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60 (Annals of the ICRP 21 (1991)).
- [5] Mettler F, Upton A. Medical Effects of Ionizing Radiation. Second Edition, 1995. ISBN 0-7216-6646-9.
- [6] International Commission on Radiological Protection. Statement on Radon Approved by the Commission in November 2009 (ICRP Ref 00/902/09).
- [7] Dubois G, Bossew P, Tollefsen T, De Cort M. First steps towards a European atlas of natural radiation: status of the European indoor radon map. *Journal of Environmental Radioactivity* 2010;101:786-798.

RADON MEASUREMENTS IN VOJVODINA

*Sofija Forkapić, Ištvan Bikit, Miroslav Vesković, Nataša Todorović,
Dušan Mrđa, Kristina Bikit and Jovana Nikolov*

Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia

sofija@df.uns.ac.rs

Recent analyses of epidemiological studies of lung cancer risk from residential exposures demonstrate a statistically significant increase per unit of exposure below average annual concentrations of about 200 Bq/m³. Indoor radon measurements performed in Novi Sad in about 400 houses and flats are presented and discussed in this paper. By measuring gamma-activity of radon daughters, radon activity concentration was determined to be 50 Bq/m³. In Vojvodina region indoor radon levels were measured by alpha track detectors CR-39 on about 3000 locations during the winter seasons in the period of three years (2003 – 2005). The main aim of the present study was to explore the critical group of population for radon exposure and to estimate maximal annual doses. Existing radon maps which identify regions with elevated radon levels will improve data collection and analysis for the future radon campaigns. Collaboration on the JRC program of European indoor radon map and implementation of grid system are also discussed.

RADON U TLU I VODI LIČKO-SENJSKE ŽUPANIJE

*Vanja Radolić¹, Denis Stanić¹, Igor Miklavčić¹, Marina Poje¹,
Branko Petrincec², Matko Mužević¹, Ivana Krpan¹ i Branko Vuković¹*

¹Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon (^{222}Rn) je plemeniti, radioaktivni plin koji nastaje radioaktivnim raspadom radija (^{226}Ra) uz emisiju alfa čestice. Njegova prisutnost u okolišu povezana je s količinom (i raspodjelom) neposrednog mu roditelja u radioaktivnom nizu, u stijenama i tlu. Kemijski je inertan pa se, vođen različitim transportnim mehanizmima, relativno lako giba kroz porozno tlo, odnosno podzemne vode [1]. Poznato je da radon i njegovi kratkoživući potomci daju najveći doprinos efektivnoj dozi stanovništva od prirodnih izvora zračenja [2]. Većina procijenjenog rizika otpada na inhalaciju zraka bogatog radonom dok se ostatak odnosi na ingestiju radona pitkom vodom [3]. Kao zamjena za radonski rizik, prilikom izrade zemljovida, u posljednje je vrijeme jako prisutan koncept radonskog potencijala koji nije jednoznačno definiran već se različiti pristupi mogu svesti na dva potpuno različita koncepta. U prvom, radonski potencijal je konstruirana varijabla čija vrijednost ovisi o lokalnim geološkim odnosno geofizičkim parametrima (ali ne i o vrsti objekta, odnosno životnim navikama ljudi koji u konačnici definiraju aktualnu koncentraciju radona u kućama) te se koristi za predviđanje potencijalnog rizika od radona u nekom području [4,5]. Tako se, mjerenjem koncentracije radona u tlu i procjenom permeabilnosti tla, konstruira geogeni radonski potencijal na sljedeći način: niski ($<30 \text{ kBq/m}^3$), srednji ($30 - 100 \text{ kBq/m}^3$) i visoki ($>100 \text{ kBq/m}^3$). Drugi pristup opisuje mogućnost pojavljivanja radonskog rizika, a temelji se na vjerojatnosti premašivanja zadane kritične vrijednosti koja se računa na provedenim mjerenjima radona u nekom području od interesa [6,7].

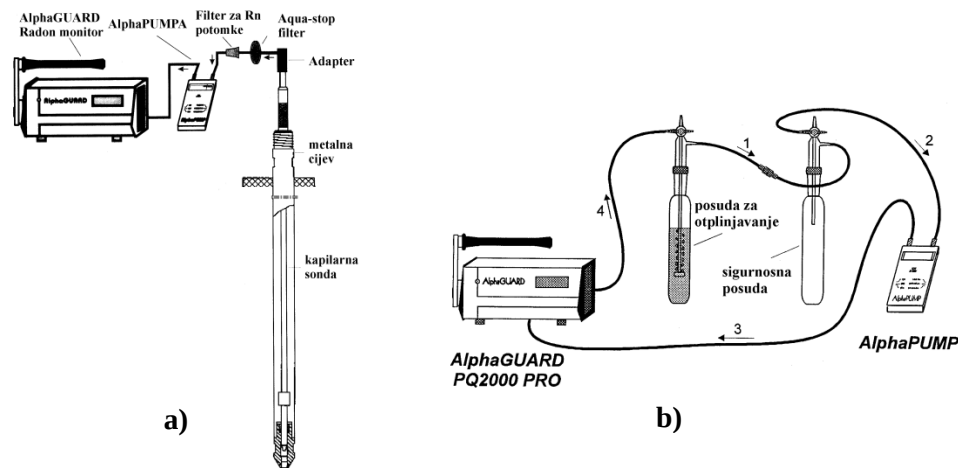
Istraživačka grupa iz Laboratorija za niske radioaktivnosti s Odjela za fiziku Sveučilišta u Osijeku je nakon sustavnih istraživanja radona u kućama u RH [8] provedenih s ciljevima procjene srednje godišnje koncentracije radona u kućama, određivanja postotka kućanstava u kojima

koncentracija radona prelazi preporučene vrijednosti (200 odnosno 400 Bq/m³) te identifikacije administrativnih područja s povišenom radonskom koncentracijom, pristupila detaljnijoj analizi radonskih vrijednosti u tlu, vodi i zraku u ovim područjima.

MATERIJALI I METODE

Koncentracija radona u tlu i vodi u naseljima Ličko-senjske županije mjerena je u rujnu 2012. godine pomoću AlphaGUARD mjernog sustava.

Za mjerenje koncentracije radona u tlu pomoću AlphaGUARD mjernog sustava potrebno je povezati njegove dijelove prema Slici 1a. Sam postupak mjerenja izvodi se na sljedeći način. Prvo se metalna cijev ukopa u tlo na željenu dubinu (0,8 m), a zatim se izvuče 5 cm prema gore kako bi se oslobodio prostor za uzimanje uzorka plina iz tla. Uzorak se uzima pomoću kapilarne sonde koja se umeće u metalnu cijev dok se ne izbaci zaštitna zakovica koja onemogućava ulazak zemlje. Na gornjem kraju je kapilarna sonda serijski spojena s Aqua-stop filtrom (koji sprječava prodiranje vode iz tla u sustav), filtrom za radonove potomke, AlphaPUMPOM (kojom se usisava zrak iz tla u ionizacijsku komoru) i AlphaGUARD-om. Procedura mjerenja predviđa pumpni režim rada u mjernom intervalu od 1 min, a upumpavanje zraka se vrši brzinom 1 l/min. Problem torona rješava se mjerenjem uzorkovanog plina u trajanju od 30 do 35 min i pritom mjerene vrijednosti u prvih 5 – 10 minuta predstavljaju ukupnu α -aktivnost oba značajna radonova izotopa (^{222}Rn i ^{220}Rn).



Slika 1. Mjerenje radona u tlu (a) i vodi (b) pomoću AlphaGUARD mjernog sustava.

Voda iz gradskih vodovoda u naseljima Ličko-senjske županije uzorkovana je u školama i vrtićima. Određivanje koncentracije radona u uzorku vode temelji se na određivanju koncentracije radona u zraku. Eksperimentalni postav koji pored AlphaGUARD-a i AlphaPUMPE, sadrži još i dvije staklene posude: za otplinjavanje i sigurnosnu posudu, a prikazan je na Slici 1b. Sama procedura brzog mjerenja radona nakon uzorkovanja određene količine vode (uobičajeni obujam je 100 ml) opisana je u [9].

Europska unija je 2001. godine predložila referentni nivo radona u vodi od 100 Bq/l iznad kojeg se preporuča pojačani nadzor vodoopskrbnog sustava odnosno iznos od 1000 Bq/l koji predstavlja granicu nakon koje je nužno uspostaviti mjere za zaštitu javnog zdravlja [10]. Godišnja primljena efektivna doza uslijed ingestije radona u vodi računa se pomoću konverzijskog faktora koji iznosi $0,35 \cdot 10^{-8}$ Sv·l/Bq [2] i uz pretpostavku da dojenčad, djeca i odrasli popiju redom 100, 75 odnosno 50 l vode godišnje.

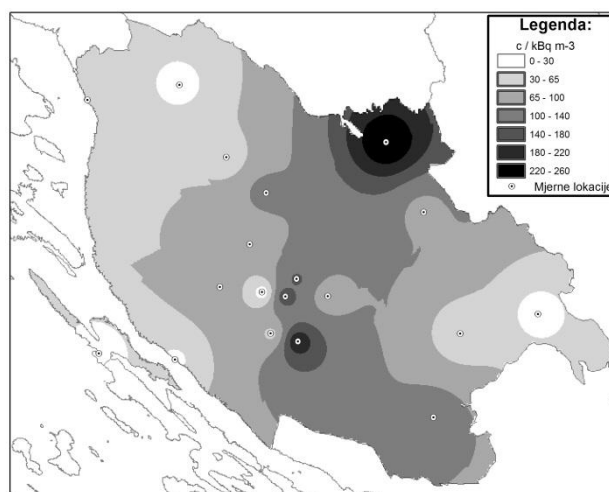
Prikupljeni uzorci tla s nekih lokacija u Ličko-senjskoj županiji, obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, HPGe detektorom ORTEC rezolucije 2,24 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74,2 % na 1,33 MeV ^{60}Co . Za upravljanje detektorom i obradu podataka koristi se računalni program ORTEC GammaVision. Vrijeme mjerenja je 80 000 s ili dulje, ovisno o aktivnosti uzoraka. Prikazane su koncentracije aktivnosti sljedećih radioknuklida: ^{40}K , ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra .

REZULTATI

Na zemljovidu Ličko-senjske županije prikazane su lokacije mjerenja radona u tlu, a sivim nijansama su obojena područja predviđene koncentracije radona tehnikom determinističke prostorne interpolacije – inverzne udaljenosti (*Inverse Distance Weighting*). Metodom inverzne udaljenosti vrijednosti u nekoj točki procjenjuju se prema utjecaju svake mjerne lokacije i to obrnuto proporcionalno njezinoj udaljenosti od lokacije. Pritom je broj točaka uključenih u procjenu određen radijusom kružnice postavljene oko spomenute lokacije.

Izmjerene vrijednosti koncentracije radona u tlu na 19 lokacija bile su u rasponu od 12,6 (Novalja) do 258,7 kBq/m³ (Plitvička Jezera) sa srednjom vrijednosti od 83,5 kBq/m³ i pripadnom standardnom devijacijom 69,3 kBq/m³. Iako ova prosječna vrijednost radona u tlu svrstava tlo Ličko-senjske županije među tla srednjeg geogenskog radonskog potencijala, valja naglasiti da na trećini izmjerenih lokacija radonska vrijednost premašuje 100 kBq/m³ te ona predstavljaju područje visokog geogenskog radonskog potencijala. Geološki gledano, ovo područje je primarno nastalo u Juri i

Kredi odnosno Paleocenu (okolica Gospića), a dominiraju karbonati te klastiti (sitno do srednje zrnati), vapnenački klastiti i vapnenci.



Slika 2. Zemljovid radona u tlu Ličko-senjske županije.

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti nekih od izmjerenih radionuklida na izabranim lokacijama Ličko-senjske županije.

Radionuklid	Ličko Lešće	Otočac	Plitvička Jezera	Senj	Smiljan
$^{40}\text{K} / \text{Bq kg}^{-1}$	$395,3 \pm 6,6$	$433,4 \pm 5,7$	$257,5 \pm 3,7$	$148,6 \pm 3,4$	$482,7 \pm 5,6$
$^{137}\text{Cs} / \text{Bq kg}^{-1}$	$17,5 \pm 0,3$	$27,4 \pm 0,3$	$70,9 \pm 0,5$	$40,2 \pm 0,4$	$32,9 \pm 0,4$
$^{232}\text{Th} / \text{Bq kg}^{-1}$	$52,0 \pm 1,0$	$58,1 \pm 1,0$	$28,7 \pm 1,0$	$11,4 \pm 0,5$	$78,5 \pm 1,3$
$^{238}\text{U} / \text{Bq kg}^{-1}$	$42,8 \pm 3,0$	$49,8 \pm 2,9$	$39,5 \pm 2,8$	$26,6 \pm 2,0$	$69,2 \pm 3,6$
$^{226}\text{Ra} / \text{Bq kg}^{-1}$	$101,0 \pm 0,8$	$56,7 \pm 0,6$	$100,7 \pm 0,8$	$37,8 \pm 0,5$	$80,4 \pm 0,8$
$^{222}\text{Rn} / \text{kBq m}^{-3}$	$110,8 \pm 38,2$	$49,2 \pm 14,0$	$258,7 \pm 51,3$	$30,1 \pm 8,4$	$58,1 \pm 21,9$
$^{220}\text{Rn} / \text{kBq m}^{-3}$	$20,3 \pm 5,9$	$10,6 \pm 2,5$	$11,7 \pm 2,2$	$2,2 \pm 0,6$	$8,4 \pm 2,8$

Koncentracije radona u vodi gradskih vodovoda Ličko-senjske županije bile su u rasponu od 0,2 Bq/l (Otočac) do 11,2 Bq/l (Gospić). Najviša vrijednost je 10-tak puta niža od uobičajene referentne vrijednosti od 100 Bq/l. Procijenjena maksimalna srednja godišnja radonska doza primljena pijenjem vode (75 litara godišnje) iz gradskog vodovoda za djecu Gospića iznosi 2,9 μSv .

Zahvala

Rad je načinjen u okviru projekata MZOS "Radioaktivnost u okolišu; detekcija i primjena" (286-0000000-3212) te "Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja" (022-0222882-2335) kao i DZRNS projekta "Monitoring radona u kućama, školama i vrtićima Ličko-senjske županije" te se autori na financijskoj potpori zahvaljuju kako DZRNS tako i MZOS.

LITERATURA

- [1] Fleischer RL. Radon: Overview of Properties, Origin and Transport, In: Durrani SA, Ilić R, eds. Radon measurements by etched track detectors, World Scientific, Singapore, 3-18; 1997. ISBN 978-981-02-2666-4
- [2] 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.
- [3] National Academy of Science (NAS). Report of the Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC. 1999.
- [4] Kemski J, Siehl A, Stegemann R, Valdivia-Manchego M. Mapping the geogenic radon potential in Germany. *Sci Tot Environ* 2001;272:217-230.
- [5] Bossew P, Lettner H. Definition of the Radon potential, its spatial properties over Austria and mapping of its levels and the related risk. Presentation. International radon workshop, Lausanne, Switzerland 04-05 March 2005.
- [6] Miles JCH, Appleton JD. Mapping variation in radon potential both between and within geological units. *J Radiol Prot* 2005;25: 257-276.
- [7] Tóth E, Hátori K, Minda M, Indoor radon in Hungary (lognormal mysticism). In: Barnet I, Neznal M, Pachterová P, eds. Proceedings of Radon Investigations in the Czech Republic XI and the 8th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. Prague; 2006. 252-257.
- [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] Radolić V, Šimatović V, Miklavčić I. Radon u vodi gradskih vodovoda u naseljima Osječko-baranjske županije. 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 300-306.
- [10] European Union Commission Recommendation on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies. Office Journal of the European Community, 28 December 2001; L 344:85-88.

RADON IN SOIL AND TAP WATER IN LIKA-SENJ COUNTY

*Vanja Radolić¹, Denis Stanić¹, Igor Miklavčić¹, Marina Poje¹,
Branko Petrincec², Matko Mužević¹, Ivana Krpan¹ and Branko Vuković¹*

¹Department of Physics, University of Osijek, Osijek, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

vanja@fizika.unios.hr

Radon concentration in soil and water in settlements of Lika-Senj County was measured in September 2012 with the Alpha GUARD measuring system.

The measured values of radon concentrations in soil at 19 locations were in range from 12.6 (Novalja) to 258.7 kBq/m³ (Plitvička Jezera) with the mean of 83.5 kBq/m³ and standard deviation of 69.3 kBq/m³. The obtained average value puts the soil of Lika-Senj County, and according to the used soil classification, into soil of medium geogenic radon potential. It is important to emphasize that radon concentration exceeds the value of 100 kBq m⁻³ in one third of the measured locations which classifies those areas into areas with high geogenic radon potential.

Other radionuclides in soil (⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra, ²³⁸U, ²³²Th) were also measured and their values were commented and correlated with the values of radon and thoron.

Radon concentrations in the municipal water supply systems of Lika-Senj County were in range from 0.2 Bq/l (Otočac) to 11.2 Bq/l (Gospić). The highest value was ten times lower than the usual reference level of 100 Bq/l. The estimated maximum annual radon dose, for children, received by drinking water (75 liters per year) from the municipal water supply Gospić is 2.9 μSv.

^{137}Cs i ^{90}Sr U MLIJEKU ZAGREBAČKE REGIJE

Iva Franulović, Branko Petrinc i Milica Kolar

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

ifranulovic@imi.hr

UVOD

U životnoj sredini prisutni su prirodni i umjetno stvoreni radionuklidi. Nuklearne probe, radiološke nesreće te primjena nuklearne tehnologije u ljudskoj djelatnosti odgovorni su za prisutnost umjetnih radionuklida u okolišu, pa tako i u raznim namirnicama koje ulaze u hranidbeni lanac čovjeka.

Eventualna prisutnost fisijskih produkata ^{137}Cs i ^{90}Sr u mlijeku predstavlja potencijalnu opasnost za ljudski organizam zbog svojih relativno dugih vremena poluraspada ($T_{1/2}^{137}\text{Cs} = 30,17$ god; $T_{1/2}^{90}\text{Sr} = 28,78$ god). U organizmu se ^{137}Cs i ^{90}Sr lako zamijene s kalijem i kalcijem zbog svoje kemijske i metaboličke sličnosti.

Mlijeko predstavlja važnu namirnicu u prehrani čovjeka, pogotovo djece. U slučaju povećanih koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr , mlijeko je značajan izvor kontaminacije putem hrane.

Jedinica za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada obavlja poslove zaštite od ionizirajućeg zračenja, te radiokemijskim metodama određuje aktivnost radionuklida u različitim uzorcima iz okoliša, pa tako i u mlijeku.

Cilj ovog rada je prikazati rezultate određivanja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr u mlijeku i iz njih procijeniti efektivne doze za odraslu populaciju zagrebačke regije za 2011. godinu.

MATERIJALI I METODE

Mlijeko se skuplja kao dnevni uzorak, a potom spaja u mjesečni. Mjesečni se uzorci spaljuju na otvorenom plamenu, a zatim u mufolnoj peći.

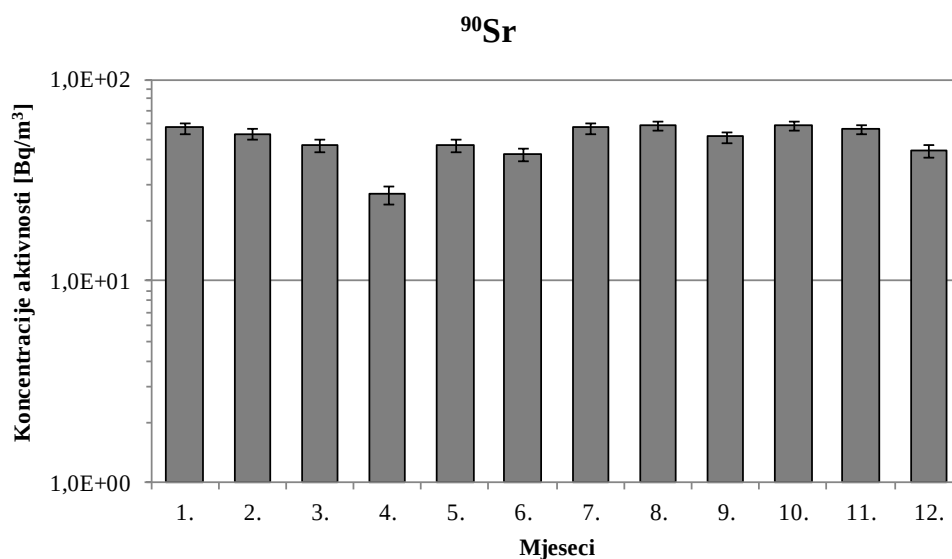
Za gamaspektrometrijsko određivanje uzorak se spaljuje na $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ i pakira u kutijicu definiranog volumena. Gamaspektrometrijski sustav temelji se na HPGe detektoru (FWHM 2.24 keV na 1.33 MeV ^{60}Co s relativnom učinkovitosti od 74.2% na 1.33 MeV ^{60}Co), spojenim s višekanalnim analizatorom. Kalibracija energije i efikasnosti gamaspektrometra provedena je uz pomoć kalibracijskih izvora Češkog

metrološkog instituta. Metoda je akreditirana po normi HRN EN ISO/IEC 17025. Osiguranje kvalitete provodi se sudjelovanjem u međunarodnim interkomparacijskim i interkalibracijskim programima u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Zajedničkog istraživačkog centra (JRC). Vrijeme mjerenja je minimalno 80 000 sekundi.

Za analizu ^{90}Sr uzorak se spaljuje na 650 °C. Alikvot pepela otopi se u dušičnoj kiselini, te se standardnom metodom ekstrakcije TBP-om uz dodatak itrijevog nosača određuje ^{90}Sr temeljem radioaktivne ravnoteže s ^{90}Y koji se mjeri u antikoincidentnom beta brojaču niskog osnovnog zračenja model RISØ GM-25-5. Vrijeme mjerenja uzoraka je minimalno 84 000 sekundi.

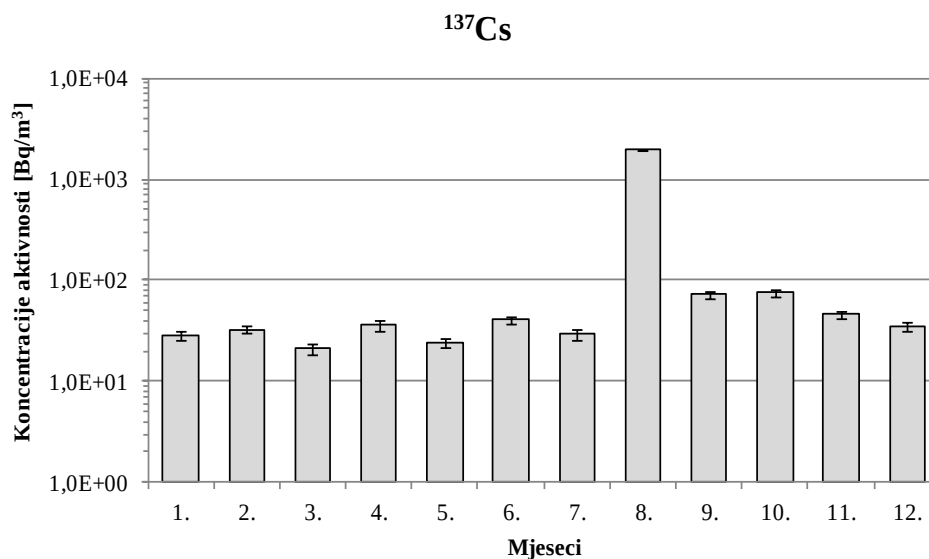
REZULTATI

Na Slici 1 prikazani su rezultati izmjerenih koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u mlijeku tijekom 2011. godine. Mjesečne vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{90}Sr kreću se u rasponu od 26,9 Bqm⁻³ do 59,5 Bqm⁻³.



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u mlijeku tijekom 2011. godine

Slika 2 prikazuje izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs za 2011. godinu. Vidljivo je da se koncentracije aktivnosti ^{137}Cs kreću u rasponu od 21,1 Bqm⁻³ do čak 1940 Bqm⁻³ izmjerenih u mjesecu kolovozu [1].



Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mlijeku za 2011. godinu

Kako se mlijeko smatra jednom od najzastupljenijih prehrambenih komponenata, procijenjena je efektivna doza zračenja od unosa ^{137}Cs i ^{90}Sr mlijekom za odrasle za 2011. godinu. Za procjenu efektivne doze korištene su prosječne koncentracije aktivnosti radionuklida i godišnja potrošnja mlijeka po stanovniku, koja prema statističkom ljetopisu Državnog zavoda za statistiku RH iznosi oko 77,4 litara [2]. Prosječna koncentracija aktivnosti ^{90}Sr iznosila je $50,6 \text{ Bq m}^{-3}$ za cijelu 2011. godinu, dok je prosječna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs iznosila $40,4 \text{ Bq m}^{-3}$, za 11 mjeseci 2011. godine, izuzevši mjesec kolovoz. U procjeni su također korišteni faktori očekivane efektivne doze po jedinici unesene aktivnosti gutanjem za ^{90}Sr i ^{137}Cs za odrasle osobe prema Pravilniku [3] i Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti [4]. Procijenjena efektivna doza od unosa ^{90}Sr mlijekom iznosila je 110 nSv, dok je od unosa ^{137}Cs za 11 mjeseci 2011. godine, isključujući mjesec kolovoz, iznosila 37,3 nSv. Za obje efektivne doze možemo reći da su niske, pogotovo u usporedbi s efektivnim dozama zračenja nakon nesreće u Čornobilju kad je efektivna doza zračenja od unosa ^{90}Sr mlijekom procijenjena na $1,8 \mu\text{Sv}$ [5], a od unosa ^{137}Cs na $25,7 \mu\text{Sv}$ [6].

Izmjerena koncentracija aktivnosti ^{137}Cs za mjesec kolovoz je bila visoka, te je efektivna doza od unosa ^{137}Cs mlijekom procijenjena na 163 nSv. Primljena efektivna doza za mjesec kolovoz iznosi više od

procijenjene efektivne doze za ostalih 11 mjeseci. Takva procijenjena efektivna doza predstavlja znatnije opterećenje za odraslu populaciju, a još veće za djecu koja u pravilu konzumiraju veće količine mlijeka od odraslih.

Procijenjena efektivna doza zračenja od unosa ^{137}Cs mlijekom za cijelu 2011. godinu iznosi 200 nSv i posljedica je visoke koncentracije aktivnosti ^{137}Cs izmjerene u mjesecu kolovozu.

ZAKLJUČAK

Izmjerene koncentracije aktivnosti i procijenjene efektivne doze zračenja od unosa ^{137}Cs i ^{90}Sr mlijekom za godinu 2011. ne predstavljaju značajno opterećenje za odraslu populaciju zagrebačke regije, osim za mjesec kolovoz kada je izmjerena visoka koncentracija aktivnosti ^{137}Cs .

Zbog toga je iznimno važno neprekidno praćenje radioaktivnosti u hrani i okolišu kako bi se stanovništvo zaštitilo od negativnih učinaka ionizirajućeg zračenja.

Zahvala

Rad je izrađen uz financijsku potporu MZOS (projekt: 022-0222882-2335) te ugovora s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost.

LITERATURA

- [1] Marović G, Avdić M, Babić D, Bituh T, Branica G, Franić Z, Franulović I, Kolar M, Petrincec B, Petroci Lj, Senčar J, Skoko B. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2011. godinu. Izvještaj IMI-CRZ-92, Zagreb 2012.
- [2] Statistički ljetopis RH 2011., Državni zavod za statistiku RH, prosinac 2011.; str. 196. <http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2011/SLJH2011.pdf>
- [3] Pravilnik o granicama izlaganja ionizirajućem zračenju te o uvjetima izlaganja u posebnim okolnostima i za provedbe intervencija u izvanrednom događaju. Narodne novine RH br. 125/2006.
- [4] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti. Narodne novine RH br. 28/2010.
- [5] Franić Z, Lokobauer N, Marović G. Radiostrontium activity concentrations in milk in the Republic of Croatia for 1961-2001 and dose assessment. Health Physics 2004;87(2):160-5.
- [6] Franić Z, Marović G, Lokobauer N, Senčar J. Radiocaesium activity concentrations in milk in the Republic of Croatia and dose assessment. Environmental Monitoring and Assessment 1998;51:659-704.

^{137}Cs AND ^{90}Sr IN MILK FROM THE ZAGREB REGION

Iva Franulović, Branko Petrinec and Milica Kolar

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

ifranulovic@imi.hr

The Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb is currently carrying out a program of radioactivity measurements and monitoring of the human environment in Croatia. Among other radionuclides this includes radiostrontium and radiocaesium in milk, which is a very sensitive indicator of the presence of fission products in the environment. Milk is also a very important foodstuff in the dietary habits of the Croatian population and represents a major source of potential radioactive contamination.

This paper presents the results of the monitoring of ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentrations in milk for the year 2011. Activity concentrations of ^{90}Sr ranged from 26.9 Bqm^{-3} to 59.5 Bqm^{-3} with a mean activity concentration of 50.6 Bqm^{-3} . The mean activity concentration for ^{137}Cs was 199 Bqm^{-3} with a range from 21.1 Bqm^{-3} to 1940 Bqm^{-3} .

The effective doses received from milk consumption were estimated for the adult population of the Zagreb region. The effective dose received from ^{90}Sr uptake by milk consumption was 110 nSv. During 11 months of the year 2011, with the exception of August, the effective dose received from ^{137}Cs uptake was 37.3 nSv, while the dose for ^{137}Cs in August was 163 nSv. The effective dose for August was higher than the effective dose for the remaining 11 months.

Continuous control and monitoring of radioactivity in food and the environment are needed to protect the population from the negative effects of ionizing radiation.

BIOACCUMULATION OF ^{40}K AND ^{137}Cs IN MUSHROOMS COLLECTED IN DIFFERENT LOCATIONS IN MACEDONIA

Aleksandra Todorovik, Pavle Sekulovski, Elizabeta Dimitrieska Stojkovik, Zehra Hajrulai Musliu, Biljana Stojanovska Dimzoska and Risto Uzunov
Food Institute, Faculty of Veterinary Medicine Skopje, Macedonia
mizasandra@fvm.ukim.edu.mk

INTRODUCTION

Radionuclides, regardless if they are natural or produced, with the process of migration enter the soil and water and through these, in the products of plant and animal origin and contribute for the total radiation strain in people.

The content of radionuclides in the bio-indicator connections provides an insight in the extent of radioactive contamination of the given ecosystem. For these needs, most commonly used plant types are moss, fungi and lichens [1,2].

After the Chernobyl accident in 1986, there was a significant increase of the concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in many European countries, thus a need arose for research of these plants and their functioning as biological indicators of the radioactive pollution [3].

Mushrooms are particularly interesting type for examination because they absorb mineral substances, thus they cannot avoid contamination. Due to the specific construction, they represent a trap for the contaminants [4]. The contamination of mushrooms depends on many factors: elevation, physical-chemical composition of the soil, weather conditions, quantity of rains, etc. [5]. In areas rich with rains, the main part of the radioactive substances, which from the atmosphere fall on the surface of the soil sphere, it takes place by wet falling (washing), this means that the level of radioactive contamination, primarily, determines the quantity and frequency of rains [6-7].

The mushrooms were represented as a quite important asset for the circulation of substances, as well as the radioactive caesium in the upper layers of forest soils [8-10]. Further on, it was proven that mushrooms as one of the most important components in the ecosystem of the forest soil, are quite involved in the immobilization and translocation of ^{137}Cs [11-13].

Hence, ^{137}Cs can be accumulated and redistributed also in and through the mushrooms, whereupon it will become temporary unavailable for the remaining plants in the ecosystem. Some studies indicate that more than 40 % of the ^{137}Cs intake is retained in the mushroom roots [8]. Many studies have shown that the mycelium of mushrooms can effectively, at least temporarily, importantly keep the levels of radiocaesium [8].

Hence, the mycelium represents in a way, a type of suction of radiocaesium [14]. The concentration of ^{40}K in mushrooms varies within a small span while the concentration of ^{137}Cs has broad range of variation. Hence, it is considered that the mechanism of intake of ^{137}Cs is different the one of ^{40}K [14-15].

MATERIALS AND METHODS

The mushrooms were collected as random samples from the source companies in the period from autumn 2011 to spring 2012 from different regions in Macedonia (Demir Hisar, Kicevo, Kocani, Bitola, Radovis, Strumica, Gostivar, Krusevo, Kavadarci, Veles), and 1 kg at each place.

The samples were not washed, only the surface of the mushroom was mechanically cleaned. Radioactivity measurement was performed with no previous preparation of the samples. The fresh samples were measured in 0.5 liter dishes for measuring gamma activity. Measuring of radioactivity was performed with clean semi conductive gamma spectrometer (Canberra Packard) which provides identification of radionuclides and assessment of their activity. The efficiency of the detector was 30 % measured at ^{60}Co .

After termination of the measurement, the software of the instrument provided a written report with previously calculated values of activities of radionuclides that we check in the program EXCEL. The results are presented in Bq/kg fresh mushrooms.

RESULTS AND DISCUSSION

Systematic monitoring of the level of radioactivity in samples of mushrooms has been performed at the Faculty of Veterinary Medicine in Skopje within the Food Institute.

Table 1 presents results of measurement of the specific activities of ^{40}K and ^{137}Cs in samples of mushrooms for the period 2011 – 2012. From the table, one can conclude that the highest values of caesium had *Hyundum repandum*, *Morchela conika* and *Cantharellus cibarius*, and the lowest values had *Marasmius oreads* and *Amanita caesarea*.

Table 1. Results regarding specific activity of ^{40}K and ^{137}Cs in mushrooms

Type of mushroom	Sample	^{40}K average Bq/kg	^{137}Cs average Bq/kg
<i>Boletus edulis</i>	54	120.0	4.8
<i>Amanita caesarea</i>	16	130.0	1.5
<i>Cantharellus cibarius</i>	34	150.0	12.4
<i>Lactarius deliciosus</i>	11	85.0	6.3
<i>Marasmius oreads</i>	5	110.4	0.4
<i>Morchela conika</i>	4	135.1	5.9
<i>Hyundum repandum</i>	7	153.4	108.6

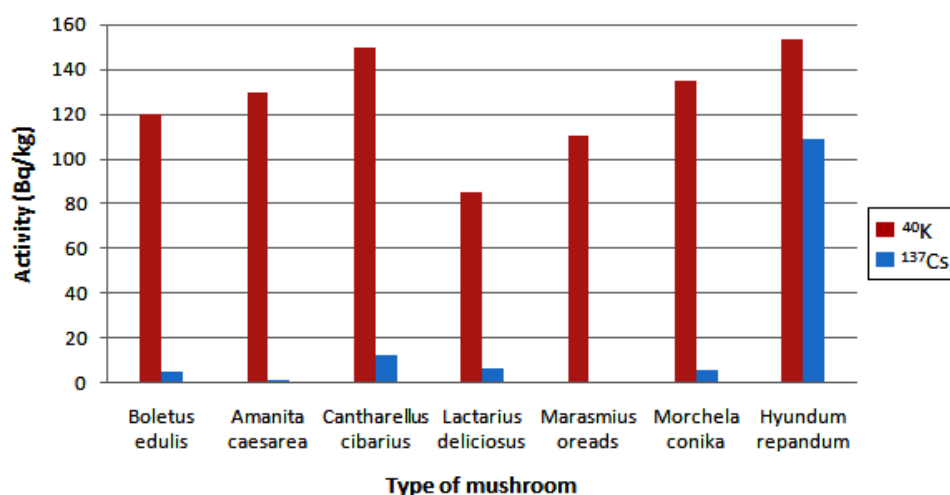


Figure 1. Results about specific activities of ^{40}K and ^{137}Cs in mushrooms

From the obtained results of the gamma spectrometry analysis, one can conclude the following:

Radionuclides come in the fruiting body of mushrooms mostly from the substrate through the expanded network of the hyphae, which is why the accumulation is conditioned on the chemical constitution and the physical characteristics of the substrate. The distribution of ^{40}K and ^{137}Cs in the observed types of mushrooms is not equal, but it varies depending on the mushroom (Figure 1). For example: *Mocharela conika* where the average activity of ^{137}Cs is 5.90 Bq/kg in fresh mass. *Mocharela conika* and

Hyundum repandum in comparison to *Marasmius oreads* where the average activity of ^{137}Cs is 0.40 Bq/kg in fresh mass. *Mocharela conika* and *Hyundum repandum* have the highest value of ^{137}Cs which is in accordance with the literature data about mushrooms that decompose the wood. *Mocharela conika* grows at higher elevation, most frequently in evergreen forests where it supply could radionuclides from the fallen needles from the evergreen woods and from the tree bark. *Marasmius oreads* is a saprobe type of mushroom that grows in meadows. It has small dimension of mycelium which is why it has small absorption power [16].

Mushroom collected from evergreen forests have higher levels of radioactivity than the one in the deciduous forest, which is a case with the types *Cantharellus cibarius* and *Mocharela conika* that are collected in this type of forests [16].

However, these levels of ^{137}Cs in mushrooms are within the normal limits so if a human consumes them in extreme quantities, that contamination have very small part in the permitted annual dose of 1 mSv. On the basis of the obtained results, from the analyses of the mushrooms we can say that they are normal and appropriate according to the Ordinances for maximally permitted limits of radioactive contamination (Off. J. 29).

These preliminary examinations indicate that further examination needs to be conducted due to the long half-life of ^{137}Cs which will be reallocated, washed and redistributed, however, for a long time present in the ecosystem.

The discrimination of caesium and potassium in mushrooms is not yet entirely clarified and requires further examinations and studies that would include a large number of mushroom species.

REFERENCES

- [1] Savezni komitet za rad zdravstvo i socijalnu zaštitu. Nivo radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i ozračenosti stanovništva Jugoslavije 1986. godine usled havarije nuklearne elektrane u Černobilju. Beograd 1987.
- [2] Đurić G, Popović D. Jonizujuća zračenja-merenje i zaštita. Društvo za mernu tehniku Srbije 1987; 113-131.
- [3] Ivančević B. Diverzitet makromiceta u Jugoslaviji sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja. Biodiverzitet Jugoslavije. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Ekolibri 1995.

- [4] UNSCEAR. Source, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations. 1988.
- [5] <http://www.nuclearfiles.org>
- [6] Petrović B, Mitrović R. Radijaciona higijena u biotehnologiji. Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [7] Mitrović R. Radioaktivnost u životnoj sredini. Vrelo, Beograd, 2001.
- [8] Dighton J, Clint G M, Poskitt J. Uptake and accumulation of ^{137}Cs by upland grassland soil fungi. Mycological Research. 1991; 95: 1052-1056.
- [9] Guilite O, Melin J, Wallberg L. Biological pathways of radionuclides originating from the Chernobyl fallout in a boreal forest ecosystem. The Science of the Total Environment 1994; 157: 207-215.
- [10] Wirth E, Hiersch L, Kammerer G, Krajewska G, Krestel R, Mahler S, Rommelt R. Transfer equations for ^{137}Cs for coniferous forest understorey plant species. The Science of the Total Environment 1994; 157:163-177.
- [11] Brückmann A, Wolters V. Microbial immobilisation and recycling of ^{137}Cs in the organic layers of forest ecosystems: relationship to environmental conditions, humification and invertebrate activity. The Science of the Total Environment 1994; 157: 249-256.
- [12] Tegen I, Dorr H, Munnich KO. Laboratory experiments to investigate influence of microbial activity on the migration of caesium in a forest soil. Water, Air and Soil Pollution 1991; 57-58: 441-447.
- [13] Steiner M, Linkov I, Yoshiba S. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystem. J Environ Radioactiv 2002;58:217-241.
- [14] Yoshiba S, Maramatsu Y. Accumulation of radiocesium in basidiomycetes collected from Japanese forests. The Science of the Total Environment 1994; 157: 197-205.
- [15] de Meijer R J, Aldenkamp F J, Jansen A E. Resorption of cesium radionuclides by various fungi. Oecologia 1988; 77: 268-272.
- [16] Heinrich G. Distribution of radiocesium in the different parts of mushrooms. J Environ Radioactiv 1993; 18: 229-245.

BIOACCUMULATION OF ^{40}K AND ^{137}Cs IN MUSHROOMS COLLECTED IN DIFFERENT LOCATIONS IN MACEDONIA

*Aleksandra Todorovik, Pavle Sekulovski, Elizabeta Dimitrieska Stojkovik,
Zehra Hajrulai Musliu, Biljana Stojanovska Dimzoska and Risto Uzunov*

Food Institute, Faculty of Veterinary Medicine Skopje, Macedonia

mizasandra@fvm.ukim.edu.mk

Wild mushrooms have become popular delicacy in many countries including Macedonia. Some of these mushrooms are especially interesting for analysis because they absorb mineral materials, and with this they can avoid contamination. Because they have specific content they are trap for contaminations.

There is a shortage of investigations in Macedonia referring to radioactive contamination of mushrooms. For that reason the aim of this investigation was to determine the degree of radioactive contamination of certain varieties of mushrooms.

During the investigation, 131 samples of mushrooms were taken from different locations in Macedonia.

Radioactive measurement was done without previous preparation of samples. The fresh samples are measured in 0.5 l containers for analysis. The radioactive measurement is done with clean semi-conducting gamma spectrometer (CANBERRA PACKARD) which provides identification of radionuclides and estimation of their activity. The efficiency of the detector is 30 % measured of ^{60}Co .

On the basic of results we can see that activity of radionuclides in the tested mushrooms is not equal, but varies depending on the type of the mushrooms.

From the analysis, we see that the results are normal and are in range of Regulations for maximum allowed limits for radioactive contamination.

The level of specific activities of radionuclide concentrations for the given types of mushrooms are level of regional values.

MOSS BIOMONITORING AS A TOOL FOR RADIOLOGICAL EXPOSURE ASSESSMENT

*Delko Barišić¹, Branko Vekić¹, Zdravko Špirić²,
Vladimir Kušan² and Marina Frontasyeva³*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Oikon Ltd. - Institute for Applied Ecology, Zagreb, Croatia

³Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

zspiric@oikon.hr

The purpose of this study is to provide an insight into the Atmospheric Deposition of Airborne Radionuclides in Croatia by using the Moss Biomonitoring Technique.

Moss samples were collected during the summer of 2010, from 161 locations in Croatia evenly distributed across the entire country. Sampling was performed in accordance with the LRTAP Convention - ICP Vegetation protocol and sampling strategy of the European Programme on Biomonitoring of Heavy Metal Atmospheric Deposition.

In addition to the comprehensive qualitative and quantitative chemical analyses of all samples collected determined by NAA, ICP-AES and AAS, 22 out of 161 moss samples were subjected to gamma-spectrometric analyses for assessing activity of the naturally occurring radionuclides. The activities of ⁴⁰K, ²³²Th, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra and ²³⁸U were determined by using a low background HPGe detector system coupled with an 8192-channel CANBERRA analyzer. The detector system was calibrated using gamma mixed standards supplied by Eckert & Ziegler (Analytics USA).

Preliminary research results on the Atmospheric Deposition of Airborne Radionuclides in Croatia by using the Moss Biomonitoring Technique confirm that it may serve as a valuable tool for Radiological Exposure Assessment. This research has the potential for simple, accurate, reliable and affordable environmental radiation control.

DETERMINATION OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr IN HUMAN FOOD AND EFFECTIVE DOSE ASSESSMENT DUE TO FOOD CONSUMPTION IN THE ENVIRONMENT OF REGION UŽICE

*Jovana Ilić, Maja Eremić-Savković, Ljiljana Javorina,
Irena Tanasković, Vesna Arsić and Suzana Bogojević*
Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović",
Belgrade, Serbia
ilicjo@gmail.com

INTRODUCTION

Artificial radionuclides appeared in the environment due to nuclear probes in the atmosphere, operation of nuclear installations and accidents at nuclear power plants (the largest one was accident in Chernobyl NPP, Ukraine, on 26 April 1986).

The main mechanism of radionuclides deposition was rain fallout. Radionuclides deposited on land may enter human food chain by direct deposition on leaves or edible parts of plants, by plant root uptake, by resuspension as dust from soil or by being washed from the surface or deeper ground layers into water sources that are used for human or animal drinking or for irrigation.

The main pathways of radionuclides in the human body are inhalation and ingestion through food and drinking water. Taking into account the hazardous effect of radioactive compounds on human health, special attention should be paid to the level of radionuclides in food.

Among the man-made radionuclides present in global fallout, ^{137}Cs (half-life 30.17 y) and ^{90}Sr (half-life 28.78 y) have been considered as the fission products of a greatest potential hazard to humans due to their long half-lives and their chemical and metabolic similarities to potassium and calcium respectively. When ingested from contaminated food, ^{90}Sr tends to accumulate in bones and teeth, and most of the absorbed ^{137}Cs is accumulated in muscles (60 %), and the rest in organs of the gastrointestinal tract.

Radioactivity measurement of radiostrontium and radiocaesium in human food takes significant part of Radioactivity Monitoring program in Serbia.

The aim of this paper was to provide the data on activity measurements of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the foodstuff characteristic for the nutrition of the population: vegetables, fruit, meat, crops, dairy products and milk in 2007, 2008 and 2011 in the environment of region Užice, and to estimate the effective doses received by the population through food intake. This region was the most contaminated region of Serbia after the Chernobyl accident due to higher ^{137}Cs activity concentrations in the fallout in 1986 [1].

MATERIAL AND METHODS

Food sampling was carried out according to the following food groups: vegetables, fruits, meat, crops, dairy products and milk. According to the legislation, samples are collected twice a year, from the primary production. Samples of milk are taken from the same farm year-by-year on daily basis, and composite monthly samples are analysed. Sampling places, number of samples and time of sampling are defined by annual program of testing the radionuclide concentration in human food for calculation of annual effective dose of individual radionuclides for the population. The results include measurements period 2007 – 2011.

All food samples were cleaned from soil and other impurities, dried at 105 °C, crushed, ashed, homogenized and placed in cylindrical geometry for gamma-spectrometry measurement.

Gamma-spectrometry measurements of ^{137}Cs were performed using HPGe detectors with a resolution of 1.85 keV, and relative efficiency of 25 % at ^{60}Co energy of 1.33 MeV, manufactured by ORTEC (levels of relative sample preparations and measuring error of $\pm 10\%$). Energy calibration and efficiency calibration of the detectors are performed using radioactive Amersham standards. Measurement time of one sample was 10 000 s and 60 000 s while background was measured for 250 000 s.

^{90}Sr was determined after radiochemistry separations, using $\alpha\beta$ proportional gas counter PIC-WPC-9550 manufactured by Protean Instrument Corporation (basic radiation 0.4 imp/min). The diameter of planchet is 5 cm. The performance of counter is 44 % and is determined by ^{90}Sr standard. Radiochemical method of ^{90}Sr separation is based on oxalate isolation of Ca and Sr, heating to oxides and usage of aluminium as ^{90}Y carrier. The equilibrium is achieved in 18 days, and after that time ^{90}Y is isolated on $\text{Al}(\text{OH})_3$ carrier, which is then ignited to oxide that is subsequently measured by α - β counter.

The effective dose from ^{137}Cs and ^{90}Sr intake by ingestion can be calculated based on the results of measurements of these radionuclides in food (Tables 1 and 2) and the annual consumption of different food items per capita. Effective dose d for population in region of Užice was calculated by formula:

$$d_i = \sum_{j=1}^n m_j \cdot A_{ji} \cdot e(g)_{i,ing} \quad (1)$$

where:

- m_j - annual food consumptions of j food,
- A_{ji} - average annual activity concentration of radionuclide i in j food,
- $e(g)_{i,ing}$ - effective dose per unit intake of radionuclide i via ingestion in appropriate age group [2,3],
- n - number of different types of food.

RESULTS

Activity concentrations as mean annual values for different food types and its standard deviations are shown in Tables 1 and 2.

Table 1. ^{137}Cs activity in food, Užice (mean annual values)

Year	2007	2008	2011
Sample type	^{137}Cs (Bq/kg)		
Vegetables	0.32 ± 0.28	0.29 ± 0.11	0.20 ± 0.17
Fruits	0.04 ± 0.01	0.18 ± 0.12	0.05 ± 0.04
Meat	0.09 ± 0.01	3.59 ± 2.80	2.84 ± 3.90
Crops	0.02 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.05 ± 0.04
Dairy products	0.29 ± 0.10	0.33 ± 0.13	0.29 ± 0.03
Milk*	0.65 ± 0.01	0.47 ± 0.32	0.18 ± 0.04

* Units (Bq/l)

Table 2. ^{90}Sr activity in food, Užice (mean annual values)

Year	2007	2008	2011
Sample type	^{90}Sr (Bq/kg)		
Vegetables	0.34 ± 0.23	0.05 ± 0.03	0.38 ± 0.38
Fruits	0.11 ± 0.09	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Meat	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Crops	0.09 ± 0.12	0.05 ± 0.02	0.03 ± 0.02
Dairy products	0.19 ± 0.09	0.14 ± 0.09	0.07 ± 0.02
Milk*	0.09 ± 0.01	0.05 ± 0.03	0.06 ± 0.02

* Units (Bq/l)

Based on the presented results of the ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentration measurements, the effective doses received by the population through food intake were estimated (Table 3).

Table 3. The effective doses due to ^{137}Cs and ^{90}Sr activity for population in region of Užice due to food consumption

Year	2007	2008	2011
Effective doses, ^{137}Cs (μSv)	2.00	1.02	1.25
Effective doses, ^{90}Sr (μSv)	1.32	0.45	1.07

CONCLUSION

The results of measurements (Tables 1 and 2) show that ^{137}Cs and ^{90}Sr are still present in the human food in region of Užice, but their activity concentrations decreased comparing with the levels from 1986 [4]. This means that during this period there was no additional radioactive contamination of the environment.

The annual effective doses due to ^{137}Cs and ^{90}Sr activity in the human food in region of Užice (Table 3) were slightly higher compared to other regions of Serbia [5] but still well below recommended individual annual dose limit [6].

REFERENCES

- [1] Pantelić G, Javorina Lj, Vitorović G, Vuletić V, Tanasković I, Eremić-Savković M. Two decades of ^{137}Cs activity measurements in cattle feed and milk in Serbia, eds. CD-ROM Proceedings of IRPA Regional Congress for Central and Eastern Europe "Regional and Global Aspects of Radiation Protection"; September 24-28, 2007; Brasov, Romania.
- [2] UNSCEAR 2000, Source and effects of ionising radiation, UN, New York; 2000.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. Safety Report Series No. 14. Vienna: IAEA; 1999.
- [4] Maksić R, Radmilović V, Pantelić G, Brnović R, Petrović I. Irradiation of population in the Republic of Serbia after Chernobyl accident. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident, Volume 1; 1997; 299-302.
- [5] Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (SRPNA). Annual report on population exposure to ionizing radiation; August 2012; Belgrade, Serbia. Available on web page www.srbatom.gov.rs.
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Vienna: IAEA; 1996.

DETERMINATION OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr IN HUMAN FOOD AND EFFECTIVE DOSE ASSESSMENT DUE TO FOOD CONSUMPTION IN THE ENVIRONMENT OF REGION UŽICE

*Jovana Ilić, Maja Eremić-Savković, Ljiljana Javorina,
Irena Tanasković, Vesna Arsić and Suzana Bogojević*
Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajović",
Belgrade, Serbia
ilicjo@gmail.com

This paper provides the data on activity measurements of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the foodstuff characteristic for the nutrition of the population: vegetables, fruit, meat, crops, dairy products and milk in 2007, 2008 and 2011 in the environment of region Užice. This region was the most contaminated region of Serbia after the Chernobyl accident. The ^{137}Cs activity concentrations were determined by gamma-spectrometry while ^{90}Sr was determined after radiochemistry separations, using $\alpha\beta$ proportional counter. Based on the presented results of the ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentration measurements, the effective doses received by the population through food intake were estimated. The annual effective doses due to ^{137}Cs and ^{90}Sr activity in the human food were 2.00 μSv (for ^{137}Cs) and 1.32 μSv (for ^{90}Sr) in 2007, 1.02 μSv (for ^{137}Cs) and 0.45 μSv (for ^{90}Sr) in 2008, 1.25 μSv (for ^{137}Cs) and 1.07 μSv (for ^{90}Sr) in 2011. They were well below recommended individual annual dose limit.

KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI ^{210}Po I ^{210}Pb U DAGNJAMA (*Mytilus galloprovincialis*) TE PROCJENA UKUPNE GODIŠNJE EFEKTIVNE DOZE ZA PRIOBALNO STANOVNIŠTVO REPUBLIKE HRVATSKE

Matea Rogić¹, Martina Rožmarić Mačefat^{1,*}, Delko Barišić¹,
Ljudmila Benedik² i Petra Planinšek²

¹Laboratorij za radioekologiju, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

^{*}Environmental Laboratories, International Atomic Energy Agency, Monako

²Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija

mrogic@irb.hr

UVOD

^{210}Po i ^{210}Pb članovi su prirodnog radioaktivnog niza ^{238}U . ^{210}Po je 99,99 % alfa emiter, ($T_{1/2} = 138,4$ d; $E_{\alpha} = 5,3$ MeV), dok se ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,2$ g) emisijom beta zračenja raspada na ^{210}Bi ($T_{1/2} = 5,0$ d) koji se dalje beta emisijom raspada na ^{210}Po . Zbog svojih nuklearnih svojstava vrlo su radiotoksični, s visokim doznim faktorima, pa je njihovo precizno određivanje uz niske granice detekcije neophodno, posebno u hrani i vodi za piće.

^{210}Po i ^{210}Pb su prisutni u morskom okolišu u koji uglavnom dospijevaju iz prirodnih izvora (depozicijom iz atmosfere, dotokom slatkih voda te donošenjem materijala s kopna tokovima rijeka i podzemnih voda), ali i kao posljedica ljudske djelatnosti. Oba se radionuklida u okolišu vežu na površine krutih čestica uključujući i tkiva živih organizama. Pri tom se ^{210}Po uglavnom veže na proteine te lako dopire u citoplazmu stanica zbog čega se lakše asimilira u višim morskim organizmima za razliku od ^{210}Pb koje se uglavnom veže na mineralne frakcije [1].

Dagnje (*Mytilus galloprovincialis*) u svojem tkivu akumuliraju tvari (radionuklide, teške metale itd.) iz morskog okoliša filtriranjem i do 80 L morske vode dnevno te su pogodne za praćenje stanja morskog okoliša kao bioindikatorski organizmi. Konzumiranje dagnji u svakodnevnoj prehrani, s druge pak strane, može rezultirati povišenim izlaganjem stanovništva zračenju uslijed unosa povišenih koncentracija ^{210}Po i ^{210}Pb . Stoga su u ovom radu prikazani rezultati koncentracija aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb u dagnjama uzorkovanim duž jadranske obale u proljeće i jesen 2011. godine te su procijenjene pripadajuće ukupne godišnje efektivne doze koje odraslo stanovništvo hrvatskog priobalja primi njihovom konzumacijom.

MATERIJALI I METODE

Dagnje su uzorkovane na 13 lokacija duž jadranske obale [2] u proljeće i jesen 2011. godine. Nakon pripreme (odvajanja tkiva dagnji od ljuštura, sušenja do konstantne mase te homogeniziranja) uzorci su razoreni u smjesi konc. $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ te konc. HCl , a za praćenje iskorištenja radiokemijskog odjeljivanja korišteni su standardi ^{209}Po [$(0,3204 \pm 0,0061)$ Bq g^{-1} , Eckert & Ziegler] i Pb^{2+} (10 mg mL^{-1} , Merck). Polonij i olovo su potom odijeljeni na Sr smoli (Eichrom Industries Inc.) prema postupku opisanom u [3]. Izvor $^{209,210}\text{Po}$ pripremljen je samodepozicijom na Ag pločici u 0,1 M HCl te mjeren na alfa spektrometru s PIPS detektorom aktivne površine 450 mm^2 i efikasnosti 30 %, (Alpha Analyst, Canberra), dok je izvor ^{210}Pb pripremljen taloženjem PbSO_4 i mjeren na plinskom proporcionalnom brojaču (TENNELEC LB4100-W) nakon uspostave radioaktivne ravnoteže s radionuklidom potomkom ^{210}Bi .

REZULTATI

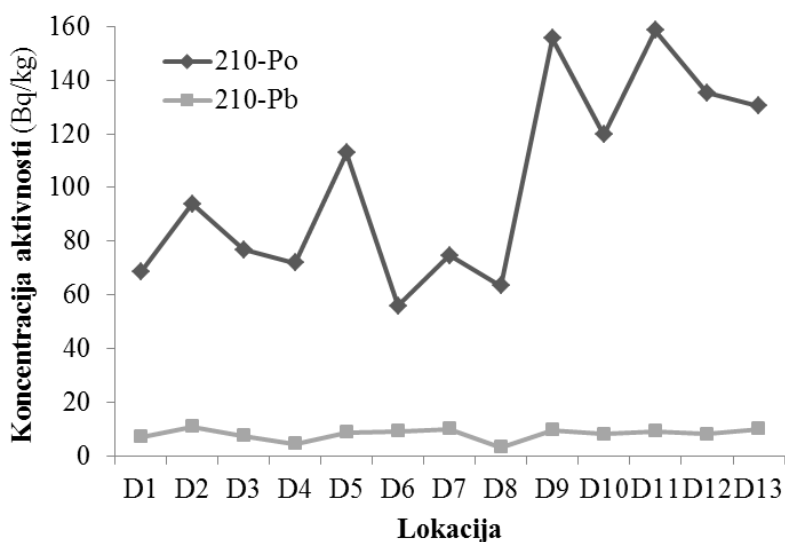
Iz rezultata prikazanih u Tablici 1 vidljivo je da su koncentracije aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb u dagnjama više u proljeće nego u jesen. Razlog tome su pojačana bioprodukcija planktonskih organizama kojima se dagnje hrane filtrirajući morsku vodu u proljetnom dijelu godine te intenzivnija kišna razdoblja koja prethode proljetnom uzorkovanju.

Prosječne godišnje koncentracije aktivnosti ^{210}Po , prikazane na Slici 1, kreću se u rasponu od $(55,9 \pm 4,9)$ Bq kg^{-1} svježe mase u Kaštel Gomilici do $(158,6 \pm 10,4)$ Bq kg^{-1} u Malom Stonu. Varijacije po lokacijama ukazuju na nešto više aktivnosti ^{210}Po na području južnog Jadrana (D9 – D13), što je rezultat pojačanog dotoka površinskih voda (rijeka Žrnovnice, Neretve i Omble) te podzemnih voda i materijala s kopna na tim područjima, što uključuje i dreniranje znatne površine teritorija Bosne i Hercegovine. Za razliku od ^{210}Po , aktivnosti ^{210}Pb bitno ne variraju i u rasponu su od $(3,3 \pm 2,2)$ Bq kg^{-1} svježe mase u Vranjicu do $(10,9 \pm 4,3)$ Bq kg^{-1} u Raškom zaljevu.

Omjeri aktivnosti $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ u širokom su rasponu (od 6,0 do 19,3) što upućuje na činjenicu da ^{210}Po nije prisutan samo kao produkt raspada akumuliranog ^{210}Pb , već da se direktno iz morske vode akumulira u tkivu dagnji zbog svojeg visokog afiniteta vezanja na organsku tvar [4], dok se ^{210}Pb uglavnom adsorbira na mineralnim frakcijama (ljuštura).

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb (Bq kg^{-1} svježe mase) s prikazanom proširenom mjernom nesigurnošću ($k = 2$) u dagnjama uzorkovanim u travnju i listopadu 2011. g.

	^{210}Po	^{210}Pb	^{210}Po	^{210}Pb
Lokacija	04 / 2011		10 / 2011	
D1-Limski kanal	$88,2 \pm 5,3$	$10,4 \pm 2,8$	$48,9 \pm 4,2$	$3,9 \pm 1,1$
D2-Raški zaljev	$116,4 \pm 8,4$	$6,4 \pm 1,5$	$71,5 \pm 1,8$	$15,4 \pm 4,9$
D3-Bakarski zaljev	$101,3 \pm 7,9$	$8,7 \pm 0,9$	$52,2 \pm 2,2$	$6,2 \pm 1,8$
D4-Šibenik	$96,0 \pm 7,0$	$6,9 \pm 0,8$	$47,8 \pm 1,8$	$2,1 \pm 1,2$
D5-Marina Poljica	$145,6 \pm 10,9$	$13,1 \pm 1,2$	$80,2 \pm 3,2$	$4,5 \pm 1,5$
D6-Kaštel Gomilica	$77,9 \pm 5,3$	$12,5 \pm 2,4$	$33,9 \pm 1,9$	$6,0 \pm 1,7$
D7-Giričić	$123,4 \pm 11,5$	$13,3 \pm 1,6$	$26,2 \pm 2,8$	$6,6 \pm 2,5$
D8-Vranjic	$94,1 \pm 8,1$	$4,4 \pm 0,8$	$32,6 \pm 1,6$	$2,2 \pm 1,4$
D9-Stobreč	$236,1 \pm 19,4$	$12,8 \pm 2,4$	$75,2 \pm 6,5$	$6,2 \pm 1,1$
D10-Bistrina	$137,3 \pm 7,2$	$11,4 \pm 1,4$	$102,2 \pm 4,5$	$4,7 \pm 1,9$
D11-Mali Ston	$179,6 \pm 10,2$	$14,6 \pm 2,1$	$137,6 \pm 4,5$	$3,8 \pm 1,2$
D12-Drač	$174,9 \pm 20,9$	$11,5 \pm 1,9$	$95,8 \pm 9,2$	$4,6 \pm 1,8$
D13-Dubrovnik	$196,5 \pm 14,3$	$11,2 \pm 0,7$	$64,4 \pm 2,2$	$9,0 \pm 3,1$



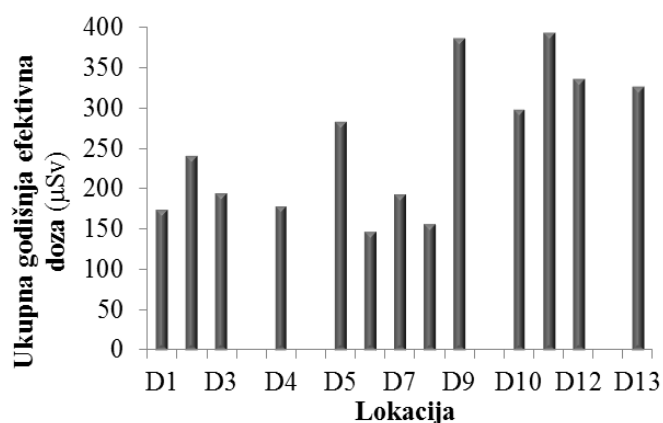
Slika 1. Prosječne koncentracije aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb (Bq kg^{-1} svježe mase) u dagnjama u 2011. godini.

Zbog ranije spomenute izloženosti stanovništva zračenju unošenjem ^{210}Po i ^{210}Pb u organizam kroz hranu i vodu za piće, a na temelju dobivenih rezultata koncentracija aktivnosti u dagnjama, izračunate su ukupne godišnje efektivne doze po pojedinoj lokaciji za odraslo stanovništvo priobalja prema jednadžbama (1) i (2):

$$E_d = A_c \cdot q \cdot C_f \quad (1)$$

$$D = \Sigma A_c \cdot q \cdot C_f \quad (2)$$

pri čemu je E_d godišnja efektivna doza za dani radionuklid izražena u μSv , A_c koncentracija aktivnosti radionuklida u Bq kg^{-1} , q godišnji unos dagnji za koji je pretpostavljeno da iznosi 2 kg po stanovniku (usmena predaja), C_f dozni faktor koji za ^{210}Po iznosi $1,2 \mu\text{Sv Bq}^{-1}$, a za ^{210}Pb $0,69 \mu\text{Sv Bq}^{-1}$, dok je D ukupna godišnja efektivna doza dana u μSv . Dobiveni rezultati prikazani su na Slici 2.



Slika 2. Ukupne godišnje efektivne doze koje je odraslo stanovništvo priobalja primilo od ^{210}Po i ^{210}Pb konzumiranjem dagnji u 2011. godini.

Ukupne godišnje efektivne doze koje je odraslo stanovništvo priobalja primilo konzumiranjem dagnji u 2011. godini kreću se u rasponu od $146,9 \mu\text{Sv}$ u Kaštel Gomilici do $393,3 \mu\text{Sv}$ u Malom Stonu, pri čemu je doprinos ^{210}Po u ukupnoj dozi na svim lokacijama preko 90 %. Povišene vrijednosti primljenih doza očekivano su dobivene za lokacije južnog Jadrana (D9 – D13) što obuhvaća područja na kojima se najvećim dijelom uzgajaju dagnje i kamenice u Hrvatskoj. Dobivene vrijednosti usporedive su s ukupnim godišnjim efektivnim dozama koje od ^{210}Po i ^{210}Pb konzumacijom dagnji primi stanovništvo drugih priobalnih zemalja [5,6].

ZAKLJUČAK

Praćenjem koncentracija aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb u dagnjama (*Mytilus galloprovincialis*) u proljeće i jesen 2011. godine uočeno je da su vrijednosti najviše u proljeće te da su prosječne godišnje koncentracije aktivnosti ^{210}Po više na južnom Jadranu, dok za ^{210}Pb bitno ne variraju po lokacijama.

Izračunati omjeri aktivnosti $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ upućuju na činjenicu da ^{210}Po u tkivu dagnji potječe direktno akumulacijom iz okoliša, a manjim dijelom kao produkt raspada akumuliranog ^{210}Pb .

Izračunate ukupne godišnje efektivne doze za priobalno stanovništvo u prosjeku iznose 254,6 μSv pri čemu su najviše vrijednosti dobivene za područje južnog Jadrana. Udio ^{210}Po u ukupnoj dozi u prosjeku iznosi 95 %. Dobiveni rezultati usporedivi su s dozama koje odraslo stanovništvo primi konzumacijom dagnji u susjednim zemljama.

ZAHVALA

Rad je izrađen uz financijsku potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske (bilateralni projekt "Radiokemijske metode za određivanje radionuklida u uzorcima vode"), Ministarstva za visoko školstvo, znanost in tehnologiju Republike Slovenije (bilateralni projekt BI-HR/10-11-007) te sredstvima Ugovora s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost "Sustavno ispitivanje radioaktivnosti u morskim indikatorskim organizmima".

LITERATURA

- [1] Carvalho PF, Fowler SW. A double-tracer technique to determine relative importance of water and food as sources of polonium-210 to marine prawns and fish. *Mar Ecol Prog Ser* 1994;103:251-264.
- [2] Rožmarić Mačefat M, Rogić M, Barišić D, Benedik Lj, Štok M. Sustavno praćenje radioaktivnosti priobalnih voda Jadrana korištenjem dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) kao bioindikatora. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 2013. (ovaj Zbornik)
- [3] Vreček P, Benedik L, Pihlar B. Determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in sediment and soil leachates and in biological materials using a Sr-resin column and evaluation of column reuse. *Appl Radiat Isot* 2004;60:717-723.
- [4] Durand JP, Goudard F, Barbot C, Pieri J, Fowler SW, Cotret O. Ferritin and hemocyanin: ^{210}Po molecular traps in marine fish, oyster and lobster. *Mar Ecol Prog Ser* 2002;233:199-205.
- [5] Ugur A, Yener G, Bassari A. Trace metals and ^{210}Po (^{210}Pb) concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia. *Appl Radiat Isot* 2002;57:565-571.
- [6] Štok M, Smodiš B. Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in fish and molluscs in Slovenia and the related dose assessment to the population. *Chemosphere* 2011;82: 970-976.

ACTIVITY CONCENTRATIONS OF ^{210}Po AND ^{210}Pb IN MUSSELS (*Mytilus galloprovincialis*) WITH TOTAL ANNUAL EFFECTIVE DOSE ASSESSMENT TO THE COASTAL POPULATION OF THE REPUBLIC OF CROATIA

Matea Rogić¹, Martina Rožmarić Mačefat^{1,*}, Delko Barišić¹,
Ljudmila Benedik² and Petra Planinšek²

¹Laboratory for Radioecology, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

*Environmental Laboratories, International Atomic Energy Agency, Monaco

²Department of Environmental Sciences, Jožef Stefan Institute,
Ljubljana, Slovenia

mrogic@irb.hr

^{210}Po and ^{210}Pb are naturally occurring radionuclides from ^{238}U decay chain. They are highly radiotoxic, contributing significantly to total internal doses received through ingestion (food and drinking water). For radiological impact assessment they have to be monitored in foodstuffs known to have elevated ^{210}Po and ^{210}Pb activity concentrations. Mussels, *Mytilus galloprovincialis*, accumulate ^{210}Po and ^{210}Pb from the marine environment through seawater filtration. Due to high ^{210}Po affinity for organic matter its accumulation in mussel tissue is significantly higher than ^{210}Pb , which can result in higher radiation exposure from mussel consumption.

The aim of the study was determination of ^{210}Po and ^{210}Pb in mussels, *Mytilus galloprovincialis*, sampled in spring and autumn of 2011 along the Croatian Adriatic coast with the related dose assessment for the coastal population. For their determination a procedure for simultaneous separation from mussel samples was used. After sample preparation and addition of ^{209}Po tracer and Pb^{2+} carrier radionuclides were separated on Sr resin. $^{209,210}\text{Po}$ source for alpha spectrometry was prepared by self-deposition on Ag disc, while lead was precipitated as PbSO_4 and the beta activity of its daughter ^{210}Bi was counted on a gas proportional counter.

The obtained results for ^{210}Po were in range from $(26.2 \pm 2.8) \text{ Bq kg}^{-1}$ to $(236.1 \pm 19.4) \text{ Bq kg}^{-1}$, and for ^{210}Pb from $(2.1 \pm 1.2) \text{ Bq kg}^{-1}$ to $(15.4 \pm 4.9) \text{ Bq kg}^{-1}$ fresh weight. The total annual effective doses were $254.6 \mu\text{Sv}$ on average, with 95 % contribution of ^{210}Po .

IZLOŽENOST ZRAČENJU KROZ DIJAGNOSTIČKE POSTUPKE NUKLEARNE MEDICINE – PRIKAZ SLUČAJA

*Nevenka Kopjar¹, Ivica Prlić¹, Jasminka Senčar¹, Davor Želježić¹,
Snježana Ramić² i Gordana Marović¹*

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Klinika za tumore, Zagreb

nkopjar@imi.hr

UVOD

U okviru nuklearno-medicinske dijagnostike većinom se rabe kratkoživi radioizotopi velike početne aktivnosti. Oni moraju obaviti funkciju radioaktivnog obilježivača čije se kretanje kroz tijelo može otkriti, pratiti i zabilježiti suvremenim metodama slikovne detekcije [1]. U kardiološkoj dijagnostici učestalo se rabi ²⁰¹Tl [2], čije je vrijeme poluživota 73 h, a emitira fotone energije od 69 keV, 71 keV, 80 keV, 83 keV, 135 keV i 167 keV [3]. Nakon završetka dijagnostičkog postupka aplicirani radioizotop ostaje u tijelu bolesnika, sve dok se iz njega postupno ne izluči urinom. Kako su količine radioizotopa potrebnog za pretragu prethodno proračunate prema protokolima i u skladu s principom "onoliko nisko koliko je to razumno moguće postići", načelno se smatra da dijagnostički postupak ne bi smio izazvati stohastičku i pogotovo ne determinističku trajnu somatsku "štetu" u tijelu [1].

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi izloženost zračenju kroz nuklearno-medicinski dijagnostički postupak snimanja srca primjenom radiofarmaceutskog pripravka s talijem. S pomoću visokorezolucijske gamaspektrometrije provedena su mjerenja koncentracija aktivnosti talija u 24-satnom uzorku urina. Analizom izmjena sestrinskih kromatida (SCE) i analizom stanične kinetike u uvjetima *in vitro* istražili smo utjecaj dijagnostičkog postupka na razine citogenetičkih oštećenja u limfocitima.

MATERIJAL I METODE

Istraživanje je provedeno uz prethodnu suglasnost ispitanika muškog spola, dobi 49 g., nepušača. Ispitanik je (tijekom 25 godina) povremeno profesionalno izložen ionizirajućem i neionizirajućem zračenju. Zbog zdravstvenih problema podvrgnut je snimanju srca te je tijekom tjelesnog

opterećenja sa 75 W jednokratno *i. v.* primio radiofarmaceutski pripravak talijevog(I)[²⁰¹Tl] klorida. Prema proračunu, aktivnost talija iznosila je 111 MBq, sukladno standardu za takav pregled osoba od 75 do 120 kg. Tijekom sljedećih 24 h prikupljen je uzorak urina, od kojeg je izdvojen volumen od 1 L, koji je korišten u mjerenjima. Uzorak je obrađen visokorezolucijskom gamaspektrometrijom (HP Ge koaksijalni detektor rezolucije 1,75 keV na 1,33 MeV ⁶⁰Co i relativne efikasnosti od 21 % na 1,33 MeV ⁶⁰Co). Kalibracija efikasnosti načinjena je standardima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). Vrijeme mjerenja je 80 000 s ili duže, ovisno o aktivnosti uzorka. Mjerenje je provedeno u laboratoriju koji je akreditiran prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007 za metodu: Određivanje radionuklida visokorezolucijskom gamaspektrometrijom u energijskom području od 40 keV do 2000 keV.

U okviru istraživanja provedena su i tri uzorkovanja krvi: (I) 2 h prije pretrage; (II) 60 min nakon *i. v.* primjene lijeka te (III) 14. dan nakon pretrage. U skladu sa standardnim protokolima uspostavljene su kulture limfocita za analizu izmjena sestrinskih kromatida (SCE) [4]. Pokus je napravljen u triplicatu. Broj SCE utvrđen je pregledom ukupno 150 (3 × 50) metafaza druge *in vitro* diobe na svjetlosnom mikroskopu pod povećanjem 1000×. Rezultati su prikazani kao srednje vrijednosti ± SD na 50 metafaza. Analiza stanične kinetike provedena je pregledom ukupno 300 (3 × 100) metafaza po uzorku te je na osnovi obrasca obojenosti kromosoma određen broj (%) stanica koje su u prvoj (M₁), drugoj (M₂) i trećoj (M₃) *in vitro* diobi i izračunat proliferacijski indeks (PRI, od engl. *Proliferating Rate Index*) prema formuli $PRI = (1M_1 + 2M_2 + 3M_3)/100$ [5]. Podaci su obrađeni matematičkim i statističkim metodama. Razina statističke značajnosti bila je $P < 0,05$.

REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti talija u uzorku 24-h urina prikazani su u Tablici 1. Utvrdili smo da je aplicirani radiofarmaceutski pripravak sadržavao 99,595 % ²⁰¹Tl, 0,078 % ²⁰⁰Tl i 0,327 % ²⁰²Tl.

Na osnovi podataka iz literature te standarda Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) [6] izračunana je efektivna doza zračenja koju je ispitanik primio jednokratnim unosom radiofarmaceutskog pripravka s talijem u organizam u svrhu dijagnostičkog postupka snimanja srca, a dobiveni su rezultati prikazani u Tablici 2.

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti talija u uzorku urina prikupljenom tijekom 24 h nakon dijagnostičkog postupka snimanja srca.

Talij	Vrijeme poluraspada	Koncentracija aktivnosti Bq/L urina
²⁰¹ Tl	73,5 h	538960,9 ± 405,9
²⁰⁰ Tl	26,1 h	422,035 ± 2,091
²⁰² Tl	12,2 d	1770,54 ± 3,57

Tablica 2. Procijenjena efektivna doza zračenja za cijelo tijelo primljena jednokratnim unosom radiofarmaceutskog pripravka s talijem tijekom kardiološkog dijagnostičkog postupka, izračunana za vrijeme od 2 dana.

Talij	Procijenjena efektivna doza za cijelo tijelo (mSv)
²⁰¹ Tl	0,0453
²⁰⁰ Tl	0,0001
²⁰² Tl	0,0008

Iz dobivenih je rezultata vidljivo da najveći procijenjeni doprinos efektivnoj dozi za cijelo tijelo, koju je ispitanik maksimalno mogao primiti jednokratnim unosom radiofarmaceutskog pripravka u tijelo do njegova izlaska urinom, daje ²⁰¹Tl, ali nije zanemariv niti doprinos ²⁰²Tl, koji je također detektiran u uzorku, a ima najdulje vrijeme poluraspada od sva tri talija. Ukupno biološko vrijeme boravka svakog od spomenutih talija u tijelu nažalost nismo mogli točno odrediti jer nisu provedena kasnija uzorkovanja urina. S obzirom na izmjerenu koncentraciju aktivnosti ²⁰²Tl, a u skladu s njegovim vremenom poluraspada, za očekivati je da je i 14 dana nakon jednokratnog unosa radiofarmaceutskog pripravka u organizam prisutna značajna količina aktivnosti koja može uzrokovati mjerljiv biološki učinak.

Analiza SCE pokazala se osjetljivom metodom za otkrivanje oštećenja DNA izazvanih pod utjecajem radioizotopa u uvjetima *in vivo* [7,8]. Ona također daje korisne podatke o staničnoj kinetici, koja može biti narušena uslijed izloženosti genotoksičnim agensima [4,5]. Zbog navedenih prednosti analizu SCE primijenili smo za procjenu utjecaja dijagnostičkog postupka na razine citogenetičkih oštećenja u limfocitima (Tablica 3). Najveća učestalost SCE u limfocitima te značajan pad vrijednosti PRI utvrđeni su u II. uzorku krvi, izvađenom nakon pretrage. Vrijednosti obaju parametara značajno odstupaju u odnosu na ostala uzorkovanja.

Tablica 3. Rezultati analize izmjena sestrinskih kromatida (SCE) i analize stanične kinetike u limfocitima periferne krvi.

Uzorak	I	II	III
Analiza izmjena sestrinskih kromatida (SCE)			
Sr. vr. $\pm$ SD	2,87 $\pm$ 0,98	6,11 $\pm$ 1,70 ^a	5,26 $\pm$ 1,47 ^b
Raspon	1 – 6	3 – 10	3 – 10
Stanična kinetika			
ΣM_1	90 (30 %)	132 (44 %)	97 (32 %)
ΣM_2	163 (54 %)	137 (46 %)	165 (55 %)
ΣM_3	47 (16 %)	31 (10 %)	38 (13 %)
PRI	1,86	1,66 ^c	1,80 ^d

Uzorkovanja krvi provedena su: (I) 2 h prije dijagnostičke pretrage srca; (II) 60 min nakon *i. v.* primjene lijeka; (III) 14. dan nakon pretrage. Statistički značajno više vrijednosti: a - vs svi ostali uzorci; b - vs I ($P < 0,001$; ANOVA uz Schefféov post-test); c - vs svi ostali uzorci; d - vs I ($P < 0,05$; χ^2 -test).

Dobiveni su rezultati u skladu sa srodnim istraživanjima drugih autora. Kako ^{201}Tl ulazi u stanice slično monovalentnim kationima alkalijskih metala, uslijed njegove unutarstanične lokalizacije pojačavaju se i štetni učinci na razini DNA [9]. Učestalost SCE raste nakon izlaganja genotoksičnim agensima koji narušavaju integritet molekule DNA ili remete mehanizme popravka, a visoke vrijednosti SCE prate i zastoji diobe limfocita u uvjetima *in vitro* [4,10]. Dobiveni su rezultati također sukladni rezultatima našeg ranijeg istraživanja [11]. Vrijednosti SCE u III. uzorku upućuju na blagi pad razine oštećenja kromosoma, praćen normalizacijom kinetike diobe stanica u odnosu na II. uzorak (Tablica 3). Međutim, oba parametra su još povišena u odnosu na I. uzorak. Te povišene vrijednosti mogu se rastumačiti rezultatima mjerenja aktivnosti talija u urinu, koji su pokazali prisutnost ^{201}Tl , ^{200}Tl i ^{202}Tl s različitim vremenima poluraspada, koji se različito dugo zadržavaju u tijelu.

ZAKLJUČAK

Mjerenja koncentracija aktivnosti talija u uzorku 24-h urina prikupljenom nakon dijagnostičke pretrage te obrađenom visoko-rezolucijskom gamaspektrometrijom pokazuju prisutnost nečistoća u radiofarmaceutskom pripravku koji bi trebao sadržavati ^{201}Tl . Ti rezultati govore u prilog potrebe strože kontrole kvalitete lijekova koji se rabe u nuklearno-medicinskim dijagnostičkim postupcima. U ovom slučaju ističemo onečišćenje s ^{202}Tl čiji doprinos procijenjenoj efektivnoj dozi za

cijelo tijelo nije zanemariv, uzme li se u obzir da isti ima najdulje vrijeme poluraspada od sva tri talija detektirana u uzorku urina. Rezultati analize SCE upućuju da pod utjecajem talija unesenog jednokratnim izlaganjem dijagnostičkom postupku nastaju oštećenja na razini kromosoma, koja se intenzivno popravljaju za vrijeme rasta stanica u kulturi. Njihova se učestalost postupno smanjuje u razdoblju nakon pretrage, što je u skladu s podacima dosadašnjih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Prlić I, Surić M, Mrčela I, Cerovac Z, Marović G, Golubović D, Meštrović T, Hajdinjak M. Izloženost stanovništva u Hrvatskoj otvorenim izvorima ionizirajućeg zračenja - radioizotopima u medicini. *Arh Hig Rada Toksikol* 2010;61(Suppl1):69-79.
- [2] Steien S, Aaseth J. Thallium-201 as an agent for myocardial imaging studies. *Analyst* 1995;120(3):779-781.
- [3] McGoron AJ. Radioisotopes in Nuclear Medicine. Dostupno na: <http://www.launc.tased.edu.au/online/sciences/PhysSci/radres/Radfiles/s7mcg.pdf>
- [4] Albertini RJ, Anderson D, Douglas GR, Hagmar L, Hemminki K, Merlo F, Natarajan AT, Norppa H, Shuker DEG, Tice R, Waters MD, Aitio A. IPCS guidelines for the monitoring of genotoxic effects of carcinogens in humans. *Mutat Res* 2000;463:111-172.
- [5] Lamberti LP, Bigatti Ponzetto P, Ardito G. Cell kinetics and sister-chromatid exchange frequency in human lymphocytes. *Mutat Res* 1983;120:193-199.
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 1996.
- [7] Bozkurt G, Yuksel M, Karabogaz G, Sut N, Savran OF, Palanduz S, Yigitbasi ON, Algunes C. Sister chromatid exchanges in lymphocytes of nuclear medicine physicians. *Mutat Res* 2003;535:205-213.
- [8] Yildirim M, Ikbali M, Tos T, Seven B, Pirim I, Varoglu E. Genotoxicity of thallium-201 in patients with angina pectoris undergoing myocardial perfusion study. *Tohoku J Exp Med* 2005;206(4):299-304.
- [9] Kassis AI, Adelstein SJ, Haydock C, Sastry KSR. Thallium-201: An experimental and a theoretical radiobiological approach to dosimetry. *J Nucl Med* 1983;24:1164-1175.
- [10] Cheong N, Zeng ZC, Wang Y, Iliakis G. Evidence for factors modulating radiation-induced G2-delay: potential application as radioprotectors. *Physica Medica* 2001;XVII(Suppl 1):205-9.
- [11] Kopjar N, Ramić S, Želježić D, Prlić I. Utjecaj radioizotopa ^{201}Tl i $^{99\text{m}}\text{Tc}$ primijenjenih u dijagnostičke svrhe na razinu oštećenja genoma u limfocitima periferne krvi – prikaz slučaja. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G. (ur.) Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. Zagreb, 2011.134-141.

RADIATION EXPOSURE BY NUCLEAR MEDICINE IMAGING PROCEDURES: A CASE STUDY

*Nevenka Kopjar¹, Ivica Prlić¹, Jasminka Senčar¹, Davor Želježić¹,
Snježana Ramić² and Gordana Marović¹*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²University Hospital for Tumors, Zagreb, Croatia

nkopjar@imi.hr

Using high-resolution gamma spectrometry, we investigated the activity concentrations of thallium radioisotopes in a urine sample collected during a period of 24 h following nuclear medicine cardiac imaging. As part of a thallium stress test the subject of the study received a radiopharmaceutical preparation with ²⁰¹Tl (activity 111 MBq). In order to assess whether the cardiac imaging procedure resulted in lymphocyte genome damage, we studied the frequency of sister chromatid exchanges (SCE) and lymphocyte cell kinetics in the blood samples collected before and after the cardiac imaging.

The highest activity concentration (538960.9 ± 405.9 Bq/L_{urine}) was estimated for ²⁰¹Tl, followed by 1770.54 ± 3.57 Bq/L_{urine} for ²⁰²Tl, and 422.035 ± 2.091 Bq/L_{urine} for ²⁰⁰Tl. The applied radiopharmaceutical contained 99.595 % of ²⁰¹Tl, 0.078 % of ²⁰⁰Tl and 0.327 % of ²⁰²Tl. The estimated effective dose received through a single exposure to the radiopharmaceutical and calculated for a period of two days was mostly affected by ²⁰¹Tl (0.0453 mSv). Due to its half-life of 12.2 days, the contribution of ²⁰²Tl (0.0008 mSv) to the effective dose was also significant. Results of the cytogenetic analysis indicate that a single diagnostic exposure to thallium caused an increase of SCE frequency and decrease of the proliferation rate index (PRI). Both parameters normalized steadily 14 days after the cardiac imaging procedure, which is also in accord with data obtained in previous studies.

Our results indicate the presence of impurities in the radiopharmaceutical which should contain only ²⁰¹Tl. This calls for a stricter process of quality control for radiopharmaceuticals used in nuclear medical diagnostic procedures. In this particular case, we emphasize ‘contamination’ with ²⁰²Tl, whose contribution to the effective dose cannot be ignored if one takes into account that it has the longest half-life of all three thallium radioisotopes detected in the urine sample.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI
RADIATION PROTECTION IN MEDICINE

EXPOSURE OF MEDICAL STAFF DURING INTERVENTIONAL PROCEDURES

Margit Osvay¹ and Olivér Turák^{2,3}

¹Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest

²National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene, Budapest

³General Electric Healthcare Division, Budaörs, Hungary

osvay.margit@energia.mta.hu

INTRODUCTION

The health care system of Hungary is equipped with proper radiological technologies in the field of diagnostic radiology and radiation therapy. Monitoring of the absorbed ionizing radiation doses delivered to the patients is provided. The personal doses of medical staff dealing with radiation are monitored by Kodak film badges.

From the wide spectrum of medical applications this paper focuses on the special interests on the increasing number of interventional cardiology and radiology procedures. The medical staff that carries out interventional procedures is likely to receive significant radiation doses to their hands, or parts of their body not covered with protective shielding. During these roentgen diagnostic procedures the medical staff stands close to the patient and X-ray machine in an inhomogeneous radiation field. Moreover, the occupational dose is measured only by one film dosimeter, worn under the lead apron in order to estimate the effective dose in Hungary.

The aim of our measurements was to determine the doses on uncovered parts of body of medical staff during interventional procedures using LiF thermoluminescent (TL) dosimeters [1,2].

MATERIALS AND METHODS

The parameters of the thermoluminescent (TL) LiF(P) dosimeters used for control measurements were as follows:

- Size of LiF(P): diameter 4.5×0.5 mm, sintered (Poland)
- Annealing: 1 h at 400 °C and 2 h at 100 °C temperature.
- Energy dependence negligible above 50 keV photon energy
- Thermal fading at room temperature is about 5 % per year

The TL pellets were read out one day after the irradiation period using a Harshaw 3500 TLD reader. The irradiated dosimeters were evaluated

twice to obtain the background reading as well. The lowest detectable dose was about 0.01 mSv, the SD was 5 %. During the interventional procedures C-arm type X-ray machines (Siemens) were used. Figure 1 shows the position of patient and medical staff.



Figure 1. The position of medical staff during interventional procedures

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the dose data measured during two months' intervention procedure at radiology and cardiology departments. The highest doses were found on the fingers and knees of medical doctors. The hands of doctors were in the field of direct beam, it is shown by the high doses on fingers.

In case of cardiologist the finger's dose was about 10 times higher in comparison with the radiologist's dose due to the complicated and longer procedures. The measured doses on knees of cardiologist were extremely high. The doses of assistants were found about 5 times lower in comparison with doctors. The medical doctor stands closer to the patient.

The occupational doses of medical staff measured by film badges under the lead apron were in every case <0.2 mSv.

Table 1. Measured dose data on uncovered parts of body during 2 months

Position of TL dosemeters	Cardiology department (mSv)	Radiology department (mSv)
Eye lens	1.5	0.4
Left hand fingers	28	5.0
Right hand fingers	24	2.0
Knees	73	--

CONCLUSIONS

It can be stated, that measured doses on eye lens, on left and right hands are in good correlation with international publications [3]. The highest doses were found on uncovered knees. Results suggest:

- the annual amount of procedures for staff could lead to exceeding ICRP dose limit for skin (500 mSv/year)
- wearing only one film badge (or other dosemeter system) under the lead apron does not provide proper information on the occupational dose of medical staff.

REFERENCES

- [1] Kron, T. Application of thermoluminescence dosimetry in medicine. Radiat Prot Dosim 1999; 85:333-340.
- [2] Ranogajec-Komor M, Osvay M. Dosimetric characteristics of different TL phosphors. Radiat Prot Dosim 1986;17:379-384.
- [3] Johnson D.R. et al. Radiation protection in interventional radiology. Clinical Radiology 2001;56:99-106.

EXPOSURE OF MEDICAL STAFF DURING INTERVENTIONAL PROCEDURES

Margit Osvay¹ and Olivér Turák^{2,3}

¹Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest

²National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene, Budapest

³General Electric Healthcare Division, Budaörs

Hungary

osvay.margit@energia.mta.hu

The medical staff during interventional procedures receives significant doses on their hands, or parts of their body not covered with protective shielding equipment, as they are close to X-rays field.

It can be stated, that interventional radiology and cardiology have one of the highest doses among the X-ray diagnostic procedures.

The radiologist use X-ray machine directly in the interventional procedures. The occupational dose is measured only by one Kodak film badge worn under the lead apron for the estimation of the effective dose in Hungary.

Our lecture presents the results of dose measurements on eye lens, hands, knees using LiF thermoluminescent dosimeters on the medical staff of two Hungarian hospitals.

Results suggest that wearing only one film badge (or other dosimeter system) under the lead apron does not provide proper information on the real occupational dose of medical staff.

CONSEQUENCES OF THE NEW EYE LENS LIMITS FOR THE STAFF IN MEDICINE

Denisa Nikodemová

Slovak Medical University, Faculty of Public Health,
Bratislava, Slovak Republic
denisa.nikodemova@szu.sk

INTRODUCTION

Recent epidemiological studies have suggested that the lens of the eye may be more radiosensitive than previously considered. There is evidence of opacities after chronic exposure over several years, which can progress into cataracts [1]. Ionizing radiation is generally associated with cortical and posterior subcapsular opacities (Figure 1). There exist some practices where potentially significant eye exposures are identified, also when the whole body doses are below the limits (interventional radiologist, operators in nuclear medicine etc).

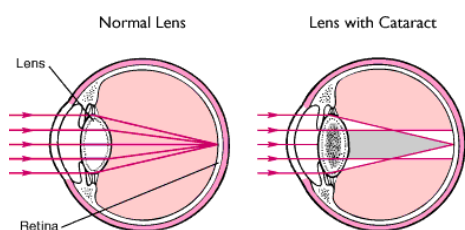


Figure 1. Difference between the normal lens and lens with cataracts

According to the contemporary concept [2], the equivalent dose of the eye lens is not directly measurable, so $H_p(10)$ or $H_p(0.07)$ were used for conservative eye lens dose estimation. Relevant findings are now available that in some cases $H_p(10)$ underestimates and $H_p(0.07)$ overestimates the dose to the lens of eye (Figure 2). Based on the new statements in the ICRP Recommendations [3], the Draft of the revision of ISO Standard 15382 [4] and the TECDOC of IAEA (under preparation), the ICRP recommends for the occupational exposure in planned exposure situations, an equivalent dose limit of 20 mSv in a year, averaged over defined periods of 5 years. Together with the reducing of the eye lens dose limit, there is a need to foster the implementation of the reference quantity $H_p(3)$ in practice, as well

as, to establish the conditions for monitoring of the operational quantity $H_p(3)$, to prepare the calibration procedure and conversion factors for the real fields of radiation.

In this paper some examples of the eye lens measurements results from the ORAMED project will be given and the importance of optimization underlined, with a correct using of protective equipment and more emphasis on the training in radiation protection.

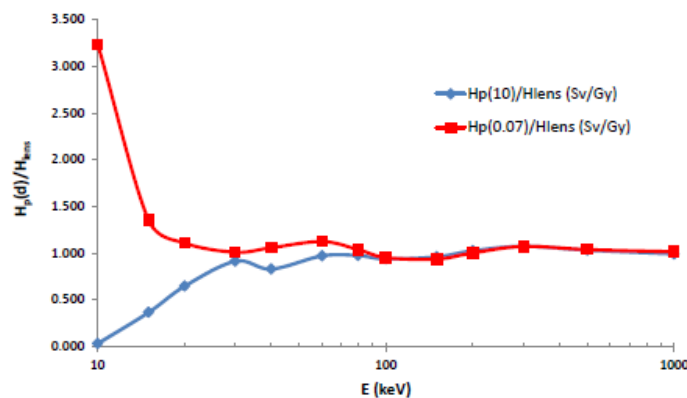


Figure 2: Energy dependence of $H_p(d)$ to H_{lens} for photons (ICRP 74)

MATERIAL AND METHODS

The European research project ORAMED solved in the years 2008 to 2011, aimed at an assessment of the radiation load of medical staff, working at selected interventional radiology (IR) and interventional cardiology (IC) examinations, and at the most frequent applications of radiopharmaceuticals in nuclear medicine (NM). The number of such types of radiological examinations has risen in the last five years nearly twice and the radiation load of extremities and eye lenses significantly increased. In the project, participated 34 radiological departments from 13 EU countries, coordinated by measuring $H_p(0.07)$, using thermoluminescent dosimeters LiF:Mg, Cu, P type, and by monitoring of all parameters affecting the doses received at 9 various positions on the physicians body. Monitoring of eye lens doses in the cohort studied in the framework of ORAMED indicate that the reduction from current limit of 150 mSv per year to 20 mSv per year, would exceed 24 % of radiologists, and $3/10^{\text{th}}$ of limit would reach 45 % of monitored radiologists. In the project a large number of influencing factors (geometries, protective equipment, physicians experience, etc) has been analyzed and the magnitude of these impact factors determined [5].

RESULTS

An overview of average $H_p(0.07)$ values measured on the body of physicians for all monitored procedures is given in Figure 3.

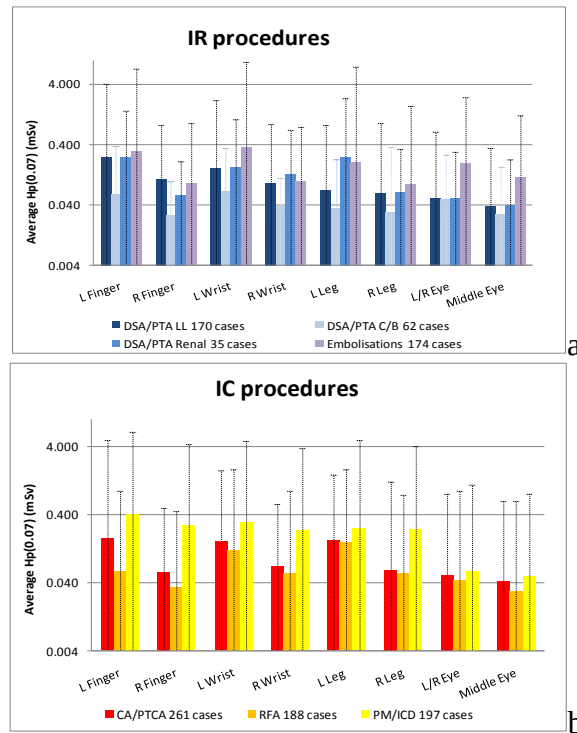


Figure 3. Average $H_p(0.07)$ values for various IR (a) and IC procedures (b) measured in ORAMED project [5,6].

One part of the work in the ORAMED project was directed on the examination of the possibility of monitoring the operational variables of $H_p(3)$, by Monte Carlo simulation. Gualdrini [7] used a special cylindrical phantom (diameter 20 cm and height 20 cm). Subsequently, an optimized prototype of eye lens dosimeter, with sufficient accuracy in the range of energies from 8 keV to 10 MeV, was developed.

The dosimeter consists of an MCP-N(LiF:Mg:Cu:P) TL detector, inside a polyamide capsule. The calculated and measured $H_p(3)$ values as a function of photon energy for various X-ray spectra are depicted in the Figure 4. The comparison with the data obtained by Behrens [9] were satisfactory, with an uncertainty of 20 %.

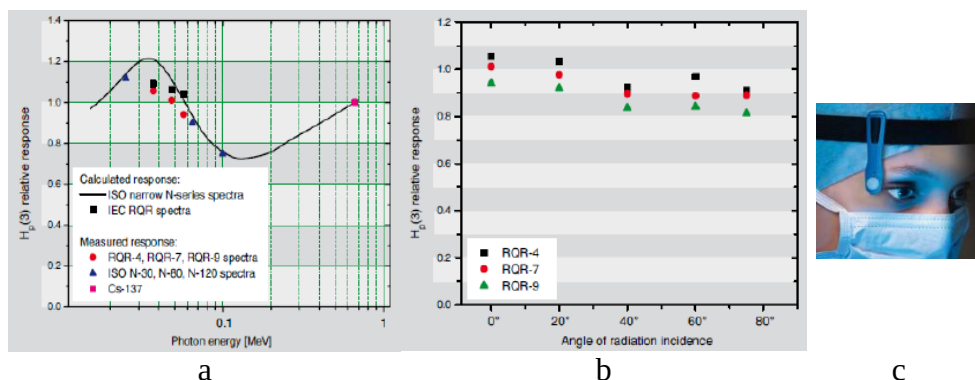


Figure 4: Energy (a) and angular (b) responses of RADCARD EYE-DTM dose meter (c) for photon radiation [8]

CONCLUSION

In spite of the fact that the data spread of the results received in the framework of ORAMED measurements is broad, they clearly specified that the eye lens doses need more attention, due to possibilities that the physicians doses could approach the established dose limits, especially when the reduced eye lens limits will be officially established.

For checking if the annual limits might be exceeded, we have collected the information on how many procedures have the physicians really performed per year. In the Figure 5, the frequency of the position of the maximum ratio of the measured $H_p(0.07)$ values divided by the respective annual limits is given. In this case the eye lens exposure becomes significantly more important (Figure 5).

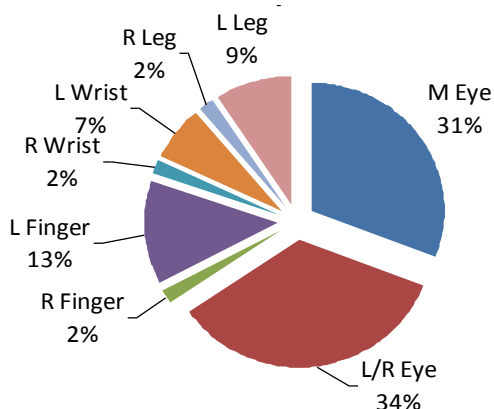


Figure 5: Frequency of the position of the maximum dose in IR procedures

ACKNOWLEDGEMENT

This work was funded within the EU 7th Framework Programme (FP7/2007-2011) under Grant Agreement No. 211361

REFERENCES

- [1] ICRP, 2012. Statement on Tissue Reactions. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 4(1-2)
- [2] ICRP, 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann ICRP 26 (3-4).
- [3] ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission of Radiological Protection, Publication 103. Ann ICRP 37(2-4).
- [4] Drake P, Vanhavere F. Draft of the ISO Standard "Radiological protection - Procedure for monitoring of the dose to the lens of the eye, the skin and the extremities", DRAFT Version ISO 15382, 2, 012
- [5] Vanhavere F, Carinou E, Domienik J, Donadille L, Ginjaume M, Gualdrini G, Koukorava C, Krim S, Nikodemova D, Ruiz-Lopez N, Sans-Merce M, Struelens L. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of ORAMED project. Radiation Measurements 2011;46:1243-1247.
- [6] Nikodemova D. et al, Staff extremity doses in interventional radiology results of ORAMED measurements campaign. Radiation Measurements 2011;46:1210-1215.
- [7] Gualdrini G. et al, A new cylindrical phantom for eye lens dosimetry development. Radiation Measurements 2011;46:1231-1234.
- [8] Bilski F. et al, The new EYE-DTM dosimeter for measurements of Hp(3) for med staff. Radiation Measurements 2011,46,1239-1242.
- [9] Behrens R. Conversion coefficients for photon spectra: Ka-Hp(3)cyl, RPD 2012; doi: 10.1093/rpd/ncs032
- [10] Vano E et al. Radiation-associated Lens Opacities in Catheterization Personnel: Results of a Survey and Direct Assessments, J Vasc Interv Radiol 2013;24:197-204.

CONSEQUENCES OF THE NEW EYE LENS LIMITS FOR THE STAFF IN MEDICINE

Denisa Nikodemová

Slovak Medical University, Faculty of Public Health,
Bratislava, Slovak Republic
denisa.nikodemova@szu.sk

Recent recommendations of the ICRP (103/2007) support the statement that the lens of the eyes may be more radiosensitive than previously considered. Furthermore strong evidence for the development of both cortical, as well as posterior subcapsular cataracts has been observed in clinical studies of various exposure situations, where doses not exceeded the value of 1 Gy. Thus the eye lens dose assessment received a lot of attention, mainly in the European research project ORAMED, concerned on the extremity and eye lens doses of the staff working in nuclear medicine and interventional radiology and cardiology.

Depending on the used methods for eye lens dosimetry, as well as on the application of protection tools and working skills, conversion factors between the proposed personal dose equivalent quantity $H_p(3)$ and the Air Kerma were estimated, based on the realistic simulations of the human eye. The most recent ICRP statement for tissue reactions continues to recommend the optimization process, including a revision of the eye lens limit from 150 mSv to 20 mSv. In the presentation, some results of eye lens monitoring will be given and the appropriate calibration discussed, together with the proposed personal dosimeters for $H_p(3)$.

THE ESTIMATION OF COLLECTIVE DOSE FROM MEDICAL EXPOSURES FROM DIAGNOSTIC NUCLEAR MEDICINE EXAMINATIONS IN CROATIA

*Ivana Kralik¹, Mario Štefanić², Gordan Šarić², Stanko Težak³,
Svjetlana Grbac Ivanković⁵, Miroslava Radić Wolft⁵, Dario Posedel⁴,
Slaven Jurković⁵, Hrvoje Brkić², Dario Faj²*

¹State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

²Faculty of Medicine, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

³University Hospital Centre Zagreb, Croatia

⁴Ekoteh Ltd, Zagreb, Croatia

⁵University Hospital Centre Rijeka, Croatia

dariofaj@mefos.hr

INTRODUCTION

The largest contribution to the man-made radiation exposure of population is from medical exposures and it continues growing [1,2]. There has been marked growth in the absolute number of diagnostic medical procedures that utilize ionising radiation and, in addition, there has been an increasing frequency of relatively high dose procedures including computed tomography (CT) and interventional procedures [1,2]. As of 2007, medicine represented the largest source of ionising radiation exposure to the U.S. population [3]. Estimates of the population dose provide useful information on the relative contribution of different sources of ionising radiation to the population exposure. It allows comparison of the contributions from different medical imaging modalities. Such information provides guidance on where best to concentrate efforts on dose reduction, so as to optimise the protection of patients in the most cost-effective manner [4]. In the study on European population doses from medical exposure [4] Croatia was selected as a test country because of less experience in population dose estimations. The workgroup of radiologists, nuclear medicine specialists, medical physicists and statistician was formed and worked together with radiation safety regulatory body. We received technical assistance, individual advisors and a particular training course was organized by Dose DataMed 2 (DDM2) project. Implementation of the European guidance [4] was tested.

MATERIAL AND METHODS

According to the census of 2011 Croatia has the population of 4,290,000 citizens with GDP per person of 13760\$ according to the International monetary fund in 2010. With over 2.5 physicians per 1000 population Croatia belongs to the health level 1 countries according to the UNSCEAR classification.

Total number of nuclear medicine (NM) departments in Croatia is 13 where 9 are large and 4 are doing very limited number of examinations and only non imaging procedures. Eleven of them are public and 2 private institutions. One of the private institutions had the only 4 PET units in Croatia, all PET/CT. In the year 2012 the first PET/CT was installed in one public hospital in Croatia, but this was not relevant for our study.

The collective dose to the Croatian population from medical exposure was calculated using information on the number of medical procedures and the effective dose per procedure. According to the DDM2 methodology [4], we collected data for 28 most used procedures in NM. Four procedures using PET were grouped together since PET/CT examinations in Croatia are used only for oncology imaging and only the number of all PET/CT examinations done in 2010 year was collected.

The number of medical procedures was extracted from Croatian Institute for Health Insurance (CIHI). The CIHI database covers more than 99 % of population and is used for reimbursement primarily. There are three different codes used for in-hospital patients, out-of-hospital patients and special groups of expensive medical examinations. The codes are not compatible with each other, meaning that medical examinations are grouped differently in every code used. To check the CIHI data we did the survey in 7 out of 9 major NM departments (private institutions not included $\Rightarrow$ no direct survey of PET/CT examinations number). The results complied within 10 % for most examinations, but for example bone scintigraphy data showed that CIHI results overestimated the number of examinations done 3 times (probably multiple coding). This was the reason that for this survey we extrapolated the surveyed number of NM procedures according to the CIHI data. We assumed that coding in all hospitals have the same error. It complied well with our estimation done according to the size of surveyed and non-surveyed departments.

Average administered activities for 28 most frequent NM examinations were surveyed in the same departments and converted to effective doses according to the ICRP dose coefficients [5]. No distinction

was made between different kinds of PET examinations, so only the total number of PET examinations was considered with mean activity of 330 MBq and no data of CT doses were included.

The collective dose was then calculated for each and every NM procedure according to the frequency and average effective dose per procedure.

RESULTS

41 700 nuclear medicine examinations in a year period lead to 139 manSv collective effective dose. The frequency of nuclear medicine examination was 10.4 examinations annually per 1 000 members of the population with 34.8 μ Sv effective dose per caput. Since the number of diagnostic radiology examinations for the same period was collected, it was calculated that nuclear medicine examinations contribute with 1.5 % to the total frequency of all radiological (excluding dental) and nuclear medicine examinations together, but the contribution to the collective dose from diagnostic medical examinations (excluding dental) is 6.3 %.

Tc-99 is used in more than 95 % of NM diagnostic procedures, excluding PET. The distribution according to the main groups of procedures is given in Figure 1.

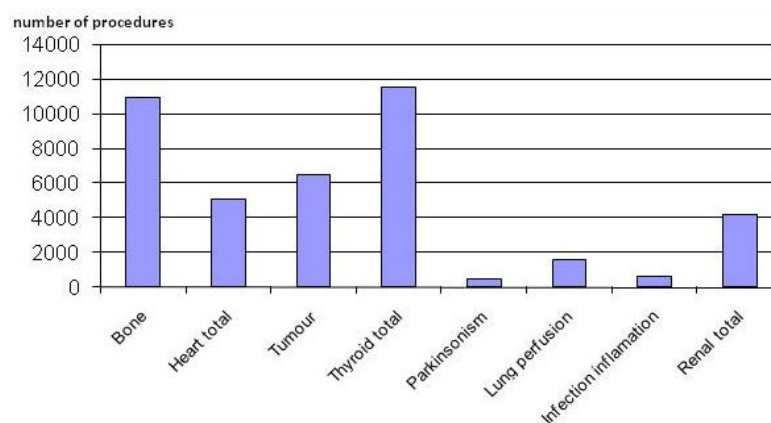


Figure 1. The distribution of main groups of NM diagnostic procedures.

Contribution of main groups of examinations to the collective dose (manSv/y) is shown in Figure 2.

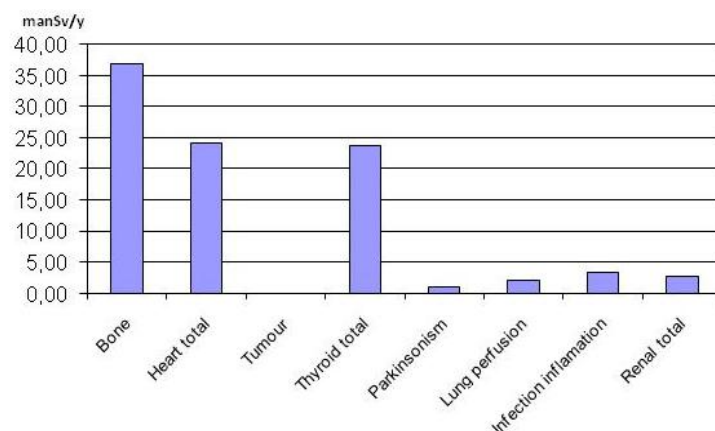


Figure 2. The contribution of main groups of examinations to the collective dose (manSv/y)

DISCUSSION AND CONCLUSION

The dose and frequency data are in the range of published studies [4], with the exception of higher thyroid examinations number. The distribution of examinations shows notably higher number of thyroid examinations in Croatia in comparison to the published values, partially reflecting a burden of longstanding iodine deficiency and consequently increased population prevalence of thyroid nodularity.

The range and the mean of administered activities are in the range of published values also [4]. NM examinations contribute with 1.5 % to the total frequency of all radiological (excluding dental) and nuclear medicine examinations together, but the contribution to the collective dose from diagnostic medical examinations (excluding dental) is 6.3 %.

CIHI database covers more than 99 % of the Croatian population, but is made for reimbursement purpose primarily. It should be given more attention from the radiation safety authority in the future if those data is planned to be used for extracting the data of medical examination. If better way cannot be found, attention should be given to decrease uncertainty of data in the future. The study with the same purpose and the same time period was already published [6]. The frequencies in this study are estimated according to the number of imported radionuclides acquired from Croatian radiation protection regulatory body. Only total numbers of NM diagnostic examinations are estimated. Also, the dose per typical examination was roughly estimated by calculation not using ICRP conversion coefficients. This lead to similar results in total frequency of examinations (8-11 vs. 10.4

examinations per 1000 members of population), but large differences in effective dose per caput (6.8 – 7.9 $\mu\text{Sv}/\text{caput}$ vs. 34.8 $\mu\text{Sv}/\text{caput}$). Also, by calculating doses and frequencies for all most used NM diagnostic examinations as in this study, it is possible to follow typical doses and frequencies in time what can be useful in evaluation of practice.

The real value of population dose survey is to analyse change in the examination frequencies and doses over the years. Regulatory body together with relevant national professional societies should work on making estimation of the collective doses from medical exposures more straightforward. The data should be analysed over the years to help in proper use of radiation exposure in medicine.

REFERENCES

- [1] Tsapaki V, Ahmed NA, Salem AlSuwaidi J, Beganović A, Benider A, BenOmrane L, Borisova R, Economides S, El-Nachef L, Faj D, Hovhannesian A, Hassan KM, Khelassi-Toutaoui N, Manatrakul N, Mirsaidov I, Shaaban M, Ursulean I, Sidika WJ, Zaman J, Ziliukas J, Žontar D, Rehani MM. Radiation exposure to patients during interventional procedures in 20 countries: Initial IAEA project results. *Am J Roentgen* 2009; 193:559-569.
- [2] Faj D, Steiner R, Trifunović D, Faj Z, Kasabašić M, Kubelka D, Brnić Z. Patient dosimetry in interventional cardiology at the University Hospital of Osijek. *Rad Prot Dosim* 2008;128:485-490.
- [3] National council on radiation protection and measurements (NCRP). Ionizing radiation exposure to the population of the United States. NCRP Report No. 160. Bethesda MD: NCRP; 2009.
- [4] European Commission. European guidance on estimating population doses from medical x-ray procedures. Radiation protection No 154. Brussels:EC; 2008.
- [5] International commission for radiation protection (ICRP). Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals (addendum 2 to ICRP publication 53). *Ann ICRP* 1998;28:1-126.
- [6] Prlić I, Surić Mihić M, Mrčela I, Cerovac Z, Marović G, Golubović D, Meštrović T, Hajdinjak M. Izloženost stanovništva u Hrvatskoj otvorenim izvorima ionizirajućeg zračenja-radioizotopima u medicini. *Arh Hig Rada Toksikol* 2010;61 Suplement:69-79.

THE ESTIMATION OF COLLECTIVE DOSE FROM MEDICAL EXPOSURES FROM DIAGNOSTIC NUCLEAR MEDICINE EXAMINATIONS IN CROATIA

*Ivana Kralik¹, Mario Štefanić², Gordan Šarić², Stanko Težak³,
Svjetlana Grbac Ivanković⁵, Miroslava Radić Wolf⁵, Dario Posedel⁴,
Slaven Jurković⁵, Hrvoje Brkić², Dario Faj²*

¹State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

²Faculty of Medicine, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

³University Hospital Centre Zagreb, Croatia

⁴Ekoteh Ltd, Zagreb, Croatia

⁵University Hospital Centre Rijeka, Croatia

dariofaj@mefos.hr

The largest contribution to the man made radiation exposure of population is from medical exposures and it continues growing. In this work, the collective doses from medical exposures from nuclear medicine diagnostic examinations were estimated for year 2010 in Republic of Croatia according to the European Commission DDM2 project methodology. The collective dose was calculated according to the frequencies of the most frequent nuclear medicine examinations and average effective dose per procedure. The frequencies of different examinations were extracted from Croatian Institute for Health Insurance (CIHI) database. Since the database is made for reimbursement, we investigated usability of the database by comparing it with a survey in 7 out of 9 major Croatian nuclear medicine departments. Average administered activities for 28 most frequent nuclear medicine examinations were surveyed and converted to effective doses according to the ICRP dose coefficients. 41 700 nuclear medicine examinations in a year period led to 139 manSv collective effective dose. The frequency of nuclear medicine examination was 10.4 examinations annually per 1,000 members of population with 34.8 μ Sv effective dose per caput what is comparable to the published values from the DDM2 project. The range and the mean of administered activities are in the range of published values. A lot of uncertainties were revealed if CIHI database is used for population dose survey. If such surveys would be done regularly, the national radiation protection regulatory body and relevant professional societies should work on more straightforward way of data acquisition.

RADIATION DOSES ON CT SCANNER IN UNIVERSITY HOSPITAL RIJEKA AND COMPARISON WITH EUROPEAN COMMISSION DOSE REFERENCE LEVELS

*Doris Šegota¹, Slaven Jurković¹, Dario Posedel², Ivana Kralik³,
Damir Miletić⁴ and Dario Faj⁵*

¹Medical Physics Department, University Hospital Rijeka, Rijeka, Croatia

²Ekoteh Dosimetry L.t.d. Zagreb, Croatia

³State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

⁴Department of Radiology, University Hospital Rijeka, Rijeka, Croatia

⁵Medical faculty, University Josip Juraj Strossmayer of Osijek,
Osijek, Croatia

segota.doris@gmail.com

INTRODUCTION

The purpose of this study was to compare values of Local Diagnostic Reference Levels (LDRLs) [1] of CT examination protocols used in University Hospital (UH) Rijeka with European Commission (EC) Diagnostic Reference Dose Levels (DRLs) and to estimate patient effective dose per type of examination.

DRL is a level set for standard procedures, for groups of standard-sized patients or a standard phantom used [2]. If this level is consistently exceeded, a review of procedures and corrective actions should be taken. The numerical values of DRLs are advisory and their purpose is to decrease dose levels only when doing so does not compromise image quality or patient care.

In this work patient effective doses in CT examinations in UH Rijeka will be presented. LDRLs were calculated and compared with values proposed by EC [3]. Also, estimations of effective dose to the average patient for every type of CT examination were made.

MATERIALS AND METHODS

Patient information and technical parameters were collected in two periods, the first one in April 2012 and the second between November 2012 and February 2013. In the April study, only the effective doses received by patients were calculated not the LDRLs. In later study, both LDRLs and effective dose were calculated. Examinations were categorized according to

the anatomy: brain, chest, abdomen and pelvis. Technical parameters of interest were kilovoltage (kV), tube current-exposure time product (mAs), slice thickness T , pitch p , Volume CT Dose Index ($CTDI_{vol}$) and Dose Length Product (DLP). Patient data were collected only for standard sized patients. A term "standard-sized patient" applies to adult patients with ~70 kg mass and ~170 cm height [3]. Helical scanning was used for abdomen, pelvis and chest CT examinations, and axial for head examinations.

The dosimetric quantities proposed for DRLs in the European Guidelines (EG) [3] for CT are weighted computed tomography dose index ($CTDI_w$) for a single slice, and DLP for a complete examination. DLP characterizes the exposure from a complete examination and $CTDI_w$ provides the radiation dose from one slice at particular exposure settings. Comparison of both $CTDI_w$ and DLP values for a specific examination will provide an information on relative performance.

Patient's data (weight, height) as well as technical parameters for the brain, chest, abdomen and pelvis examinations were collected on Siemens Sensation 16 CT scanner installed at Radiology Department, UH Rijeka. Computed tomography dose index (CTDI) measurements were performed in CTDI phantom to assure readings accuracy. The measurements were done using Unfors multimeter and CTDI ionisation chamber. The measured and calculated $CTDI_w$ and $CTDI_{vol}$ values were in good agreement with values displayed on the CT scanner. The data presented at CT display differ from measured values less than 10 % and the displayed values were used. Since this CT scanner displays $CTDI_{vol}$ value, $CTDI_w$ was calculated (1).

$$CTDI_w = CTDI_{vol} \cdot pitch \quad (1)$$

To compare the radiological examinations in terms of radiation risk, taking into account the relative sensitivities of the body regions involved, it is necessary to estimate effective dose, E , which is the sum of the products of organ doses and corresponding weighting factors [4]. It can be calculated from CTDI measurements using conversion coefficients calculated using Monte Carlo simulations. Organ doses can also be measured using thermoluminescent dosimeters (TLD) inside and at the surface of phantoms. In this study practical alternative was used. Namely, EG [4] give body region-specific normalized coefficients to calculate the risk of a particular examination and to compare it with other CT protocols or other radiological examinations.

RESULTS

LDRL values of $CTDI_w$ and DLP for every examination are shown in Table 1. These values were compared with the European Guidelines.

Table 1. Comparison of Local DRLs with EG

EXAMINATION	PARAMETAR	THIS STUDY	EG
head	$CTDI_w$ / mGy	45.98	60
	DLP / mGy.cm	638	1050
chest	$CTDI_w$ / mGy	6.14	30
	DLP / mGy.cm	189.64	650
abdomen	$CTDI_w$ / mGy	5.58	35
	DLP / mGy.cm	621.75	780
pelvis	$CTDI_w$ / mGy	6.20	35
	DLP / mGy.cm	224	570

LDRL values of $CTDI_w$ had a range of 45.98 mGy for brain, 6.14 mGy for chest, 5.58 mGy for abdomen and 6.2 mGy for pelvis examination. DRL values of DLP had a range of 638 mGy.cm for brain, 189.64 mGy.cm for chest, 621.75 mGy.cm for abdomen and 224 mGy.cm for pelvis examination. Both values, $CTDI_w$ and DLP, for all four examinations are within proposed values given by European Commission. Results confirmed that UH Rijeka meets EC DRLs for all examinations.

The effective dose provides a direct estimation of radiation risk and it might be useful for comparison with other radiological examinations. Mean values of E for every type of the examination and comparison with values given in the same studies from other countries are given in Table 2. Mean values of E are 1.47 mSv for head, 9.32 mSv for abdomen, 3.22 mSv for chest and 4.26 mSv for pelvis.

Table 2. Comparison of E with studies from other countries

EXAMINATION	E / mSv				
	THIS STUDY	GREECE [5]	UK [6]	NORTHERN IRELAND [7]	NEW ZEALAND [8]
head	1.47	1.4	1.8	1.6	1.8
chest	3.22	10.9	8.3	7.6	8.9
abdomen	9.32	7.1	7.2	7	9.7
pelvis	4.26	9.3	7.3	7.6	6.9

Since similar study concerning effective dose was made during the April 2012, data acquired during both studies were also compared (Table 3). According to the in-house protocol, pelvis examinations are regularly made on the other CT scanner, so in the April study there is no effective dose for that type of examination.

Table 3. Comparison of E from study in April and this study

EXAMINATION	E / mSv	
	THE APRIL STUDY	THIS STUDY
Head	2.03	1.47
Chest	3.79	3.22
Abdomen	8.61	9.32

According to data from the April study some changes in the examination protocols were introduced. Namely, the slice thickness for head examinations was changed from 1.5 mm to 6 mm (except for trauma). After this reduction, image quality remained the same but CTDI_w, DLP and therefore patient dose were reduced.

DISCUSSION

The protocols utilized in our hospital have CTDI_w and DLP values that are well within EG dose criteria (Table 1). Despite the fact that this results does not necessarily mean that all examinations are provided in good and adequate way this seems encouraging. Comparisons of the effective dose data (Table 2) show that our values for abdomen are above and values for the thorax are far below values from other studies. The most probable cause of this diverse values lay in a scan length L , but we should also compare the other parameters (CTDI_w, slice thickness, mAs).

The results were acquired prior to establishment of comprehensive quality control program. Quality assurance program in UH Rijeka which includes all devices which produce ionizing radiation as well as auxiliary units (e.g. developing machines) is under development and will be in place in the next few months. Along with QA program more detailed LDRL values for CT will be established. Though, small changes in protocols can also make dose reduction with image quality remaining satisfactory (Table 3).

After the LDRLs have been established, the patient dose either in standard phantoms or groups of standard-sized patients should be assessed on equipment in every room of every radiological facility periodically, with the long-term aim of annual assessments, and after every major change or service. These measured doses should be compared with the preestablished LDRLs.

REFERENCES

- [1] Institute of Physics and Engineering in Medicine. Guidance on the Establishment and Use of Diagnostic Reference Levels for Medical X-Ray Exams (2004). IPEM Report 88. IPEM. York.
- [2] European Commission. Radiation Protection 109. "Guidance on diagnostic reference levels for medical exposures". Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg (1999).
- [3] European Commission. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography. Report EUR 16262. Brussels: EC. 1999.
- [4] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 1991;21(1–3). Oxford: Pergamon Press. 1991.
- [5] Tsapaki V, Kottou S, Papadimitriou D. Application of European Commission reference dose levels in CT examinations in Crete, Greece. *Br J Radiol* 2001;74:836–840.
- [6] Shrimpton PC, Jones DG, Hillier MC, Wall BF, Le Heron JC, Faulkner K. Survey of CT practice in the UK. Part 2: Dosimetric Aspects. NRPB R249. Chilton: NRPB. 1991.
- [7] Clarke J, Cranley K, Robinson J, Smith S, Workman A. Application of draft European Commission reference levels to a regional CT dose survey. *Br J Radiol* 2000;73:43–50.
- [8] Poletti JL. Patient doses from CT in New Zealand and a simple method for estimating effective dose. *Br J Radiol* 1996;69:432–6.

RADIATION DOSES ON CT SCANNER IN UNIVERSITY HOSPITAL RIJEKA AND COMPARISON WITH EUROPEAN COMMISSION DOSE REFERENCE LEVELS

*Doris Šegota¹, Slaven Jurković¹, Dario Posedel², Ivana Kralik³,
Damir Miletić⁴ and Dario Faj⁵*

¹Medical Physics Department, University Hospital Rijeka, Rijeka, Croatia

²Ekoteh Dosimetry L.t.d. Zagreb, Croatia

³State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia

⁴Department of Radiology, University Hospital Rijeka, Rijeka, Croatia

⁵Medical faculty, University Josip Juraj Strossmayer of Osijek,
Osijek, Croatia

segota.doris@gmail.com

The purpose of this study was to compare the values of Local Diagnostic Reference Levels (LDRLs) of CT examination protocols used in University Hospital (UH) Rijeka with European Commission (EC) Diagnostic Reference Dose Levels (DRLs) and to estimate patient effective dose per type of the examination. The dosimetric quantities proposed for DRLs in the European Guidelines (EG) for CT are weighted computed tomography dose index (CTDI_w) for a single slice and DLP for a complete examination. Patient's data (weight, height) as well as technical parameters for each type of examination were collected on Siemens Sensation 16 CT scanner installed at Radiology Department, UH Rijeka. Examinations were categorized according to anatomy: brain, chest, abdomen and pelvis. Computed tomography dose index (CTDI) measurements were performed in CTDI phantom to assure readings accuracy.

Both values, CTDI_w and DLP, for all four examinations were within proposed values given by European Commission. Also, estimations of effective dose to the average patient for every type of CT examination were made. Results confirmed that UH Rijeka meets EC DRLs for all examinations.

DOZE ZRAČENJA PRI SNIMANJU PARANAZALNIH ŠUPLJINA DJECE

*Durđica Milković¹, Saveta Miljanić², Željka Knežević², Natko Beck³,
Iva Žagar⁴ i Mária Ranogajec-Komor²*

¹Dječja bolnica Srebrnjak, Zagreb

²Institut Ruđer Bošković, Zagreb

³Klinička bolnica "Sveti Duh", Zagreb

⁴Klinički bolnički centar, Zagreb

durdica.milkovic@gmail.com

UVOD

Poznavanje apsorbiranih doza ionizirajućeg zračenja kod pacijenata pri rendgenskom pregledu izuzetno je važno, osobito u pedijatrijskim ustanovama, a u svrhu poboljšanje zaštite od ionizirajućeg zračenja. Opravdana medicinska indikacija je jedna od mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja. Zbog toga treba uzeti u obzir specifičnost razvoja sinusa u dječjoj dobi. Posebnosti upale paranazalnih šupljina djece su posljedica anatomskih razvoja sinusa koji nije dovršen rođenjem. U prvoj godini života postoje tek maksilarni i etmoidalni sinusi, dok se sfenoidalni pojavljuje tek u trećoj, a frontalni još kasnije, u petoj godini života. Prema tome, snimanje sinusa djece do te dobi trebalo bi učiniti samo u iznimnim slučajevima. Stoga je u Dječjoj bolnici Srebrnjak vrlo mali broj pacijenata pregledan u dobnoj skupini od 0 do 5 godina [1]. Određene su doze zračenja kod snimanja paranazalnih šupljina djece na različitim dijelovima tijela te mogućnosti smanjenja tih doza [2,3] u različitim dobnim skupinama.

Cilj rada bio je određivanje relativne doze zračenja na štitnoj žlijezdi i na očima prema ulaznoj dozi na glavi dječjeg fantoma, te usporedba ulaznih doza na pacijentima slične dobi. Istovremeno, ispitan je utjecaj ljudskog faktora, tj. rada inženjera medicinske radiologije na primljenu dozu zračenja.

MATERIJAL I METODE

Istraživanja su bila učinjena na 45 bolesnika tijekom radiološke obrade paranazalnih šupljina te na dječjem antropomorfnom CIRS fantomu koji odgovara 10-godišnjem djetetu (Slika 1). Olovni zaštitni ovratnik bio je na vratu fantoma kao i na pacijentima tijekom snimanja.



Slika 1. Položaj dozimetara na dječjem fantomu

Ispitan je rad 3 *inženjera medicinske radiologije*, A, B i C. Svaki je imao po 15 pacijenata. U svih 45 pacijenata sustavno su mjerene površinske kožne doze zračenja u primarnom snopu na glavi. Pacijenti su bili između 7 i 15 godina, visine 122 – 175 cm i težine 23 – 75 kg. Svaki inženjer odabrao je uvjete rada prema svom izboru, prema svojoj edukaciji i iskustvu. Uvjeti snimanja na uređaju Shimadzu 150 kV CH-200M bili su u opsegu 70 – 75 kV, 25 – 56 mAs i na 150 cm udaljenosti. Dozimetri su bili postavljeni u ulaznom snopu.

Doze su mjerene radiofotoluminescentnim (RPL) dozimetrima tip GD-352M i termoluminescentnim (TL), tipovi LiF:Mg,Cu,P, GR-200A i TLD-700H. Svojstva te detaljan postupak dozimetrije opisani su u ranijim radovima [4-6].

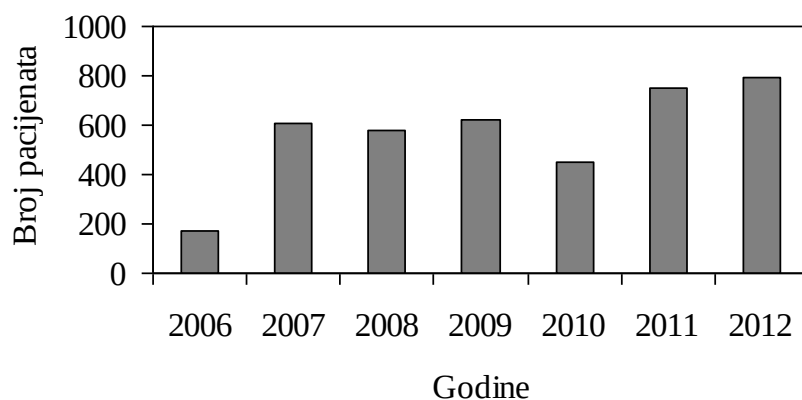
REZULTATI

Broj pedijatrijskih pacijenata kojima su snimane paranazalne šupljine ovisi o nizu čimbenika kao što su medicinska indikacija, epidemiološki uvjeti, klimatski uvjeti, a i sama spoznaja liječnika o rizicima zračenja. Od 2006. do 2012. godine broj pregledanih pacijenata pokazuje velike oscilacije (Slika 2) i primjetnu tendenciju rasta

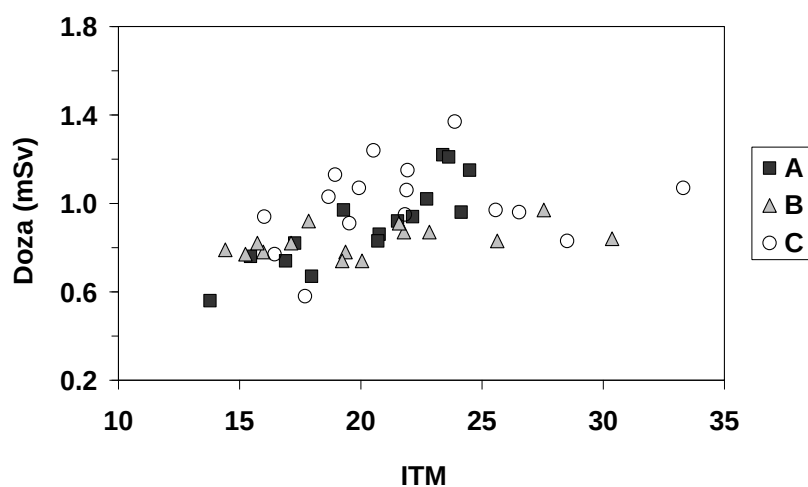
Izmjerene doze u ovisnosti o indeksu tjelesne mase (ITM) prikazane su na Slici 3. Između rada tri inženjera medicinske radiologije (Slika 3) nije vidljiva sustavna razlika. Srednja vrijednost doze u ulaznom snopu za sve pacijente iznosila je $0,97 \pm 0,08$ mSv.

Ulazna doza na glavi dječjeg fantoma iznosila je 9,96 mSv za 10 uzastopnih ekspozicija. Unutar fantoma dozimetri su bili postavljeni u različitim slojevima na mjestima ispitivanih organa (Slika 4). Srednje vrijednosti doza u pojedinim organima za 10 ekspozicija prikazane su na

Slici 4. Na slici su također prikazane relativne doze tih organa prema dozi u ulaznom snopu (brojevi u zagradama). U sloju tri strelicom su označene doze dozimetara na lubanji.



Slika 2. Broj pacijenata u razdoblju 2006. – 2012. (snimke paranazalnih šupljina)



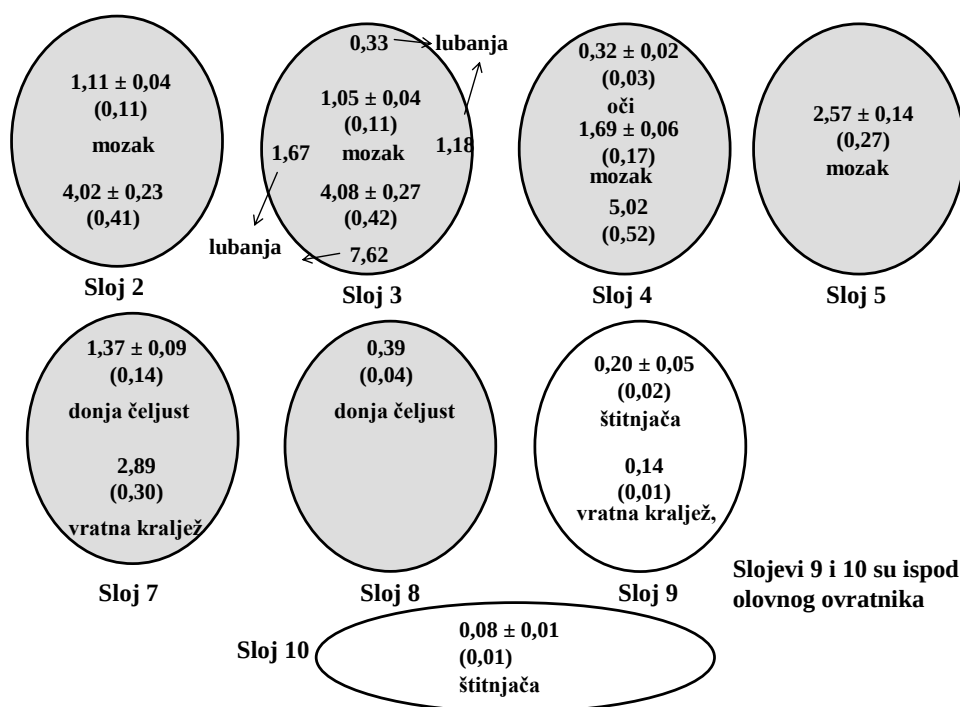
Slika 3. Doze zračenja u ovisnosti od ITM. A,B,C su oznake inženjera medicinske radiologije

Posebna pažnja posvećena je izloženosti štitne žlijezde i očiju zbog njihove osjetljivosti na ionizirajuće zračenje osobito u dječjoj dobi. Srednje vrijednosti doza na štitnjači u fantomu bile su $0,20 \pm 0,05$ mSv, dok su doze na očima bile $0,32 \pm 0,02$ mSv za 10 ekspozicija.

Relativne doze pojedinih organa (Slika 4) bile su izračunate u odnosu na ulaznu dozu:

$$D_{\text{rel}} = D_{\text{organ}}/D_{\text{ulazna}} \quad (1)$$

a iznosile su 0,02 za štitnu žlijezdu i 0,03 za oči.



Slika 4. Izmjerene (mSv) i relativne doze (u zagradama) na pojedinim organima u fantomu

Poznavanje relativnih doza omogućuje da se izračunaju doze na štitnjači i očima iz ulaznih doza izmjerenih na površini pacijenta, a u svrhu procjene rizika zračenja prilikom snimanja paranazalnih šupljina.

ZAKLJUČAK

Rezultati dozimetrije na 45 pacijenata pokazali su dobru korelaciju izmjerenih doza i indeksa tjelesne mase (ITM), a srednja vrijednost doze u ulaznom snopu iznosila je $0,97 \pm 0,08$ mSv. Nije nađena sustavna razlika između rada tri inženjera medicinske radiologije.

Pomoću dječjeg fantoma izračunate su relativne doze u odnosu na ulaznu dozu, koja je iznosila 9,96 mSv za 10 ekspozicija i bile su 0,02 za štitnu žlijezdu i 0,03 za oči.

Poznavanje relativnih doza omogućuje proračun doza na štitnjači i očima iz ulaznih doza izmjerenih na površini a u svrhu procjene rizika zračenja prilikom snimanja paranazalnih šupljina.

LITERATURA

- [1] Milković D. Izloženost zračenju, mogućnosti zaštite i procjena rizika pri snimanju dišnih putova djece. Doktorska disertacija. Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu. 1998.
- [2] Milković Đ, Ranogajec-Komor M, Krstić-Burić M, Hebrang A. Bestimmung der Bestrahlungsdosis in radiologischer Diagnostik paranasaler Sinus bei Kindern und Jugendlichen. Atemw-Lungenkrkh 1993;19:S101-S104.
- [3] Milković Đ, Ranogajec-Komor M, Kulaš S. Snimanje sinusa djece i mogućnost smanjenja doze zračenja. U: Franić Z, Kubelka D, ur. Zbornik radova Drugoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja; 23-25. studenoga 1994; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 1994. str. 183-8.
- [4] 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 Measurements 2011; 46;1582-1585.
- [5] Milković Đ, Miljanić S, Knežević Ž, Beck N, Ranogajec-Komor M, Žagar I. Dose distribution measurement for X-ray examinations of the paranasal sinuses using a child phantom. Proceedings of the 7th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring Yamamoto T (ed.). Oarai, Japan: Chiyoda Technol Corporation, 2012. 335-44.
- [6] Beck N, Knežević Ž, Milković Đ, Miljanić S, Ranogajec-Komor M. Utjecaj ljudskog čimbenika u zaštiti od zračenja pri snimanju dišnih puteva. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G. ur. Zbornik radova VIII. Simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. Zagreb: HDZZ, 2011. str. 287-91.

DETERMINATION OF DOSES FOR X-RAY EXAMINATIONS OF PARANASAL SINUSES OF CHILDREN

*Durđica Milković¹, Saveta Miljanić², Željka Knežević², Natko Beck³,
Iva Žagar⁴ and Mária Ranogajec-Komor²*

¹Children Hospital Srebrnjak, Zagreb, Croatia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

³Clinical Hospital Sveti Duh, Zagreb, Croatia

⁴Clinical Hospital Center, Zagreb, Croatia

durdica.milkovic@gmail.com

The knowledge of the absorbed doses during X-ray examination is very important, especially in paediatric radiology in order to improve radiation protection. In childhood, the paranasal sinuses diseases are very frequent and the development of sinuses has some specialities which has to be taken into consideration in X-ray diagnostics.

The aim of this work was the determination of the relative doses on the thyroid gland and eyes, in respect to the entrance dose on the anthropomorphic child phantom (CIRS). The entrance doses on the phantom to the entrance dose on patients of similar age. Simultaneously the influence of human working method was studied, i.e. the performance of the radiological technicians.

The age of the patients varied from 7 to 15 years, the child phantom was equivalent to 10 years age. A protective lead apron on the necks of both children and phantom was used.

Doses were measured with radiophotoluminescence (RPL) and thermoluminescence (TL) dosimeters. The mean doses on the thyroid and the eyes measured in the phantom after 10 expositions were 0.20 ± 0.05 mSv, and 0.32 ± 0.02 mSv, respectively. Relative doses were calculated in relation to entrance dose of 9.96 mSv for 10 exposures, and the results were 0.02 and 0.03 for the thyroid gland and the eyes, respectively.

The dosimetry results on 45 patients showed that there was a good correlation between measured doses and the body mass index (BMI). The mean entrance dose measured on the 45 patients was 0.97 ± 0.08 mSv.

SAVJETOVANJE TRUDNICA OZRAČENIH U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI

*Jelena Popić Ramač¹, Zoran Brnić¹, Vinko Vidjak¹, Nikola Ivan Leder¹
i Željka Knežević²*

¹Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju,
Klinička bolnica Merkur, Zagreb

²Institut Ruđer Bošković Zagreb

jpopic@inet.hr

UVOD

Usprkos znanstvenim spoznajama [1,2] temeljenim na dugogodišnjim studijama utjecaja zračenja u dijagnostičke svrhe na trudnicu i plod, o toj temi vladaju zablude kako u općoj populaciji tako i među liječnicima. Te se zablude odnose uglavnom na razmišljanje o svakoj dijagnostičkoj pretrazi koja rabi ionizirajuće zračenje kao razlogu za ozbiljnu zabrinutost i razmatranju artificijelog pobačaja kao mogućeg rješenja. Svi dosadašnji znanstveni rezultati vezani za ovu temu odnose se na zaključke dobivene promatranjem modela na životinjama i osobito na proučavanju rezultata epidemioloških studija koje su rađene nakon incidenata (pada atomske bombe na Hiroshimu i Nagasaki, katastrofa s nuklearnim elektranama Chernobyl i Fukushimom) [3]. Istraživanja na trudnicama naravno nisu dozvoljena.

Kao liječnici radiolozi često smo u prilici svjedočiti o slučajevima nenamjernog ozračivanja žena u dijagnostičke svrhe, osobito u periodu kada i same ne znaju da su trudne. Nerijetko takve žene dolaze na savjetovanje zbog zabrinutosti za moguće štetne posljedice zračenja za plod. Savjetovanje vrši osoba zadužena za zaštitu od zračenja u pojedinoj ustanovi, a ukoliko se radi o dijaskopskim postupcima traži se i pomoć medicinskog fizičara za izračun doze. Savjetovanje se vrši u terminima mogućih rizika [4-7]. Govoreći u terminima rizika valja imati na umu da postoje određeni "bazalni" rizici kod zdravih, zračenju neizloženih trudnica [8]. Ti su rizici primjerice: oko 15 % rizik za spontani pobačaj, 4-10 % rizik za genetsku grešku, 4 % za intrauterinu retardaciju rasta i 2-4 % za jednu od velikih malformacija. Obzirom da učinci zračenja na plod za vrijeme trudnoće nisu patognomonični, procjena rizika mora biti individualna za

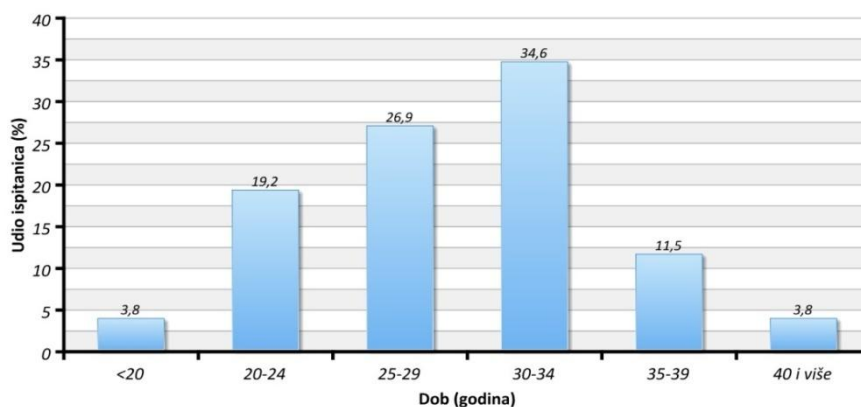
svaku trudnicu i ovisna o apsorbiranoj dozi, ali i o drugim mogućim rizičnim faktorima [9,10].

PACIJENTI I METODE

Analizirali smo podatke savjetovanja trudnica ozračenih u dijagnostičke svrhe u KB Merkur kroz period od 4 godine. U tom periodu savjetovalo se 26 trudnica ozračenih u dijagnostičke svrhe. Savjetovanje je uvijek vršila osoba zadužena za zaštitu od zračenja u našoj ustanovi – liječnik specijalist radiolog. Doze su ovisne o uređajima koji se koriste za snimanja, ali i o načinima snimanja pa je izračun najtočniji ako se radi za svaki uređaj posebice. U nekim slučajevima doza je izračunata uz pomoć medicinskog fizičara i to onda kada se radilo o intervencijskom postupku.

REZULTATI

Rezultati istraživanja (Slika 1) pokazali su da je na savjetovanje u navedenom periodu pristupilo 3,8 % trudnica u dobi do 20 godina, 19,2 % u dobi 20-24 godine, 26,9 % trudnica u dobi 25-29 godina, 34,6 % u dobi između 30 i 34 godine, 11,5 % u dobi 35-39 godina i 3,8 % trudnica iznad 40 godine života. Rezultat se poklapa s općim trendom povećanja dobi u trudnica. Srednja dob trudnica iznosila je $29,1 \pm 5,8$ godina.

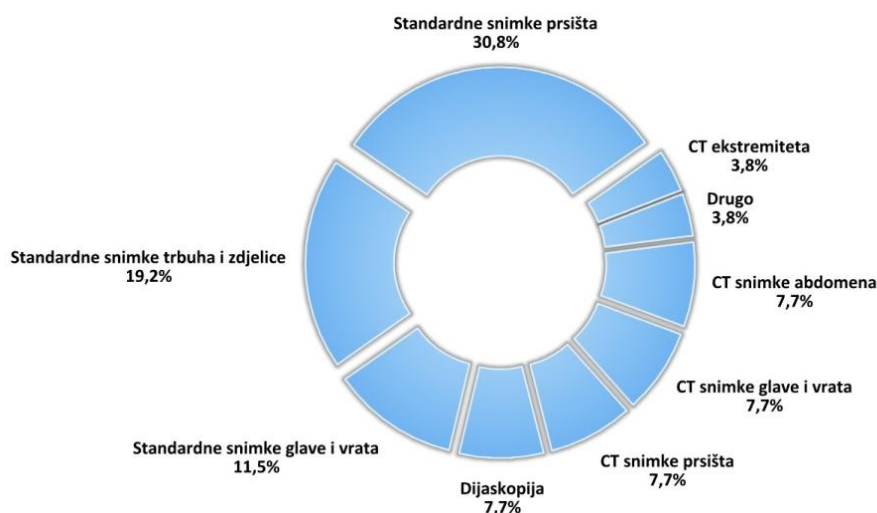


Slika 1. Dob ispitanica u trenutku ozračivanja

Prema broju prethodnih poroda na savjetovanju je bilo 46,2 % primipara, 38,5 % trudnica kojima je to bio drugi porod i 15,4 % trudnica kojima je to bio treći porod. Prema gestacijskoj dobi u trenutku ozračivanja,

24 % trudnica bile su u periodu do 2. tjedna gestacije, 36 % između 2. i 3. tjedna, 32% između 4. i 5. tjedna, a 8 % iznad 6. tjedna. Srednja gestacijska dob ispitanica iznosila je $3,4 \pm 2,6$ tjedana. Prema gestacijskoj dobi pri porodu, 25 % trudnica rodilo je nakon 260 dana gestacije ili nešto manje; 56,3 % trudnica nakon 260-290 dana gestacije, a 18,7 % nakon 270 dana gestacije i više. Srednje trajanje trudnoće (na dan poroda) iznosilo je $262 \pm 12,3$ dana s rasponom 237 – 294 dana (= 34 – 42 tjedana). Statistički rezultati pokazali su da je postojala negativna ($r = -0,173$) korelacija između fetalne doze i gestacijske dobi pri porodu. Korelacija ($p = 0,534$) se nalazi na granici značajnosti.

Prema izračunatim fetalnim dozama ta je doza iznosila 0,001 cGy i manje u 46,2 % ispitanica; 0,01 – 0,15 cGy u 19,2 % slučajeva; 0,2 – 1,0 cGy u 26,9 % i >1 cGy u 7,7 % ispitanica. Srednja fetalna doza iznosila je $1,6 + 6,8$ cGy. Niti u jednom slučaju nije savjetovan pobačaj obzirom da nije bio medicinski opravdan. Subjektivna odluka je bila zadržati trudnoću u 93,3 % slučajeva, a usprkos savjetu da trudnoću zadrže 6,7 % trudnica se svojevoljno odlučilo za pobačaj. Prema kategoriji učinjenih snimki (Slika 2) bilo je 30,8 % standardnih snimki prsišta, 19,2 % standardnih snimki trbuha i zdjelice i zdjelice, 11,5 % standardnih snimki glave i vrata, 7,7 % dijaskopija, 7,7 % CT snimki abdomena, 7,7 % CT snimki glave i vrata, 7,7 % CT snimki prsišta, 3,8 % CT snimki ekstremiteta i 3,8 % svih ostalih snimki.



Slika 2. Kategorija snimki

Gonade su bile u primarnom snopu u 38,5 % slučajeva, dok su u 61,5 % slučajeva bile van primarnog snopa. Srednja fetalna doza kada su gonade bile van primarnog snopa, iznosila je $0,023 \pm 0,047$ cGy, dok je u slučajevima kada su gonade bile u primarnom snopu srednja fetalna doza iznosila $0,805 \pm 1,051$ cGy. Razlika je statistički značajna ($p = 0,001$).

RASPRAVA

Rizici od zračenja za vrijeme trudnoće (*in utero*) ovisni su o gestacijskoj dobi u trenutku snimanja i apsorbiranoj dozi. Rizici su najveći za vrijeme organogeneze i u ranom fetalnom razdoblju, nešto manji u drugom i najmanji u trećem trimestru [2,8]. Prva 2 tjedna poslije začeća ili druga 2 tjedna od izostanka menstruacije embrio je vrlo rezistentan na rtg-zrake. Između 3. i 8. tjedna trudnoće, kod doza ispod 200 mSv, embrio nije podložan anomalijama, pobačaju niti retardaciji rasta. Između 8. i 15. tjedna trudnoće embrio/fetus je osjetljiv na efekte zračenja na središnji živčani sustav (CNS) ako je doza veća od 300 mSv. Iznad 20. tjedna rezistentan je na utjecaj na razvoj i nije osjetljiviji od majke [11, 12]. Svi učinci zračenja u trudnoći su stohastički odnosno za njih ne postoji siguran prag ispod kojeg oni nisu mogući [13,14].

ZAKLJUČAK

U postupcima s ozračenim trudnicama u Hrvatskoj valja slijediti Zakon o zaštiti od zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja (Narodne novine, broj 64/06) i koristiti se smjernicama ICRP (*International Commision for Radiation Protection*) [15,16]. Kod žena u reproduktivnoj dobi prije postupka s izvorom ionizirajućeg zračenja treba utvrditi mogućnost trudnoće. Izostanak menstrualnog ciklusa treba smatrati trudnoćom dok se ne dokaže drugačije. U čekaonici mora biti pisano upozorenje za trudnice. Svi medicinski postupci moraju biti opravdani (veća korist od rizika). Prije samog postupka mora se provjeriti njegova opravdanost. Nakon što se odlučimo za postupak fetalnu dozu treba smanjiti koliko je moguće za određeni dijagnostički zadatak. Trudnica (pacijentica ili trudna zaposlenica) ima pravo znati količinu i tip potencijalnih efekata zračenja koji mogu nastati zbog ekspozicije *in utero*. U komunikaciji s takvom osobom trebalo bi ju informirati o visini rizika. Rizik je zanemariv kod niskodoznih postupaka (<1 mGy na fetus). Ako su fetalne doze iznad 1 mGy potrebno je detaljnije objašnjenje. Radioterapija i intervencijski postupak pod dijaskopijom mogu uzrokovati fetalne doze od 10 – 100 mGy

ili više ovisno o postupku. Poslije ovakvih postupaka potrebno je izračunati fetalnu dozu i potencijalni rizik (medicinski fizičar).

LITERATURA

- [1] Kalender WA, Schmidt BA, Zankl M, Schmidt M. A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography. *Eur Rad* 1999;9:555-562
- [2] U.S. exposure to medical radiation soars, ACR issues new white paper on dosage. *Diag Imag Intell Rep*. June 2007. Available online at: http://www.g2reports.com/issues/DIIR/2007_6/1612608-1.html
- [3] Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res* 2000;154:178-186.
- [4] Brenner DJ, Elliston CD. Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology* 2004;232:735-738.
- [5] Hurwitz LM, Yoshizumi TT, Reiman RE, et al. Radiation dose to the female breast from 16-MDCT body protocols. *AJR Am J Roentenol* 2006; 186: 1718-1722.
- [6] Khursheed A, Hillir MC, Shrimpton PC, Wall BF. Influence of patient age on normalized effective doses calculated for CT examinations. *Br J Radiol* 2002;75:819-830.
- [7] Hall EJ. Lessons we have learned from our children: Cancer risks from diagnostic radiology. *Pediatr Radiol* 2002;32:700-706.
- [8] Bushong S. Radiologic science for technologists. 9. edt 2011;429-523.
- [9] Baranov AE, Guskova AK, Nadejina NM, Nugis V. Chernobyl experience: biological indicators of exposure to ionising radiation. *Stem Cells* 1995;13-69.
- [10] Kumagai E, Tanaka R, Kumagai T, Onomichi M, Sawada S. Effects of long-term radiation exposure on chromosomal aberration in radiological technologist. *J Radiat Res* 1990;31(3):270.
- [11] Nadich DP, Marhall CH, Gribbin C, Arams RS, Mc Cauley DI. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations. *Radiology* 1990;175:729-731.
- [12] UNSCEAR 2000 Medical Radiation Exposures (2006) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly: available at: <http://cnts.wpi.edu/RSH/Docs/UN-Chernobyl/inex.html>
- [13] European Commission (radiological protection pages) available at: <http://europa.eu.int/comm/environment/radprot>
- [14] International Atomic Energy Agency: available at: <http://www.iaea.org>
- [15] International Commission on Radiological Protection: available at: <http://www.icrp.org>
- [16] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: <http://www.unscear.org>

COUNSELING PATIENTS EXPOSED TO IONIZING RADIATION IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY DURING PREGNANCY

*Jelena Popić Ramač¹, Zoran Brnić¹, Vinko Vidjak¹, Nikola Ivan Leder¹
and Željka Knežević²*

¹Clinical Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Clinical
Hospital Merkur, Zagreb, Croatia

²Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

jpopic@inet.hr

There are many false assumptions regarding influence of radiation on pregnant patients and fetus during diagnostic procedures in spite of scientific facts based on studies (both in general population and among physicians). These false assumptions are mostly based on the idea that every diagnostic procedure that uses ionizing radiation is a cause for serious concern and consideration for artificial abortion as a possible solution. We have analysed the data of counselling of pregnant patients exposed to ionizing radiation during diagnostic procedures in University Hospital Merkur, during a period of four years. In this period we had 26 patients come in counselling due to exposure to ionizing radiation during pregnancy. Results show that most of these patients have been exposed to radiation between 2nd and 3rd week of gestation (36 %), between 4th and 5th week – 32 %; before 2nd week – 24%; and after 6th week of gestation less than 8 %. Average doses were: up to 0.01 cGy in 46.2 % patients; 0.01 – 0.15 cGy in 19.2 % patients; 0.2 – 1 cGy in 26.9 % and 1 cGy or more in 7.7 % of patients. No one of the counselled patients had a medical indication for abortion, even though in a small percentage of patients abortion was a personal subjective decision. Considering that there are no Croatian guidelines for counselling patients exposed to ionizing radiation during pregnancy, recommendation is to use International Commission on Radiological Protection (ICRP) guidelines for management of pregnant patients exposed to ionizing radiation.

PROCJENA DOZA I RIZIKA NA POJEDINIM ORGANIMA ZA CT PRSIŠTA

Željka Knežević¹, Marija Majer¹ i Jelena Popić-Ramač²

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb

²Klinički Zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju,
Klinička bolnica Merkur, Zagreb,

zknez@irb.hr

UVOD

Posljednjih godina u svijetu je značajan porast broja pretraga kompjutoriziranom tomografijom (CT). Otprilike 10-15% svih radioloških pretraga otpada na CT, a CT pretrage doprinose otprilike 50% kolektivnoj populacijskoj dozi uzimajući u obzir samo dijagnostičku radiologiju [1]. Usprkos tome CT pretrage su vrlo važne u procesu dijagnosticiranja, praćenja i preventivnog provjeravanja ("screninga") različitih bolesti. Također su i doze na pojedine organe značajno veće u usporedbi s konvencionalnom radiografijom. Prema podacima iz literature ponavljanje CT pretraga povećava rizik od nastanka karcinoma kao kasni učinak upotrebe CT-a [2].

Cilj našeg rada bio je izmjeriti i usporediti doze na pojedinim organima u Rando antropomorfnom fantomu te na površini fantoma tijekom snimanja s dva različita CT protokola prsišta. Dobivene doze uspoređene su s prethodno izmjerenim dozama na 60 pacijenata s limfoproliferativnim bolestima na istim pozicijama kao i kod mjerenja na fantomu. Doze su mjerene kod dva različita CT protokola prsišta: standardni CT protokol i tzv. niskodozni CT protokol.

Usprkos visokim dozama zračenja CT je vrlo važna metoda u praćenju pacijenata s limfoproliferativnim bolestima. Ova skupina pacijenata mora opetovano ići na CT pretrage prsišta radi: a) dijagnosticiranja bolesti, b) praćenja veličine limfnih čvorova u svrhu praćenja učinkovitosti terapije, c) nakon transplantacije koštane srži, d) ranog otkrivanja povratka bolesti, e) kontrolnog praćenja pacijenata.

Upravo zahvaljujući učinkovitoj terapiji koja uključuje i ponavljanje CT pretraga, životni vijek ovih pacijenata izjednačava se s onim zdrave populacije. Stoga se, radi smanjenja rizika od pojave karcinoma uzrokovanih zračenjem, preporučuje koristiti niskodozne CT protokole.

MATERIJAL I METODE

Ulazne površinske doze (*entrance surface dose*, ESD) mjerene su na/u tkivu ekvivalentnom Rando Alderson fantomu s termoluminiscentnim (TL) i radiofotoluminiscentnim dozimetrima (RPL) za vrijeme dva različita CT protokola prsišta. Doze na pojedinim organima mjerene su unutar Rando fantoma također za oba protokola s TL i RPL dozimetrima. Korišteni su TL dozimetri na osnovi LiF:Mg,Ti komercijalnog naziva TLD-100. RPL dozimetri su srebrom aktivirano fosfatno staklo u obliku štapića poznati pod komercijalnim nazivom GD-352M. GD-352M dozimetri sadrže Sn filter za kompenzaciju energijske ovisnosti i prikladni su za srednje i niske energije rendgenskih zraka koje se koriste u dijagnostičkoj radiologiji. Detaljna svojstva korištenih dozimetrijskih sustava opisana su u ranije objavljenim radovima [2-3].

U radu je korišten Shimadzu SCT 7800 TX spiralni uređaj za kompjutoriziranu tomografiju. Za standardni protokol (A) korišten je napon od 120 kV i struja od 160 mA dok je za niskodozni protokol (B) korišten napon od 120 kV i struja od 30 mA. Kod oba protokola debljina sloja bila je 7 mm uz vrijeme od 0,8 s/sloju, a napravljena su 47 sloja. Prije svake CT pretrage napravljen je topogram (120 kV i 160 mA).

Doze na fantomu mjerene su na sljedećim položajima: leća oka, štitnjača, sternum i gonade. Doze unutar fantoma mjerene su na položajima štitnjače, pluća, grudi, jetre i debelog crijeva.

REZULTATI

Doze mjerene na fantomu su u slaganjima s prosječnim dozama izmjerenim na pacijentima [4] za oba protokola (Tablica 1). Na sternumu je prosječna doza iznosila 23 mGy za standardni protokol, a 6 mGy za niskodozni protokol. U Tablici 2 prikazani su preliminarni rezultati mjerenja doza u fantomu za pojedine organe za standardni i niskodozni protokol. Doze su izmjerene i prikazane za 5 ekspozicija. Preliminarni rezultati su pokazali da korištenje niskodoznog protokola vodi do smanjenja doza u pojedinim organima za prosječni faktor 5 (Tablica 2). Usprkos relativno visokim dozama zračenja, CT pretraga prsišta je nezamjenjiva metoda praćenja populacije ovih bolesnika te oni samo tijekom terapije koja traje 1 do 2 godine naprave u prosjeku 2 – 8 CT pretraga. Obzirom da ovi pacijenti uključuju i veliki broj mladih ljudi te ljudi u srednjim godinama, doživotni rizik obolijevanja od karcinoma (*lifetime attributable risks*, LAR) izračunat je za određene radioosjetljive organe za oba protokola (A i B). LAR je

izračunat koristeći srednju mjerenu dozu u pojedinim organima u Rando fantomu i BEIR VII faktore rizika koji ovise o dobi i spolu [5].

Tablica 1. Usporedba doza (mGy) mjerenih na 60 pacijenata i na površini fantoma

Organ	Protokol	<i>Pacijenti</i>			<i>Fantom</i>
		Srednja vrijednost	Min	Maks	
Leća oka	A	0,61	0,12	3,08	0,40
	B	0,11	0,03	0,21	0,08
Štitnjača	A	16,4	2,95	30,8	29,3
	B	4,68	2,81	7,12	5,61
Sternum	A	22,8	17,4	28,1	23,9
	B	6,31	3,51	8,80	4,71
Gonade	A	0,22	0,03	1,75	0,16
	B	0,10	0,01	0,35	0,04

Broj slojeva = 25 – 52 (pacijenti)

Broj slojeva = 47 (fantom)

Za standardni protokol CT prsišta za pacijenta prosječne starosti od 20 godina organi s najvećim rizikom (LAR) su dojke (437 karcinoma na 100 000 žena), pluća (296 karcinoma na 100 000 žena i 127 karcinoma na 100 000 muškaraca), štitnjača (102 karcinoma na 100 000 žena), želudac (49 karcinoma na 100 000 žena i 37 karcinoma na 100 000 muškaraca) i debelo crijevo (30 slučajeva na 100 000 muškaraca). Niskodozni protokol je pokazao smanjenje rizika (LAR) za faktor 5. Kvaliteta prikaza CT snimki za 60 pacijenata kod oba protokola bila je evaluirana prema Europskim smjernicama te prema procjeni dvaju neovisnih radiologa [4,6]. Kod korištenja niskodoznog protokola kvaliteta prikaza CT snimki je bila zadovoljavajuća prema EUR 16262 [6].

Tablica 2. Doze (mGy) u pojedinim organima mjerene u fantomu za protokol A i B

	Srednja vr. (TLD+RPL) D_w (mGy)		Srednja vrijednost. D_A/D_B
Organ	A	B	Srednja vrijednost.
Štitnjača	90,2	20,1	4,49
Pluća	85,6	13,7	6,25
Dojke	102,5	18,9	5,45
Želudac	93,3	16,6	5,64
Jetra	56,8	12,1	4,69
Debelo crijevo	17,5	4,2	4,26
Srednja vrijednost			5,13

Tablica 3. Usporedba doza i procjena rizika od razvoja karcinoma

Dob pacijenta		20 godina			56 godina	
Karcinom položaj	W_T	D_T (mGy)	LAR*		LAR*	
			Muškarci	Žene	Muškarci	Žene
Štitnjača	0,04	90,2	19	102	1	2
Pluća	0,12	85,6	127	296	80	182
Jetra	0,04	43,8	13	6	7	3
Želudac	0,12	93,3	37	49	21	27
Debelo crijevo	0,12	17,5	30	20	18	12
Grudi	0,12	102,5	-	437	-	48

*Broj karcinoma na 10^5 ozračenih osoba

ZAKLJUČAK

Doze izmjerene unutar pojedinih organa uz korištenje niskodoznog protokola su u prosjeku za faktor 5 niže u odnosu na doze izmjerene standardnim CT protokolom. Preliminarni rezultati izračuna rizika pokazuju da se ponavljanje CT pretraga prsišta može povezati s rizikom od razvoja karcinoma uzrokovanog zračenjem posebno u slučaju pluća i grudi.

Usprkos visokim dozama i pridruženom riziku CT pretrage kod pacijenata sa limoproliferativnim bolestima su nezamjenjiva metoda za dijagnostiku i dugoročno praćenje bolesti stoga je upotreba niskodoznog protokola kao standardne tehnike kod ovih pacijenata preporučljiva i u skladu s ALARA principom.

LITERATURA

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes (UNSCEAR 2008). Medical Radiation Exposures. UNSCEAR 2008 Geneva: UNSCEAR; 2010.
- [2] Smith-Bindman R, Lipson S, Marcus R, Kim KP, Mahesh M, Gould R, Berrington de Gonzales A, Miglioretti DL. Radiation associated with common computed tomography examination and the associated lifetime attributable risk of cancer. Arch Intern Med 2009;169: 2078-2086.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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 Measur 2012 (in press).
- [6] BEIRVII Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII –Phase 2. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council The National Academies Press, Washington D 2006.
- [7] European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262 EN, May 1999.

EVALUATION OF ORGAN DOSES AND RADIATION RISK FOR CT EXAMINATION OF THORAX

Željka Knežević¹, Marija Majer¹ and Jelena Popić-Ramač²

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Clinical hospital Merkur, Zagreb, Croatia

zknez@irb.hr

Computed tomography (CT) examinations become very important tool in diagnosis, follow up and screening of different diseases. According to the literature recurrence of CT scans increase the risk of cancer development as a late effect of the use of CT.

The aim of our work is to measure and compare organ doses in the anthropomorphic Rando phantom and doses on the surface of the phantom during two different CT protocols of thorax: standard and low-dose CT protocol. The measured doses were compared to the doses measured previously on 60 patients with lymphoproliferative disorders on the same positions as on the phantom. For dosimetry measurements thermoluminescent dosimeters type LiF:Mg,Ti and radiophotoluminescent glass dosimeters type GD-352M were used. The results showed that low dose protocol yielded with the reduction of organ doses by the average factor of 5. The doses measured on the phantom were in a good agreement with average doses measured on patients for both protocols.

Despite high-dose radiation, repeat CT exams in this group of patients during their lifetime are important for the diagnosis, and later for monitoring of the effectiveness of therapy. For these patients, which involve large number of younger and middle age patients, lifetime attributable risks (LAR) of cancer incidence for selected radiosensitive organs were calculated for both protocols. For standard dose protocol, for 20 year old patient, organs with the highest LARs are breasts (437 cancers per 100 000 women), lungs (296 cases per 100 000 women and 127 cases per 100 000 men), thyroid (102 cases per 100 000 women). Low dose protocol reduces LARs by the average factor of 5. Although CT exams today provide an excellent diagnostic tool they are not exempt from potential radiation risks therefore the use of low dose CT protocol as a standard are highly recommended.

INFLUENCE OF CEILING SUSPENDED SCREEN POSITIONING TO THE SCATTER RADIATION LEVELS IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

*Olivera Ciraj-Bjelac¹, Vojislav Antic², Danijela Arandjic¹
and Predrag Bozovic¹*

¹Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia

²Clinical Centre of Serbia, Belgrade, Serbia

ociraj@vinca.rs

INTRODUCTION

Interventional radiology and cardiology are among the most dynamic areas of medical application of x-rays. These procedures are performed in ever-increasing numbers around the world [1]. Technical improvements of the interventional cardiology and radiology are immense, equipment and workload is growing and procedures are becoming more and more complicated. Often, the new demands result in higher radiation dose, both for patient and staff. Thus, interventional cardiology procedures are classified as high-dose procedures, owing to increased risk for radiation skin injuries and stochastic effects. European MED Directive 97/43 requires special consideration and dose evaluation for this kind of procedures [2].

The benefits of interventional cardiology to patients are both extensive and evident, but many of these procedures also have the potential to produce patient radiation doses high enough to cause radiation effects and occupational doses high enough to cause concern. There are evidences that if radiation protection tools are not routinely used, radiation exposure of interventional radiologists and other professionals using fluoroscopy can be high enough to cause eye lens injuries [3,4].

Interventional cardiology professionals working close to the patient must use a ceiling suspended protective screen, positioned appropriately [3-6]. Ceiling-suspended shields, generally constructed of a transparent leaded plastic, dramatically reduce occupational exposure, including operator eye dose, if they are positioned correctly during the procedure [3,4,7].

The objective of this paper is to identify the effects of the ceiling suspended screen position to the scatter radiation levels in the interventional cardiology.

MATERIAL AND METHODS

The scatter radiation in terms of ambient dose equivalent $H^*(10)$ was measured for various positions of protective screen in the positioned of the first operator, nurse and radiographer, at elevations 100 – 190 cm and in four different angulations of the x-ray tube routinely used in clinical practice (PA, cranial, caudal and spider). To simulate real clinical situation the measurements were performed in the presence of 30 cm PMMA phantom using standard clinical protocol. To assess the effectiveness of the protective screen, the scattered dose was also measured in the absence of any protection in all four angulations and elevations, for the correct positioning of the screen and two additional incorrect positions in which screen was rotated for 90° and elevated from the phantom surface for 20 cm, as presented in Figure 1. The x-ray source to image receptor distance was 105 cm and nominal field of view was 25 cm.



Figure 1. Ceiling suspended screen (upper body shield) investigated in this study

The x-ray beam was produced by a clinical interventional radiology system (Siemens Axiom Artis, Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany). Scattered dose levels in terms of $H^*(10)$ was measured using a calibrated ionizing chamber 451P (Fluke Biomedical, USA). To assess the effectiveness of the particular position of the screen, a ratio of measured

scatter radiation level with screen to the scattered radiation level without screen was calculated. This parameter was named as dose reduction factor.

RESULTS AND DISCUSSION

The utility of protective screen varied for different positions and angulations. Scatter radiation levels varied from 70 to 3400 $\mu\text{Sv/h}$ for the first operator, from 140 to 3200 $\mu\text{Sv/h}$ for the nurse and from 50 to 560 $\mu\text{Sv/h}$ for radiographer.

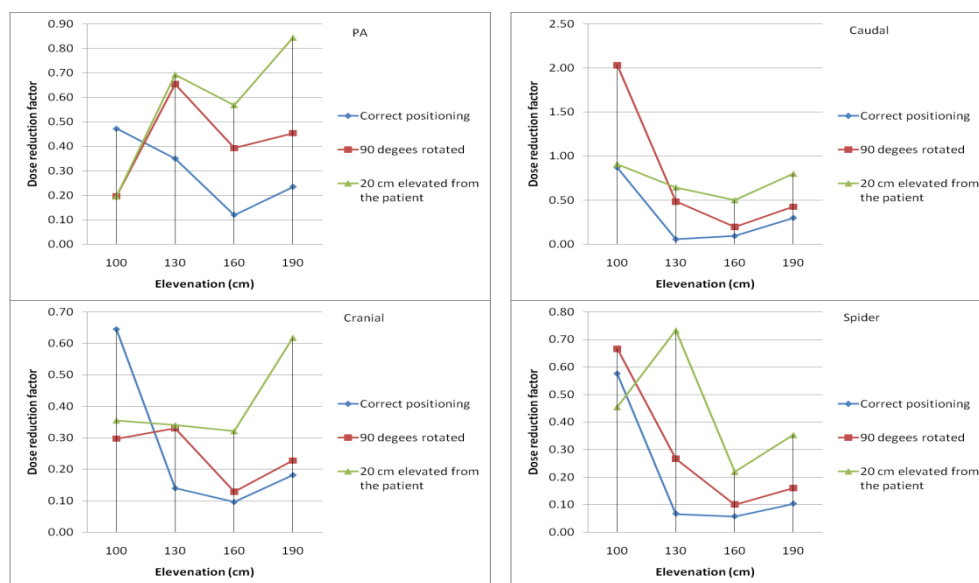


Figure 2. Protection from scatter radiation for four different beam orientations and different positions of the ceiling suspended screen for the position of the first operator.

Scatter protection in terms of dose reduction factor provided by three different positions of the screen for various beam orientations for positions of the first operator, second operator/nurse and radiographer are presented in Figures 2-4. Ceiling suspended screens can provide a substantial level of protection (up to factor 18) in interventional cardiology, but they have to be properly managed and positioned to achieve sufficient level of protection. Although the effective use of screen is mainly related to the position of the first operator, the use of this collective protection tool also has an impact on the dose levels to the nursing personnel and radiographers.

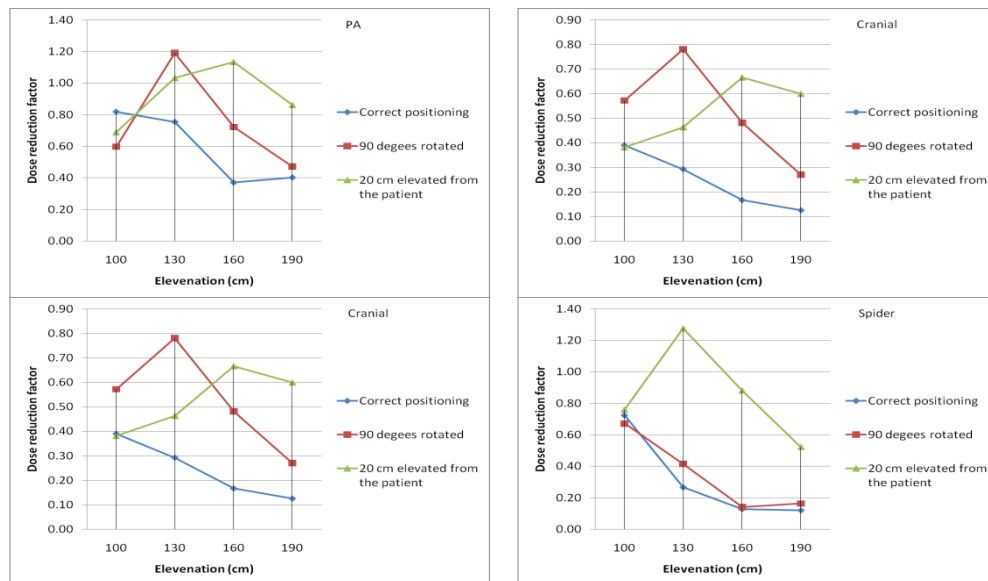


Figure 3. Protection from scatter radiation for four different beam orientations and different positions of the ceiling suspended screen for the position of the second operator or nurse.

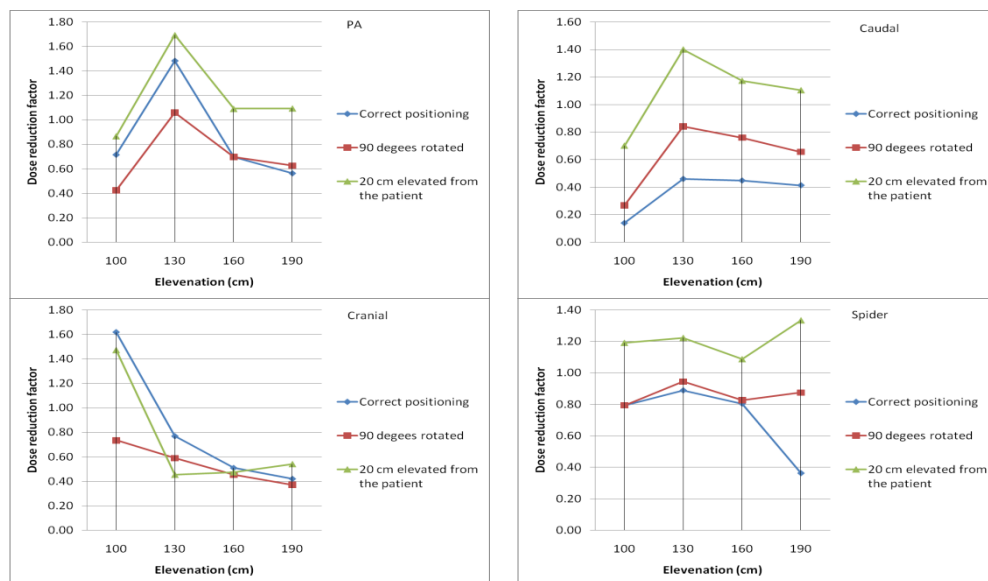


Figure 4. Protection from scatter radiation for four different beam orientations and different positions of the ceiling suspended screen for the position of the radiographer.

The effectiveness of the shielding for nurse or radiographer staff categories is difficult to estimate due to large variability in the location of this staff categories in the catheterization laboratory and due to the multiple tasks they perform. The screens are primarily positioned to protect the first operator exposed to the highest dose rates, and thus, protection level for other staff categories is smaller. The position of the operator with respect to the x-ray beam and the x-ray beam geometry explains the wide variations of reduction factors. To achieve the maximal protection, it must be positioned to follow the patient cut-off contour and close to the operator to minimize the gap that is created by the patient contour cut-out. Furthermore, the screen should be continuously repositioned, in particular when patient's table height and beam orientation is altered.

CONCLUSION

Ceiling suspended screens can provide a substantial level of protection in interventional cardiology, but they have to be properly managed and positioned to achieve sufficient level of protection.

REFERENCES

- [1] Durán A, Hian SK, Miller DL, Heron JL, Padovani R, Vano E. A summary of recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology. *Catheter Cardiovasc Interv* 2013;81(3):562-7
- [2] European Commission, Council Directive 97/43/Euratom on Health Protection of Individuals against the Dangers of Ionising Radiation in Relation to Medical Exposure. *Official Journal of the European Communities* No L180/22-27, Luxembourg, 1997.
- [3] Vano E, Kleiman NJ, Duran A, et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res* 2010;174:490-495.
- [4] Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, et al. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: Is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv* 2010;76:826-834.
- [5] Chida K, Morishima Y, Inaba Y, et al. Physician-received scatter radiation with angiography systems used for interventional radiology: comparison among many X-ray systems. *Radiat Prot Dosimetry* 2012;149(4):410-6.
- [6] Kuon E, Dahm J, Empen K, et al. Identification of less-irradiation tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1420-1428.
- [7] Fetterly K, Magnuson D, Tannahill G, et al. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures. *JACC: Cardiovascular Interventions* 2011;4:1133-9.

INFLUENCE OF CEILING SUSPENDED SCREEN POSITIONING TO THE SCATTER RADIATION LEVELS IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

*Olivera Ciraj-Bjelac¹, Vojislav Antic², Danijela Arandjic¹
and Predrag Bozovic¹*

¹Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia

²Clinical Centre of Serbia, Belgrade, Serbia

ociraj@vinca.rs

The objective of this paper is to identify the effects of the ceiling suspended screen position to the scatter radiation levels in the interventional cardiology. The scatter radiation in terms of ambient dose equivalent $H^*(10)$ was measured for various positions of protective screen in the positions of the first operator, nurse and radiographer, at elevations 100-190 cm and in four different angulations of the x-ray tube. To assess the effectiveness of the protective screen, the scattered dose was also measured in the absence of any protection in all four angulations and elevations. To simulate real clinical situation the measurements were performed in the presence of 30 cm PMMA phantom using standard clinical protocol. The utility of protective screen varied for different positions and angulations. Scatter radiation levels varied in the range 70 – 3400 $\mu\text{Sv/h}$ for the first operator, 140 – 3200 $\mu\text{Sv/h}$ for the nurse and 50 – 560 $\mu\text{Sv/h}$ for radiographer. Ceiling suspended screens can provide a substantial level of protection (up to factor 18) in interventional cardiology, but they have to be properly managed and positioned to achieve sufficient level of protection. The guidance for optimal protection is provided in the paper.

PERIFERNE DOZE U DJECE LIJEČENE RADIOKIRURŠKI NA GAMMA KNIFE-u

*Saveta Miljanić¹, Hrvoje Hršak², Željka Knežević¹, Marija Majer¹
i Zdravko Heinrich³*

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb

²Klinika za radioterapiju i onkologiju, Klinički bolnički centar Zagreb,
Zagreb

³Klinika za neurokirurgiju, Klinički bolnički centar Zagreb, Zagreb
saveta@irb.hr

UVOD

Kod pacijenata liječenih radioterapijom povećava se rizik pojave sekundarnog malignog oboljenja i to se povezuje s dozama koje pacijent primi izvan područja zračenja (periferne ili "out-of-field" doze). Cilj ovog rada je mjerenje perifernih doza apsorbiranih tijekom radiokirurgije djece na Leksell Gamma Knife-u Model C. Dječja populacija je odabrana radi veće osjetljivosti na zračenje i većeg rizika sekundarnog oboljenja. Također, radi manjih dimenzija tijela očekuju se, uz iste uvjete zračenja, veće doze na svim perifernim tkivima i organima nego kod odraslih pacijenata. Radiokirurgijom Gamma Knife-om stereotaktički se predaje velika doza zračenja u mala dobro definirana područja unutar lubanje. Radi velike doze predane u samo jednoj frakciji (10 – 30 Gy) u stereotaktičnoj radiokirurgiji, osobito je važno poznavanje doza apsorbiranih izvan ozračenog volumena. U ovom radu cilj je bio utvrditi doze koje se apsorbiraju u očnim lećama, štitnjači, prsima, abdomenu i gonadama iz doza mjerenih na površini pacijenta. Odnos između doze u organu i doze na površini određen je mjerenjima na antropomorfnom CIRS fantomu koji odgovara desetogodišnjem djetetu. Doze su mjerene i na pacijentima u dobi od 4 do 14 godina. Dobiveni rezultati ovog rada bit će korišteni za izračunavanje rizika sekundarnih malignih oboljenja.

MATERIJAL I METODE

Mjerenja su obavljena na uređaju Leksell Gamma Knife (GK) model C [1]. Za mjerenje perifernih doza korištena su 2 tipa termoluminiscentnih (TL) dozimetara i radiofotoluminiscentni (RPL) dozimetri. Korišteni su dobro poznati TL dozimetri na osnovi LiF:Mg,Ti (TLD-100 i TLD-700,

Harshaw), te visokoosjetljivi na osnovi LiF:Mg,Cu,P (GR-200A [2]). Aktivni dio RPL dozimetra GD-352M [3] je srebrom aktivirano staklo u obliku štapića u držaču koji s unutrašnje strane ima Sn filter za kompenzaciju energijske zavisnosti. Detaljna svojstva korištenih dozimetrijskih sustava kao i parametri evaluacije dani su u ranije objavljenim radovima [4-5]. Dozimetri su kalibrirani ozračivanjima na izvoru ^{60}Co u Sekundarnom standardnom laboratoriju Instituta Ruđer Bošković, a doza je specificirana kao apsorbirana doza u vodi. Više podataka o Gamma Knife-u i o eksperimentalnom radu dano je u našem prethodnom radu [6].

Na pacijentima je set dozimetara za svaku mjernu točku sadržavao 2 TL detektora u tamnoj polietilenskoj foliji, prekrivena s 3,5 mm gume ("build-up" za osiguranje elektronske ravnoteže) i 2 RPL dozimetra. Periferne doze mjerene su na 5 pacijenata u dobi od 4 do 14 godina liječenih radiokirurški. Detalji o pacijentima i karakteristikama postupka dani su u Tablici 1.

Tablica 1. Podaci o pacijentima, fantomu i postupku ozračenja

Redni broj pacijenta	1	2	3	4	5	Dječji fantom
Spol/dob (godine)	Ž/14	M/7	M/8	Ž/11	M/4	M,Ž/10
Visina /težina	150 cm /50 kg	120 cm	130 cm	140 cm /40 kg	102 cm /16 kg	140 cm /32 kg
Dijagnoza	Astrocytoma pilocysticum	Astrocytoma pilocysticum	Astrocytoma grade I	Craniofaringeoma	Ependymoma anaplasticum	Benigni tumor
Položaj i veličina mete	Lijevo cavernous sinus 5,2 cm ³	Desno temporal lobe 6,5 cm ³	Desno posteroinferior cerebellar lobe 0,5 cm ³	Suprasellar region 3,1 cm ³	Lijevo posteroinferior cerebellar lobe 0,82 cm ³	Benigni tumor midbrain 9,2 cm ³
Srednja doza u meti (Gy)	19 ± 2,9	22,5 ± 3,6	16,9 ± 2,7	15,4 ± 2,2	24,8 ± 4,2	22,8 ± 4,2
Broj izocentara/kolimator	10/8 mm + 12/4 mm	3/14 mm + 12/8 mm	10/4 mm	24/4 mm + 2/8 mm	17/4 mm	11/4 mm

Mjerenja na fantomu obavljena su da bi se usporedile doze u različitim organima i doze na površini fantoma tijekom simuliranog GK radiokirurškog postupka zračenja djeteta. Korišten je CIRS dječji tkivu ekvivalentni fantom tip 706D. Fantom odgovara desetogodišnjem djetetu,

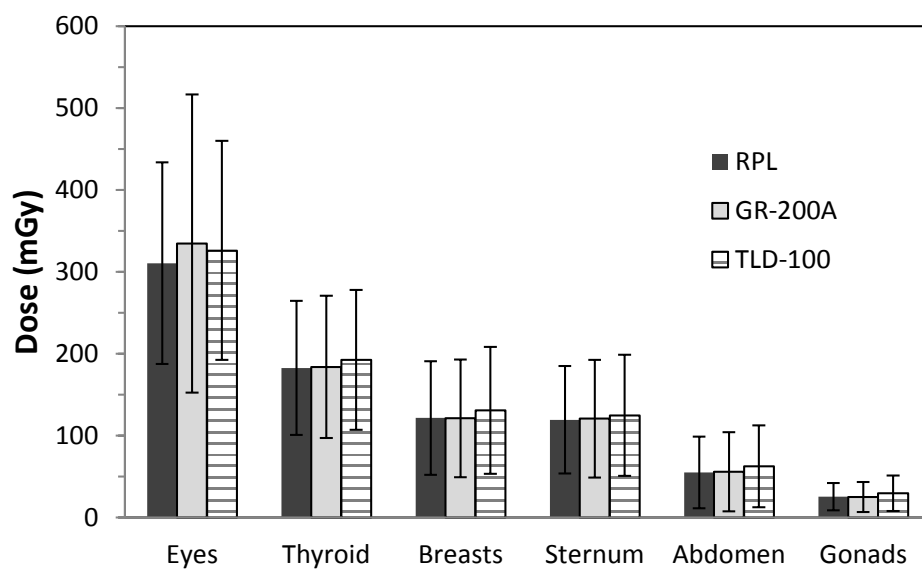
sastoji se od 32 bloka debljine 25 mm i 196 rupe u položajima koji odgovaraju radioosjetljivim unutarnjim organima (njih 21). Tkiva u dječjem fantomu odgovaraju gustoći i sastavu tkiva djeteta te dobi. Podaci o fantomu i načinu njegova zračenja su prikazani u zadnjem stupcu Tablice 1, a položaj fantoma kod ozračenja na Slici 1.



Slika 1. Fantom u položaju za GK radiokirurgiju s dozimetrima postavljenim na površini fantoma.

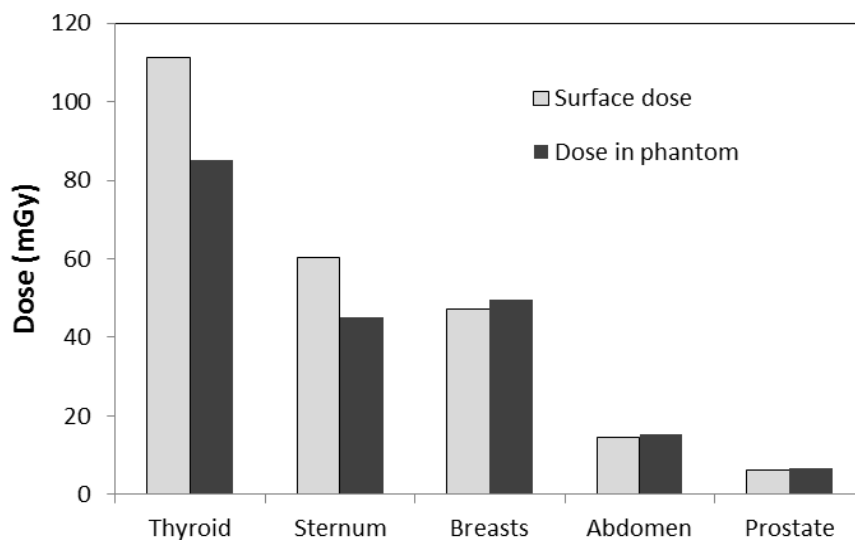
REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati mjerenja doza na pacijentima prikazani su na Slici 2. Za svaki tip dozimetra rezultati su prikazani kao srednja vrijednost doze i njezina standardna devijacija (SD) za 5 pacijenata. Slaganje između različitih dozimetara je zadovoljavajuće (prosječna SD je oko 4 %) ali rasipanje srednjih doza na pojedinim organima je veliko, kreće se od 40 do 85 %. To rasipanje je posljedica mnogih utjecajnih faktora prikazanih u Tablici 1 (različita dob i veličina pacijenata, različiti položaji i dimenzije volumena mete, različite doze u meti dobivene uz različite brojeve izocentara i uz različite kolimatore). Na primjer, doze na očima variraju od 0,7 % do 2,55 %, a na gonadama od 0,05 % do 0,22 % srednjih doza u meti. Rezultati pokazuju važnost mjerenja doza na dječjim pacijentima. Osobito radi toga što u konvencionalnim radioterapijama sustavi za planiranje tretmana ne računaju doze i rizike za sve radioosjetljive organe nego obično samo za one blizu ciljnom volumenu. Primjer kako velike razlike mogu biti pokazuju doze mjerene na abdomenu: za dijete od 4 godine (visine 102 cm) izmjerena je doza od 150 mGy dok je za ostala 4 djeteta srednja doza bila 36 ± 6 mGy.



Slika 2. Rezultati mjerenja doza na pacijentima. Za svaki tip dozimetra pokazana je srednja vrijenost i standardna devijacija za 5 pacijenata.

Rezultati mjerenja na fantomu i u fantomu prikazani su na Slici 3.



Slika 3. Usporedba doza na površini mjerenih iznad određenih organa i doza mjerenih u tim organima u fantomu.

Doze na površini fantoma mjerene iznad određenog organa uspoređene su s dozama u tom organu u fantomu. Omjeri doza na površini i doza u organima ispod njih nisu konstantni – razlike su posljedica različitih dubina u kojima su organi, njihovoj veličini, obliku i gustoći. Tako su, na primjer, doze u štitnjači i prsnoj kosti oko 25 % niže od doza na površini, a u prsima, abdomenu i prostati oko 5 % više nego odgovarajuće doze na površini.

ZAKLJUČAK

Rezultati pokazuju da su oba korištena dozimetrijska sustava, TLD i RPL, pogodna za mjerenja perifernih doza na pacijentima i mjerenja raspodjele doza u fantomu.

Rasipanja mjerenih doza na pojedinim organima pacijenata su visoka, od 40 do 85 %. To je posljedica mnogih utjecajnih čimbenika kao što su dob i veličina pacijenta, položaj i veličina volumena područja zračenja, doze koja se predaje oboljelom tkivu uz različiti broj izocentara i s različitim kolimatorima. Te činjenice pokazuju važnost mjerenja perifernih doza na dječjim pacijentima za vrijeme radioterapije. Također, dobiveni rezultati pokazuju da je moguće zadovoljavajuće procijeniti dozu u pojedinim organima iz rezultata dozimetara na površini pacijenta.

LITERATURA

- [1] Tran T, Stanley T, Malhotra H, De Boer S, Prasad D, Podgorsak M. Target and peripheral dose during patient repositioning with the Gamma Knife automatic positioning system (APS) device. **Journal of Applied Clinical Medical Physics** 1(1)2010;1. Available at: <http://www.jacmp.org/index.php/jacmp/article/view/3150/1820>
- [2] Solid Dosimetric Detector & Method Lab., Research Institute of Chemical Defence, Beijing, China.
- [3] Explanation material of RPL Glass Dosemeter: Small Element System. Asahi Techno Glass Corporation, Tokyo, Japan. 2007.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Miljanić S, Hršak H, Knežević Ž, Majer M, Heinrich Z. Peripheral doses in children undergoing Gamma Knife radiosurgery and second cancer risk. *Radiat Meas* 2013 (in press).

OUT-OF-FIELD DOSES IN CHILDREN UNDERGOING GAMMA KNIFE RADIOSURGERY

*Saveta Miljanić¹, Hrvoje Hršak², Željka Knežević¹, Marija Majer¹
and Zdravko Heinrich³*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Department of Oncology and Radiotherapy, Clinical Hospital Centre Zagreb

³Department of Neurosurgery, Clinical Hospital Centre Zagreb
Zagreb, Croatia

saveta@irb.hr

The induction of cancers following radiotherapy (second cancers) has been known for many years. The overall cancer risk is influenced by the dose to several radiosensitive organs distant from the radiotherapy target volume. Factors contributing to the recently renewed concern about the radiation induced secondary cancer include improved cancer survival rate, younger patients population as well as emerging treatment modalities that can potentially elevate secondary exposures to healthy tissues distant from the target volume. Gamma Knife radiosurgery stereotactically delivers a high single dose of external radiation to a small well-defined intracranial lesions. Due to a large amount of dose delivered in a single fraction (10 – 30 Gy), dose outside the treatment volume is an important issue. The aim of the study was to measure the out-of-field doses during the Leksell Gamma Knife Model C radiosurgery for children. Besides their higher susceptibility to radiation, due to smaller size of children bodies, the larger doses are expected to all out-of-field tissues and organs than for adults for the same irradiation conditions. The purpose was to identify doses delivered to some radiosensitive organs from the doses measured with dosimeters placed on the surface of the patients. There were 5 patients between 4 and 14 years old. The relation of the organ doses and doses on the surface was determined using the anthropomorphic phantom (CIRS, ten-year old child). For dosimetry measurements two types of thermoluminescent dosimeters were used, LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P and radiophotoluminescent glass dosimeters type GD-352M. Dissipations of dose measurements on individual organs on children patients are large ranging from 40 to 85% as a consequence of many different influencing factors. This fact reveals the importance of the peripheral dose measurements on children during the radiation treatment. The obtained results also indicate the possibilities of dose estimations in underlying organs from the surface dose measurements.

INFLUENCE OF ROUTINE MV CBCT USAGE ON DOSE DISTRIBUTION IN PELVIC RADIOTHERAPY

*Mladen Kasabašić¹, Ana Ivković², Ilijan Tomaš², Slaven Jurković³
and Dario Faj¹*

Faculty of Medicine, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

²University Hospital Center of Osijek, Osijek, Croatia

³University Hospital Center of Rijeka, Rijeka, Croatia

mkasabasic@mefos.hr

INTRODUCTION

The pelvic radiotherapy is a standard treatment for patients with cervical, uterine and rectal carcinomas. One of the problems during or after the radiotherapy treatment is appearance of early or late complications of the small bowel [1-3]. Open tabletop device or bellyboard is used to reduce the side effects of healthy surrounding tissue, specially small bowel [2,3]. In the bellyboard patients are positioned in the prone position that is uncomfortable. That results in continuous adjusting of the patients to the bellyboard during the treatment, which causes geometrical and dosage uncertainties and influences the results of the treatment [4-7]. To avoid these errors, the setup correction protocol was implemented, that implicates usage of the film portal imaging [4].

During the last year, the new linear accelerator Siemens Oncor Expression (Siemens, Germany) with electronic portal imaging device (EPID) was installed at our radiotherapy department. Hence, to reduce the setup errors of the patients, mega-voltage cone-beam computed tomography (MV CBCT) system is used. During the image acquisition 12 MU (monitor units) is delivered. The objective of this research was to evaluate the dose delivered to the patients from acquired MV CBCT.

MATERIALS AND METHODS

Fifteen patients with rectal carcinoma were included in this study. All the patients were simulated at the CT simulator Siemens Sensation Open with virtual simulation system. 3D treatment planning software XiO (CMS Inc., St. Louis, MO) was used to make and optimize radiotherapy plans. The three-field-box technique was used for all of the patients and they were treated at the linear accelerator Siemens Oncor Expression. Patients received

the total dose of 45 Gy in 25 daily fractions and boost of 5.4 Gy in 3 fractions. According to our protocol, the patients' position during the treatment was checked in the first five days [4].

Our clinic has MV imaging system capable of portal imaging and cone-beam CT (MVisionTM, Siemens Medical Solutions, Concord, CA). The imaging systems consists of a linear accelerator 6 MV beam, flat panel detector (Perkin Elmer Optoelectronics, Wiesbaden, Germany) and CoherenceTM Therapist workspace. The protocol with an open field 8 cm × 27.4 cm at the isocenter with the imager at 145 cm SID and 12 monitor units (MU) was used for image acquisition. The linac gantry rotates in a continuous 200° arc (270° to 110°, clockwise), acquiring one portal image for each angle and the image reconstruction starts immediately after the acquisition. Moreover, immediately after the reconstruction, software automatically compares the reference planning CT and MV CBCT. Then, the system displays the table of shift correction, which represents the distance between the planned treatment isocenter as specified on the CT image during the planning and actual treatment isocenter.

All the patients included in this study have already completed their therapy. The dose influence of the MV CBCT was recalculated afterwards using 3D treatment planning software XiO. To validate XiO, dosimetric verifications in anthropomorphic phantom were performed [8]. We investigated the minimum field number that should be simulated to represent the MV CBCT dose. One, three, five, nine and twenty-one fields were simulated.

Additionally, we investigated the influence of the MV CBCT on a treatment plan by analyzing changes in dose volume histograms, the mean value and maximum value. Recommendation for mean value is not to exceed ± 1 % of the prescribed dose, and for maximum is not to be higher than 107 % of the prescribed dose [9].

According to published results [10,11], due to residual setup errors in prone-treated patient, the existence of setup protocol is recommended. Higher frequency protocol (on daily basis) conferred the highest benefit with respect to residual target setup error [11]. According to results we published [6] that correction of patients' rotational movement should be done on daily bases, as well. Therefore, MV CBCT in the treatment plans was simulated as it was employed every day. Later, the dose distribution for first five days as it was defined in our protocol [4] was computed.

RESULTS

MV CBCT dose was included in the already existing treatment plans and mean doses and maximum doses were calculated for each of the fifteen patients. Then we tried to find the smallest number of fields that can be used as a good MV CBCT dose approximation. Figure 1 shows the mean deviation of the mean dose in the target volume for the one, three, five, nine and twenty-one field approximation. Figure 2 shows the mean deviation of the maximum dose in the target volume for the one, three, five, nine and twenty-one field approximation.

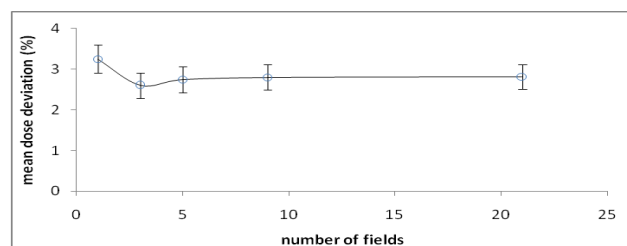


Figure 1. Mean dose deviation related to number of fields in approximation of MV CBCT.

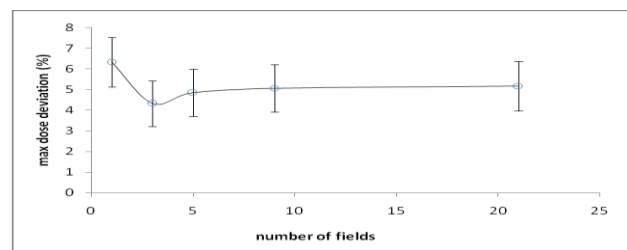


Figure 2. Maximum dose deviation related to number of fields in approximation of MV CBCT.

Then, for every patient influence of MV CBCT on their mean dose (Figure 3) and maximum dose (Figure 4) value was calculated. Results were normalized to the prescribed dose of 45 Gy. The range, mean value and the standard deviation (SD) of entire group of patients is shown in Table 1.

The data in Table 1 are the dose contributions of MV CBCT on daily bases (25 fractions). Since our setup correction protocol proposes only first five days of image acquisition, influence of MV CBCT dose distribution is 5 times smaller (Table 2).

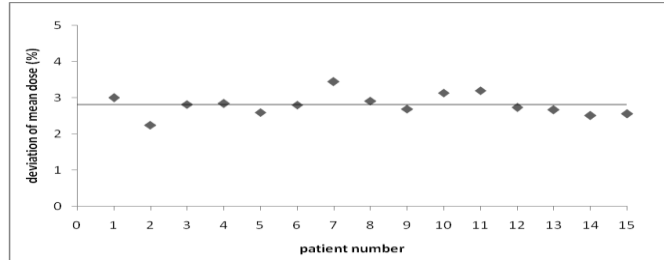


Figure 3. Mean dose deviation for each patient.

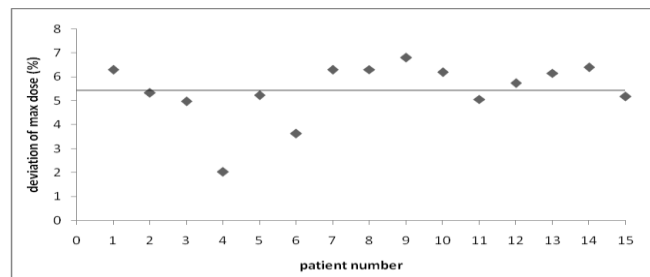


Figure 4. Maximum dose deviation for each patient.

Table 1. Dose deviation for each patient for the 25 fractions.

	Range	Mean	SD
Mean dose deviation (%)	2.2 to 3.4	2.8	0.3
Max dose deviation (%)	2 to 6.8	5.4	1.2

Table 2. Dose deviation for each patient for the 5 fractions.

	Range	Mean	SD
Mean dose deviation (%)	0.4 to 0.7	0.6	0.06
Max dose deviation (%)	0.4 to 1.4	1.1	0.3

DISCUSSION

Influence of MV CBCT on mean dose (Figure 3) and maximum dose (Figure 4) value was calculated for 15 patients. Since these values represent dose contribution of MV CBCT it is obvious that mean dose in target volume will exceed recommended tolerance $\pm 1\%$ of the prescribed dose. Obviously, that is to happen for the every patient if we neglect the dose contribution of MV CBCT in the radiotherapy plan.

In all of our plans maximum dose in target volume is not less than 104 % of the prescribed dose but it is always less than 107 % of the prescribed dose as recommended. Although the range of MV CBCT's contribution to the maximum doses is 2 % to 6.8 % (Table 1) and it is possible that for some patients' maximum dose will not exceed the maximum of 107 % of the prescribed dose, all of our 15 patients had maximum doses above 107 %.

Then, to find out how many fields must be taken to be close enough to the real dose contribution of the MV CBCT two set of data were compared. Mean deviation of the mean dose (Figure 1) as well as mean deviation of the maximum dose (Figure 2) shows that five fields is good approximation. Including MVCBCT dose, planning all used fields will make calculation significantly longer (in our case it is about 8 minutes). When we approximated MVCBCT with smaller number of fields the calculation time was about 2 minutes for a 5 field approximation.

At our radiotherapy department we have only one linear accelerator with MLC. At this time our physicians feel no need for routine MV CBCT, on daily bases. However, our protocol for the pelvic radiotherapy in the bellyboard requires first five days of image acquisition. That means that mean dose in the target volume can increase up to 0.7 % and maximum dose can increase up to 1.4 % of the prescribed dose. According to that, mean and maximum dose in the target volume can exceed prescribed values and we will include MVCBCT dose contribution in the radiotherapy planning.

It is known that uncorrected setup errors can cause a difference between the planned and delivered dose [7]. Our results have confirmed the need to minimize daily set-up errors through quality assurance programs [4-8]. Different protocols for pelvic radiotherapy in prone position can be found [4,11]. With the commercial MV CBCT system setup errors can be easily reduced, but its usage increases the delivered dose as shown in this study, and in already published results [12-14]. Therefore, MVCBCT dose contribution has to be considered during the radiotherapy planning.

REFERENCES

- [1] Park W, Huh SJ, Lee JE, Han Y, Shin E, Chan Y, et al. Variation of small bowel sparing with small bowel displacement system according to the physiological status of the bladder during radiotherapy for cervical cancer. *Gynecol Oncol* 2005;99:645-51.
- [2] Ghosh K, Padilla LA, Murray KP, Downs LS, Carson LF, Dusenbery KE. Using a belly board device to reduce the small bowel volume within pelvic

- radiation fields in woman with postoperatively treated cervical carcinoma. *Gynecol Oncol* 2001;83:271-75.
- [3] Olofsen-van Acht M, van den Berg H, Quint S, de Boer H, Seven M, van Somsen de Koste J, et al. Reduction of irradiated small bowel volume and accurate patient positioning by use of a bellyboard device in pelvic radiotherapy of gynecological cancer patients. *Radiother Oncol* 2001;59:87-93.
 - [4] Kasabašić M, Faj D, Belaj N, Faj Z, Tomas I. Implementing of the offline setup correction protocol in pelvic radiotherapy: Safety margins and number of images. *Radiol Oncol* 2007;41:48–55.
 - [5] Kasabašić M, Faj D, Smilović Radojčić Đ, Švabić M, Ivković A, Jurković S. [Verification of the Patient Positioning in the Bellyboard Pelvic Radiotherapy](#). *Coll Antropol. Supplement* 32, 2008; S2; 211-215.
 - [6] Kasabašić M, Faj D, Ivković A, Jurković S, Belaj N. [Rotation of the patients' sacrum during the bellyboard pelvic radiotherapy](#). *Med Dosim* 2010; 35/1;28-30.
 - [7] Kasabašić M, Rajevac V, Jurković S, Ivković A, Šobat H, Faj D. [Utjecaj pogreške u položaju bolesnika tijekom zračenja zdjelice na raspodjelu doze](#). *Arh Hig Rada Toksikol* 2011; 62/3;261-267.
 - [8] Jurković S, Švabić M, Diklić A, Smilović Radojčić Đ, Dundara D, Kasabašić M, Ivković A, Faj D. [Reinforcing of qa/qc programmes in radiotherapy departments in Croatia: results of treatment planning system verification](#). *Med Dosim* 2013; 38;:100-104.
 - [9] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50). ICRU Report 62. Bethesda (ML): ICRU; 1999.
 - [10] Ahmad R, Hoogeman MS, Quint S, Willem Men, J, Vasquez O, Eliana M, Heijmen Ben JM. Residual setup errors caused by rotation and non-rigid motion in prone-treated cervical cancer patients after online CBCT image-guidance. *Radiother Oncol* 103,2012;322-326.
 - [11] Siddiqui F, Shi C, Papanikolaou N, Fuss M. Image-guidance protocol comparison: Supine and prone set-up accuracy for pelvic radiation therapy. *Acta Oncol* 2008;47:1344-1350.
 - [12] Morin O, Gillis A, Chen J, Aubin M, Bucci K, Roach M, Pouliot J. Megavoltage cone-beam ct: system description and clinical applications. *Med Dosim* , 2006; 31/1: 51-61.
 - [13] [Morin O](#), [Chen J](#), [Aubin M](#), [Gillis A](#), [Aubry JF](#), [Bose S](#), [Chen H](#), [Descovich M](#), [Xia P](#), [Pouliot J](#). Dose calculation using megavoltage cone-beam CT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;67(4):1201-10.
 - [14] [Morin O](#), [Gillis A](#), [Descovich M](#), [Chen J](#), [Aubin M](#), [Aubry JF](#), [Chen H](#), [Gottschalk AR](#), [Xia P](#), [Pouliot J](#). Patient dose considerations for routine megavoltage cone-beam CT imaging. *Med Phys* 2007;34(5):1819-27.

INFLUENCE OF ROUTINE MV CBCT USAGE ON DOSE DISTRIBUTION IN PELVIC RADIOTHERAPY

*Mladen Kasabašić¹, Ana Ivković², Ilijan Tomaš², Slaven Jurković³
and Dario Faj¹*

¹Faculty of Medicine, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

²University Hospital Center of Osijek, Osijek, Croatia

³University Hospital Center of Rijeka, Rijeka, Croatia

mkasabasic@mefos.hr

The pelvic radiotherapy is a standard treatment for patients with cervical, uterine and rectal carcinomas. During radiation treatment open tabletop device or bellyboard is used to reduce the side effects of healthy surrounding tissue. Patients are continually adjusting to the bellyboard during the treatment which causes geometrical and dosage uncertainties and influences the results of the treatment. Therefore, to reduce these uncertainties, megavoltage cone-beam computed tomography (MV CBCT) system is used. The objective of this research was to evaluate the image acquisition dose delivered to patients from MV CBCT.

MV CBCT imaging was simulated on 15 patients using 3D treatment planning software XiO (CMS Inc., St. Louis, MO). The influence of the routine MV CBCT usage on treatment plan was investigated by analyzing the changes in dose volume histograms, mean values and maximum doses in the planning volumes.

Simulations have shown that daily usage of MV CBCT causes differences in the dose volume histograms. Moreover, for every patient mean value exceeded prescribed tolerance ($\pm 1\%$ of the prescribed dose) and maximum value exceeded recommended maximum of 107% of the prescribed dose.

The results have shown that MV CBCT dose to the patient should be a part of the RT plan.

KVALITETA KONFORMALNOG 3D PLANIRANJA ZRAČENJA - USPOREDBA DVIJE TEHNIKE PLANIRANJA ZRAČENJA KOD BOLESNIKA S RAKOM PROSTATE: "BOX" TEHNIKA I TEHNIKA 5 POLJA

Vedran Rajevac, Katarina Antunac i Adlan Čehobašić
Zavod za radioterapijsku i internističku onkologiju, Klinika za tumore,
KBC "Sestre Milosrdnice", Zagreb
vedran.rajevac_kzt@yahoo.com

UVOD

Rak prostate je najčešće dijagnosticiran rak kod muškaraca te je, nakon raka pluća, drugi uzročnik smrti od raka kod muškaraca. Oblici liječenja lokaliziranog raka prostate su sljedeći: radikalna prostatektomija (RP), radioterapija (*external-beam radiation therapy*, EBRT) sa ili bez deprivacije androgena (*androgen deprivation therapy*, ADT), brahiterapija ili praćenje bolesnika. Još uvijek nije jasno definirano koja je najučinkovitija metoda liječenja bolesnika s lokaliziranim rakom prostate. Vrlo je razumna hipoteza da su sve metode liječenja podjednako uspješne kod određene skupine bolesnika.

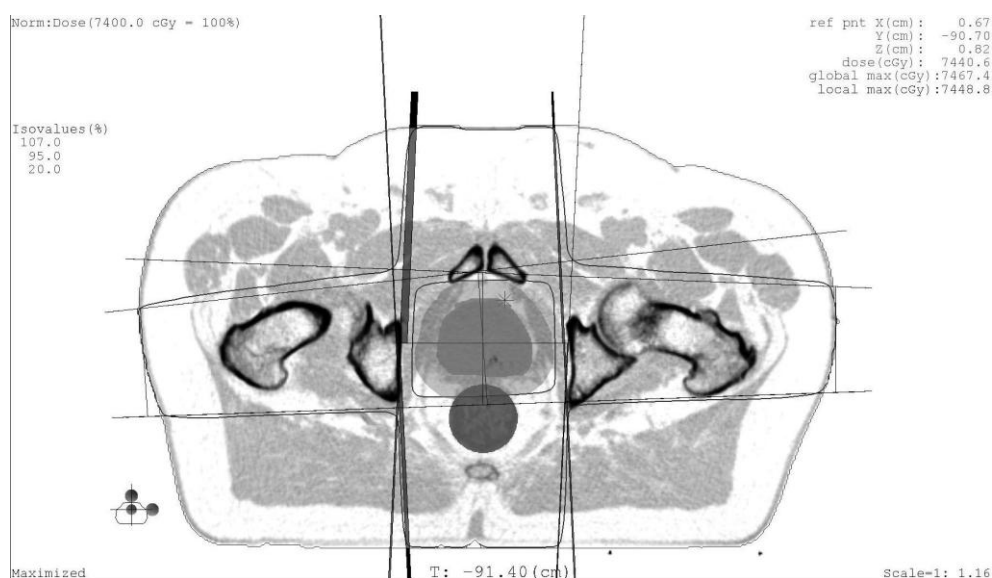
Tijekom prošlih desetljeća dva su koncepta pokazala poboljšanje učinkovitosti EBRT-a kod raka prostate: povećanje doze koje je omogućeno korištenjem nove konformalne tehnike te dodatak ADT-a. 3D radioterapija omogućuje povećanje terapijske doze na prostatu na iznad 72 Gy standardnim frakcioniranjem (2 Gy/frakciji) uz poštedu organa od rizika: mokraćnog mjehura i rektuma. U tome je prednost 3D radioterapije u odnosu na 2D radioterapiju. Unutar 3D konformalne radioterapije razvijane su različite tehnike zračenja kojima su smanjene doze na organe od rizika (OAR), što je ujedno omogućilo povećavanje propisane doze na prostatu.

MATERIJAL I METODE

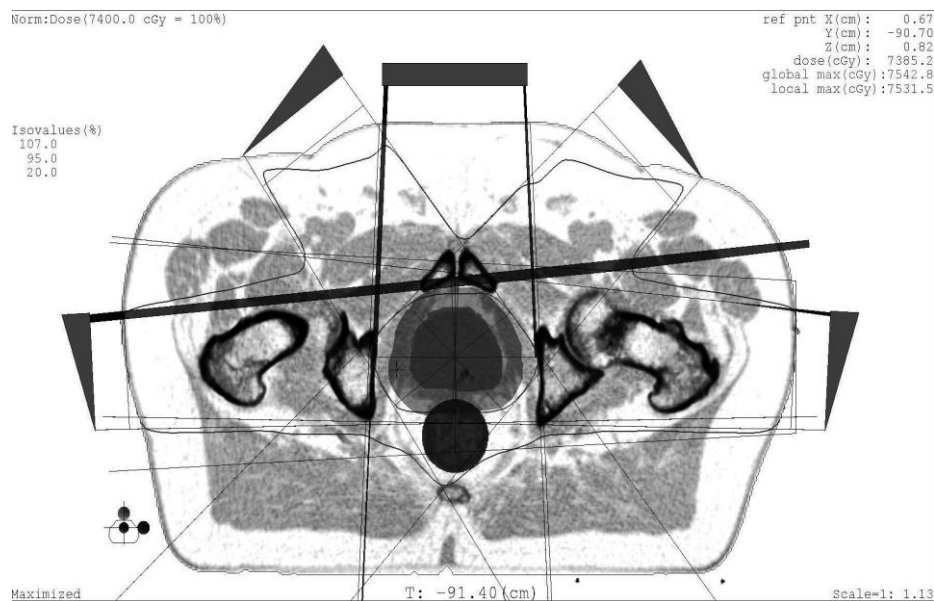
Bolesnici kod kojih je provedena primarna radioterapija raka prostate

Grupa se sastoji od 13 bolesnika planiranih u razdoblju od prosinca 2011. do srpnja 2012. Bolesnici su postavljeni na podložak *Med-Tec MT-350* u položaju s rukama iznad glave [4]. Glava je bila usmjerena prema akceleratoru. Volumen mokraćnog mjehura kontroliran je uskladu s internim protokolom, a korektnost pozicioniranja se provjeravala pomoću

elektroničkog portalnog slikovnog sistema (EPID-a). Propisana doza je 72 – 76 Gy standardnim frakcioniranjem od 2 Gy po frakciji. PTV1 (*planned target volume*) se sastoji od GTV-a (prostata) plus 1 cm sigurnosne margine. Planovi moraju zadovoljavati preporuke ICRU50/62 [1,2]. Zahtijevana pokrivenost PTV-a s 95-107 % propisane doze je barem 97 % od propisane doze što je u skladu s internim protokolom odjela. Konturirani organi od rizika su rektum i mokraćni mjehur, a dozna ograničenja $V40 < 70 \%$, $V50 < 55 \%$, $V60 < 40 \%$, $V70 < 20 \%$ i $V74 < 5 \%$ za rektum te $V65 < 35 \%$ i $V70 < 35 \%$ za mokraćni mjehur. Dozna ograničenja su vrlo slična doznim ograničenjima baziranim na preporuci ESTRO-a (QUANTEC) [3]. Kao software za planiranje korišten je XIO 4.3.1 (CMS Inc., St. Louis, MO) koji se koristi fastsuperposition algoritmom s prostornom rezolucijom od 0,2 cm [5].



Slika 1: Prikaz radioterapijskog plana u "box" tehnici (snopovi su pod kutevima gantrija (*gantry*) od 0, 90, 180 i 270), a konturirane strukture su: GTV (prostata), PTV1 i rektum. Na slici je prikazan negativ CT sloja radi bolje preglednosti.



Slika 2: Prikaz radioterapijskog plana tehnikom 5 polja (snopovi su pod kutevima gantrija od 0, 30, 90, 180 i 330) uz korištenje virtualnih klinova; konturirane strukture su: GTV (prostata), PTV1 i rektum. Na slici je prikazan negativ CT sloja radi bolje preglednosti. Korišten je isti sloj kao na Slici 1 radi lakše usporedbe.

Za svakog bolesnika izrađen je plan za linearni akcelerator Siemens Primus s višelamelarnim kolimatorom. Valjanost plana je procijenjena na osnovu dozno-volumnog histograma (DVH). Kao tehnike planiranja koristili smo "box" tehniku (Slika 1) te tehniku 5 polja (Slika 2). U svakom planu vršena je optimizacija kuteva kolimatora i težine polja, a za slučaj tehnike 5 polja i optimizacija kuteva virtualnih klinova.

Rađena je usporedba planova s obzirom na dozu koju prime organi od rizika.

Kao statistička metoda obrade podataka korišten je Studentov t-test.

REZULTATI

Terapijski planovi 13 simuliranih bolesnika odabrani su na osnovi analize DVH-a, pri čemu su uspoređivani planovi za dvije tehnike zračenja.

Prilikom usporedbe dviju tehnika planiranja vidimo da je čak i kod vrlo malog statističkog uzorka (13 bolesnika) opažena signifikantna razlika između dva plana o odnosu na volumen rektuma koji primi dozu od 40 Gy

te na srednju dozu na rektum (V40 Gy i MD). Opaženo je i da je vrijednost svih parametara po kojima se ocjenjuje plan bolja za tehniku 5 polja.

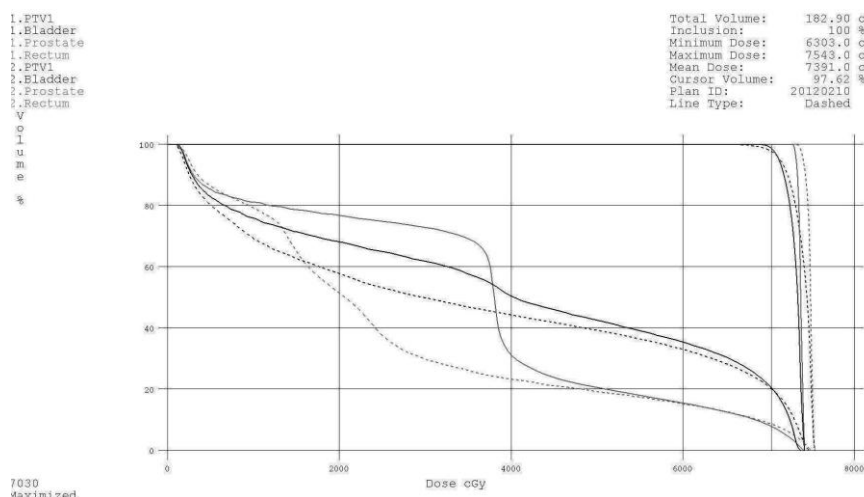
Tablica 1. Prikaz rezultata DVH za dvije različite tehnike planiranja

	Rektum V40 Gy (%)	Rektum V50 Gy (%)	Rektum V60 Gy (%)	Rektum V70 Gy (%)	Rektum V74 Gy (%)	Rektum MD (Gy)
"Box"	40,3(9,1)*	27,4(6,2)	21,6(5,0)	13,3(3,4)	3,4(2,4)	38,3(4,9)
5-polja	28,6(6,3)	24,7(5,6)	20,2(4,9)	12,4(3,3)	3,3(2,2)	28,7(3,9)
p	<0.001	NS**	NS**	NS**	NS**	<0.0001

*- standardna devijacija, **- nema signifikantne razlike

Tablica 2. Prikaz rezultata DVH za dvije različite tehnike planiranja

	M. mjehur V65 Gy(%)	M. mjehur V70 Gy(%)	M. mjehur MD Gy(Gy)
Box	29,2(13,2)	20,3(9,3)	41,3(13,3)
5-polja	27,4(15,3)	19,8(9,9)	35,8(13,5)
p	NS**	NS**	NS**



Slika 3: Prikaz usporedbe DVH za "box" tehniku (puna linija) i za tehniku 5 polja (iscrtkano)

Iz oblika krivulje koja je direktna posljedica tehnike planiranja zračenja vidimo da "box" tehnika ima karakteristično "koljeno" na vrijednosti od oko 50 % propisane doze zbog čega ova tehnika planiranja daje veliku razliku na nižim dozama. Direktna posljedica toga je opažena razlika u V40 Gy te srednjoj dozi na rektum.

ZAKLJUČAK

Usporedbom rezultata koristeći dvije različite tehnike zračenja došli smo do zaključka da se korištenjem tehnike 5 polja postiže značajno bolja poštuda rektuma uz jednaku pokrivenost PTV-a. Osim toga iz rezultata je vidljivo da su doze na rektum i mjehur niže u svim karakterističnim točkama te srednjim vrijednostima, ali u većini slučajeva razlika je premala da bi se postigao statistički značaj na ovako malom uzorku. Taj nam je rezultat jasna indicija za budući rad. Za očekivati je da ćemo s povećanjem statističkog uzorka ujedno povećati i broj parametara plana kod kojih će se postići statistički značajna razlika.

LITERATURA

- [1] Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50), ICRU Report 62. ICRU, 1999.
- [2] Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy, ICRU Report 50. ICRU, 1993.
- [3] Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., Vol. 76, No. 3, Supplement, pp. S10–S19, 2010
- [4] http://www.civco.com/ro/products/patient_immobilization/btpositioning/mt_250_350
- [5] <http://www.elekta.com/dms/elekta/elekta-assets/Elekta-Software/Treatment-Planning-Software/pdfs/brochures/XiO/XiO%C2%AE%20Brochure.pdf>

QUALITY OF 3D CONFORMAL TREATMENT PLANNING: COMPARISON OF 2 TREATMENT PLANNING TECHNIQUES IN PATIENTS WITH PROSTATE CANCER: BOX TECHNIQUE AND 5 FIELD TECHNIQUE

Vedran Rajevac, Katarina Antunac and Adlan Čehobašić
Clinic for Tumors, University Hospital Center "Sestre milosrdnice", Zagreb,
Croatia
vedran.rajevac_kzt@yahoo.com

Introduction: Prostate cancer is the most commonly diagnosed cancer in men and, after lung cancer, the second most commonly cause of cancer death. Methods of treatment of localised prostate cancer include radical prostatectomy (RP), external-beam radiotherapy (EBRT) - with or without androgen deprivation therapy (ADT), brachytherapy and watchful waiting. During last decades two concepts have shown improvement of EBRT efficacy in prostate cancer patients: dose escalation that is enabled by using new conformal technique and addition of ADT. 3D radiotherapy enables escalation of the therapeutic dose on prostate above 72 Gy while sparing of organs at risk (OAR): bladder and rectum. That is the advantage of 3D radiotherapy when compared to 2D radiotherapy.

Patients and method: patients that underwent primary irradiation of prostate cancer. Group consisted of 13 patients planned in the period between December 2011 and July 2012. Prescribed dose was 72-76 Gy using standard fractionation of 2 Gy per fraction. PTV (planned target volume) consisted of GTV (prostate) + 1 cm margin. Required PTV coverage with 95-107 % of prescribed dose was at least 97%. Delineated OARs were rectum and bladder. Dose constraints were $V_{40} < 70\%$, $V_{50} < 55\%$, $V_{60} < 40\%$, $V_{70} < 20\%$ and $V_{74} < 5\%$ for rectum and $V_{65} < 35\%$ and $V_{70} < 35\%$ for bladder. For planning software XIO 4.3.1 with fast superposition algorithm and spatial resolution of 0.2 cm was used. For each patient 2 plans were made: one with box technique and one with 5 field technique. Comparison of plans regarding doses on OAR was made using student t-test.

Conclusion: Statistically significant difference was observed in volume of rectum that receives 40 Gy (V_{40} Gy) and in median dose on rectum (MD) when comparing 2 treatment planning techniques. In patients planned with 5-field technique it is possible to achieve better sparing of OAR in comparison to box technique.

UTJECAJ VRSTE I DEBLJINE ZAŠTITNE OPLATE NA BRZINU NEUTRONSKE DOZE U OKOLICI LINEARNOG AKCELERATORA – EKSPERIMENTALNI REZULTATI

*Marina Poje¹, Branko Vuković¹, Dario Faj², Ana Ivković², Ivana Krpan¹,
Vanja Radolić¹, Igor Miklavčić¹ i Aleksandar Živković¹*

¹Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek

²Medicinski fakultet Sveučilišta u Osijeku, Osijek

marina.poje@fizika.unios.hr

UVOD

Akceleratori čestica nalaze svoju široku primjenu u znanstvenim istraživanjima, industriji i radioterapiji dulji niz godina. Sekundarno zračenje nastalo interakcijom primarnog zračenja sa strukturnim materijalima akceleratora, mete, kanala za prostiranje zračenja i kolimatora prenosi se kroz zaštitne slojeve i stvara kompleksno polje zračenja. To se polje zračenja sastoji od neutrona, fotona, miona, nabijenih hadrona i elektrona širokog energijskog spektra. Iza zaštitnih oplata dozni je ekvivalent uglavnom rezultat utjecaja neutrona i fotona, uz manji doprinos drugih čestica. Karakterizacija polja važna je u svrhu pravilne procjene izloženosti, kako pacijenata tako i medicinskog osoblja.

Radioterapija visokoenergijskim (15 – 25 MV) elektronskim linearnim akceleratorima, koji u sebi nemaju aktivni radioaktivni izvor, ima veliku prednost s radiološke točke gledišta. Ipak, u isto su vrijeme i izvor sekundarno stvorenih, neželjenih neutrona kada energija primarnog, fotonskog zračenja prelazi 10 MeV. Elektronski linearni akceleratori ubrzavaju elektrone, koji uslijed zakročnog zračenja stvaraju visokoenergijske fotone. Neutroni se stvaraju u GDR (*giant dipole resonance*) reakciji između fotonskog zračenja i materijala od kojeg je načinjena glava akceleratora (volfram, olovo). U toj se reakciji stvara gotovo izotropan tok neutrona kojim dominiraju neutroni energija 700 keV i 1 MeV. Najvjerojatnija energija neutrona u neutronsom spektru na linearnim akceleratorima je 0,4 MeV [1-3].

MATERIJAL I METODE

Detekcija neutrona vršena je pomoću detektora nuklearnih tragova (LR 115 i CR-39), uz čiju se površinu pričvršćuje pretvarač – folija načinjena od bora ^{10}B . U nuklearnoj reakciji između neutrona i pretvaračkog materijala $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$, emitiraju se α čestica i ion Li koji mogu proizvesti latentni trag u tijelu detektora. Detektori se nakon izlaganja obrađuju, odnosno kemijski se jetkaju u vodenoj otopini NaOH, prema standardiziranoj proceduri i definiranim uvjetima (molarna koncentracija otopine, temperatura i vrijeme trajanja kemijskog jetkanja). Rezultat kemijskog jetkanja je širenje latentnih tragova tako da oni postaju vidljivi pod optičkim mikroskopom. Doseg iona Li u samom tijelu detektora manji je od dosega α čestice, stoga tragove nastale uslijed iona Li lako diskriminiramo jetkanjem. Određivanjem prosječne gustoće tragova D , uz prethodno određen koeficijent osjetljivosti detektora r iz baždarnih izlaganja (Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija), te poznatog konverzijskog faktora k (između neutronske toka i ambijentalnog doznog ekvivalenta) možemo izračunati neutronske ambijentalne dozne ekvivalente $H^*(10)$ [4].

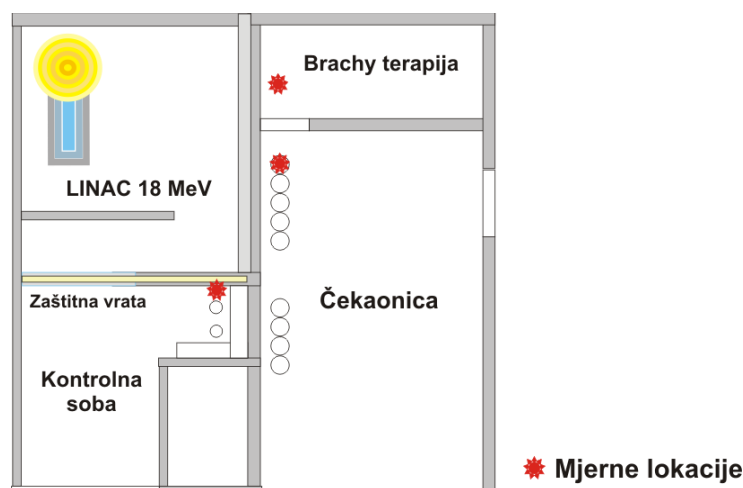
$$H^*(10) = k \cdot f = k \cdot \frac{D}{r} \quad (1)$$

Mjerenje neutronske ambijentalne brzine doze vršeno je i aktivnim detektorom Thermo BIREM FHT 752 – proporcionalnim brojačem ispunjenim plinom BF_3 koji je u isto vrijeme i neutronske pretvarač, ali i detektorski medij. Uređaj je kalibriran u terminima ambijentalnog doznog ekvivalenta $H^*(10)$, a prema specifikaciji proizvođača pogodan je za široki energijski spektar neutrona od 0,25 eV do 10 MeV.

REZULTATI

Mjerenja neutronske ambijentalne dozne ekvivalenta na linearnim akceleratorima Odjela za radioterapiju Kliničkog bolničkog centra Osijek izvode se nekoliko godina na nekoliko relevantnih mjernih lokacija (Slika 1). Klinički bolnički centar Osijek ima dva linearna akceleratora, Siemens Mevatron 15 MV i Siemens Oncor Impression Plus 18 MV koji je kupljen 2010. godine i instaliran na mjestu starog ^{60}Co . Uslijed prostornog ograničenja, ali i veće nazivne snage akceleratora, očekivana je i veća neutronska brzina doze mjerena u njegovoj okolini. Glavni je problem kod prostornog ograničenja, taj što labirint (koji ima ulogu termaliziranja i konačne apsorpcije neutrona) nije dovoljno dugačak. Naša su mjerenja

pratila nekoliko faza građevinskih radova u okolini linearnog akceleratora, što nam je dalo mogućnost proučavanja ovisnosti brzine neutronske doze o vrsti i debljini zaštitne oplata.



Slika 1. Shematski prikaz mjernih lokacija u okolini linearnog akceleratora Siemens Oncor Impression Plus 18 MV.

U studenome 2010. godine mjerene su neutronska i fotonska brzina doze u okolini novoinstaliranog linearnog akceleratora, iza zaštitne oplata koja se sastojala od betona i 19 cm čelika. Mjerenja fotonske brzine doze u prostoru čekaonice i sobe za brahiterapiju (koja je planirana u budućnosti, i gdje će također stalno boraviti medicinsko osoblje i pacijenti) pokazala su potrebu za dodatnom prostornom zaštitom od fotonskog zračenja. Stoga je ugrađena dodatna čelična oplata debljine 12 cm, koja je smanjila fotonsku brzinu doze, ali povećala neutronske brzinu doze koju smo izmjerili u veljači 2011. godine. Zbog izmjerenog povećanja neutronske brzine doze, ali i njihovih prethodno izmjerenih povećanih vrijednosti, ugrađeno je dodatnih 30 cm baritnog betona, te je obavljena redukcija zaštitnih vrata između akceleratorne i kontrolne sobe, u kojoj se nalazi medicinsko osoblje. Nakon obavljenih građevinskih radova u lipnju 2011. godine ponovljena su mjerenja na svim mjernim lokacijama. Izmjereno je znatno smanjenje neutronske brzine doze, što čini stanje kakvo je i danas. Ponovljena, kontrolna mjerenja iz ožujka 2012. godine bila su nam

zanimljiva zbog usporednog izlaganja dvije vrste detektora: pasivnih detektora nuklearnih tragova i aktivnog detektora Thermo BIOREM FHT 752. Prethodno opisane izmjerene vrijednosti numerički su prikazane kronološki u Tablici 1.

Tablica 1. Izmjerene neutronske brzine doze na pojedinim mjernim lokacijama u okolici linearnog akceleratora Siemens Oncor 18 MV dvjema mjernim metodama.

	DETEKTORI NUKLEARNIH TRAGOVA				Thermo BIOREM FHT 752
	studeni 2010.	veljača 2011.	lipanj 2011.	ožujak 2012.	ožujak 2012.
ZAŠTITNA OPLATA	Beton + 19 cm čelika	Beton + 19 cm čelika + 12 cm čelika	Beton + 19 cm čelika + 12 cm čelika + 30 cm betona	Beton + 19 cm čelika + 12 cm čelika + 30 cm betona	Beton + 19 cm čelika + 12 cm čelika + 30 cm betona
MJERNA LOKACIJA					
Brachy soba	72,2 $\mu\text{Sv/h}$	89,5 $\mu\text{Sv/h}$	2,5 $\mu\text{Sv/h}$	12 $\mu\text{Sv/h}$	15,5 $\mu\text{Sv/h}$
Čekaonica	158,5 $\mu\text{Sv/h}$	142 $\mu\text{Sv/h}$	1,6 $\mu\text{Sv/h}$	9,6 $\mu\text{Sv/h}$	0,2 $\mu\text{Sv/h}$
Kontrolna soba	3,1 $\mu\text{Sv/h}$	2,8 $\mu\text{Sv/h}$	1,9 $\mu\text{Sv/h}$	12,5 $\mu\text{Sv/h}$	0,3 $\mu\text{Sv/h}$

ZAKLJUČAK

Konzervativna procjena izloženosti medicinskog osoblja na promatranom akceleratoru učinjena je pod pretpostavkom da na jednog medicinskog tehničara dnevno dolazi 15-20 pacijenata. Efektivno vrijeme rada akceleratora tijekom terapije pacijenta iznosi 2 minute. Ostalo vrijeme rada tehničara uključuje pripremu terapije, uvođenje i pozicioniranje pacijenata na terapijskom stolu, te izvođenje pacijenata iz terapijske sobe. Ako pretpostavimo da je godišnje 200 radnih dana, pri izmjerenoj neutronske brzine doze u kontrolnoj sobi od 12 $\mu\text{Sv/h}$ izračunata je godišnja efektivna doza od 1,1 mSv. Ipak, važno je naglasiti da je ova konzervativna

procjena dobivena iz rezultata mjerenja pri ekstremnim uvjetima rada akceleratora: maksimalna snaga akceleratora, veći otvori kolimatora, fiksni smjer zračenja tijekom cijelog vremena izlaganja (dok se u realnim uvjetima akcelerator okreće i svega je četvrtinu vremena okrenut prema tehničarima). Stoga je za očekivati da su realne godišnje vrijednosti manje [5].

Zahvala

Autori se zahvaljuju djelatnicima Odjela za radioterapiju Kliničkog bolničkog centra Osijek na susretljivosti prilikom izvođenja eksperimentalnih mjerenja.

LITERATURA

- [1] Martinez-Ovalle S, Barquero R, Gomez-Ros J.M, Lallena AM. Ambient neutron dose equivalent outside concrete vault room for 15 and 18 MeV radiotherapy accelerators. *Radiation Protection Dosimetry* 2012;148(4):457-464.
- [2] Martinez-Ovalle S, Barquero R, GomezRos J.M, Lallena A. Neutron dose equivalent and neutron spectra in tissue for clinical linacs operating at 15, 18 and 20 MeV. *Radiation Protection Dosimetry* 2011; 147: 498-511.
- [3] Facure A, Falcão RC, Silva AX, Crispim VR, Vitorelli JC; A study of neutron spectra from medical linear accelerators; *Applied Radiation and Isotopes* 2005; 62, 69-72.
- [4] Vuković B, Faj D, Poje M, Varga M, Radolić V, Miklavčić I, Ivković A, Planinić J. A neutron track etch detector for electron linear accelerators in radiotherapy, *Radiology and Oncology* 2010;44(1): 62-66.
- [5] Rivera JC, Falcão RC, de Almeida CE. The measurement of photoneutron dose in the vicinity of clinical linear accelerators. *Radiation Protection Dosimetry* 2008;130:403-409.

THE INFLUENCE OF USED CONSTRUCTION MATERIAL AND ITS THICKNESS ON THE NEUTRON DOSE RATE AROUND THE LINEAR ACCELERATOR – EXPERIMENTAL RESULTS

*Marina Poje¹, Branko Vuković¹, Dario Faj², Ana Ivković², Ivana Krpan¹,
Vanja Radolić¹, Igor Miklavčić¹ and Aleksandar Živković¹*

¹Department of Physics, University in Osijek, Osijek, Croatia

²Faculty of Medicine, University in Osijek, Osijek, Croatia

marina.poje@fizika.unios.hr

Since linear accelerators for medical radiotherapy do not have active radioactive sources it makes them adequate from the radioprotection point of view. However, when operating at the energy higher than 10 MeV, they can become a source of unwanted neutron radiation in the giant dipole resonance reaction between the photon beam and the accelerator head material. Neutrons created in this reaction are almost isotropic in direction with an energy range between 700 keV and 1 MeV.

During the accelerator installation and different phases of the construction work around the accelerator, a neutron dose rate at several important locations was investigated. Both passive (solid state nuclear track etched detectors – CR 39 and/or LR-115 with the ¹⁰B foil) and active detectors (Thermo Biorem FHT 752) were used.

A higher photon dose rate was measured around the accelerator facility. An effective photon dose reduction was achieved using steel plates. However, this was the secondary source of neutrons in the reaction between the photons and steel plates, since higher values were measured. Neutron reduction was done by additional layers of barite concrete.

A very conservative assessment of the effective dose was done for the medical personnel inside the control room. At the accelerator extreme operating regime (fixed accelerator direction - *gantry angle*, highest energy possible used), the neutron dose rate in the control room of 12 µSv/h was measured. Knowing the number of working days and number of patients per technician (per day), an exposure to the neutron dose of 1,1 mSv per year was calculated.

MJERENJE NEUTRONSKIH I FOTONSKIH BRZINA OKOLIŠNIH EKVIVALENTNIH DOZA U RADIOTERAPIJI

*Marin Gregov¹, Tomislav Bokulić¹, Mihaela Mlinarić¹, Iva Mrčela¹,
Mirjana Budanec¹, Ivica Prlić² i Zvonko Kusić¹*

¹Klinika za onkologiju i nuklearnu medicinu, KBC "Sestre milosrdnice",
Zagreb

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

marin.gregov@kbcsm.hr

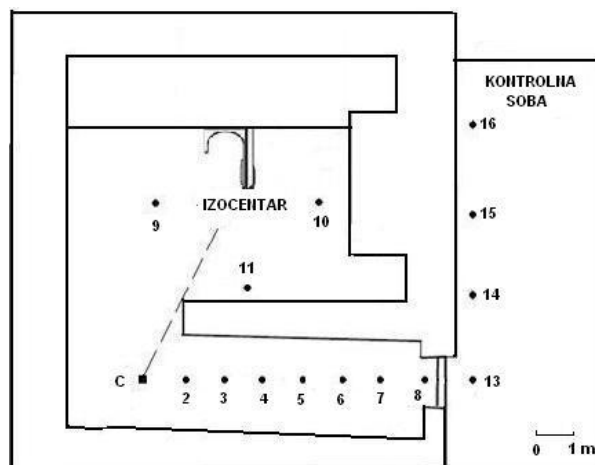
UVOD

Linearni akcelerator (LINAK) se u radioterapiji koristi za kliničko zračenje tumora i može raditi u načinu rada s elektronskim ili fotonskim snopovima. U načinu rada s fotonskim snopovima elektroni udaraju u metu koja se sastoji od materijala s velikim atomskim brojem Z . U međudjelovanju se stvaraju fotoni zakočnog zračenja velike energije. Snop fotona se oblikuje pomoću filtera i kolimatorskog sustava s višelističnim kolimatorom (*multileaf collimator*, MLC). Neutroni nastaju u međudjelovanju elektrona ili fotona s materijalima u glavi akceleratora. Najznačajniji proces za stvaranje neutrona je (γ, n) fotonuklearna reakcija. Neutroni nastaju i u sudarima elektrona s jezgrom u elektronuklearnim reakcijama, ali udarni presjeci za takve reakcije su puno manji nego za fotonuklearne reakcije pa se ti procesi obično zanemaruju. Zbog malih udarnih presjeka također se zanemaruju fotodezintegracije tipa $(\gamma, 2n)$ i (γ, pn) . U fotonuklearnim reakcijama neutroni se stvaraju ako je energija fotona veća od energije vezanja jezgre koja se smanjuje s povećanjem atomskog broja. Udarni presjek za reakciju raste s povećanjem energije fotona do određene maksimalne vrijednosti, nakon čega se smanjuje. Stvaranje neutrona zato ovisi o energiji praga za fotonuklearnu reakciju. Energija praga za najzastupljeniji materijal u glavi LINAK-a, W, je 7.41 MeV [1] dok su za ostale materijale poput Al, Cu i Mn veće od 10 MeV pa se stvaranje neutrona za niže fotonske energije može zanemariti. Fotoni i neutroni doprinose primljenoj efektivnoj dozi pacijenata i osoblja, inženjera radiološke tehnologije, koji rade izvan i unutar prostorije s akceleratorom. Mjerenje brzina doza fotona i neutrona važno je za procjenu godišnjih efektivnih doza kako bi se unaprijedila sigurnost osoblja i osigurala bolja

zaštita radnog prostora u okolini akceleratora. U ovom radu su provedena mjerenja neutronske i fotonske brzine okolišnih ekvivalentnih doza $\dot{H}^*(d)$ (*ambient dose equivalent rate*), unutar i izvan prostorije s LINAK-om, pri radu s fotonskim snopovima nominalne energije od 18 MV.

MATERIJALI I METODE

U Klinici za onkologiju i nuklearnu medicinu, KBC "Sestre milosrdnice" koristi se linearni akcelerator Elekta Synergy S koji može raditi s fotonskim snopovima nominalne energije 6 ili 18 MV. Fotonske $\dot{H}^*(d)$ mjerene su proporcionalnim detektorom Thermo FHT 40G koji radi u energijskom rasponu 36 keV – 4,4 MeV te s mjernim rasponom brzina doza od 10 nSv/h do 100 mSv/h [2]. Neutronske $\dot{H}^*(d)$ mjerene su BF₃ proporcionalnim detektorom Thermo FHT 752. Takav detektor se najčešće koristi za detekciju sporih termalnih neutrona i mjerenja brzine ekvivalentnih doza u rasponu od 1 nSv/h do 0,4 Sv/h za energije neutrona od 0,025 eV do 20 MeV [2]. Detektor uspješno razlikuje neutrone od fotona, a nedostatak tog detektora je slaba učinkovitost za mjerenja malih pozadinskih brzina doza. Nepouzdanosti detektora dane u literaturi procijenjene su na 20 % za fotonska mjerenja i 40 % za neutronska mjerenja [3]. $\dot{H}^*(d)$ su mjerene na visini od 1 m od poda u osam točaka duž sredine labirinta LINAK-a te u pet točaka izvan prostorije, ispred vrata i u kontrolnoj sobi (Slika 1). Udaljenost između točaka u labirintu je bila 1 m, a u točkama izvan prostorije 2 m. Fotonske $\dot{H}^*(d)$ mjerene su i u tri točke oko LINAK-a, na udaljenosti od 2 m od izocentra. U točkama izvan prostorije fotonske $\dot{H}^*(d)$ mjerene su ionizacijskom komorom Gamma-Dosimeter 27091 koja radi u energijskom rasponu od 20 keV do 7,5 MeV. U svim mjerenjima oponašani su klinički uvjeti postavljanjem Aldersonovog fantoma na stol za pacijente te odabirom najčešćih postavki u kliničkom radu akceleratora: broj isporučenih monitorskih jedinica (*monitor unit*, MU; 1 MU = 0,941 cGy) bio je 200 uz automatsku brzinu doze (*automatic dose rate*, ADR) od 556 – 582 MU/min, za kut pokretnog postolja akceleratora (*gantry*) od 0° i veličinu polja fotonskog snopa od 10 × 10 cm². U točki C, koja se definira kao prva točka labirinta vidljiva iz izocentra, dodatno su mjerene $\dot{H}^*(d)$ za različite uvjete rada akceleratora: različiti broj monitorskih jedinica, brzine doze, kutove pokretnog postolja akceleratora i različitih veličina polja fotonskih snopova. Detektori su bili međusobno spojeni i sučeljem povezani na računalo na kojem su prikupljani i spremeni podaci mjerenja.



Slika 1. Plan prostorije linearnog akceleratora s naznačenim točkama mjerenja.

REZULTATI

Neutronske detektor pokazuje dobru izotropnost za mjerenja pri različitim kutovima u odnosu na izocentar pri čemu je kut od 0° definiran kao kut kojeg detektor zatvara s pravcem izocentar – točka C. U rasponu od 0° - 315° na temelju mjerenja procijenjena je nepouzdanost od 9% za neutronske detektor i 10% za fotonske detektor. Mjerenja u točki C pokazuju dobru preciznost detektora za deset uzastopnih mjerenja pod istim uvjetima. Za vrijeme trajanja zračenja maksimalna izmjerena $\dot{H}^*(d)$ fotona je bila 1,2 mSv/h, a neutrona 24,6 mSv/h. Mjerenja u točki C pokazuju da neutronske i fotonske $\dot{H}^*(d)$ ovise o kutu pokretnog postolja LINAK-a. Najveća vrijednost dobivena je za kut od 270° kada je glava akceleratora najbliža točki C. Maksimalna $\dot{H}^*(d)$ za vrijeme zračenja ne ovisi o broju isporučenih monitorskih jedinica, ali se za veći broj monitorskih jedinica povećava vrijeme zračenja što utječe i na veće $\dot{H}^*(d)$ nakon prestanka zračenja. Maksimalna $\dot{H}^*(d)$ ovisi pak o odabiru ADR, za dvostruko veću ADR dobivena je i dvostruko veća maksimalna brzina doze. $\dot{H}^*(d)$ ovisi i o veličini polja fotonskog snopa ali značajnije razlike vidljive su tek pri usporedbi malih i velikih polja. Najveće $\dot{H}^*(d)$ za neutrone dobivene su za mala polja 3×3 i 5×5 cm², a najmanje za polja od 40×40 cm². Isti rezultati dobiveni su i za fotone što je posljedica velikog polja u odnosu na Aldersonov fantom. U točki C provedena su mjerenja nakon prestanka zračenja kako bi se procijenilo vrijeme potrebno da se fotonske $\dot{H}^*(d)$

smanje na vrijednost od oko 0,2 $\mu\text{Sv/h}$. Analizom rezultata dobiveno je da je za to potrebno više od 11 minuta. Duž labirinta fotonske i neutronske $\dot{H}^*(d)$ opadaju s udaljenošću od točke C. U točki 8, uz vrata, mjerene vrijednosti su 167 $\mu\text{Sv/h}$ za fotone i 1009 $\mu\text{Sv/h}$ za neutrone. Jednu minutu poslije prestanka zračenja vrijednosti su bile 2,56 $\mu\text{Sv/h}$ i 0,23 $\mu\text{Sv/h}$. Fotonske doze ovise o toku neutrona i duljini labirinta i dane su s jednadžbom (1) dok neutronske doze ovise o poprečnom presjeku labirinta, S_1 i poprečnom presjeku unutarnjeg ulaza labirinta S_0 te zbroju svih površina prostorije vidljivih iz izocentra, S , kao što je dano jednadžbom (2) [4].

$$D_\varphi = A \cdot \varphi_a \cdot 10^{-\left(\frac{d_2}{a}\right)} \quad (1)$$

$$D_n = B \cdot \varphi_a \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot \left[1.64 \cdot 10^{-\left(\frac{d_2}{b}\right)} + 10^{-\left(\frac{d_2}{T_N}\right)} \right] \quad (2)$$

pri čemu je D_φ fotonska doza, D_n neutronska doza, d_2 udaljenost od točke C, a φ_a tok neutrona dan s jednadžbom

$$\varphi_a = \frac{Q_N}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_N}{2\pi S} + \frac{1.26Q_N}{2\pi S} \quad (3)$$

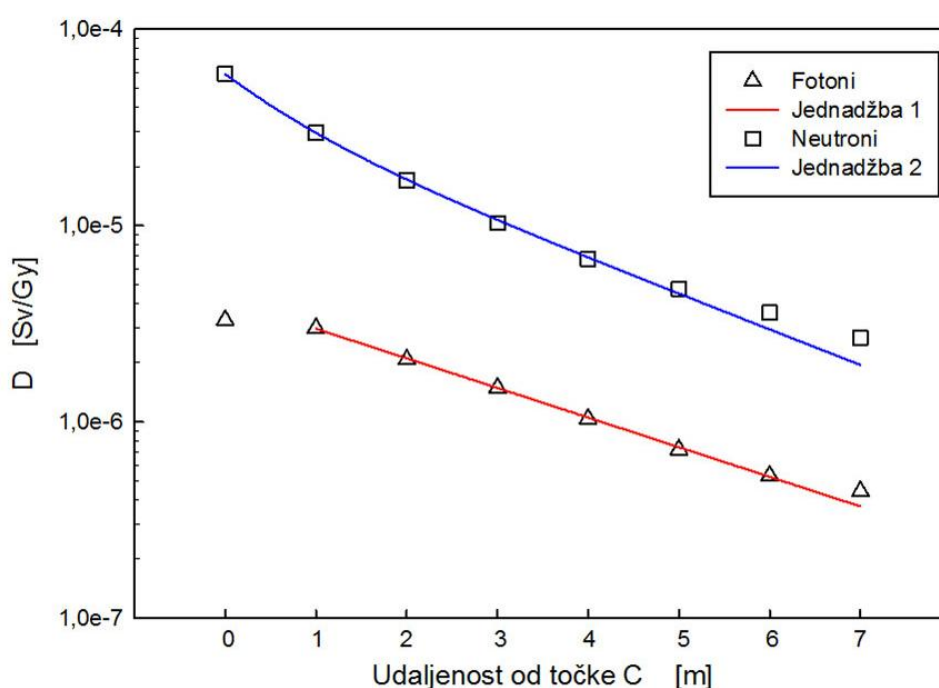
gdje je d_1 udaljenost od izocentra do točke C, Q_N prividna jakost neutronske izvora [5], a $T_N = c \cdot \sqrt{S_1}$ je duljina desetine vrijednosti [4]. Vrijednosti svih parametara dane su u Tablici 1. Iz dobivenih mjerenja i pretvorbom u ekvivalentne fotonske i neutronske doze napravljena je nelinearna prilagodba na dane jednadžbe za $d_2 > 1$ (Slika 1 i Slika 2). te su dobiveni parametri A , B , c i d . U Tablici 2 dani su rezultati zajedno s vrijednostima koje se navode u literaturi [4].

Tablica 1. Dimenzije prostorije i ostali parametri.

Q_N [n/Gy]	φ_a [n/Gym ²]	S [m ²]	S_0 [m ²]	S_1 [m ²]	d_1 [m]	$d_2(\text{max})$ [m]	T_N [m]
$4,6 \cdot 10^{11}$	$5,1 \cdot 10^9$	147	7,83	8,02	4,52	7	5,53

Tablica 2. Vrijednosti parametara dobivenih prilagodbom.

Parametar	Prilagodba	Literatura [4]
A	$13,5 \cdot 10^{-16}$	$5,7 \cdot 10^{-16}$
B	$10,7 \cdot 10^{-15}$	$2,4 \cdot 10^{-15}$
a	6,6	6,2
b	1,7	1,9
c	1,96	2,06



Slika 2. Ekvivalentne doze u točkama labirinta za vrijeme trajanja zračenja sa prilagodbama na jednačbe (1) i (2).

U točkama 9 – 11, za vrijeme zračenja, dobivene fotonske $\dot{H}^*(d)$ su iznosile 2375, 2565 i 2845 $\mu\text{Sv/h}$. Nešto veća vrijednost za točku 11 vjerojatno je posljedica povratnog raspršenja od zida labirinta. Jednu minutu nakon zračenja $\dot{H}^*(d)$ su iznosile 24, 29 i 40 $\mu\text{Sv/h}$. U točkama izvan prostorije (13-16) fotonske $\dot{H}^*(d)$ za vrijeme zračenja su bile veće od neutronske osim u točki ispred vrata gdje je za fotone dobivena $\dot{H}^*(d)$ od 4,0 $\mu\text{Sv/h}$, a za neutrone 14,8 $\mu\text{Sv/h}$. U točkama 14 – 16 $\dot{H}^*(d)$ su redom

1,3, 0,5 i 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ za fotone te 1,2, 0,1 i 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ za neutrone. Dobiveni rezultati slažu se s rezultatima mjerenja koji se navode u literaturi [3] osim rezultata za točku 13.

Iz svih dobivenih rezultata moguće je procijeniti koliku ukupnu godišnju efektivnu dozu primi inženjer radiološke tehnologije koji radi unutar i izvan prostorije s akceleratorom. U najgorem mogućem scenariju pretpostavljeno je da inženjer provede 5 minuta u prostoriji pored akceleratora nakon što se završilo zračenje. Ako inženjer za vrijeme zračenja stoji ispred vrata prostorije (Točka 13), a nakon završetka zračenja odmah ulazi u nju, prima godišnju efektivnu dozu od 1,82 mSv/y. U slučaju da je inženjer za vrijeme zračenja u kontrolnoj sobi, prima efektivnu dozu od 1,65 mSv/y. Obje su efektivne doze puno manje od zakonski određene granične doze od 20 mSv/y.

ZAKLJUČAK

U radioterapiji neutronske i fotonske $\dot{H}^*(d)$ ovise o načinu rada LINAK-a, duljini labirinta, površini prostorije i zidova te o površinskom presjeku unutarnjeg ulaza labirinta i samog labirinta. Prilikom zračenja s 18 MV fotonskim snopovima inženjer radiološke tehnologije može primiti dozu na koju najviše utječe rutina i vrijeme koje inženjer provodi u prostoriji s akceleratorom nakon završetka zračenja. Kako bi se smanjila doza za osoblje nije potrebno uvoditi nove mjere zaštite zidova ili vrata, ali se može smanjiti vrijeme koje inženjer provede u prostoriji ili povećati vrijeme čekanja prije ulaska u prostoriju s akceleratorom.

LITERATURA

- [1] Huang WL, Li QF, Lin YZ. Calculation of Photoneutrons Produced in the Targets of Electron Linear Accelerators for Radiography and Radiotherapy Applications. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 2005; 229: 339-347.
- [2] www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_24720.pdf
- [3] Donadille L et al. Radiation protection of workers associated with secondary neutrons produced by medical linear accelerators. Radiation Measurements 2008; 43: 939-943.
- [4] Wu RK, McGinley PH. Neutron and capture gamma along the mazes of linear accelerator vaults. Journal of Applied Clinical Medical Physics 2003; 4(2): 162-171.
- [5] Followill DS, Stovall MS, Kry SF, Ibbott GS. Neutron source strength measurements for Varian, Siemens, Elekta and GE linear accelerators. Journal of applied Clinical Medical Physics 2003; 4(3): 189-194.

MEASUREMENT OF NEUTRON AND PHOTON AMBIENT EQUIVALENT DOSE RATES IN RADIOTHERAPY

*Marin Gregov¹, Tomislav Bokulić¹ Mihaela Mlinarić¹, Iva Mrčela¹,
Mirjana Budanec¹, Ivica Prlić² and Zvonko Kusić¹*

¹Department of Oncology and Nuclear Medicine,

University Hospital "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

marin.gregov@kbcsm.hr

In radiotherapy with linear accelerator, for photon beam energies higher than 10 MV, secondary neutrons and their associated photons are significantly produced in photonuclear reactions. In this work, measurements of neutron and photon ambient equivalent dose rates $\dot{H}^*(d)$ are carried out inside and outside of the treatment room.

Measurements were performed with the linear accelerator Elekta Synergy S, for 18 MV energy photon beams, with simulation of clinical conditions by placing the Alderson phantom on the patient table during all measurements.

$\dot{H}^*(d)$ were measured with the neutron BF₃ detector Thermo FHT 752, proportional detector Thermo FHT 40G and ionization chamber Gamma-Dosimeter 27091 at a height of 1 m, at points inside the treatment room, along the maze and around the accelerator, and also outside of the treatment room, in front of the door and in the control room.

Results show that $\dot{H}^*(d)$ depends on the gantry angle, delivered number of monitor units and photon beam field size. During the treatment, neutron dose rate is significantly higher than photon dose rate in all points of measurements except in the control room. Neutron and photon dose rates decrease with distance from the isocentre. Neutron dose rate depends also on the cross-section of inner entrance of the maze and cross-section of the maze. Effective dose to the staff is predicted from the results obtained.

PROCJENA OSTATNE RADIOAKTIVNOSTI VANJSKIM MJERENJEM PACIJENATA NAKON RADIOJODNE TERAPIJE

Miroslava Radić-Wolfl¹, Svjetlana Grbac-Ivanković² i Irena Kuburić²

¹Centar za medicinsku fiziku, ²Klinički zavod za nuklearnu medicinu

Klinički bolnički centar Rijeka, Rijeka

mradic@medri.hr

UVOD

Pacijent kojemu je apliciran radioaktivni jod ¹³¹I postaje izvor ionizirajućeg zračenja, a time i potencijalna opasnost za osobe u svojoj blizini. Na osnovi vanjskog mjerenja brzine doze kod pacijenata koji su primili radiojodnu terapiju (RIT) izračunata je ukupna ostatna aktivnost (OA) u tijelu pacijenata. Na taj način je procijenjeno je li OA u prihvatljivim granicama kod otpuštanja pacijenta iz bolnice i možemo li skratiti vrijeme hospitalizacije. Prema pravilniku [1]: "Prijevoz bolesnika do kuće sredstvima javnog prijevoza nije dopušten u slučaju kada je aktivnost radionuklida ¹³¹I unesenog u tijelo bolesnika veća od 800 MBq." Prema preporukama dokumenta IAEA BSS svi bolesnici kojima je aplicirana aktivnost veća od 1100 MBq trebaju biti hospitalizirani. [2]

ISPITANICI I METODE

Obrađeni su podatci od 100 pacijenata, 24 muškaraca i 76 žena, u dobi od 25 – 80 godina, srednje dobi 61 godinu. Od ukupnog broja pacijenata njih 41 imalo je diferencirani karcinom štitnjače (DTC), a ostali benigne bolesti štitnjače: 9 je imalo toksični adenom (TA), 16 je imalo multinodoznu toksičnu strumu (MTS) i 34 je imalo autoimunu hipertireozu (AH).

Brzina doze vanjske izloženosti u $\mu\text{Sv/h}$ mjerena je Veenstra VRM-202 monitorom na udaljenosti 1 m od pacijenta, 20 min nakon *per os* aplikacije radionuklida ¹³¹I i prije otpuštanja iz bolnice.

Za procjenu vrijednosti ostatne aktivnosti u tijelu pacijenta korišten je izraz [3] :

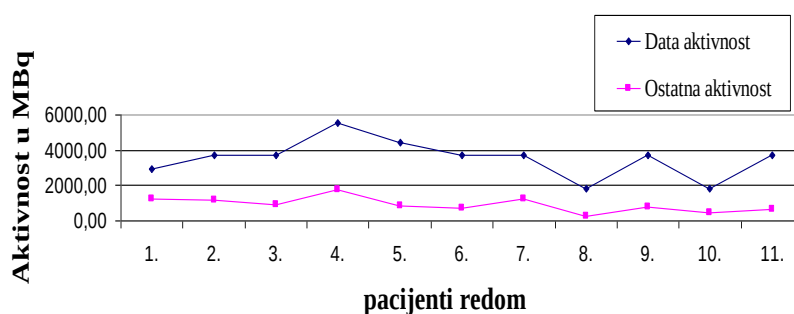
$$OA = A_0 \cdot \dot{D} / \dot{D}_0 \quad (1)$$

gdje je OA ostatna aktivnost, A_0 aplicirana aktivnost, $\dot{D}$ brzina doze kod otpusta a $\dot{D}_0$ brzina doze 20 min nakon aplikacije ¹³¹I [2].

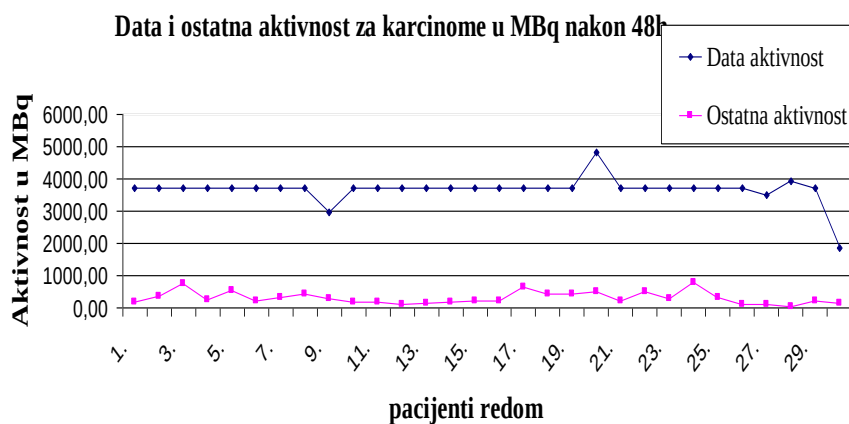
REZULTATI

Na Slikama 1 – 5 je prikaz aplicirane i ostatne aktivnosti. Za karcinome štitnjače različiti pacijenti su mjereni nakon 24 i nakon 48 sati. Najveća ostatna aktivnost kod pacijenata s karcinomom štitnjače nakon 48 sati iznosila je 800 MBq (Slika 2).

Data i ostatna aktivnost za karcinome u MBq nakon 24h

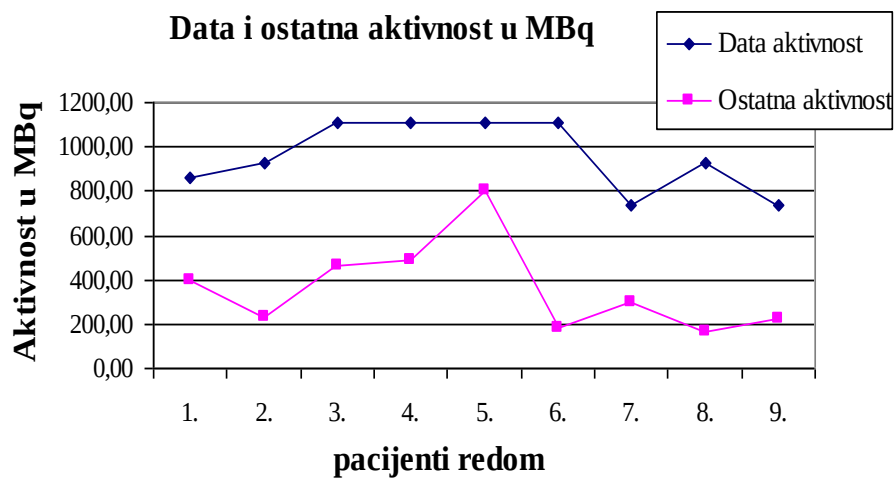


Slika 1. Dana i ostatna aktivnost nakon 24 sata kod pacijenata s karcinomom štitnjače



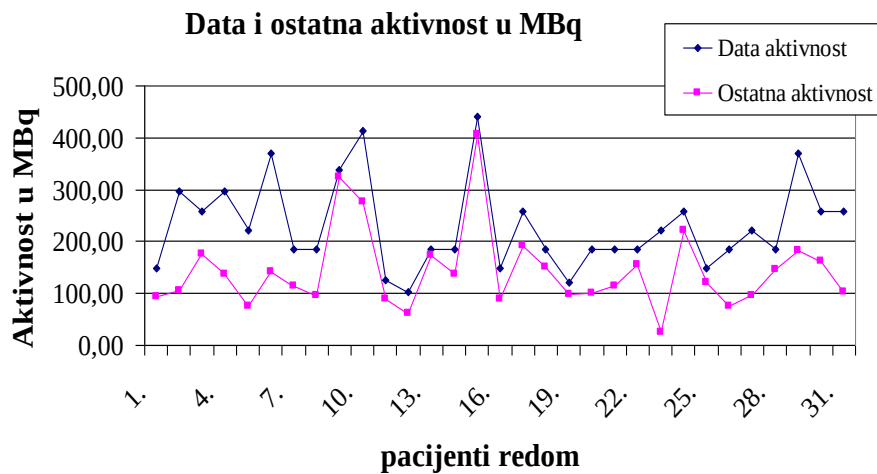
Slika 2. Dana i ostatna aktivnost nakon 48 sati kod pacijenata s karcinomom štitnjače

Kod pacijenata s toksičnim adenomom date aktivnosti su bile od 740 do 1110 MBq ovisno o akumulaciji ^{131}J s kojom su obrnuto proporcionalne. Nakon 48 sati, svi su imali ostatnu aktivnost ispod 800 MBq (Slika 3).



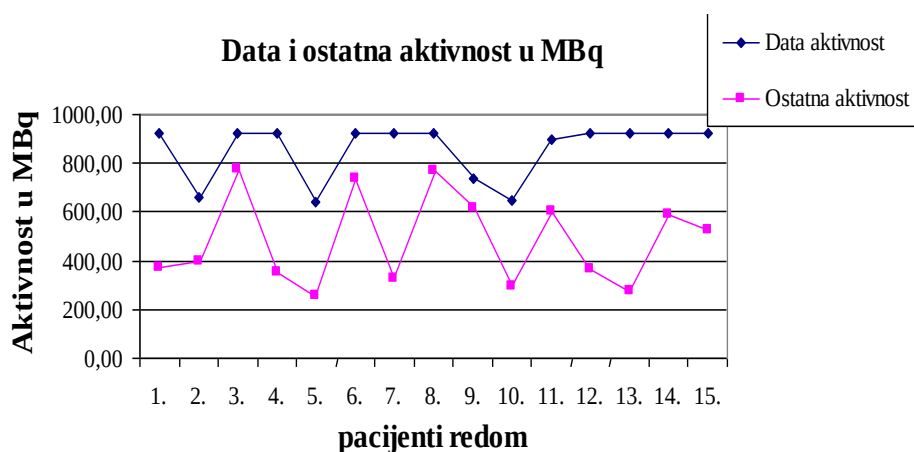
Slika 3. Dana i ostatna aktivnost nakon 48 sati kod pacijenata s toksičnim adenomom

Kod pacijenata s autoimunom hipertireozom dane aktivnosti su manje od 450 MBq, a ostatne manje od 410 MBq (Slika 4).

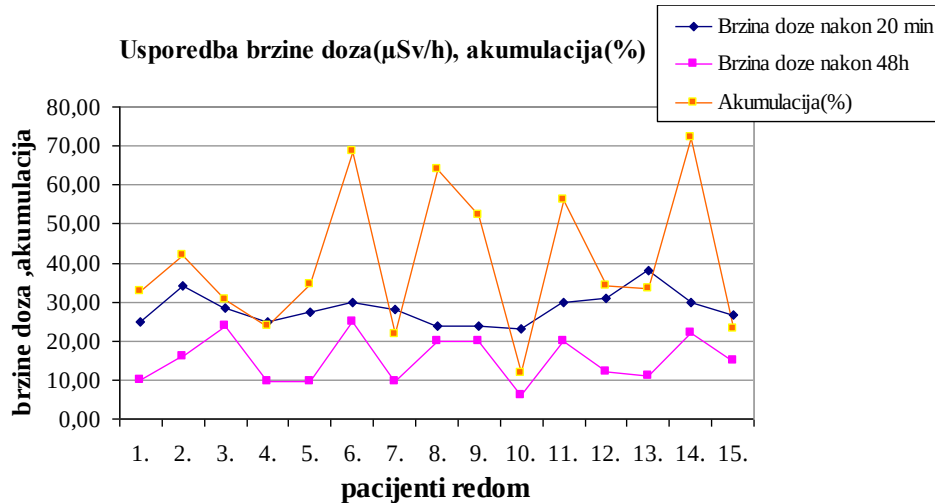


Slika 4. Dana i ostatna aktivnost nakon 48 sati kod pacijenata s autoimunom hipertireozom

Kod pacijenata s multinodoznom toksičnom strumom najveća ostatna aktivnost je bila 800 MBq (Slika 5) i proporcionalna je s akumulacijom joda u štitnjači (Slika 6).



Slika 5. Dana i ostatna aktivnost nakon 48 sati kod pacijenata s multinodoznom toksičnom strumom.



Slika 6. Usporedba brzine doza i akumulacije kod pacijenata s multinodoznom toksičnom strumom.

Dobiveni rezultati pokazuju da je 86 % pacijenata kod otpusta imalo brzinu doze $< 30 \mu\text{Sv/h}$ na udaljenosti od jednog metra, odnosno OA ispod 800 MBq. Srednja vrijednost OA prilikom otpuštanja iz bolnice za pacijente s karcinomom bila je 449,2 MBq, s toksičnim adenomom 362 MBq, multinodoznom toksičnom strumom 487,2 MBq, te autoimunom hipertireozom 147,4 MBq.

ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati mogu biti čimbenik u određivanju vremena boravka pacijenata u zdravstvenoj ustanovi. Adekvatna zdravstvena skrb pacijenta podvrgnutog radiojodnoj terapiji uključuje edukaciju bolesnika s osvrtom na sigurnost okoline bolesnika i obitelji [2,3]. Količina ostatne aktivnosti nakon radiojodne terapije ne ovisi samo o danoj aktivnosti ^{131}I , već o dijagnozi, akumulaciji joda u štitnjači i brzini izlučivanja iz organizma (biološkom poluvremenu). Dobiveni rezultati ukazuju na potrebu individualnog pristupa određivanja vremena boravka pacijenta u zdravstvenoj ustanovi, a odluka se treba temeljiti na fizikalnim mjerenjima.

LITERATURA

- [1] Narodne novine, br 64/06. Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima od 20. listopada 2006.
- [2] International Atomic Energy Agency. RPOP, Radiation Protection in Nuclear Medicine, Part 08, 2010-2013.
- [3] International Atomic Energy Agency, Safety Reports Series No. 63. Release of Patients after Radionuclide Therapy. Vienna, 2009.

EVALUATION OF RETAINED ACTIVITY BY EXTERNAL MEASUREMENT OF THE PATIENTS AFTER RADIOIODINE THERAPY

Miroslava Radić-Wolfl¹, Syjetlana Grbac-Ivanković² and Irena Kuburić²

¹ Medical Physics Department, University Hospital Rijeka

² Department of Nuclear Medicine, University Hospital Rijeka
Rijeka, Croatia

mradic@medri.hr

The aim of the study was to calculate the entire retained activity (A_r) in the patient's body on the basis of external measurement of the dose rate. Patients were measured 20 minutes after *per os* application of iodine - ^{131}I , and prior to discharge after radioiodine therapy (RIT). We evaluate if the A_r is within the permitted limit before releasing patients from hospital.

The measurements were obtained on 100 patients, in the age from 25 to 80 years. The radiation doses from external exposures have been measured with the area monitor on the 1 m distance from patient.

On the day of discharge, 86 patients had A_r under 800 MBq. From these results we can see that the amount of A_r after RIT depends not only on the respective activities of ^{131}I , but also on diagnosis, iodine thyroid uptake and the speed of excretion (biological $T_{1/2}$). Individual approach based on physical measurements is necessary in order to decide upon the hospital stay duration.

RANI UČINCI RADIOTERAPIJE NA RAZINI OŠTEĆENJA GENOMA U BOLESNIKA LIJEČENIH OD RAKA PROSTATE I SEMINOMA TESTISA

*Marija Gamulin¹, Mislav Grgić¹, Snježana Ramić², Vera Garaj-Vrhovac³
i Nevenka Kopjar³*

¹Klinički bolnički centar Zagreb, Klinika za onkologiju, Zagreb

²Klinika za tumore, Zagreb

³ Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

marija.gamulin@zg.t-com.hr

UVOD

Svrha liječenja onkoloških bolesnika primjenom zračenja je što bolja lokalna kontrola i izlječenje. Međutim, ionizirajuće zračenje, primijenjeno u terapijske svrhe, osim oštećenja u tumorskom tkivu, izaziva i brojne promjene u ne-tumorskim stanicama i tkivima. Populacije bolesnika liječenih primjenom radioterapije osjetljivije su i pokazuju povišene razine genomskih oštećenja [1]. Nestabilnosti genoma u limfocitima periferne krvi mogući su pokazatelj povećanog rizika od relapsa bolesti kao i pojave sekundarnih tumora [2]. Cilj ovog istraživanja bio je procijeniti rane učinke radioterapije u bolesnika liječenih od raka prostate i seminoma testisa, na osnovi kvalitativnih i kvantitativnih promjena dva osjetljiva biomarkera: komet-testa i analize strukturnih aberacija kromosoma te utvrditi postoji li i kakva je ovisnost njihovih razina s primijenjenim tehnikama i volumenom ozračivanja dvodimenzijske (2D) radioterapije (bolesnici sa seminomom testisa) i 3-dimenzijском konformalnom tehnikom (3DCRT) zračenja (bolesnici s rakom prostate).

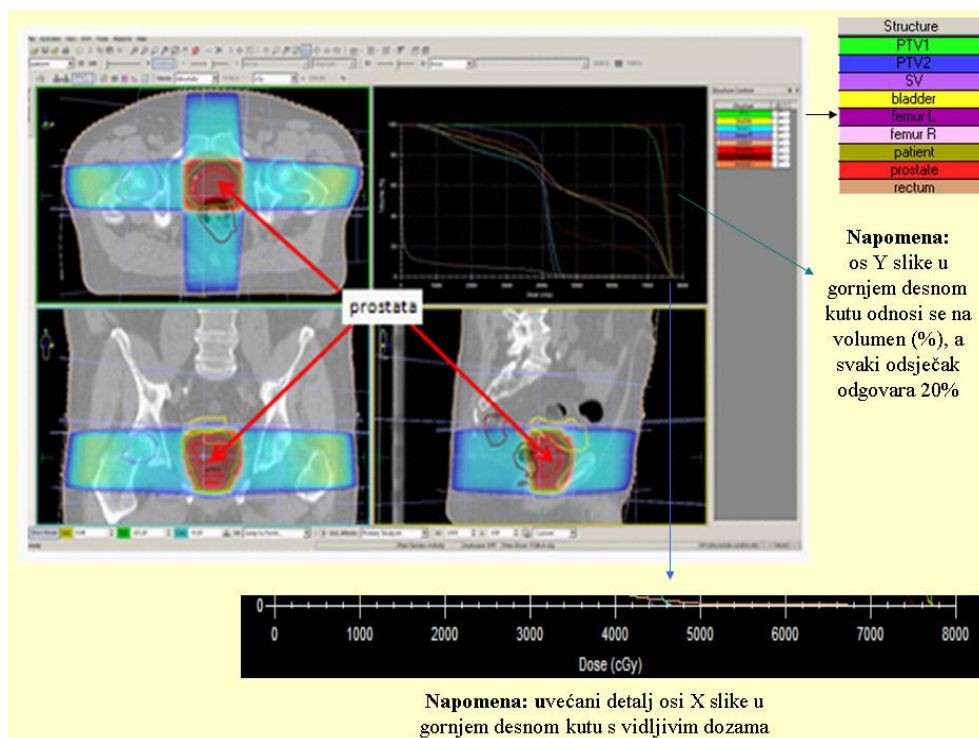
ISPITANICI I METODE

Izabrane su dvije skupine ispitanika ranih stadija bolesti, oboljeli od raka prostate (N = 10, dob 62 - 75 g.) i seminoma testisa (N = 10, dob 23 - 41 g.). Od ukupno 10 bolesnika s rakom prostate kod 7 je učinjena biopsija prostate i dobiven standardni patohistološki nalaz raka prostate, dok je kod 3 bolesnika provedena radikalna prostatektomija i dobiven standardni patohistološki nalaz raka prostate, te su bolesnici praćeni, a indikacija za zračenje je postavljena kod PSA porasta između 0,2 do 0,5 ng/ml [3]. Svi bolesnici s rakom prostate su zraćeni 3-dimenzijском konformalnom radioterapijom na područje prostate (7 bolesnika, radikalno zraćenje s

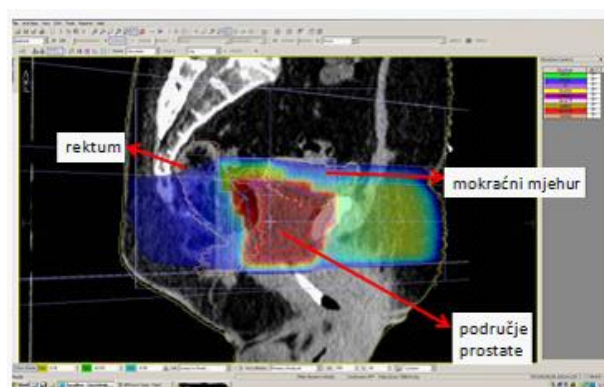
dozom zračenja od 74 Gy / 37 fr.) te na područje ležišta prostate i seminalnih vezikula (3 bolesnika, salvage radioterapija nakon porasta PSA s dozom zračenja 70 Gy / 35 fr.) fotonima energije 18 MV [4,5]. Bolesnici sa seminomom testisa su radikalno operirani (svima je odstranjen testis s tumorom, što je patohistološki potvrđeno) [6], a potom su liječeni adjuvantnom radioterapijom na područje paraaortalnih limfnih čvorova i istostranih ilijačnih limfnih čvorova 2D tehnikom putem 2 nasuprotna AP-PA polja fotonima energije 15 MV s dozom zračenja 25 Gy / 16 dnevnih frakcija [7]. Svim bolesnicima je uzorkovana periferna krv ($V = 5$ ml) prije zračenja (prvo uzorkovanje) te unutar 2 sata nakon primitka prve frakcije zračenja (drugo uzorkovanje). Jedan dio krvi korišten je za izradu preparata za alkalni komet test, koji je proveden sukladno standardnom protokolu [8], dok je ostala količina krvi u sterilnim uvjetima nasadena u hranjivi medij za analizu strukturnih aberacija kromosoma [9]. Mikrogelovi su analizirani pomoću fluorescencijskog mikroskopa povezanog s računalnim sustavom za analizu slike Comet assay II (Perceptive Instruments, UK). Po svakom je uzorku izmjereno 100 kometa, a kao parametar za procjenu oštećenja DNA korištena je dužina repa kometa izražena u mikrometrima. Analiza strukturnih aberacija kromosoma u limfocitima provedena je pomoću svjetlosnog mikroskopa, pod povećanjem 1000 puta. U svakom uzorku pregledano je 100 metafaza prve in vitro diobe u kojima su utvrđene vrste aberacija te njihov ukupan broj.

REZULTATI I RASPRAVA

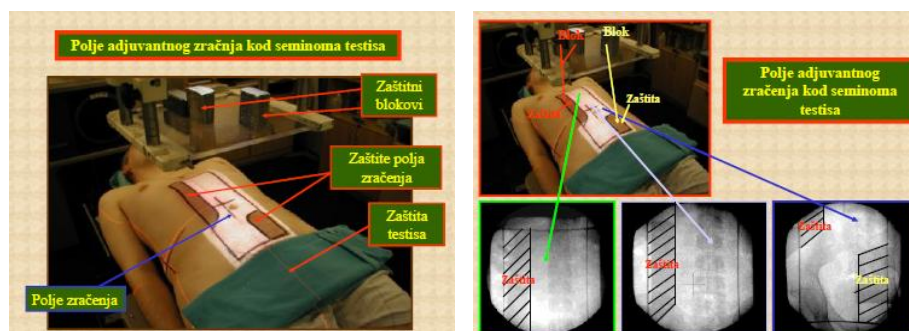
Radioterapijski postupci pri ozračivanju bolesnika s lokalnim rakom prostate korištenjem konformalne 3-dimenzijske radioterapije (3D-CRT) imaju cilj dati što veću dozu na željeni volumen zračenja (prostata ili ležište prostate) uz što bolju zaštitu okolnih organa (organi rizika) primarno rektuma i mokraćnog mjehura, a dobro je znati i apliciranu dozu zračenja na glave bedrene kosti. Polja zračenja raka prostate nakon biopsije prostate su prikazana na Slici 1, a polja zračenja ležišta prostate i seminalnih vezikula nakon radikalne prostatektomije su prikazana na Slici 2. Radioterapijski postupci pri ozračivanju bolesnika sa seminomom testisa na područje paraaortalnih i istostranih limfnih čvorova provedeni su 2D tehnikom s dva nasuprotna AP-PA polja zračenja na način da se bolesniku zaštiti preostali testis i oba bubrega. Polja adjuvantnog zračenja kod seminoma testisa prikazana su na Slici 3.



Slika 1. Prikaz polja radikalnog zračenja prostate 3-dimenzijskom konformalnom tehnikom, te grafički prikaz postotaka pojedine doze zračenja na okolnim organima (prostata, mokraćni mjehur, rektum, glave bedrene kosti). Izvor: KBC Zagreb, Klinika za onkologiju.



Slika 2. Prikaz polja salvage zračenja 3-dimenzijskom konformalnom tehnikom. Zračeno je područje ležišta prostate nakon prostatektomije. Izvor: KBC Zagreb, Klinika za onkologiju.



Slika 3. Polja adjuvantnog zračenja kod seminoma testisa.

Usporedba grupnih srednjih vrijednosti za dužinu repa kometa leukocita i vrste kromosomskih aberacija u limfocitima periferne krvi ispitanika s rakom prostate i seminomom testisa liječenih primjenom radioterapije prikazana je u Tablici 1. Pojedinačni rezultati obje analize prikazani su u Tablici 2.

Tablica 1. Usporedba grupnih srednjih vrijednosti za dužinu repa kometa leukocita i vrste kromosomskih aberacija u limfocitima periferne krvi ispitanika s rakom prostate i seminomom testisa.

Skupina	Prije radioterapije		Nakon radioterapije	
	Dužina repa (μm) / 100 k.	Kromosomske aberacije / 100 m.	Dužina repa (μm) / 100 k.	Kromosomske aberacije / 100 m.
Rak prostate	13,61±0,07	L ₁ : 1,6±0,37 L ₂ : 0,30±0,21 af: 1,00±0,33 dc: 0,20±0,13 ΣCA: 3,10±0,28 St. s CA: 2,80±0,29	15,43±0,15*	L ₁ : 1,10±0,31 L ₂ : 0,10±0,10 af: 3,50±0,27 dc: 0,40±0,22 tc: / r: 0,10±0,10 ΣCA: 5,20±0,25 St. s CA: 4,60±0,16
Seminom testisa	21,31±0,31	L ₁ : 0,80±0,20 L ₂ : 0,60±0,27 af: 0,60±0,22 dc: 0,10±0,10 ΣCA: 2,10±0,31 St. s CA: 2,00±0,33	25,76±0,58*	L ₁ : 2,30±0,45 L ₂ : 0,50±0,22 af: 3,20±0,47 dc: 1,20±0,39 tc: 1,20±0,39 r: / ΣCA: 7,40±0,93 St. s CA: 5,00±0,60

k. - komet; m. - metafaza; CA - kromosomske aberacije; L₁ - kromatidni lom; L₂ - kromosomski lom; af - acentrični fragment; dc - dicentrični kromosom, tc - tricentrični kromosom; r - prstenasti kromosom; * P < 0,05; Mann-Whitney U-test

Tablica 2. Rezultati alkalnog komet testa i analize kromosomskih aberacija u uzorcima periferne krvi ispitanika s rakom prostate i seminomom testisa liječenih primjenom radioterapije.

RAK PROSTATE					SEMINOM TESTISA				
Br. Dob Ostalo*	Prije RT		Nakon RT		Br. Dob Ostalo	Prije RT		Nakon RT	
	TL μm Sr. vr. $\pm$ SE Max.	Vrste CA Σ CA/100 st. St. s CA (%)	TL μm Sr. vr. $\pm$ SE Max.	Vrste CA Σ CA/100 st. St. s CA (%)		TL μm Sr. vr. $\pm$ SE Max.	Vrste CA Σ CA/100 st. St. s CA (%)	TL μm Sr. vr. $\pm$ SE Max.	Vrste CA Σ CA/100 st. St. s CA (%)
I. 67 P, T ⁺	14,86 $\pm 0,14$ 18,59	1L ₁ , 1af, 1dc 2 2	15,78 $\pm 0,46$ 36,54	3L ₁ , 2af, 1r 6 5	I. 32 P, T ⁻	13,26 $\pm 0,13$ 16,03	1L ₁ , 1af 2 2	14,90 $\pm 0,33$ 30,77	3L ₁ , 1L ₂ , 3af 7 7
II. 68 N, T ⁺	12,40 $\pm 0,12$ 16,03	1L ₁ , 2af, 1dc 3 3	12,90 $\pm 0,14$ 18,59	4af, 1dc 5 4	II. 37 N, T ⁺	16,01 $\pm 0,24$ 24,36	1L ₁ , 2af 3 3	16,65 $\pm 0,30$ 27,56	1L ₂ , 3af 4 4
III. 62 P, T ⁺	13,63 $\pm 0,20$ 22,44	3L ₁ 3 3	17,49 $\pm 0,50$ 53,20	4af 4 4	III. 31 P, T ⁺	21,38 $\pm 0,36$ 33,33	1L ₁ , 1L ₂ 2 2	20,97 $\pm 0,31$ 30,13	1L ₁ , 6af, 4dc 11 6
IV. 70 P, T ⁺	13,61 $\pm 0,17$ 18,59	2L ₁ 2 2	14,55 $\pm 0,19$ 21,15	1L ₁ , 4af 5 4	IV. 41 P, T ⁻	31,05 $\pm 1,79$ 93,59	1L ₁ 1 1	42,71 $\pm 1,78$ 81,41	4L ₁ , 2L ₂ , 3af, 1dc, 1tc 11 9
V. 71 P, T ⁻	12,56 $\pm 0,12$ 16,03	2L ₁ , 1af 2 2	11,75 $\pm 0,09$ 15,38	1L ₁ , 3af, 1dc 5 4	V. 33 N, T ⁻	16,58 $\pm 0,29$ 22,44	1af 1 1	14,92 $\pm 0,40$ 39,74	2L ₁ , 2af, 2dc 6 4
VI. 66 N, T ⁻	14,15 $\pm 0,19$ 23,72	1L ₁ , 1L ₂ , 1af 3 3	21,20 $\pm 0,90$ 55,77	1L ₁ , 1L ₂ , 3af 5 5	VI. 37 N, T ⁻	18,94 $\pm 0,42$ 31,41	1L ₁ , 1af 2 1	18,49 $\pm 0,24$ 25,64	1L ₁ , 1L ₂ , 3af 5 3
VII. 75 N, T ⁻	12,61 $\pm 0,16$ 19,87	3af 3 3	12,38 $\pm 0,11$ 15,38	2L ₁ , 3af 5 5	VII. 40 N, T ⁺	31,02 $\pm 1,30$ 76,92	2L ₂ 2 2	62,07 $\pm 2,97$ 146,15	1L ₁ , 2L ₂ , 1dc 4 4
VIII. 73 N, T ⁻	12,74 $\pm 0,21$ 28,20	3L ₁ , 2af 5 5	17,03 $\pm 0,33$ 37,82	1L ₁ , 4af, 2dc 7 5	VIII. 37 P, T ⁻	20,91 $\pm 0,32$ 28,85	1L ₁ , 2L ₂ 3 3	22,98 $\pm 0,37$ 37,18	3L ₁ , 1L ₂ , 5af, 2dc, 1tc 12 5
IX. 66 N, T ⁺	12,53 $\pm 0,22$ 31,41	2L ₂ 2 2	14,08 $\pm 0,19$ 20,51	5af 5 5	IX. 26 N, T ⁻	20,70 $\pm 0,59$ 46,15	2L ₁ , 1L ₂ , 1dc 4 4	20,74 $\pm 0,46$ 41,02	5L ₁ , 1af, 1dc 7 3
X. 72 P, T ⁺	17,00 $\pm 0,19$ 23,08	3L ₁ 3 3	17,13 $\pm 0,23$ 25,64	2L ₁ , 3af 5 5	X. 23 P, T ⁻	23,22 $\pm 0,74$ 50,00	1af 1 1	23,22 $\pm 0,74$ 67,95	2L ₁ , 4L ₂ , 1dc 7 5

RT- radioterapija; *Ostalo: zloćudni tumor u obitelji (T); N- nepušač; P- pušač; TL-dužina repa kometa; Max.- najveća izmjerena vrijednost dužine repa kometa u pojedinačnom uzorku; CA- kromosomske aberacije; L₁- kromatidni lom; L₂-kromosomski lom; af-acentrični fragment; dc-dicentrični kromosom, tc-tricentrični kromosom; r-prstenasti kromosom

Premda se radioterapijski postupci pomno planiraju kako bi se što više zaštitili okolni zdravi organi (organi od rizika) pri zračenju seminoma testisa (bubrezi i preostali testis), te pri zračenju područja prostate (rektum, mokraćni mjehur), rani učinci izloženosti zračenju, a osobito primarna oštećenja DNA koja se detektiraju metodom komet-testa mjerljivi su već nakon primjene prve frakcije zračenja. Uočene interindividualne razlike uvjetovane su različitom osjetljivosti genoma i učinkovitošću mehanizama popravka DNA. Bez obzira što se radioterapija aplicira lokalno, limfociti iz ozračenog dijela tijela u konačnici dopijevaju u perifernu krv [9], a onaj dio stanica u kojima su se inducirala oštećenja DNA može se učinkovito detektirati primjenom obje metode korištene u ovom istraživanju.

ZAKLJUČAK

Na osnovi provedenog istraživanja utvrdili smo da je razina primarnih oštećenja DNA te učestalost strukturnih aberacija kromosoma u limfocitima viša u skupini bolesnika sa seminomom testisa liječenih primjenom radioterapije. Dva su glavna razloga kojima se mogu protumačiti takvi rezultati: 1. kod adjuvantnog zračenja seminoma testisa prvog stadija znatno je veći volumen zračenja u odnosu na volumen zračenja kod bolesnika s rakom prostate, 2. konformalna 3-dimenzijska tehnika zračenja bolje štiti okolne organe od rizika u odnosu na 2-dimenzijsku tehniku zračenja. Kako je već jednokratno ozračivanje potaknulo nastanak mjerljivih primarnih oštećenja DNA i kromosomskih aberacija, u budućim istraživanjima na istim populacijama, oba će se biomarkera pratiti i u kasnijim fazama radioterapije, jer njihove povišene vrijednosti mogu upućivati na nestabilnost genoma i povećani genetički rizik nakon uspješno završenog liječenja.

LITERATURA

- [1] Müller WU, Bauch T, Streffer C, von Mallek D. Does radiotherapy affect the outcome of the comet assay? Br J Radiol 2002;75:608-14.
- [2] Tucker JD, Preston RJ. Chromosome aberrations, micronuclei, aneuploidy, sister chromatid exchanges, and cancer risk assessment. Mutat Res 1996;365:147-59.
- [3] NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. Prostate Cancer, V 1.2013: http://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/prostate.pdf
- [4] Heidenreich A, Bellmunt J, Bolla M, i sur; European Association of Urology. EAU guidelines on prostate cancer. Part 1: screening, diagnosis, and treatment of clinically localised disease. Eur Urol 2011;59:61-71.

- [5] Horwich A, Hugosson J, de Reijke T, Wiegel T, Fizazi F, Kataja K & Panel Members. Prostate cancer: ESMO Consensus Conference Guidelines 2012. *Annals of Oncology* 2013;00:1–22.
- [6] National Comprehensive Cancer Network v 1.2012. Clinical Practice Guidelines in Oncology. Testicular Cancer. <http://www.nccn.org>
- [7] Jones RH, Vasey PA. Part I: Testicular Cancer – management of early disease. *Lancet Oncol* 2003;4:730-737.
- [8] Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988;175:184-91.
- [9] International Atomic Energy Agency, 2001. Technical Report Series 405, Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment. IAEA, Vienna.

EARLY EFFECTS OF RADIOTHERAPY ON GENOME DAMAGE IN PATIENTS WITH PROSTATIC CANCER AND TESTICULAR SEMINOMA

Marija Gamulin¹, Mislav Grgić¹, Snježana Ramić², Vera Garaj-Vrhovac³ and Nevenka Kopjar³

¹Department of Oncology, Zagreb Clinical Hospital Center, Zagreb, Croatia

²The University Hospital for Tumors, Zagreb, Croatia

³Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
marija.gamulin@t-com.hr

Early effects of postoperative radiotherapy on genome damage in peripheral blood lymphocytes were studied in patients with prostatic cancer (PC) and testicular seminoma (TS) using the alkaline comet assay and analysis of structural chromosome aberrations (CA). Blood samplings were done prior to radiotherapy and after the administration of the first radiation dose. In the majority of subjects from both study groups, we found an impaired integrity of the lymphocyte genome after irradiation. Patients with TS had increased levels of both primary DNA damage and CA in comparison with PC patients. There are two possible explanations for our findings: 1) the volume of adjuvant irradiation in the early stage of TS is much larger than the volume of irradiation delivered in patients with PC; and 2) three-dimensional (3D) conformal radiation therapy offers better protection for adjacent (risk) organs than two-dimensional (2D) radiation therapy.

PREGLED OSOBNIH DOZA DJELATNIKA KBC "SESTRE MILOSRDNICE" U DESETOGODIŠNJEM RAZDOBLJU

*Iva Mrčela¹, Tomislav Bokulić¹, Mirjana Budanec¹, Marija Surić Mihić²,
Marin Gregov¹, Mihaela Mlinarić¹ i Zvonko Kusić¹*

¹Klinički bolnički centar "Sestre milosrdnice", Zagreb

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

iva.mrcela@kbcsm.hr

UVOD

Upotreba ionizirajućeg zračenja u medicini u stalnom je porastu kroz povećanje broja pretraga na postojećim uređajima, ali i zbog uvođenja novih dijagnostičkih i terapijskih primjena ionizirajućeg zračenja. Stoga je posebno važno sustavno praćenje osobnih doza izloženih radnika radi optimizacije posla i smanjenja rizika, odnosno postizanja ALARA (*as low as reasonably achievable*) načela.

U ovom radu analizirane su osobne doze djelatnika bolnice u posljednjih deset godina, prema vrsti posla i izvora ionizirajućeg zračenja kojem su izloženi s osvrtom na vremenske trendove. Osim toga, promatrao se i utjecaj izmjena u mjernim postupcima te vrsti dozimetara koji su se u ovom razdoblju upotrebljavali za osobnu dozimetriju.

MATERIJALI I METODE

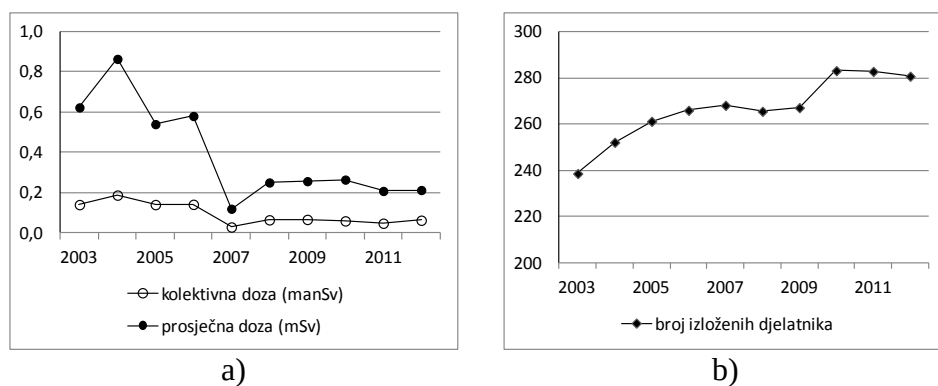
U KBC "Sestre milosrdnice" u posljednjih deset godina vodi se detaljna evidencija mjesečnih očitavanja osobnih dozimetara prema izvješćima tehničkih servisa koji provode osobnu dozimetriju. Mjesečno se očita u prosjeku 280 osobnih dozimetara izloženih djelatnika koji obavljaju različite poslove s ionizirajućim zračenjem. Uobičajeno je djelatnike prema vrsti poslova podijeliti u četiri osnovne skupine [1-3]: nuklearna medicina, radioterapija (vanjska i brahiterapija), opća dijagnostička radiologija i intervencijska radiologija. Osobe koje rade u nuklearnoj medicini izložene su otvorenim izvorima zračenja koji pretežno emitiraju gama i beta zračenje u rasponu energija od 100 keV do 1 MeV. To su uglavnom ^{99m}Tc, ¹³¹I, ²⁰¹Tl i ⁶⁷Ga za oslikavanje, te ¹²⁵I i ⁵⁷Cr za laboratorijsku dijagnostiku. Manji dio izloženih osoba radi i s rendgenskim zračenjem (RDG) na SPECT-CT uređaju i uređaju za denzitometriju kostiju. U vanjskoj radioterapiji, do

2010. godine koristio se uređaj sa zatvorenim radioaktivnim izvorom ^{60}Co , dok je 2012. godine započeo s radom novi linearni akcelerator s fotonskim snopovima od 6 i 18 MV. Inženjeri radiološke tehnologije koji rade na vanjskoj radioterapiji izloženi su i rendgenskom zračenju konvencionalnog i CT uređaja za simulaciju radioterapijskih pacijenata te sudjeluju u postupcima vezanim uz brahiterapiju zatvorenim izvorom ^{192}Ir . Konvencionalni rendgenski uređaji, CT uređaji i mamografi izvor su ionizirajućeg zračenja u dijagnostičkoj radiologiji. U intervencijsku radiologiju uključene su osobe koje rade na posebnim rendgenskim uređajima za intervencijske postupke te osobe koje su prisutne pri obavljanju operativnih zahvata uz pomoć dijaskopije s pokretnim RDG uređajima.

Do 2010. godine mjerenje osobnih doza provodilo se filmskim dozimetrima (FD) tipa Agfa Personal Monitoring Film 342. Filmovi su se nosili u posebnim kazetama tipa T6821, PTW Freiburg, s četiri metalna filtra (Cu i Pb), različitih debljina za energijsku diskriminaciju fotonskih doza. Doze su se određivale prema proizvođačkim kalibracijskim krivuljama. Od 2010. godine dozimetrija se provodi pomoću termoluminiscentnih dozimetara (TLD), Panasonic UD 802A. Iako sadrže do četiri aktivna detektorska elementa, za rutinsku dozimetriju uzimaju se samo očitavanja jednog $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ elementa ispod plastičnog filtra zbog relativno konstantnog odziva u području energija fotona od 100 keV – 10 MeV [5]. TLD-i se kalibriraju godišnje na referentnoj seriji od 20 komada, u sekundarnom standardnom laboratoriju, a stabilnost cijelog sustava dozimetara i TLD čitača podešava se jednom mjesečno s izvorom ^{137}Cs na $\pm 5\%$ od vrijednosti dobivenih pri kalibraciji. Osobni dozimetri su kalibrirani prema važećim propisima, tako da mjere osobni dozni ekvivalent $H_p(10)$ vanjskog ozračenja ako se nose na lijevoj strani prsa ispod zaštitne odjeće.

REZULTATI

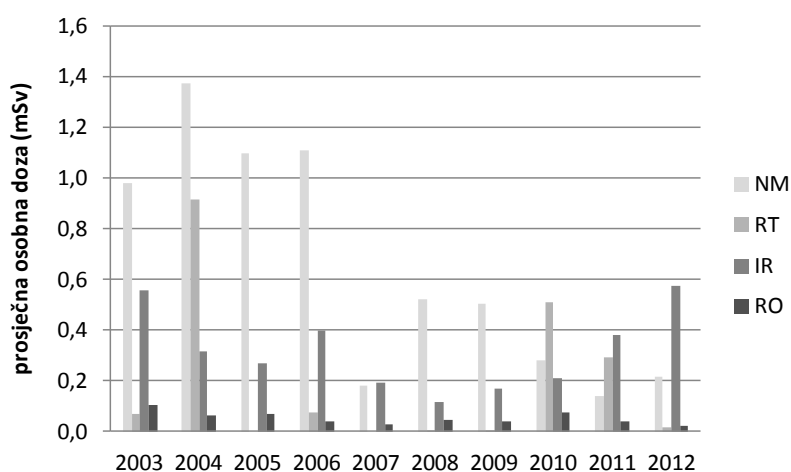
Očitavanja osobnih dozimetara pokazuju trend smanjenja ukupne primljene doze, odnosno kolektivne doze a isto tako i prosječne osobne doze (Slika 1a), dok se broj izloženih djelatnika povećao (Slika 1b). Prosječne osobne doze po skupinama u cijelom razdoblju od 2003. do 2013. godine te posebno u razdoblju od 2010. do 2013. godine kada je uvedena TL dozimetrija (Tablica 1), usporedive su s rezultatima iz literature [1-3]. Raspodjela prosječnih doza po godinama za osnovne skupine izloženih djelatnika dana je na Slici 2.



Slika 1. a) godišnje doze svih izloženih djelatnika: ● kolektivna doza, izražena u mSv, ○ prosječne osobne doze u mSv. b) prosječni broj izloženih djelatnika

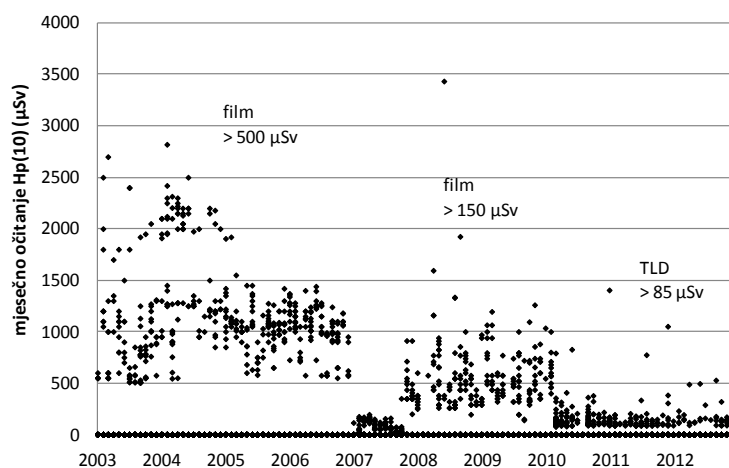
Tablica 1. Prosječne osobne godišnje doze u mSv. Srednja vrijednost i standardna devijacija srednje vrijednosti.

	2003-2013	FD 2003-2010	TLD 2010-2013
NM nuklearna medicina	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,21 ± 0,02
RT radioterapija	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,27 ± 0,08
IR intervencijska radiologija	0,32 ± 0,05	0,29 ± 0,05	0,39 ± 0,06
RO dijagnostička radiologija	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01



Slika 2. Prosječne osobne godišnje doze po skupinama

Povećanje prosječnih doza uočeno je u intervencijskoj radiologiji, što je izravna posljedica povećanja broja intervencija. U 2011. godini osnovan je novi odjel za vaskularnu i intervencijsku radiologiju te je instaliran još jedan uređaj, uz postojeće koji su se upotrebljavali za kardiološke i gastroenterološke intervencijske postupke. U ovoj skupini izmjerene su i najveće pojedinačne mjesečne doze te su provedena dodatna ispitivanja uvjeta zaštite od zračenja. Povećana prosječna doza u radioterapiji za 2004. godinu nastala je zbog nepravilnog nošenja dozimetra i problema s određivanjem $H_p(10)$ jer su FD bili izloženi zračenju vrlo različitih energija, ^{60}Co (1,25 MeV) i RDG zračenju oko 100 kV. Prosječne doze općenito su povećane u prve četiri godine promatranog razdoblja za sve skupine, a posebno u nuklearnoj medicini što se može objasniti promjenom u mjernim postupcima i načinu izvješćivanja. Za rendgensko zračenje najmanje doze upisivane u izvješće bile su $10\text{ }\mu\text{Sv}$ dok se za djelatnike u nuklearnoj medicini do 2007. godine nisu upisivale doze manje od $500\text{ }\mu\text{Sv}$ kako bi se uzela u obzir procjena unutarnjeg ozračenja osoba koje rade s otvorenim izvorima zračenja. Međutim, ta očitavanja su se službeno vodila kao doze od $0\text{ }\mu\text{Sv}$. Stoga je 2007. godine prag smanjen na $150\text{ }\mu\text{Sv}$. Uvođenjem TL dozimetrije uveden je jedinstveni prag za vanjsko ozračenje od $85\text{ }\mu\text{Sv}$. Za mjerenje doza u području RDG zračenja ne može se primijetiti razlika uzrokovana promjenom dozimetrijske metode što govori u prilog FD u ovom području energija. Utjecaj navedenih postupaka na mjesečna očitavanja dozimetara u nuklearnoj medicini jasno se uočava na Slici 3.



Slika 3. Mjesečna očitavanja osobnih dozimetara u nuklearnoj medicini.

Vidljivo je i smanjenje doza u razdoblju od 2005-2007 godine kada su poboljšani uvjeti zaštite od zračenja na nuklearno medicinskoj dijagnostici uvođenjem dizala za prijenos radioaktivnih pripravaka iz spremišta do prostorije za iniciranje bolesnika. Iako je iskazivanje prosječnih individualnih doza uobičajeno u literaturi, više informacija daje prikaz raspodjele očitavanja u intervalima doze (Tablica 2).

Tablica 2. Broj dozimetara kojima je izmjeren osobno dozni ekvivalent u pojedinom intervalu doza, po godinama.

Interval (μ Sv)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0-85	2628	2823	2910	2957	3097	3064	3072	3110	3191	3260
85-500	93	91	107	112	115	79	82	272	184	90
500-1000	86	22	44	48	6	36	46	13	10	7
1000-5000	42	89	73	72	0	8	6	1	9	7
5000-10000	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4

ZAKLJUČAK

Prosječne osobne doze izloženih djelatnika u razdoblju od 2003 do 2013 godine bile su najveće za djelatnike u nuklearnoj medicini, 0,60 mSv, no u posljednje tri godine ovog razdoblja smanjile su se na 0,21 mSv što je uzrokovano preciznijom dozimetrijskom metodom i poboljšanim uvjetima zaštite. U istom periodu u intervencijskoj radiologiji doze su očekivano porasle na 0,32 mSv zbog povećanog broja provedenih intervencija. Analiza svih očitavanja pokazala je značajan utjecaj mjernih dozimetrijskih postupaka na osobne doze, a isto tako i važnost kontinuiranog praćenja rezultata osobne dozimetrije i poboljšavanja uvjeta zaštite od ionizirajućeg zračenja.

LITERATURA

- [1] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR Report 2008 to the General assembly with scientific annexes 2008, Vol. 1, UN, New York 2010.
- [2] Vendramin A, Bilban M. Occupational exposure to ionizing radiation for medical workers. Zdrav Var 2012; 51: 182-189
- [3] Covens P, Berus D, Buls N, Clerinx P, Vanhavere F. Personal dose monitoring in hospitals: global assessments, critical applications and future needs. Rad Prot Dosim 2007;124:250-259
- [4] Panasonic, Statement concerning the Panasonic UD-802A Dosimeter and the Panasonic UD-700 Readers. preuzeto s <http://www.industrial.panasonic.com/eu/i/29606/tld/tld.html>

PERSONAL DOSIMETRY IN UHC "SESTRE MILOSRDNICE": A 10-YEARS REVIEW

*Iva Mrčela¹, Tomislav Bokulić¹, Mirjana Budanec¹, Marija Surić Mihić²,
Marin Gregov¹, Mihaela Mlinarić¹ and Zvonko Kusić¹*

¹University Hospital Centre "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia

²Institut for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

iva.mrcela@kbcsm.hr

Personal dose monitoring in UHC "Sestre milosrdnice" is regularly performed for about 300 exposed workers involved in a variety of tasks with different sources of ionizing radiation. Exposed workers are required to wear personal dosimeters which are read on monthly basis and dose records are kept in the hospital. In this paper an overview of personal dosimetry data from year 2003 till 2013 is presented. Film dosimeters were used for personal dosimetry until 2010 when the thermoluminescent (TL) dosimetry was introduced. Dosimeters are calibrated to measure personal dose equivalent $H_p(10)$. Received doses are analyzed for workers in the field of nuclear medicine, radiotherapy (external beam and brachytherapy), general diagnostic radiology and interventional radiology. Analysis of received doses in the whole period resulted with an average individual dose in nuclear medicine of 0.6 mSv/y, which decreased to 0.21 mSv/y in the last three years, caused by more precise dosimetric methods with TL dosimetry and improved conditions of radiation protection. In the same three-year period, in interventional radiology doses were 0.32 mSv/y, compared to 0.29 mSv/y obtained for a previous seven years. This was expected due to the escalation in a number of interventions and new installed equipment. There was no such difference in diagnostic radiology doses, showing that film dosimetry is suitable for x ray energies. Analysis of all the readings showed a significant influence of measurement procedures on personal dosimeter dose and also the importance of continuous monitoring of the dose records in order to improve the conditions of radiation protection and achieving the ALARA goal.

QUALITY CONTROL OF MEGA VOLTAGE PORTAL IMAGING SYSTEM

Dea Dundara Debeljuh¹, Đeni Smilović Radojčić¹, Ana Diklić¹, Manda Švabić Kolacio¹, Mladen Kasabašić², Dario Faj³ and Slaven Jurković¹

¹Medical Physics Department, University Hospital Rijeka, Rijeka

²Radiotherapy and Oncology Department, University Hospital Osijek, Osijek

³Medical Faculty, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Osijek

deadundara@yahoo.it

INTRODUCTION

The Electronic Portal Imaging Device (EPID) is a system used to verify either the correct positioning of the patient during radiotherapy treatment or the linear accelerator beam parameters. The correct position of the patient corresponds to the position at which the patient was scanned at the CT simulator and according to which the therapy plan was made and optimized. Regarding this, besides the advanced treatment planning system and optimized treatment planning techniques [1], the day-to-day reproduction of simulated conditions is of great importance for the treatment outcome. Therefore, to verify the patient set-up portal imaging should be applied [2] prior to the first treatment session and repeated according to treatment prescriptions during the treatment.

In order to achieve full functionality and precision of the EPID, it must be included in radiotherapy Quality Control (QC) programme. Regarding this, a set of procedures dealing with different parameters of the system should be defined and periodically performed. Also, the treatment conditions should be simulated using anthropomorphic phantoms and dose distributions for particular EPID protocols should be measured.

Procedures for quality control of the portal imaging system developed and implemented at University Hospital (UH) Rijeka will be presented in this paper.

MATERIALS AND METHODS

The University Hospital Rijeka is equipped with two Siemens linear accelerators, the Oncor Expression and the Oncor Impression, that have Mega Voltage EPID Siemens Optivue 1640-S (matrix size 1024×1024) and 1640-M (matrix size 512×512), respectively. Both flat panel detectors

are fabricated using thin film technology based on amorphous silicon on glass panels.

The Oncor Expression linear accelerator has the possibility of acquiring both 2D and 3D images of the patient, while the Oncor Impression can give only 2D information. The classical portal imaging system generates planar images that can be compared with reference images acquired via digitally reconstructed radiographs (DRR). At our department it is used to acquire two orthogonal portal images that allow verification and correction of the patient position. EPID with Mega Voltage Cone Beam Computed Tomography (MV CBCT) module has ability to acquire a set of 2D projection images made in a gantry angle range from 270 to 110 degree that are used to compute a 3D imaging volume of the patient that is going to be compared with the scans acquired at the CT simulator. Regarding this the MV CBCT module can improve patient positioning accuracy by using a 3D space.

The QC of the portal imaging system was separated in two parts. In the first, the QC of the detector parameters should be performed using tools which are regularly used in performance of periodic QC routines at UH Rijeka [3]. Tests include flat panel alignment QC, analysis of electronic portal imaging device parameters and light/radiation field alignment. At the beginning, the alignment of radiation field and EPID centres should be verified using images with a reticle with for the radiation non-transparent crosshairs. The evaluation could be performed using programme packages for image analysis.

The QC3 test phantom should be used to check detector parameters, along with the Portal Image Processing System program (PIPSpro) package for data analysis. The results show the relative modulation transfer function (RMTF) for the images, the Contrast to Noise Ratio (CNR) and the Noise value. Resolution is evaluated comparing frequencies at 50 %, 40 % and 30 % of the RMTF with the frequencies of the MTF obtained using the analytical edge spread function technique. The analysis of light and radiation field alignment using EPID is performed with the FC2 phantoms [4]. The results show the radiation/light field displacement value in both x and y directions as well as the detected x and y sizes of radiation field.

The second part of the QC of the linear accelerator's portal imaging system should include the QC of the MV CBCT. For this purpose two different phantoms should be used, one for the geometry calibration and the other for the image quality evaluation [5]. Projection images of the phantom were acquired and used to compute projection matrices that map the 3D imaging volume to the 2D flat panel imager plane. The MV CBCT image

QC aimed at the evaluation of the spatial resolution and low contrast resolution, noise and artefacts should be performed using the Image Quality (IQ) phantom. Spatial resolution and low contrast sensitivity was checked with 3 different MV CBCT acquisition protocols: Cone Beam 8MU, 15 MU and 60MU.

The QC protocol of the portal imaging system should include procedures to control EPID performance in treatment conditions. For this purpose two anthropomorphic phantoms CIRS Thorax and CIRS Head&Neck (CIRS Inc., Norfolk, VA) should be used (Figure 1). The phantoms have a body made of plastic water, with appropriate inhomogeneities. A single beam plan should be made separately for every phantom and both 8MU classical portal imaging acquisition and CBCT with scans at 8MU, 15MU and 60MU should be used. Doses should be measured in 7 points inside the CIRC Thorax phantom, and in 5 points inside the CIRS H&N using the Farmer ionization chamber.

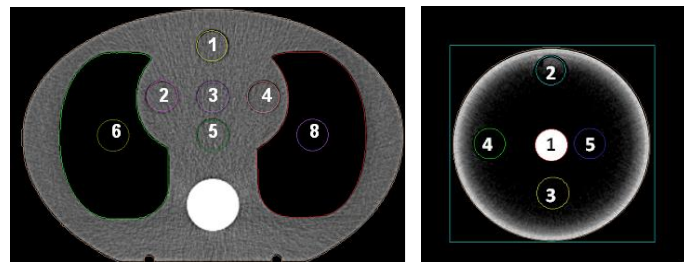


Figure 1: CIRS Thorax phantom and CIRS Head&Neck phantom.

RESULTS

The portal image alignment has been checked inspecting images using the Coherence Therapist tools (tolerance: ± 1 mm). Measurements of field size for both flat panels have shown agreement inside 1 mm, while radiation/light field displacement has not been larger than 1 mm. The detector parameters results for both flat panels have been compared. The results are shown in Table 1. Caution and reject levels for CNR and f50 are values suggested by the manufacturer.

A set of predefined manufacturers' tests has been done to check the geometry correctness and the image quality of the reconstructed images of the MV CBCT. All results are within acceptance criteria. It is interesting to notice that the geometry calibration can also be completed successfully when the phantom is not correctly positioned. Changing position in

longitudinal or lateral direction separately, no error is detected. Only in cases when both coordinates were changed geometry calibration failed.

Table 1. Detector parameters results for both flat panel detectors of UH Rijeka.

For 6 MV Acquisition	Siemens Optivue 1640-S			Siemens Optivue 1640-M		
	Result	Caution Level	Reject Level	Result	Caution Level	Reject Level
Contrast/Noise	776.2	380	360	817	740	720
f50 level	0.47	0.42	0.41	0.41	0.34	0.33

Spatial resolution and low contrast results show minor differences in the image quality between 8MU and 15MU CBCT protocols, while the 60MU CBCT protocol gives better images but with a significant dose increase.

At the end, treatment conditions have been simulated and the dose has been measured inside two anthropomorphic phantoms using classical portal imaging 2D acquisition and different CBCT protocols. Dose values for 8MU PI 2D acquisition are 8.1 cGy in point 5 of CIRS Thorax and 6.5 cGy in point 1 of CIRS H&N. CBCT results of measured dose in CIRS Thorax phantom and in CIRS Head&Neck phantom are presented in Table 2.

Table 2. Measured dose in anthropomorphic phantoms.

CIRS Thorax	Dose / cGy						
	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 8
CB 15 MU	15.8	13.91	13.75	14.35	12.93	13.61	14.35
CB 60 MU	62.10	53.49	54.04	56.40	50.82	53.49	56.40
CB 8 MU	9.78	8.61	8.51	8.88	8.0	8.42	8.88
CIRS H&N	Dose / cGy						
	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5		
CB 15 MU	13.9	16.5	13.0	14.0	15.1		
CB 60 MU	54.7	64.93	51.16	55.09	59.42		
CB 8 MU	7.47	8.87	6.99	7.52	8.11		

Results for CBCT scans show expected dose value because of the arc mode used in CBCT. The dose measurements and IQ results should be considered in deciding which CBCT protocol have to be used and what CBCT frequency for patient set-up verification have to be applied. Also minor dose differences between 2D protocol and low MU 3D protocol suggested that even in cases where the strict dose volume constraints should be fulfilled 3D verification could be performed. The results obtained at the UH Rijeka suggested that the CBCT 8MU protocol is a good compromise between image quality and dose released.

CONCLUSION

The Portal Imaging system is of great importance to verify the correct positioning of the patient during radiotherapy treatment. QC of the EPID is essential to ensure the functionality of the system and to reduce set-up uncertainties and errors [2]. The understanding of the EPID properties and limitations is necessary to know what are EPID possibilities.

REFERENCES

- [1] Jurković S, Švabić M, Diklić A, Smilović Radojčić Đ, Dundara D, Kasabašić M, Ivković A, Faj D. Reinforcing QA/QC programs in radiotherapy departments in Croatia: Results of treatment planning system verification. *Med Dos* 2013;38:100-104.
- [2] Kasabašić M, Faj D, Ivković A, Jurković S, Belaj N. Rotation of the patients' sacrum during the bellyboard pelvic radiotherapy. *Med Dos* 2010; 35:28-30.
- [3] Klein E E, Hanley J, Bayouth J, Yin F, Simon W, Dresser S, Serago C, Aguirre F, Ma L, Arjomandy B, Liu C. Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. *Med Phys* 2009;36:4197-4212.
- [4] Luchka K, Chen D, Shalev S, Gluhchev G, Rajapakshe R. Assessing radiation and light field congruence with a video based electronic portal imaging device. *Med Phys* 1996;23:1245-1252.
- [5] Cassese M. MVsion Labs User Guide Rev. C: 07/07. Siemens Medical Solutions USA, Inc. Oncology Care Systems Group.

QUALITY CONTROL OF MEGA VOLTAGE PORTAL IMAGING SYSTEM

Dea Dundara Debeljuh¹, Đeni Smilović Radojčić¹, Ana Diklić¹, Manda Švabić Kolacio¹, Mladen Kasabašić², Dario Faj³ and Slaven Jurković¹

¹Medical Physics Department, University Hospital Rijeka, Rijeka, Croatia

²Radiotherapy and Oncology Department, University Hospital Osijek, Osijek, Croatia

³Medical Faculty, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Osijek, Croatia
deadundara@yahoo.it

The Electronic Portal Imaging Device (EPID) is a system used to verify either the correct positioning of the patient during radiotherapy treatment or the linear accelerator beam parameters. The correct position of the patient corresponds to the position at which the patient was scanned at the CT simulator and according to which the therapy plan was made and optimized. Regarding this, besides the advanced treatment planning system and optimized treatment planning techniques, the day-to-day reproduction of simulated conditions is of great importance for the treatment outcome. Therefore, to verify the patient set-up portal imaging should be applied prior to the first treatment session and repeated according to treatment prescriptions during the treatment.

In order to achieve full functionality and precision of the EPID, it must be included in radiotherapy Quality Control (QC) programme. The QC of the Mega Voltage portal imaging system was separated in two parts. In the first, the QC of the detector parameters should be performed. For this purpose, the FC2 and QC3 phantoms should be used, along with the Portal Image Processing System program (PIPSpro) package for data analysis. The second part of the QC of the linear accelerator's portal imaging system should include the QC of the CBCT. In this part a set of predefined manufacturer's tests using two different phantoms, one for the geometry calibration and the other for the image quality evaluation, should be performed. Also, the treatment conditions should be simulated using anthropomorphic phantoms and dose distributions for particular EPID protocols should be measured.

Procedures for quality control of the portal imaging system developed and implemented at University Hospital Rijeka are presented in this paper.

UPOREĐIVANJE KARAKTERISTIKA RENDGEN APARATA RAZLIČITIH GENERACIJA

Jovica Praskalo, Biljana Kočić i Jelena Marinković
JZU Institut za javno zdravstvo Republike Srpske
jovica.praskalo@phi.rs.ba

UVOD

Praksa kontrole izvora jonizujućeg zračenja u Republici Srpskoj pokrenuta je 2004. godine. Stupanjem na snagu Zakona o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti ("Službeni glasnik BiH" broj 66/10), te niza pravilnika, koji iz njega slijede dolazi do uspostavljanja sistema kontrole i osiguranja kvaliteta na nivo koji zahtijevaju evropski standardi.

Kontrola kvaliteta rendgenskih uređaja, prema Pravilniku o zaštiti od jonizujućeg zračenja kod medicinske ekspozicije ("Službeni glasnik BiH" broj 13/11), obuhvata monitoring radnog mjesta i kontrolu parametara samog uređaja [1].

Rezultati višegodišnje kontrole potstakli su nas da uradimo poređenja određenih parametara koji su sastavni dio kontrole kvaliteta. U ovom radu prikazano je poređenje mjerenih parametara za tri različita rendgen aparata, koji pripadaju različitim generacijama, sa ciljem praćenja dugoročne stabilnosti parametara uređaja.

MATERIJALI I METODE

Rendgen uređaji. Sistem zdravstvene zaštite Republike Srpske raspolaže sa 213 rendgenskih uređaja, od čega je 66 uređaja za radiografiju, koji su raspoređeni u kliničkim centrima, bolnicama, domovima zdravlja i privatnim ordinacijama. Godine proizvodnje i instalacije uređaja su vrlo različite i kreću se u rasponu od 1973. do 2013. godine, što, istovremeno, ukazuje na tehnološku različitost uređaja. U smislu akvizicije slike, preovlađuju klasični rendgen aparati, što podrazumjeva klasičnu radiografsku tehniku, uz razvijanje slike u komorama. Na nekoliko lokacija je izvršena indirektna digitalizacija pomoću sistema kompjuterizovane radiografije, a samo je jedan potpuno digitalni rendgen uređaj za radiografiju.

Osnovni kriterijumi koji su bili zastupljeni prilikom izbora rendgen uređaja su njegova namjena, brojna zastupljenost i godina proizvodnje.

Shodno tome, kao tipično najzastupljeniji, uređaji koji pripadaju različitim generacijama i proizvedeni od različitih proizvođača za analizu su nam poslužili sljedeći uređaji: *Ei Niš Superix 800*, proizveden 1974, *Toshiba KXO-50N*, proizveden 1998. i *Siemens Multix TOP* iz 2007. godine.

Mjerni instrumenti. Za monitoring radnog mjesta korišten je Scintillator Probe 6150 AD-b (Automess, Germany) i Barracuda (RTI Electronics, Sweden).

Mjerenja su izvršena prema Pravilniku o zaštiti od jonizujućeg zračenja kod medicinske ekspozicije ("Službeni glasnik BiH" broj 13/11), Aneks 1.2: Kriterijumi prihvatljivosti i testovi kontrole. Parametri koji su sastavni dio kontrole kvaliteta su: specifična vrijednost kerme preračunata na udaljenost 1 m, ponovljivost visokog napona, vremena ekspozicije i kerme, pouzdanost visokog napona, vremena ekspozicije i debljina poluslabljenja [1,2].

REZULTATI

Rezultati predstavljeni u Tabelama 1-3 dobijeni su redovnim godišnjim kontrolama navedenih rendgen aparata, u periodu od 2008. do 2012. godine [3].

Specifična vrijednost kerme. Ovaj parametar se mjeri pri vrijednostima visokog napona od 80 kVp i proizvoda anodne struje i vremena ekspozicije od 20 mAs, pri čemu je udaljenost između cijevi i detektora 100 cm i izražen je u $\mu\text{Gy/mAs}$. Na osnovu rezultata iz Tabela 1-3 dat je uporedni prikaz vrijednosti specifične vrijednosti kerme, za sva tri uređaja (Slika 1).

Ponovljivost ekspozicije. Ponovljivost parametara ekspozicije, visokog napona, vremena ekspozicije i kerme u vazduhu, data je u procentima odstupanja (Tabele 1-3).

Odstupanje ponovljivosti visokog napona je u opsegu od 0,10 % i 6,60 %, odstupanje ponovljivosti vremena ekspozicije 0,10 % do 3,30 %, a odstupanje ponovljivosti kerme od 0,03 % do 1,40 % za aparat Superix 800 Ei Niš. Za KXO-50N Toshiba odstupanje ponovljivosti visokog napona iznosi od 0,07 % do 0,48 %, a odstupanje ponovljivosti vremena ekspozicije između 0,0 % i 0,4 %, dok je odstupanje ponovljivosti kerme u granicama 0,11 % do 3,41 %.

Za Multix TOP Siemens odstupanje pouzdanosti visokog napona kreće se od 0,07 % do 0,69%, odstupanje ponovljivosti vremena ekspozicije od 0,40 % do 5,00 %, a odstupanje pouzdanosti kerme od 0,07 % do 4,38 %.

Pouzdanost visokog napona i vremena ekspozicije. Vrijednosti odstupanja visokog napona i vremena ekspozicije od zadatih vrijednosti,

date su u Tabelama 1-3. Odstupanje visokog napona od zadate vrijednosti kreće se između 4,1 % i 8,4 %, a odstupanje vremena ekspozicije je u opsegu od 3,80 % do 11,80 % za aparat Superix 800 Ei Niš. Za KXO-50N Toshiba odstupanje visokog napona iznosi od 1,80 % do 5,50 %, a odstupanje vremena ekspozicije između 0,10 % i 2,00 %, dok za Multix TOP Siemens odstupanje visokog napona ide od 0,90 % do 3,00 %, a odstupanje vremena ekspozicije nije određivano, zbog nemogućnosti manualnog zadavanja vremena ekspozicije.

Tabela 1. Mjereni parametri za uređaj Ei Niš SuperX 800

		2008	2009	2010	2011	2012
<i>Ka/It</i> [μGy/mAs]		20,60	28,90	27,90	26,50	28,40
Ponov- ljivost [%]	Uo	0,66	0,66	0,23	0,15	0,62
	t	3,30	0,10	1,80	1,20	0,20
	Ka	0,66	0,03	1,38	0,76	0,10
Pouz- danost [%]	Uo	8,30	8,40	4,10	6,70	7,00
	t	5,20	3,80	9,70	11,80	11,10
<i>HVL</i> [mmAl]		3,87	3,88	3,86	3,85	3,90

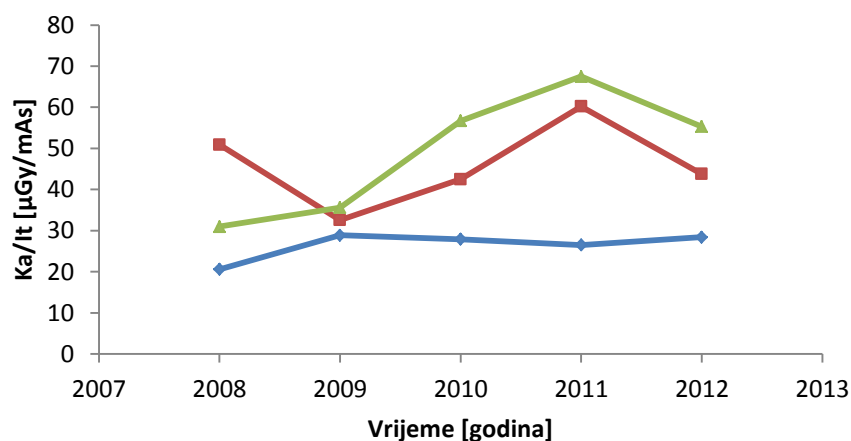
Tabela 2. Mjereni parametri za uređaj Toshiba KXO 50N

		2008	2009	2010	2011	2012
<i>Ka/It</i> [μGy/mAs]		50,90	32,60	42,50	60,20	43,80
Ponov- ljivost [%]	Uo	0,28	0,09	0,07	0,10	0,48
	t	0,03	0,40	0,03	0,04	0,04
	Ka	0,48	3,41	0,16	0,30	0,11
Pouz- danost [%]	Uo	1,80	3,90	3,00	5,40	5,50
	t	1,30	2,00	1,20	0,10	0,10
<i>HVL</i> [mmAl]		3,30	3,20	3,08	3,04	3,18

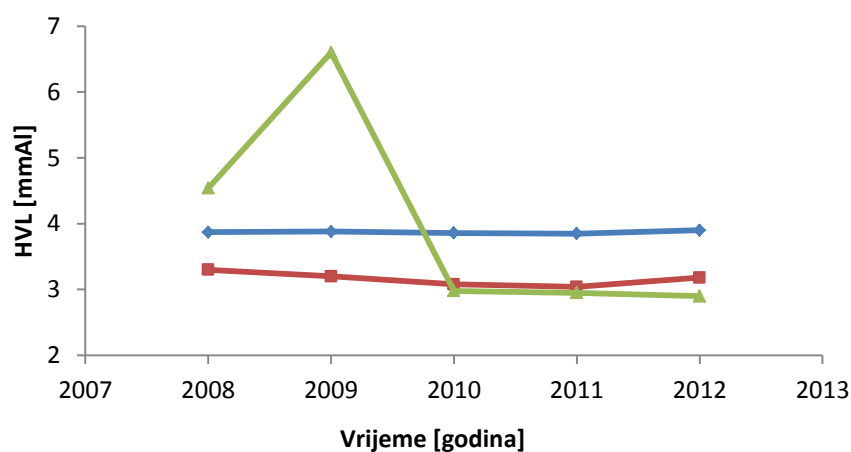
Tabela 3. Mjereni parametri za uređaj Siemens Multix TOP

		2008	2009	2010	2011	2012
<i>Ka/It</i> [μGy/mAs]		31,10	35,60	56,70	67,50	55,30
Ponov- ljivost [%]	Uo	0,07	0,69	0,34	0,17	0,04
	t	0,40	0,40	5,00	1,60	0,40
	Ka	1,40	0,13	4,38	0,43	0,07
Pouz- danost [%]	Uo	3,00	1,30	0,90	1,60	2,10
	t	-	-	-	-	-
<i>HVL</i> [mmAl]		4,54	6,60	2,98	2,95	2,90

Debljina poluslabljenja. Vrijednosti HVL, za sva tri uređaja, su date u Tabelama 1-3, a uporedni prikaz dat je na Slici 2.



Slika 1. Uporedni prikaz specifične vrijednosti kerme za date rendgen uređaje. ◆ Ei Niš SuperX 800, ■ Toshiba KXO 50N, ▲ Siemens Multix TOP.



Slika 2. Uporedni prikaz vrijednosti debljine poluslabljenja za date uređaje. ◆ Ei Niš SuperX 800, ■ Toshiba KXO 50N, ▲ Siemens Multix TOP.

ZAKLJUČAK

Mjerenjem parametara rendgenskih cijevi izabranih uređaja utvrđeno je da su dati parametri u dozvoljenom, pravilnikom propisanom opsegu [1]. Redovnom kontrolom rendgen uređaja moguće je uočavanje određenih odstupanja nekog parametra, te pravovremeno ukazivanje na potrebnu servisnu intervenciju, sa ciljem dovođenja vrijednosti parametra u dozvoljeni opseg, posebno kada je riječ o dozi.

Iz navedenih podataka, predstavljenih u tabeli i graphicima, može se zaključiti, kao što smo i pretpostavili, da rezultati mjerenja specifične vrijednosti kerme preračunate na udaljenost 1 m, ponovljivosti visokog napon, vremena ekspozicije i kerme, pouzdanosti visokog napon i vremena ekspozicije i debljine poluslabljenja pokazuju najbolju stabilnost i ponovljivost kod aparata Siemens Multix TOP iz 2007. Ono što je zanimljivo, to je da aparat Superix 800 Ei Niš, koji je najstariji i najčešće korišten, pokazuje odličnu stabilnost i ponovljivost, ako se uzme u obzir godina proizvodnje i vrijeme eksponiranja cijevi.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se JZU Institutu za javno zdravstvo Banja Luka što su nam dozvolili da koristimo rezultate mjerenja, te UKC Banja Luka, Dom Zdravlja Banja Luka i Dom Zdravlja Šekovići, što su dozvolili da prikazemo rezultate mjerenja aparata koji su u njihovom vlasništvu.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o zaštiti od jonizujućeg zračenja kod medicinske ekspozicije ("Službeni glasnik BiH" broj 13/11)
- [2] Zakon o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti, "Službeni glasnik BiH" 66/10
- [3] Izvještaji o izvršenim mjerenjima medicinskih izvora jonizujućeg zračenja JZU Institut za javno zdravstvo Banja Luka.

COMPARATION OF SOME VALUES OF MEASURED PARAMETERES BETWEEN OLD AND NEW X-RAY MACHINES

Jovica Praskalo, Biljana Kočić and Jelena Marinković

¹Public Health Institute of Republic of Srpska

jovica.praskalo@phi.rs.ba

Checking the change of values of parameters like specific value of kerma, repeatability of expositions, linearity of exposition, stability of high voltage, time of exposition and HVL of X-ray machines that are in use in medical centres of Republic of Srpska give us an idea of comparing those values for two groups of X-ray machines. One is in use since 70's in last century and is still in use, and the other group is quite new, and is controlled for last 5 years. Checking the results of controlled parameters within those two groups of X-ray machines we can compare stability and quality of old and new machines, and the influence of "aging" of machines to the quality and stability of measured parameters. Some of conclusions are that old machines are showing better stability and repeatability of values of measured parameters during the "aging" than new machines.

RADIOEKOLOGIJA

RADIOECOLOGY

PREGLED RAZVITKA RADIOEKOLOGIJE JADRANSKOG MORA

*Zdenko Franić¹, Branko Hanžek², Gina Branica¹, Branko Petrinec¹ i
Gordana Marović¹*

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

²Zavod za povijest i filozofiju znanosti,
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb
franic@imi.hr

UVOD

U radu su prikazani povijesni pregled i neki rezultati istraživanja radioaktivne kontaminacije Jadranskog mora prirodnim i antropogenim radionuklidima s naglaskom na istočnu obalu. Prva poznata istraživanja radioaktivnosti Jadrana objavio je prof. dr. Peter Salcher još godine 1909., usporedivši ih sa sličnim istraživanjima provedenim na Atlantskom oceanu. Sustavna istraživanja vezana uz radioekologiju istočne obale Jadranskog mora počela su 1961. godine na tri lokacije (Rovinj, Split i Dubrovnik) u organizaciji Uprave za civilnu zaštitu Državnog sekretarijata za narodnu obranu SFRJ, a mjerile su se koncentracije aktivnosti ⁹⁰Sr i ¹³⁷Cs u morskoj vodi. Sređivanje podataka, standardizaciju i tehničku obradu rezultata koordinirao je inž. Velimir Popović iz Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI). Suvremena radioeokološka ispitivanja u Republici Hrvatskoj vezana uz Jadransko more danas provodi Jedinica za zaštitu od zračenja IMI-a unutar programa "Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj" i u sklopu znanstvenog projekta "Radioekologija Jadranskoga mora i priobalja".

REZULTATI

Peter Salcher (1848-1928) bio je profesor na austrougarskoj carskoj i kraljevskoj mornaričkoj akademiji (k.u.k. Marine Akademie) u Rijeci i jedan od prvih radiofizičara u Hrvatskoj. U proljeće 1909. godine proveo je prva radioeokološka istraživanja Jadranskog mora te ih iste godine i objavio [2]. Ideju je dobio od istraživača Himstedta, Sommera i Knocha, koji su istraživali radioaktivnost Atlantskog oceana. Salcherova mjerenja su prikazana u tzv. ME (Mache-Einheit) jedinicama koje su se svojevremeno koristile u balneologiji za označavanje volumne koncentracije radona u vodi

i zraku. ME je definirana kao količina radona, (u praksi ^{222}Rn) po litri, a koji uzrokuje ionizacijsku struju od 0,001 StatAmper (0,001 esu). Odnosno:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ME} &= 1 \times 10^{-3} \text{ esu L}^{-1} \times \text{s}^{-1} = 3,336 \times 10^{-12} \text{ A L}^{-1} \text{ s}^{-1} \\ 1 \text{ ME} &= 3,64 \text{ Eman} = 3,64 \times 10^{-10} \text{ Ci L}^{-1} = 13,4545 \text{ Bq L}^{-1} \\ 1 \text{ Eman} &= 0,275 \text{ ME} = 10^{-10} \text{ Ci L}^{-1} = 3,7 \text{ Bq L}^{-1} \end{aligned} \quad (1)$$

U Tablici 1 prikazani su neki Salcherovi rezultati. U zagradama su preračunate vrijednosti u BqL^{-1} .

Tablica 1. Aktivnost morske i vodovodne vode u Riječkom zaljevu

Datum	Mjesto sakupljanja	Lokacija i dubina	Aktivnost	
			V/h/L	ME (Bq/L)
13.05.	Rijeka	Morska voda 4 m	26,5	0,31 (4,17)
11.06.	„	Morska voda 4 m	22,1	0,27 (3,63)
15.05.	„	Morska voda 10 m	31,6	0,38 (0,38)
18.05.	„	Morska voda 20 m	24,2	0,29 (3,90)
22.05.	„	Morska voda 20 m	19,8	0,23 (3,09)
14.06.	„	Morska voda 28 m	33,4	0,40 (5,38)
21.05.	Rijeka (Marine Ak.)	Vodovodna voda	39,4	0,47 (6,32)

Valja naglasiti da zbog tehnike mjerenja rezultati nisu usporedivi s literaturnim podacima za koncentracije aktivnosti u morskoj vodi, bilo tada dostupnim koje citira Salcher (razlikuju se čak za jedan red veličine), bilo današnjima. Međutim, zanimljivi su trendovi i relativne vrijednosti. Mjerenja su izvedena pomoću fontaktoskopa, specijalnog elektroskopa za mjerenja radioaktivnosti vode. Salcher u svome radu iznosi sljedeća zapažanja:

- aktivnosti u Riječkom zaljevu su više u odnosu na one izmjerene na otvorenom moru;
- aktivnost površinske vode smanjuje se udaljavanjem od obalnog pojasa;
- aktivnosti površinske vode se smanjuju s povećavanjem dubine, da bi opet pri dnu rasle.

Salcher potom detaljno raspravlja o gornjim zapažanjima tumačeći opaženu razdiobu aktivnosti rasporedom morskih struja u Jadranu. Zanimljivo je kako Salcher propituje i relativizira i moguće zdravstvene (tada se vjerovalo pozitivne) učinke emanacije u toplicama, budući da su aktivnosti izmjerene u vodi tih kupališta usporedive s aktivnostima vode koje je Salcher pronašao u Riječkom zaljevu.

Mogli bismo reći da se Salcher ne samo upustio u nešto što bismo mogli smatrati pretečom dozimetrijskih razmatranja, već je bio i jedan od pionira uporabe prirodne radioaktivnosti kao obilježivača (*radiotracer*) morske vode, a da to u naravi nije mogao znati.

Istraživanja radioaktivnosti morske vode je na Mediteranu (Tirensko more) proveo godine 1911. i Domenico Pacini sa Sveučilišta u Bariju proučavajući kozmičko zračenje. Međutim, nakon tih eksperimenata, prema dostupnim literaturnim i ostalim podacima, I. svjetski rat je prekinuo bilo kakva istraživanja vezana uz radioekologiju mora, a isto vrijedi i za razdoblje između dva svjetska rata. Ponovni interes za proučavanje i nadzor (*monitoring*) radioaktivne kontaminacije morskog okoliša na globalnom planu javlja se nakon razdoblja intenzivnih atmosferskih proba nuklearnog oružja 1960-tih godina koje su uzrokovale pojavu radioaktivnih oborina (*fallout*) i posljedično zagađivanje morske vode. Na području istočne obale Jadranskog mora sustavna istraživanja vezana uz radioekologiju započela su 1961. godine na tri lokacije (Rovinj, Split i Dubrovnik) u organizaciji Uprave za civilnu zaštitu Državnog sekretarijata za narodnu obranu SFRJ. Predmet proučavanja u tim istraživanjima su brzina doze, ukupna alfa i ukupna beta aktivnost, kao i antropogeni tj. fizijski radionuklidi ^{90}Sr i ^{137}Cs .

Kvaliteta tih podataka svakako jest u tome što je naručitelj želio doći do konkretnih vrijednosti za koncentracije aktivnosti promatranih radionuklida u medijima od interesa. Vezano uz program osiguranja kvalitete podataka valja napomenuti da su institucije koje su provodile mjerenja imale opremu različite kvalitete, a i metode nisu bile standardizirane. Također, interkomparacije, barem u početku programa, provodile su se rijetko ili nikako.

Ova su se istraživanja nastavila u sličnom opsegu do početka 1980-tih godina, kada odgovornost za nadzor radioaktivne kontaminacije okoliša preuzimaju pojedine republike što se odnosilo i na radioekologiju mora. U RH suvremena radioekološka ispitivanja vezana uz Jadransko more danas provodi Jedinica za zaštitu od zračenja IMI-a unutar programa „Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj“, a čiji je naručitelj Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Zahtijeva se da podatci uključuju i ukupnu nesigurnost metode. Takav pristup naime omogućuje proučavanje trendova, matematičko modeliranje i sl. kako bi se u slučaju potrebe provele određene korektivne akcije i mjere. Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost uz to zahtijeva i međunarodnu akreditaciju laboratorija koji provode ispitivanja.

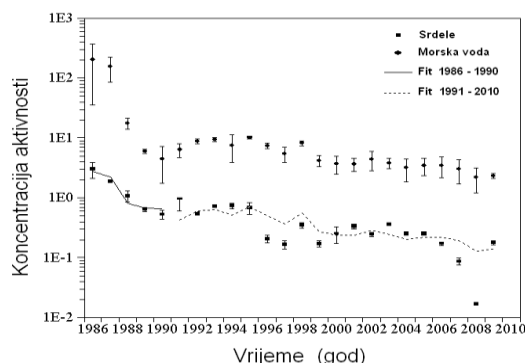
Radioaktivnost Jadrana proučava se i u sklopu znanstvenog projekta "Radioekologija Jadranskoga mora i priobalja".

Slična, komplementarna istraživanja provode se i na Institutu Ruđer Bošković, a uspostavljena je i suradnja s Međunarodnom agencijom za atomsku energiju (IAEA). Npr., na radioekološkom krstarenju godine 1997. sudjelovalo je preko 30 međunarodnih znanstvenika. Tada su po prvi put istraženi i prirodni fenomeni kao što je povišeno osnovno zračenje srednje-dalmatinskih otoka magmatskog podrijetla te su prikupljeni i obrađeni sedimenti iz Južnojadranske kotline (1000 m), najdublje točke Jadranskog mora [3]. Program radioekološkog monitoringa Jadrana i priobalja se tijekom godina vrlo malo mijenjao (Tablica 2).

Tablica 2. Prikaz uzoraka u radioekološkom monitoringu Jadrana

Uzorak	Lokacija	Frekvencija	Analiza
Morska voda	Rovinj, Plomin, Rijeka, Kaštela, Split, Dubrovnik	Proljeće i jesen	γ -spektrometrija, analiza ^{90}Sr i ^{226}Ra
Radioaktivne oborine	Pula, Rijeka, Zadar, Dubrovnik	Kontinuirano uzorkovanje,	γ -spektrometrija, analiza ^{90}Sr (Zadar)
Cisternske vode	Cca 15 lokacija duž jadranske obale	Proljeće	γ -spektrometrija
Brzina aps. doze u zraku	Zadar	Kontinuirano uzorkovanje	γ -spektrometrija
Bioindikatorski organizmi	5-7 lokacija duž jadranske obale	Proljeće	γ -spektrometrija, analiza ^{90}Sr

Prikupljeni uzorci analiziraju se prema akreditiranim metodama prema međunarodnoj normi HRN EN ISO/IEC 1702. Za ilustraciju nekih rezultata mjerenja uzoraka prikazanih u Tablici 2, na Slici 2 prikazan je vremenski slijed koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i srdelama u Jadranskom moru u post-černobilskom razdoblju [4]. Kao što je iz slike vidljivo, a u gornjem tekstu spomenuto, kvalitetna dugogodišnja baza podataka omogućuje i matematičko predviđanje trendova odnosno točno opisivanje matematičke funkcije koja u ovom slučaju opisuje eksponencijalno opadanje koncentracija aktivnosti kao i procjenu efektivnog (ekološkog) vremena boravka ^{137}Cs u morskoj vodi i biološkom uzorku.



Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u morskoj vodi i sdelama

ZAKLJUČNE PRIMJEDBE

Iako početak radioekoloških istraživanja Jadranskog mora seže još u godinu 1909., začetak sustavnih istraživanja započinje 1960-tih godina. Nositelj tih istraživanja u Republici Hrvatskoj je u kontinuitetu do danas IMI, Jedinica za zaštitu od zračenja. Nakon nuklearne nesreće u Čornobilju interes se širi i na ostale radionuklide. Dugogodišnja baza podataka omogućuje matematičko modeliranje i predviđanje trendova, što sve daje dodanu vrijednost samim rezultatima. Danas je u RH naručitelj monitoringa, a koji je harmoniziran sa zahtjevima Europske unije, DZRNS.

ZAHVALA

Ovaj rad ostvaren je u sklopu projekata financiranih od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske, *Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja* (022-0222882-2335) i *Radioekologija Jadranskog mora i priobalja* (022-0222882-2823). Autori zahvaljuju Ljerki Petroci na pomoći.

LITERATURA

- [1] Hanžek B, Franić Z, Branica G. Znameniti radiofizičari i radiokemičari u Hrvatskoj do 1945. *Arh hig rada toksikol* 2011;62(4):279-290.
- [2] Salcher P. Die Radioaktivität des Meerwassers im Golfe von Fiume und Umgebung. *Monatschriften für Physikalisch-diätetischen Heilmethoden*, München 1. Jahrg, 10. Heft, 598-601, Oktober 1909.
- [3] Petrinc B, Franić Z, Leder N, Tsabaris Ch, Bituh T, Marović G. Gamma radiation and dose rate investigations on the Adriatic islands of magmatic origin. *Radiation Protection Dosimetry* 2010;139(4):551-559.
- [4] Franić Z, Petrinc B, Branica G, Marović G, Kubelka D, Franić Z. Post-Chernobyl Investigations of Radiocaesium Activity Concentrations in the Adriatic Sea Pilchards. *Radiation Protection Dosimetry* 2012;151:314-322.

REVIEW OF DEVELOPMENT OF ADRIATIC MARINE RADIOECOLOGY

Zdenko Franić¹, Branko Hanžek², Gina Branica¹, Branko Petrinc¹ and Gordana Marović¹

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Institute for the History and Philosophy of Science,
Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb

franic@imi.hr

This paper presents a historical overview and some research results of radioactive contamination of the Adriatic Sea and coastal areas caused by natural and anthropogenic radionuclides, with emphasis on the eastern Adriatic coast. The results of the first known survey of radioactivity of the Adriatic Sea have been published in 1909, by Prof. Dr. Peter Salcher from the Imperial and Royal Naval Academy (k.u.k. Marine Akademie) in the city of Rijeka. These were compared with similar studies conducted in the Atlantic Ocean.

Systematic radioecological research of the eastern coast of the Adriatic Sea that began in 1961 at three locations (Rovinj, Split and Dubrovnik) have been organized by the Directorate for Civil Protection of the State Secretariat for people's defence, targeting the activity concentrations of fission products ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in seawater. Editing and standardization of data has been coordinated by the engineer Velimir Popović, an associate of the Institute for Medical Research and Occupational Health.

Nowadays, contemporary radioecological monitoring in the Republic of Croatia related to the Adriatic Sea today is conducted by Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health within the framework of "Monitoring of environmental radioactivity in the Republic of Croatia" and the scientific project "Radioecology of the Adriatic sea and Coastal Areas", project no. 022-0222882-2823 funded by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia.

SUSTAVNO PRAĆENJE RADIOAKTIVNOSTI PRIOBALNIH VODA JADRANA KORIŠTENJEM DAGNJI (*Mytilus galloprovincialis*) KAO BIOINDIKATORA

*Martina Rožmarić Mačefat^{1*}, Matea Rogić¹, Delko Barišić¹,
Ljudmila Benedik² i Marko Štrok²*

¹Laboratorij za radioekologiju, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

^{*}Environmental Laboratories, International Atomic Energy Agency,
Monako

²Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija
rozmar@irb.hr

UVOD

Mediterranean Mussel Watch (MMW) je projekt praćenja stanja radioaktivnosti voda priobalnog mora Mediterana pri čemu se dagnje (*Mytilus galloprovincialis*) koriste kao bioindikatori [1]. Dagnje su sesilni morski organizmi koji, hraneći se, u idealnim uvjetima filtriraju i do 80 L morske vode dnevno te na taj način mogu apsorbirati i akumulirati tvari otopljene u morskoj vodi ili adsorbirane na krutim česticama (suspendiranoj tvari). Upravo zbog te mogućnosti akumulacije, dagnje predstavljaju dobar biološki indikator za praćenje zagađenja morskog okoliša radionuklidima.

Radioaktivnost priobalnih voda Jadrana sustavno se, u okviru MMW projekta, prati u Laboratoriju za radioekologiju već dugi niz godina. Određuju se prirodni gama-emiteri ⁷Be, ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra i ²³⁸U, koji su prisutni u morskoj vodi ili u nju dopijevaju uslijed depozicije iz atmosfere, odnosno donosa slatke vode i materijala s kopna tokovima rijeka, podzemnim vodama ili eolskim putem. Također se određuje i prisutnost umjetnog radionuklida ¹³⁷Cs koji je u mora dospio kao posljedica globalnog *fallout*-a nakon atmosferskih testiranja nuklearnog oružja 50-tih i 60-tih godina 20. stoljeća te nakon nuklearnog akcidenta u Černobilu 1986. godine. Prije nekoliko godina praćenje je prošireno i na prirodne, vrlo radiotoksične nuklide, ²¹⁰Po i ²¹⁰Pb, prvenstveno zbog potrebe procjene doza koje stanovništvo primi konzumacijom dagnji [2].

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja koncentracija aktivnosti navedenih radionuklida u tkivima dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) tijekom proljeća i jeseni 2010. i 2011. godine provedenih s ciljem praćenja prostornih i vremenskih varijacija.

MATERIJALI I METODE

Uzorci dagnji prikupljani su na 13 postaja (čiji su zemljopisni položaji prikazani u Tablici 1) duž jadranske obale dva puta godišnje (proljeće i jesen) tijekom 2010. i 2011. godine. Odabrane lokacije nalaze se pretežno na područjima koja su pod pojačanim utjecajem dotoka slatke vode s kopna kao što su estuariji rijeka Raše (D2), Krke (D4), Žrnovnice (D9), Neretve (D10–12) i Omble (D13) odnosno na područjima potencijalno izraženog antropogenog utjecaja (Kaštelanski zaljev; D6 – D8).

Tablica 1. GPS pozicije lokacija na kojima su prikupljani uzorci dagnji u proljeće i jesen 2010. i 2011. godine

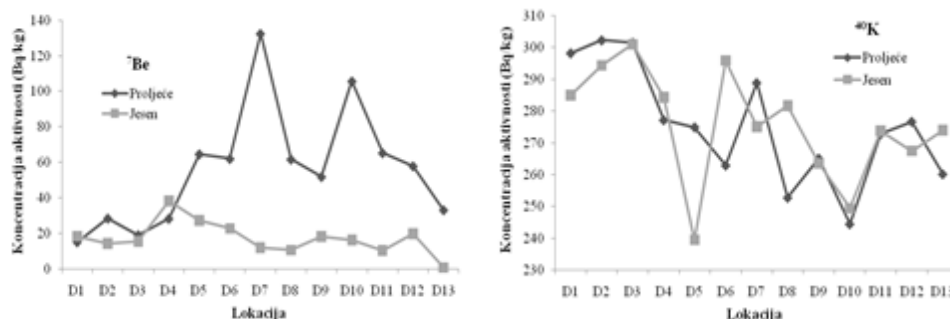
Lokacija	N	E	Stanište
D1 – Limski kanal	45° 08,223'	13° 43,280'	uzgajalište
D2 – Raški zaljev	45° 01,218'	14° 03,388'	uzgajalište
D3 – Bakarski zaljev	45° 18,410'	14° 32,323'	kamena riva
D4 – Šibenik	43° 46,056'	15° 50,722'	uzgajalište
D5 – Marina-Poljica	43° 30,900'	16° 09,419'	uzgajalište
D6 – Kaštel Gomilica	43° 32,682'	16° 24,130'	lukobran
D7 – Giričić	43° 32,755'	16° 24,311'	pontoni lučice
D8 – Vranjic	43° 31,894'	16° 27,652'	kamena riva
D9 – Stobreč	43° 30,006'	16° 31,519'	stupovi lučice
D10 – Bistrina	42° 52,373'	17° 42,080'	uzgajalište
D11 – Mali Ston	42° 50,650'	17° 42,616'	uzgajalište
D12 – Drače	42° 55,013'	17° 28,089'	uzgajalište
D13 – Dubrovnik	42° 40,244'	18° 07,565'	kamena riva

Nakon pripreme (odvajanja tkiva od ljušturi, sušenja do konstantne mase te homogeniziranja) uzorci su stavljeni u mjerne posude poznate geometrije te mjereni na HPGe detektoru (Canberra) povezanim s 8192 kanalnim analizatorom. Vrijeme brojanja uzoraka iznosilo je 80 000 s, a dobiveni spektri analizirani su softverom Genie 2000. Detektorski je sustav kalibriran odgovarajućim standardima, a preciznost i točnost su provjeravani mjerenjima standarda odnosno interkomparacijskim mjerenjima. ^{210}Po i ^{210}Pb određeni su metodom opisanom u literaturi [3].

REZULTATI

Prosječne vrijednosti koncentracija aktivnosti prirodnog kozmogenog radionuklida ^7Be tijekom proljeća odnosno jeseni, prikazane na Slici 1, kreću se u veoma širokom rasponu ($<0,8 - 132,5$) Bq kg⁻¹ suhe mase pri

čemu su aktivnosti u uzorcima prikupljenim u proljeće na svim lokacijama redovito veće od aktivnosti mjerenih u uzorcima prikupljenim u jesen. Obzirom na biogeokemijsko ponašanje berilija (koji se ugrađuje u stanične membrane), ovakvi su rezultati i očekivani. Naime, tijekom proljeća je bioprodukcija planktonskih organizama (kojima se dagnje hrane filtrirajući morsku vodu) značajnija u odnosu na jesenski dio godine. Obzirom na vrijeme poluraspada ^7Be (53,4 dana) i činjenicu da u morsku vodu dopijeva direktno oborinama i/ili dotokom slatke vode s kopna, sušni ljetni i ranojesenski period stoga rezultiraju njegovim niskim koncentracijama u tkivima dagnji tijekom rane jeseni.



Slika 1. Prosječne koncentracije aktivnosti ^7Be i ^{40}K (Bq kg^{-1} suhe mase) u tkivima dagnji uzorkovanih tijekom proljeća i jeseni 2010. i 2011. godine

Za razliku od ^7Be , prosječne koncentracije aktivnosti primordijalnog ^{40}K u tkivima dagnji (Slika 1) bitno ne variraju obzirom na godišnje doba i kreću se u rasponu ($240 - 302$) Bq kg^{-1} suhe mase s prosječnim vrijednostima (275 ± 18) Bq kg^{-1} u proljeće odnosno (276 ± 18) Bq kg^{-1} u jesen. Koncentracija primordijalnog ^{40}K u oceanskoj vodi je visoka i ujednačena ($\sim 12\,500 \text{ Bq m}^{-3}$) te se stoga i u priobalnoj morskoj vodi ne mijenja bitno niti u slučaju izraženijih terigenih utjecaja. Stoga su koncentracije kalija kao biogenog elementa, a time i mjerene aktivnosti ^{40}K u tkivima dagnji, prvenstveno odraz kondicijskog stanja tih organizama.

Rezultati istraživanja koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida ^{210}Po i ^{210}Pb prikazani su u literaturi [3]. Ponašanje ovih radionuklida gotovo je identično ponašanju ^7Be stoga što, jednako kao i berilij, prvenstveno dopijevaju u priobalne vode depozicijom iz atmosfere te dotokom slatke vode s kopna. Izmjerene vrijednosti veće su u proljeće kojem prethodi kišno razdoblje u odnosu na sušni ljetni i ranojesenski

period koji prethodi jesenskom uzorkovanju. Pritom su nešto veće aktivnosti mjerene na lokacijama smještenim u dobro zatvorenom Neretvanskom kanalu u kojeg se Neretvom i podzemnim vodama dreniraju i znatne površine teritorija susjedne Bosne i Hercegovine.

Koncentracije aktivnosti umjetnog radionuklida ^{137}Cs u tkivu dagnji tijekom 2010. godine su redovito bile ispod granica detekcije ($0,3 \text{ Bq kg}^{-1}$) iako je ta godina u prosjeku bila kišovita od pretežno sušne 2011. godine. Tijekom 2011. godine ^{137}Cs je u travnju detektiran u tkivu dagnji na lokacijama D4, D9 i D12, a u listopadu na lokacijama D2, D4, D5 te D9 – D13 pri čemu su izmjerene aktivnosti bile u rasponu od $0,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ do $1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ suhe mase tkiva. U svim slučajevima se radi o gotovo zatvorenim marinskim sredinama koje su pod izrazitim utjecajem dotoka slatkih voda. Prisustvo ^{137}Cs u dagnjama moglo bi biti posljedica njegovog značajnijeg unosa slatkim vodama u morsku sredinu (obilnije oborine i značajniji dotoci u vremenskim razdobljima koja su prethodila uzorkovanju) i/ili izmjene jadranskih voda zbog dotoka iz Jonskog odnosno Egejskog mora. S druge pak strane treba istaknuti da su koncentracije ^{137}Cs u morskoj vodi tijekom posljednjih desetak godina bile približno konstantne. Koncentracije ^{137}Cs mjerene četiri puta godišnje na tri dubine na lokaciji približno 20 km ispred ušća rijeke Po kretale su se u rasponu od 1,5 do $2,5 \text{ Bq m}^{-3}$ morske vode [interni podaci LRE].

Koncentracije aktivnosti prirodnih ^{232}Th , ^{238}U i ^{226}Ra u tkivima dagnji su bile izrazito niske i uglavnom su se kretale ispod granica detekcije. Značajne razlike u aktivnostima nisu uočene kako u odnosu na proljetni/jesenski period tako niti u odnosu na lokacije pojedinih područja uzorkovanja na jadranskoj obali.

Općenito su sve mjerene vrijednosti koncentracija aktivnosti promatranih radionuklida u skladu s rezultatima publiciranim u znanstvenoj literaturi [1,4].

ZAKLJUČAK

Koncentracije aktivnosti ^7Be , ^{210}Po i ^{210}Pb redovito su više u proljetnom dijelu godine u odnosu na jesenski, pri čemu su vrijednosti najviše na lokacijama pod izrazitim utjecajem dotoka slatkih voda. Ponašanje ovih radionuklida je gotovo identično budući da prvenstveno dopijevaju u priobalne vode depozicijom iz atmosfere te dotokom slatke vode s kopna.

Koncentracije aktivnosti ^{40}K bitno ne variraju kako s obzirom na godišnje doba tako ni s obzirom na lokacije, što je i očekivano obzirom na njegove prirodne koncentracije u morskoj vodi.

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs izrazito variraju. Tijekom 2010. godine na svim lokacijama bile su ispod granica detekcije, a tijekom 2011. godine ^{137}Cs je detektiran čak 11 puta s maksimalnom vrijednošću od $1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ suhe mase tkiva.

Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida ^{232}Th , ^{238}U i ^{226}Ra u tkivima dagnji izrazito su niske i uglavnom ispod granica detekcije gamaspektrometrijskog određivanja.

ZAHVALA

Rad je izrađen uz financijsku potporu Ugovora s Državnim zavodom za radiološku i nuklearnu sigurnost («Sustavno ispitivanje radioaktivnosti u morskim indikatorskim organizmima»), Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske (bilateralni projekt «Radiokemijske metode za određivanje radionuklida u uzorcima vode») te Ministarstva za visoko školstvo, znanost i tehnologiju Republike Slovenije (bilateralni projekt BI-HR/10-11-007).

LITERATURA

- [1] Thebault H, Rodriguez y Baena A.M, Andral B, Barišić D, Albaladejo J.B, Bologna A.S, Boudjenoun R, Delfanti R, Egorov V.N, El Khoukhi T, Florou H, Kniewald G, Noureddine A, Patrascu V, Pham M.K, Scarpato A, Stokozov N.A, Topcuoglu S, Warnau M. ^{137}Cs baseline levels in the Mediterranean and Black Sea: A cross-basin survey of the CIESM Mediterranean Mussel Watch programme. *Mar Pollut Bull* 2008;57:801-806.
- [2] Rožmarić M, Rogić M, Benedik L, Štok M, Barišić D. ^{210}Po and ^{210}Pb activity concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from Croatian Adriatic coast with the related dose assessment to the coastal population. *Chemosphere* 2012;87:1295-1300.
- [3] Rogić M, Rožmarić Mačefat M, Barišić D, Benedik Lj, Planinšek P. Koncentracije aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb u dagnjama (*Mytilus galloprovincialis*) te procjena ukupne godišnje efektivne doze za priobalno stanovništvo Republike Hrvatske. Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 2013. (ovaj Zbornik)
- [4] Fisenne I.M, Perry P.M, Decker K.M, Keller H.W. The daily intake of $^{234,235,238}\text{U}$, $^{228,230,232}\text{Th}$ and $^{226,228}\text{Ra}$ by New York City residents. *Health Phys* 1987;53(4):357-363.

SYSTEMATIC RADIOACTIVITY MONITORING OF ADRIATIC COASTAL WATERS USING MUSSELS (*Mytilus galloprovincialis*) AS A BIOINDICATOR

Martina Rožmarić Mačefat^{1*}, Matea Rogić¹, Delko Barišić¹,
Ljudmila Benedik² and Marko Štok²

¹Laboratory for Radioecology, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

^{*}Environmental Laboratories, International Atomic Energy Agency,
MC 98000, Monaco

²Department for Environmental Sciences, Jozef Stefan Institute, Ljubljana,
Slovenia

rozmar@irb.hr

Mediterranean Mussel Watch (MMW) is a project for radioactivity monitoring of Mediterranean coastal waters using mussels (*Mytilus galloprovincialis*) as a bioindicator. Mussels are sessile marine organisms able to filter up to 80 L of sea water daily. Possibility of absorption and accumulation of dissolved/particulate matter from sea water makes them a good bioindicator for environmental pollution studies. Laboratory for Radioecology systematically monitors Adriatic coastal waters as a part of MMW project, which includes determination of ⁷Be, ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra, ²³⁸U and ¹³⁷Cs, as well as highly radiotoxic naturally occurring radionuclides ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb.

The mussels were collected in spring and autumn periods of 2010 and 2011 at 13 stations including areas under significant fresh water discharges (Raša, Žrnovnica, Neretva and Ombla Rivers) or areas under potential anthropogenic influence (Kaštela Bay). After sample preparation ⁷Be, ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra, ²³⁸U and ¹³⁷Cs were determined gamma-spectrometrically, while ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb were separated on Sr resin. ²¹⁰Po was determined on an alpha spectrometer after self-deposition on Ag disc, while ²¹⁰Pb was determined via ²¹⁰Bi on a gas proportional counter after PbSO₄ precipitation.

⁷Be, ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb activity concentrations were higher in spring than in autumn periods for all locations, with the highest activities in the areas under heavy fresh water discharges. Activity concentrations of ⁴⁰K were practically the same at all locations with no seasonal changes, while ¹³⁷Cs activities varied significantly. Activities of ²³²Th, ²³⁸U and ²²⁶Ra were mostly below the detection limit of gamma-spectrometric measurements.

¹⁴C U KORALJIMA IZ INDONEZIJSKOG MORA

Jadranka Barešić¹, Stewart Fallon² i Julie Mazerat²

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

²Australian National University, Canberra, Australija

jbarevic@irb.hr

UVOD

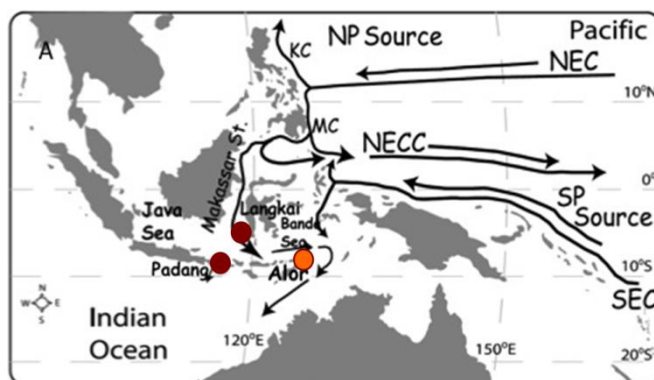
Radioaktivni ugljik nastaje prirodno u atmosferi, oksidira u CO₂ i jednoliko se raspoređuje u čitavoj biosferi te je od velike važnosti u mnogim znanstvenim područjima poput arheologije, hidrogeologije, ekologije, meteorologije, te klimatologije i oceanologije što je i tema ovog rada.

Primjena ¹⁴C u oceanologiji i klimatologiji zasniva se na određivanju izotopnog sastava koralja u čiju kristalnu strukturu se zbog izmjene atmosferskog CO₂ i otopljenog anorganskog ugljika (DIC, *dissolved inorganic carbon*) ugrađuju ¹⁴C atomi iz atmosfere. Na taj način svaka promjena u okolišu ostaje trajno zabilježena u strukturi koralja [1-3]. Izmjena atmosferskog CO₂ i DIC-a intenzivna je na površini oceana, a zahvaljujući termohalini, ¹⁴CO₂ dopijeva u duboke slojeve oceana gdje je izmjena s atmosferom ograničena. Uslijed radioaktivnog raspada ¹⁴C i dugog vremena zadržavanja vode, duboki slojevi oceana su osiromašeni sa ¹⁴C u odnosu na površinu. Razlika je znatno porasla 1963. godine kad je zbog termonuklearnih pokusa koncentracija atmosferskog ¹⁴C bila gotovo udvostručena [4]. Osim razlike u koncentraciji ¹⁴C između površinskih i dubokih slojeva oceana, uočeno je i da je Sjeverni Pacifik bogatiji s ¹⁴C u odnosu na Južni [5]. U ovom radu ¹⁴C je upotrijebljen kao obilježivač oceanskih struja i vertikalnog miješanja voda Indonezijskog protoka (*Indonesian throughflow* - ITF) kao vrlo važnoj komponenti u izmjeni vodnih masa između Pacifičkog i Indijskog oceana. Prikazani su rezultati mjerenja koncentracije ¹⁴C koralja s otoka Alor, Indonezija, koji su uspoređeni s rezultatima dobivenim iz područja Padang i Langkai, Indonezija [6,7].

MATERIJALI I METODE

Ispitivani koralj porodice *Porites* uzorkovan je u Indonezijskom moru, otok Alor, na 3,5 m dubine mora (8°14' S, 124°24' E; Slika 1) u listopadu 1999. godine. Jezgre koralja razrezane su na ploče debljine 5 mm, očišćene i

osušene nakon čega je utvrđena glavna vertikalna os rasta (Slika 2). Uzorci su uzimani bušilicom uzduž osi u intervalima od 2 mm (8 – 10 mg), prevedeni u grafitne mete i mjereni akceleratorskom masenom spektrometrijom (*Single Stage Accelerator Mass Spectrometry*, SSAMS) u Australian National University u Canberri [8]. Svi rezultati izraženi su kao relativna specifična aktivnost ^{14}C , $a^{14}\text{C}$, jedinica postotak modernog ugljika, pMC, uz pogrešku $\pm 1\sigma$.

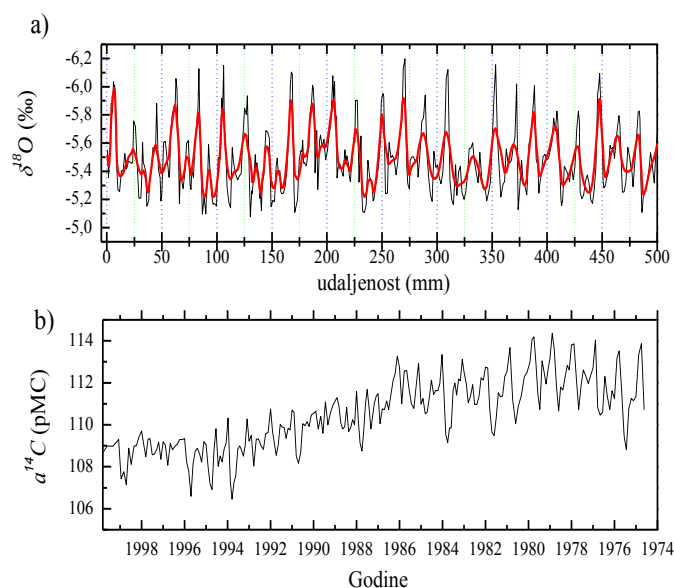


Slika 1. Indonezijski arhipelag s mjestima uzorkovanja koralja: (●) Langkai, Padang [6,7] i otok Alor (●).



Slika 2. Rendgenska snimka koralja s obilježenom osi rasta

Vremenska skala dobivenih rezultata ^{14}C mjerenja je konstruirana pomoću $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti pojedinih slojeva koralja [9]. Minimalne $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti u koralju odgovaraju ljetu, odnosno kišnoj sezoni, a maksimumi zimi, odnosno sušnoj sezoni (Slika 3 a). Poznavajući točno vrijeme uzorkovanja (listopad 1999.), svakoj navedenoj minimalnoj (ljetnoj) vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ pridružen je odgovarajući mjesec/godina. Razdoblja između minimuma (razmak od 1 godine) izračunata su linearnom interpolacijom između postojećih podataka. Na ovaj način je utvrđeno da je brzina rasta koralja uzorkovanog na Aloru iznosila gotovo 20 mm/god i da je uzorkovanjem obuhvaćeno razdoblje od 1974. do 1999. Ovako dobivenim godinama konačno su pridružene izmjerene vrijednosti $a^{14}\text{C}$ (Slika 3 b).

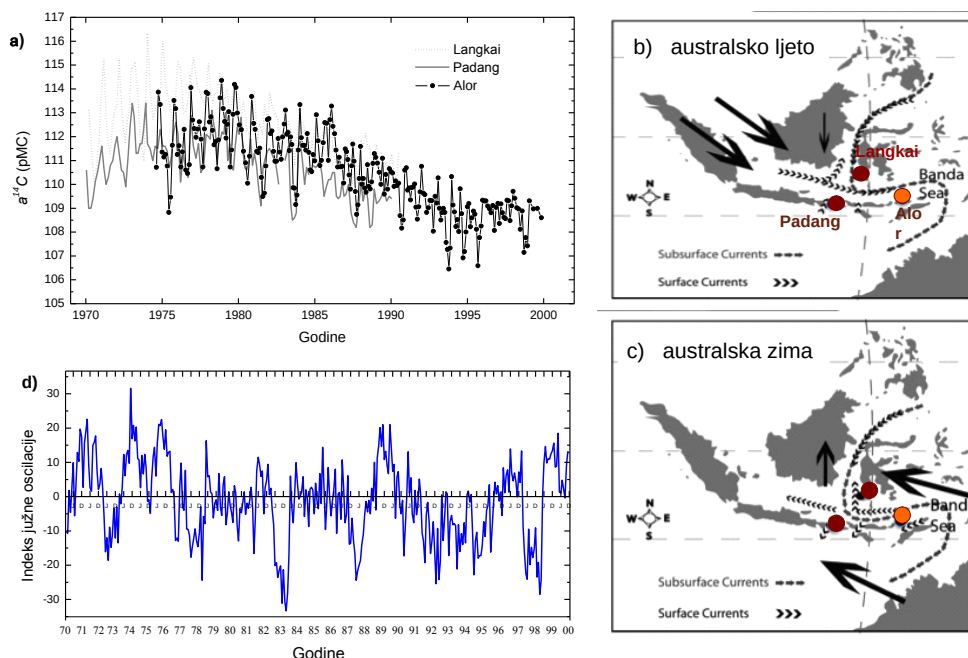


Slika 3. a) $\delta^{18}\text{O}$ vrijednosti izmjerene u pojedinim slojevima koralja, minimumi predstavljaju ljetne mjesece (jednogodišnji razmak); b) $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti pridružene godinama.

REZULTATI

$\delta^{14}\text{C}$ rezultati odražavaju vrlo izražene sezonske promjene (Slika 4 a), povišene vrijednosti za vrijeme australskog ljeta i snižene vrijednosti zimi. Ljetne vrijednosti su povišene zbog dotoka površinskih voda iz sjevernog Pacifika (obogaćen s ^{14}C) i Javanskog mora strujom Makassar, a dodatno ih pojačava ljetna stratifikacija (Slika 4 b). Zimske niže vrijednosti $\delta^{14}\text{C}$ ukazuju na vertikalno miješanje i donos dubokih voda na površinu i transport voda iz mora Banda i južnog Pacifika (Slika 4 c).

Maksimalna $\delta^{14}\text{C}$ koralja izmjerena je 1979. godine kao posljedica povišenja $\delta^{14}\text{C}$ u atmosferi uslijed termonuklearnih pokusa i iznosi 113 pMC što predstavlja oslabljenje i zakašnjenje atmosferskog maksimuma iz 1963. godine (187,5 pMC) zbog navedenih vodnih strujanja. Izraženiji minimumi $\delta^{14}\text{C}$ izmjereni u pojedinim slojevima koralja s Alora poklapaju se s razdobljima izraženog El Niña, negativne vrijednosti Indeksa južne oscilacije (eng. *Southern oscillation index*) (Slika 4 d) koji pojačava vertikalno miješanje i izdizanje dubokih voda siromašnih s ^{14}C na površinu. Za vrijeme El Niño događaja smanjen je tok voda iz sjevernog Pacifika prema Indijskom oceanu što dodatno snižava ^{14}C signal [10].



Slika 4. a) Usporedba $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti dobivenih iz triju koralja: Langkai, Padang (●) i Alor (●). b) Površinski tok Indonezijskog mora za razdoblje ljeta i (c) razdoblje zime na južnoj hemisferi. Smjerovi vjetrova su prikazani velikim strelicama, prilagođeno iz [11,12]. d) Indeks južne oscilacije [13].

ZAKLJUČAK

Usporedbom rezultata Alora s $\delta^{14}\text{C}$ izmjerenim na lokacijama Padang i Langkai, uočava se i zakašnjenje pojave maksimuma u odnosu na obje lokacije, dok je maksimum $\delta^{14}\text{C}$ s Alora po veličini između vrijednosti s Langaia i Padanga. Kašnjenje signala na Aloru ukazuje da na područje Langkaia i Padanga dopire veća količina vode iz sjevernog Pacifika strujom Makassar uz manje izražen povratni fluks iz Javanskog mora i manje intenzivno vertikalno miješanje voda zimi u odnosu na Alor. Opisana zapažanja pokazuju da "zapisi" $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti iz triju koralja doprinose boljem razumijevanju morskih struja u Indonezijskom toku.

ZAHVALA

Rad je obavljen u sklopu stipendije Go8 (Group of 8 Australian Universities).

LITERATURA

- [1] Levin I, Naegler T, Kromer B, Diehl M, Francey R J, Gomez-Pelaez A J, Steele P J, Wagenbach D, Weller R, Worthy D E. Observations and modelling of the global distribution and long-term trend of atmospheric $^{14}\text{CO}_2$. *Tellus* 2009;62B:26-46.
- [2] Dunbar R B, Cole J E. Annual Records of Tropical Systems (ARTS). PAGES Workshop Rep. Ser. 1999;99:72.
- [3] Moore M D, Schrag D P, Kashgarian M. Coral radiocarbon constraints on the source of the Indonesian throughflow. *J Geophys Res* 1997;102:12359-12365.
- [4] Broecker W S, Peng T S. Seasonal variability in the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio for surface ocean water. *Geophys Res Lett* 1980;7:1020-1022.
- [5] Toggweiler J, Dixon R K, Broecker W S. The Peru upwelling and the ventilation of the South Pacific thermocline. *J Geophys Res* 1991;96: 20467-20497.
- [6] Fallon S J, Guilderson T P. Surface water processes in the Indonesian throughflow as documented by a high-resolution coral D^{14}C record. *J Geophys Res* 2008;113: C09001, doi:10.1029/2008JC004722.
- [7] Guilderson T P, Fallon S, Moore M D, Schrag D P, Charles C D. Seasonally resolved surface water D^{14}C variability in the Lombok Strait: A coralline perspective. *J Geophys Res* 2009;114: C07029, doi:10.1029/2008JC004876
- [8] Fallon S J, Fifield L K, Chappell J M. The next chapter in radiocarbon dating at the Australian National University: Status report on the single stage AMS. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2010;268:898-901.
- [9] Charles C D, Cobb K, Moore M D, Fairbanks R G. Monsoon-tropical ocean interaction in a network of coral records spanning the 20th century. *Marine Geology* 2003;201:207-222.
- [10] Myers G. Variation of Indonesian throughflow and the El Niño southern oscillation. *J Geophys Res* 1996;101:12255-12263.
- [11] Gordon A L, Susanto R D, Vranes K. Cool Indonesian throughflow as a consequence of restricted surface layer flow. *Nature* 2003;425:824–828.
- [12] Gordon A L, Susanto R D, Fifield A. Throughflow within Makassar Strait. *Geophys Res Lett* 1999;26:3325-3328.
- [13] Australian Government, Bureau of Meteorology: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>

^{14}C RECORDS FROM INDONESIAN SEA

Jadranka Barešić¹, Stewart Fallon² and Julie Mazerat²

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Australian National University, Research School of Earth Sciences,
Canberra, Australia

jbarešic@irb.hr

To investigate ocean currents and past climate events affecting the Indonesian throughflow (ITF), a radiocarbon record from a *Porites* coral collected from Alor Island, Indonesia, was constructed. *Porites* corals are often used in paleoclimate research and water mass circulation studies in the Tropics because of their abundance in the region and growth rate of 8 – 20 mm/y. These characteristics allow reconstructions of past environmental changes on weekly to annual time scales. At this point radiocarbon coral results from Alor cover approximately 30 years. An age model was constructed using the sea surface temperature proxy $\delta^{18}\text{O}$. Alor radiocarbon results were compared with previous measurements obtained from Padang and Langkai corals. $\delta^{14}\text{C}$ values obtained from the Alor coral display a strong seasonal cycle, high values during Australian summer and low values during Australian winter. Higher $\delta^{14}\text{C}$ summer values indicate inflow of waters enriched by ^{14}C through Makassar Strait from the North Pacific Ocean and Java Sea surface water. Summer $\delta^{14}\text{C}$ values are also enhanced by summer stratification. Winter values indicate upwelling of deep Ocean waters within the research area and transport of ^{14}C -depleted waters from the Banda Sea, which has input from the South Pacific Ocean (lower $\delta^{14}\text{C}$ than North Pacific). Therefore, the $\delta^{14}\text{C}$ coral record reflects the movement of enriched water from North Pacific to Indian Ocean through Makassar Strait during summer and upwelling of depleted surface waters from the Banda Sea during the winter. Lower $\delta^{14}\text{C}$ dips could be attributed to strong El Niño events, which would enhance surface water mixing and upwelling of low radiocarbon deep waters. Water transport from North Pacific Ocean decreases during El Niño events also contributing to lowering of $\delta^{14}\text{C}$ signal.

ODREĐIVANJE URANA U PODZEMNIM VODAMA U BIH

Alfred Vidic¹, Zorana Ilić¹ i Marinko Antunović²

¹Zavod za javno zdravstvo FBiH, Sarajevo, BiH

²Agencija za vodno područje Jadranskog sliva, Mostar, BiH

a.vidic@zzjzfbih.ba

UVOD

U BiH postoje brojna nalazišta pitkih, mineralnih i ljekovitih voda u vidu prirodnih pojava (izvora) i umjetnih objekata – kopani bunari, bušotine i bušeni bunari. Prema fizičko-geografskim, geološkim i hidrogeološkim karakteristikama, u BiH razlikujemo tri osnovne hidrogeološke jedinice ili regiona i to: panonski, unutrašnji i krški region [1]. Pomenuta podjela je izvršena prvenstveno na osnovu zastupljenosti akvifera u terenu i prema strukturi i poroznosti akvifera koji izgrađuju teren.

Radioaktivnost u prirodnim vodama potiče od radionuklida sadržanih u stijenama, koji trošenjem stijena i otapanjem prelaze u vodenu fazu. Pri tome dolazi do frakcioniranja radionuklida pripadnika istog raspadnog niza, uslijed efekata izboja jezgri, kao i fizičko-kemijskih procesa između stijena i vode [2]. Uran je relativno mobilan element čija koncentracija u prirodnim vodama iznosi reda veličine 1 µg/L, a mjerene su vrijednosti od 0,001 do 1000 µg/L [2]. Tipično, odnos aktivnosti ²³⁴U/ ²³⁸U je veći od 1.

Cilj ovog rada je, određivanjem sadržaja urana, doprinijeti saznanju o radioaktivnosti voda sa stručnog aspekta.

MATERIJAL I METODE

Ispitivane vode potiču iz više regiona sa teritorije FBiH. Uzorkovane su izvorske vode, voda iz bunara i sa vodocrpilišta, kao i nekoliko flaširanih voda, tokom 2011. godine. Uzorci su u laboratoriji zakiseljeni sa par mL konc. HNO₃ i ostavljeni preko noći. Odmjerenim alikvotima od 2 L vode, dodat je traser urana, ²³²U, približno 15 mBq, radi računanja hemijskog prinosa. Uzorcima vode je dodat 1,25M Ca(NO₃)₂ i 3,2M (NH₄)₂HPO₄ uz grijanje. Koprecipitacija urana je vršena dodatkom konc. NH₄OH do pH~8-9, pri čemu nastaje bijeli talog Ca₃(PO₄)₂ [3]. Nakon centrifugiranja (3000 o/min, 5 min), talog Ca₃(PO₄)₂ je otopljen u 5 mL 8M HCl. Uran je odvojen od interferirajućih elemenata metodom jon izmjene, korištenjem anjon

izmjenjivačku smole, DOWEX 1x8, Cl- forma. Torijevi izotopi su uklonjeni sa 45 mL 8M HCl, nakon čega je uran eluiran sa 25 mL 0,5M HCl. Uzorci su pripremljeni za mjerenje mikroprecipitacijom sa NdF_3 [4]. Procedura se sastoji u dodavanju Nd-nosača, te TiCl_3 , u cilju redukcije urana, i konc. HF pri čemu se stvara talog NdF_3 koji povlači uran. Mjerenje je vršeno na alfa spektrometru Alpha Analyst, Canberra, opremljenom silicijskim detektorima (PIPS) aktivne površine 450 mm^2 . Vrijeme brojanja uzoraka je bilo 172800 sekundi, a hemijski prinos je iznosio 47-94%. Donja granica detekcije je iznosila 0,19–0,65 mBq/L za ^{238}U , 0,13–0,30 mBq/L za ^{235}U i 0,21–0,63 mBq/L za ^{234}U . Rezultati su izraženi sa kombinovanom standardnom nesigurnošću, uz faktor pokrivanja 1 [5].

REZULTATI

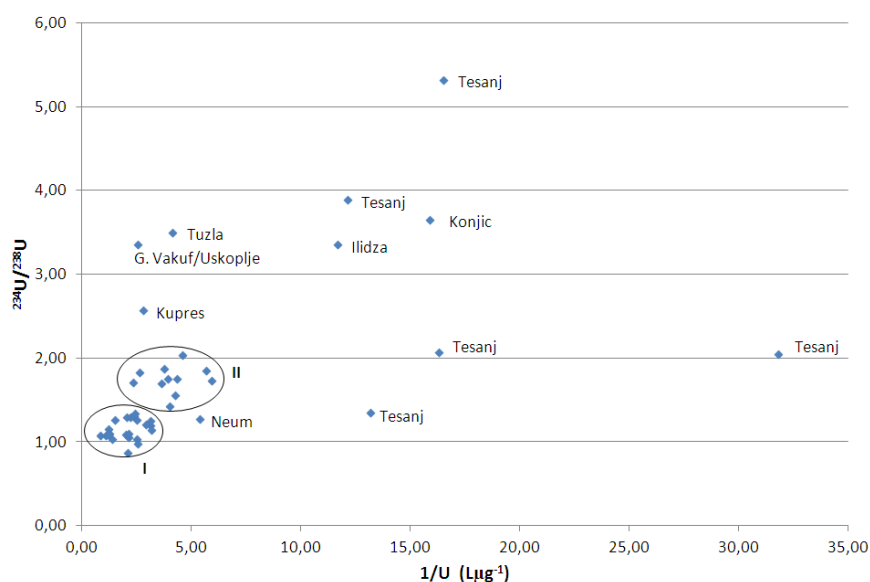
Rezultati vodljivosti za ispitivane vode iznose od 203 do 2600 $\mu\text{Sm/cm}$, uz vrijednost mediane od 455 $\mu\text{Sm/cm}$, indicirajući visok jonski sadržaj. Pri tome većina ispitivanih voda pokazuje vodljivost $<626 \mu\text{Sm/cm}$ (75%). Suhi ostatak iznosi od 0,102 g/L do 1,861 g/L (mediana = 0,265) i pokazuje visok koeficijent korelacije sa vodljivošću ($R^2 = 0,99$), ukazujući na visok sadržaj soli kao otopljenih tvari. Sadržaj urana u ispitivanim vodama je relativno nizak, $<1 \mu\text{g/L}$, osim uzorka #17, koji sadrži $1,15 \mu\text{g/L}$ urana. Očekivano, koncentracija urana ne pokazuje ovisnost sa suhim ostatkom jer se radi o vodama različitog porijekla i različitog hemijskog sastava. Odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, za ispitivane vode u kojima je bila mjerljiva koncentracija aktivnosti uranovih izotopa, iznosi od 0,88 do 5,32, uz vrijednost mediane od 1,31. Dakle, polovina ispitivanih voda pokazuje odnos aktivnosti neznatno iznad ravnotežnog, pri čemu većina voda ima odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} < 2$ (~80 %). Generalno, uzimajući u obzir masenu koncentraciju urana i odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, većina voda se može karakterizirati kao oksidovane vode s „normalnim“ sadržajem urana [6,7].

U cilju analize sličnosti ispitivanih voda rezultati su prikazani na dijagramu (Slika 1) kao inverzna masena koncentracija u funkciji odnosa aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ [6,7]. Većina ispitivanih voda je grupisana u donjem lijevom uglu dijagrama, ukazujući na relativno povišen sadržaj urana, kao i nizak odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. Povišen sadržaj urana u prirodnim vodama je moguća posljedica većeg sadržaja urana u tlu i pozitivnih oksidacionih uvjeta sredine koji favorizuju prelazak urana u mobilnu fazu. Relativno nizak odnos aktivnosti ukazuje na dominantne procese trošenja i otapanja stijena, pri čemu uran prelazi u vodu, u odnosu na efekat izboja jezgri.

Tablica 1. Rezultati analize ispitivanih voda

#		Vodljivost ($\mu\text{Sm/cm}$)	Suhi ostatak (g/L)	^{238}U (mBq/L)	^{235}U (mBq/L)	^{234}U (mBq/L)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
	Općina						
1	Bosansko Grahovo	285	0,169	7,57 $\pm$ 0,7	<0,36	9,34 $\pm$ 0,8	1,23 $\pm$ 0,16
2	Čapljina	450	0,261	3,94 $\pm$ 0,32	<0,13	4,72 $\pm$ 0,36	1,20 $\pm$ 0,13
3	Čapljina	2150	1,406	11,19 $\pm$ 0,79	0,31 $\pm$ 0,1	12,15 $\pm$ 0,84	1,09 $\pm$ 0,11
4	Čitluk	379	0,233	6,11 $\pm$ 0,54	<0,25	6,66 $\pm$ 0,57	1,09 $\pm$ 0,13
5	Domaljevac	482	0,259	<0,39	<0,27	<0,43	
6	Glamoč	626	0,476	4,7 $\pm$ 0,46	<0,25	8,63 $\pm$ 0,68	1,84 $\pm$ 0,23
7	G. Vakuf/Uskoplje	584	0,31	4,85 $\pm$ 0,36	0,39 $\pm$ 0,08	16,33 $\pm$ 0,93	3,37 $\pm$ 0,32
8	Gračanica	757	0,437	9,66 $\pm$ 0,65	<0,16	10,64 $\pm$ 0,69	1,10 $\pm$ 0,10
9	Grude	398	0,271	4,9 $\pm$ 0,39	<0,14	6,23 $\pm$ 0,46	1,27 $\pm$ 0,14
10	Ilidža	466	0,341	2,99 $\pm$ 0,3	<0,16	10,47 $\pm$ 0,7	3,50 $\pm$ 0,42
11	Ilidža	1173	0,741	1,06 $\pm$ 0,17	<0,17	3,56 $\pm$ 0,34	3,36 $\pm$ 0,63
12	Jablanica	249	0,149	3,95 $\pm$ 0,42	<0,26	4,96 $\pm$ 0,48	1,26 $\pm$ 0,18
13	Kladanj	399	0,219	2,09 $\pm$ 0,23	<0,15	3,63 $\pm$ 0,33	1,74 $\pm$ 0,25
14	Konjic	341	0,195	0,78 $\pm$ 0,14	<0,18	2,85 $\pm$ 0,3	3,65 $\pm$ 0,76
15	Kupres	486	0,345	4,4 $\pm$ 0,38	<0,18	11,36 $\pm$ 0,75	2,58 $\pm$ 0,28
16	Livno	363	0,23	5,54 $\pm$ 0,48	<0,21	7,24 $\pm$ 0,57	1,31 $\pm$ 0,15
17	Livno	241	0,155	14,28 $\pm$ 0,87	0,63 $\pm$ 0,12	15,45 $\pm$ 0,93	1,08 $\pm$ 0,09
18	Lukavac	239	0,142	<0,27	<0,27	<0,34	
19	Lukavac	241	0,158	<0,42	<0,42	<0,53	
20	Lukavac	504	0,307	0,39 $\pm$ 0,1	<0,19	0,8 $\pm$ 0,15	2,05 $\pm$ 0,65
21	Ljubuški	757	0,607	10,3 $\pm$ 0,68	0,71 $\pm$ 0,13	11,27 $\pm$ 0,73	1,09 $\pm$ 0,10
22	Ljubuški	790	0,565	10,24 $\pm$ 0,7	0,4 $\pm$ 0,1	11,85 $\pm$ 0,78	1,16 $\pm$ 0,11
23	Maoča/Brčko	477	0,275	5,16 $\pm$ 0,62	<0,25	6,78 $\pm$ 0,73	1,31 $\pm$ 0,21
24	Mostar	351	0,234	5,79 $\pm$ 0,48	<0,20	6,14 $\pm$ 0,5	1,06 $\pm$ 0,12
25	Mostar	295	0,179	3,1 $\pm$ 0,3	<0,17	4,43 $\pm$ 0,38	1,43 $\pm$ 0,18
26	Mostar	408	0,266	8,12 $\pm$ 0,6	0,36 $\pm$ 0,1	10,33 $\pm$ 0,71	1,27 $\pm$ 0,13
27	Mostar	352	0,194	3,92 $\pm$ 0,42	<0,28	4,5 $\pm$ 0,46	1,15 $\pm$ 0,17
28	Neum	515	0,288	2,3 $\pm$ 0,3	<0,25	2,94 $\pm$ 0,34	1,28 $\pm$ 0,22
29	Posušje	203	0,102	8,89 $\pm$ 0,78	<0,36	9,22 $\pm$ 0,8	1,04 $\pm$ 0,13
30	Prozor/Rama	491	0,261	2,84 $\pm$ 0,28	<0,15	5 $\pm$ 0,4	1,76 $\pm$ 0,22
31	Sarajevo	457	0,231	3,42 $\pm$ 0,2	0,28 $\pm$ 0,08	5,82 $\pm$ 0,45	1,70 $\pm$ 0,21
32	Sarajevo	441	0,253	2,69 $\pm$ 0,3	<0,21	5,5 $\pm$ 0,47	2,04 $\pm$ 0,29
33	Sarajevo	449	0,266	3,15 $\pm$ 0,31	<0,16	5,54 $\pm$ 0,44	1,76 $\pm$ 0,22
34	Sarajevo	455	0,278	3,31 $\pm$ 0,32	<0,19	6,22 $\pm$ 0,49	1,88 $\pm$ 0,23
35	Srebrenik	660	0,397	6,03 $\pm$ 0,5	0,25 $\pm$ 0,09	7,88 $\pm$ 0,6	1,31 $\pm$ 0,15
36	Široki Brijeg	nije mjereno	0,220	4,83 $\pm$ 0,61	<0,51	4,76 $\pm$ 0,61	0,99 $\pm$ 0,18
37	Široki Brijeg	406	0,263	5,8 $\pm$ 0,44	0,22 $\pm$ 0,07	6,43 $\pm$ 0,47	1,11 $\pm$ 0,12
38	Široki Brijeg	351	0,222	4,91 $\pm$ 0,62	<0,51	5,11 $\pm$ 0,63	1,04 $\pm$ 0,18
39	Tešanj	571	0,394	0,76 $\pm$ 0,14	<0,18	1,58 $\pm$ 0,21	2,08 $\pm$ 0,47
40	Tešanj	556	0,368	2,19 $\pm$ 0,25	<0,18	4,08 $\pm$ 0,37	1,86 $\pm$ 0,27
41	Tešanj	1588	1,168	<0,38	<0,26	0,67 $\pm$ 0,15	
42	Tešanj	2440	1,844	<0,31	<0,21	<0,34	
43	Tešanj	2600	1,861	<0,51	<0,35	<0,57	
44	Tešanj	nije mjereno	1,476	<0,23	<0,16	0,45 $\pm$ 0,1	
45	Tešanj	nije mjereno	0,109	1,02 $\pm$ 0,14	<0,13	3,97 $\pm$ 0,33	3,89 $\pm$ 0,62
46	Tešanj	nije mjereno	0,112	0,75 $\pm$ 0,16	<0,30	3,99 $\pm$ 0,4	5,32 $\pm$ 0,25
47	Tešanj	433	0,265	0,94 $\pm$ 0,14	<0,14	1,27 $\pm$ 0,16	1,35 $\pm$ 0,26
48	Tešanj	2040	1,383	<0,25	<0,17	<0,28	
49	Tešanj	653	0,353	5,12 $\pm$ 0,52	<0,30	6,89 $\pm$ 0,63	1,35 $\pm$ 0,18
50	Tomislavgrad	313	0,188	5,96 $\pm$ 0,47	<0,17	5,24 $\pm$ 0,43	0,88 $\pm$ 0,10
51	Tomislavgrad	320	0,206	4,24 $\pm$ 0,42	<0,25	5,16 $\pm$ 0,47	1,22 $\pm$ 0,16
52	Tuzla	795	0,498	2,91 $\pm$ 0,29	<0,17	4,54 $\pm$ 0,39	1,56 $\pm$ 0,21
53	Vitez	415	0,245	5,3 $\pm$ 0,82	<0,43	9,13 $\pm$ 1,12	1,72 $\pm$ 0,34

U donjem lijevom uglu dijagrama (Slika 1) razlikujemo dvije grupe voda. Grupu (I) čine ispitivane vode sa teritorija općina Čapljina, Ljubuški, Posušje, Mostar, Široki Brijeg, Grude, Livno, Tomislavgrad, a u grupu (II) spadaju vode sa teritorija općina Vitez, Glamoč, Prozor/Rama, Sarajevo, Tuzla, Kladanj, Mostar. Grupa I, u pravilu, obuhvata južnije općine, dok grupa II obuhvata nešto sjevernije općine u BiH. Ostale vode koje potiču sa teritorija općina Tešanj, Tuzla, Lukavac, Ilidža, Kupres, Gornji Vakuf/Uskoplje i Konjic su široko raspoređene po dijagramu indicirajući specifičnosti lokalnih uvjeta. Viši odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ za pojedine vode ukazuje na dominantniji efekat izboja jezgri i vjerovatno duži kontakt između tla i vode.



Slika 1. Dijagram inverzna masena koncentracija urana u funkciji odnosa aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

ZAKLJUČAK

Ispitivane podzemne vode u BiH u pravilu sadrže $<1 \mu\text{g/L}$ urana. Navedena vrijednost je niža od granične vrijednosti Svjetske zdravstvene organizacije ($30 \mu\text{g/L}$) [8], što potvrđuje da ispitivane vode zadovoljavaju kriterij zdravstvene ispravnosti pitkih voda, parametar radioaktivnost.

Većina ispitivanih voda pokazuje neravnotežu (>1) između izotopa ^{234}U i ^{238}U , uslijed veće mobilnosti ^{234}U . Pri tome devet uzoraka ispitanih

voda imaju izraženiji viši odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (>2). Relativno niža koncentracija urana i viši odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (>2), sugerira reduktione uvjete i značajan efekat izboja jezgri.

Kombinirajući vrijednosti za masenu koncentraciju urana i odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ većina voda se može klasifikovati kao oksidovane vode sa "normalnim" sadržajem urana [6,7].

Takođe, kombiniranjem koncentracije aktivnosti urana sa vrijednošću odnosa aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, utvrđene su sličnosti ispitivanih voda sa određenih geografskih područja, indicirajući uticaj litologije na sadržaj urana u prirodnim vodama.

LITERATURA

- [1] Strategija upravljanja vodama Federacije Bosne i Hercegovine 2010–2022, Sarajevo, 2012.
- [2] Osmond JK, Cowart JB, Ivanovich M. Uranium Isotopic Disequilibrium in Ground Water as an Indicator of Anomalies. *Int J Appl Radiat Isot* 1983;34: 283-308.
- [3] Eichrom Technologies Inc. Analytical procedures-Uranium and Thorium in Water-ACW03. Ver 1.7. 2001.
- [4] Environmental Measurements Laboratories (EML). Microprecipitation source preparation for alpha spectrometry. EML Procedures Manual-HASL 300. 28th Ed. 1997.
- [5] EURACHEM/CITAC Guide 2000. Quantifying uncertainty in analytical measurements. 2nd Ed. 2000.
- [6] Bonotto DM. Hydro(radio)chemical relationships in the giant Guarani aquifer. *Brazil Journal of Hydrology* 2006;323:353–386.
- [7] Chkir N, Guendouz A, Zouari K, Hadj Ammar F, Moulla AS. Uranium isotopes in groundwater from the continental intercalaire aquifer in Algerian Tunisian Sahara (Northern Africa). *Journal of Environmental Radioactivity* 2009;100:649–656.
- [8] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, 4th Ed. WHO. 2011.

DETERMINATION OF URANIUM IN GROUNDWATER SAMPLES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Alfred Vidic¹, Zorana Ilić² and Marinko Antunović²

¹Institute for Public Health of FB&H, M. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

²Adriatic Sea Watershed Agency, Mostar, Bosnia and Herzegovina

a.vidic@zzjzfbih.ba

Uranium is widely distributed in significant concentrations in many varieties of rocks, the ground and surface waters. Commonly observed fractionation and disequilibrium between ^{234}U and ^{238}U in water is result of nuclear recoil effects and the extensive rock/water interactions. The aim of work was determination of uranium radioisotopes activity concentration and investigation of the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio in the ground waters of Bosnia and Herzegovina. In total 53 samples were collected in different regions. For the measurements of uranium radioisotopes alpha spectrometry following radiochemical separation was used. The results for uranium content range between <MDA to 14.28 ± 0.87 mBq/L, <MDA to 0.71 ± 0.13 mBq/L and <MDA to 16.33 ± 0.93 mBq/L for ^{238}U , ^{235}U and ^{234}U , respectively. Corresponding uranium mass concentration is much lower than WHO guideline value for uranium content in drinking water (30 $\mu\text{g/L}$). The activity ratio of the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ for the samples in which uranium was above MDA ranges between 0.88 and 5.32. Low activity ratio of the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ is characteristic for water that is more aggressively leaching indicating dominant weathering effect and possibly shallow water. The rest of the waters with higher $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio indicate significant contribution of recoil effects, and mixing with the deeper water. Further, the areas with similar isotopic signatures were observed, indicating possible influence of lithology on uranium content.

NOVIJA ODREĐIVANJA URANA I UKUPNE ALFA I BETA AKTIVNOSTI U PODZEMNIM VODAMA NA PODRUČJU HADŽIĆA

Alfred Vidic¹, Azra Rašidagić², Zorana Ilić¹ i Mirza Nuhanović²

¹Zavod za javno zdravstvo FBiH, Sarajevo, BiH

²Prirodno matematički fakultet, Sarajevo, BiH

a.vidic@zzjzfbih.ba

UVOD

Određivanja urana u tlu i vodama na lokalitetu Hadžića, u okolini Sarajeva, uslijedila su kao posljedica upotrebe municije od osiromašenog urana na ovom području. Najveći dio municije, cijelih penetratora ili fragmenata, se nalazi ukopan dublje u tlu, gdje ovisno o kemijskim i drugim uvjetima korodira i migrira u okoliš i predstavlja potencijalni izvor kontaminacije podzemnih voda. Kontaminacija podzemnih i površinskih voda je identificirana kao glavno pitanje od interesa za dugoročno ispitivanje [1]. U pojedinim uzorcima vode je dokazano prisustvo osiromašenog urana potvrđujući ispravnost teze o mogućnosti kontaminacije podzemnih voda [1,2]. Veličina i kemijske karakteristike čestica, kao i lokalne geokemijske i hidrogeološke karakteristike, odlučujuće utiču na migraciju urana. Ispitivanjima sekvencijalnog otapanja uzoraka tla pokazano je da se značajan dio urana nalazi u izmjenjivoj frakciji, odnosno da može biti mobiliziran i transportovan površinskim i podzemnim vodama [3]. Step en korozi je metalnih penetratora od osiromašenog urana ukopanih u tlu je reda veličine 0,05 do 0,1 cm/god, što za 30 mm penetrator veličine dijamet ra 1 cm, i dužine 15 cm, u izuzetno povoljnim okolišnim uslovima iznosi približno 90 g/god. U realnim uslovima vremenski period od 15 do 30 godina je naznačen kao period u kome je moguća kontaminacija podzemnih voda osiromašenim uranom uslijed kontaminacije tla [4].

Cilj ispitivanja podzemnih voda je odrediti ukupnu alfa i beta aktivnost, koncentraciju aktivnosti uranovih izotopa, te procijeniti njihov odnos.

MATERIJAL I METODE

Uzorkovana je voda iz pet kaptiranih izvora, koju koriste lokalna domaćinstva. Uzorkovanje je vršeno u oktobru 2012. godine. Prikupljeni

uzorci su bez zakiseljavanja isti dan prenešeni u laboratoriju, filtrirani na 0,45 μm , nakon čega je vršeno mjerenje vodljivosti i određen suhi ostatak (105 °C).

Ukupna alfa i beta aktivnost je određena prema standardnim metodama ISO9696, odnosno ISO9697. Alikvotima uzoraka, od 1 L, dodato je 1 mL konc. H_2SO_4 , nakon čega su upareni do suha, te žareni par sati na 350 °C. Žareni ostatak je homogeniziran i za mjerenje je prenešeno 100 mg u planšetu dijametra 5 cm. Uzorci su mjereni 86400 sekundi, na gas protočnom proporcionalnom brojaču MPC-9604, Protean Instruments Corporation. Efikasnost za ukupnu alfa aktivnost je iznosila 8 %, a za ukupnu beta aktivnost 40 %. Donja granica detekcije za ukupnu alfa aktivnost je iznosila 14 – 32 mBq/L, odnosno 6 – 13 mBq/L za ukupnu beta aktivnost.

Uranovi izotopi su određeni metodom alfa spektrometrije. Za analizu je uzeto približno 2 L vode od svakog uzorka. Odmjerenim alikvotima uzoraka vode, dodat je traser urana, ^{232}U , približno 15 mBq, radi računanja kemijskog prinosa. Uran je koprecipitiran sa $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ prema Eichrom proceduri [5]. Nakon centrifugiranja (3000 o/min, 5 min), talog $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ je otopljen u 5 mL 8M HCl. Uran je odvojen od interferirajućih elemenata propuštanjem kroz anjon izmjenjivačku kolonu, DOWEX 1 $\times$ 8, Cl-forma, 100-200. Nakon uklanjanja torijevih izotopa sa 45 mL 8M HCl, uran je eluiran sa 25 mL 0,5M HCl. Uzorci su pripremljeni za mjerenje mikroprecipitacijom sa NdF_3 prema HASL-300 proceduri [6]. Mjerenje je vršeno na alfa spektrometru Alpha Analyst, Canberra, opremljenom silicijskim detektorima (PIPS) aktivne površine 450 mm². Vrijeme brojanja uzoraka je bilo 172800 sekundi, a kemijski prinos je iznosio 67 – 90 %. Donja granica detekcije je iznosila 0,18 – 0,25 mBq/L za ^{238}U , 0,12 – 0,17 mBq/L za ^{235}U i 0,20 – 0,28 mBq/L za ^{234}U .

REZULTATI

U ispitivanim uzorcima izvršena je analiza ukupne alfa i beta aktivnosti, te izotopska analiza urana. Rezultati analiza ispitivanih uzoraka vode su prikazani u Tablici 1.

Uzorci su prije analize filtrirani na 0,45 μm , pretpostavljajući da je uran otopljen u vodi, a ne u suspendovanoj frakciji [7].

Ispitivane vode imaju relativno visoku vrijednost za suhi ostatak i specifičnu vodljivost indicirajući da se radi o veoma tvrdim vodama sa visokim jonskim sadržajem. Rezultati za uran pokazuju korelaciju sa

sadržajem mineralne tvari, izuzev uzorka #2. Odsustvo korelacije je obično vezano za različito porijeklo i različit kemijski sastav voda [8].

Tablica 1. Rezultati ispitivanja uzoraka vode

#	Koordinate, Gauss- Krüger	Vodljivost ($\mu\text{Sm/cm}$)	Suhi ostatak (g/L)	Ukupna α (mBq/L)	Ukupna β (mBq/L)	^{238}U (mBq/L)	^{235}U (mBq/L)	^{234}U (mBq/L)
1	N4853485 E6516026	730	0,438	<32	54 $\pm$ 6	10,9 $\pm$ 0,7	0,79 $\pm$ 0,12	16,0 $\pm$ 0,9
2	N4853573 E6516210	420	0,226	<16	21 $\pm$ 3	10,4 $\pm$ 0,7	0,60 $\pm$ 0,11	14,6 $\pm$ 0,9
3	N4853198 E6515810	427	0,208	<14	<6	1,6 $\pm$ 0,2	<0,14	2,7 $\pm$ 0,3
4	N4853927 E6515403	544	0,346	<24	<11	5,9 $\pm$ 0,4	0,31 $\pm$ 0,08	8,0 $\pm$ 0,5
5	N4853338 E6515334	455	0,234	<17	26 $\pm$ 3	2,7 $\pm$ 0,3	<0,17	3,1 $\pm$ 0,3

Radioaktivnost ispitivanih voda je relativno niska. Ukupna alfa i beta aktivnost su znatno niže od preporučenih graničnih vrijednosti Svjetske zdravstvene organizacije od 0,5 i 1 Bq/L [9]. Koncentracija aktivnosti uranovih izotopa je niska i odgovara masenoj koncentraciji urana od 0,13 do 0,88 $\mu\text{g/L}$. Navedene vrijednosti su znatno niže od granične vrijednosti od 30 $\mu\text{g/L}$ za uran prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji [9].

Vrijednosti masene koncentracije urana pokazuju direktnu zavisnost od litologije tla. Vode uzorkovane iz pješčarsko dominantnih dijelova (uzorci #1, #2, #4) pokazuju relativno viši sadržaj urana u odnosu na vode koje potiču iz karbonatnih stijena (#3, #5).

Sve ispitivane vode imaju povišen odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$, kao rezultat veće mobilnosti ^{234}U . Prema rezultatima za odnos aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ i koncentraciju urana, ispitivane vode spadaju u oksidovane vode sa "normalnim" sadržajem urana [10,11].

ZAKLJUČAK

Ispitivane vode pokazuju nisku radioaktivnost, što se odnosi kako na ukupnu alfa i beta aktivnost, tako i na sadržaj urana. Izmjerene vrijednosti su znatno ispod preporučenih vrijednosti za pitke vode Svjetske zdravstvene organizacije.

Masena koncentracija urana pokazuje korelaciju sa geološkim strukturama tla, gdje vode porijeklom iz pješčarskih stijena imaju viši sadržaj urana od voda iz karbonatnih stijena.

Povišene vrijednosti odnosa aktivnosti $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ u analiziranim vodama pokazuju izraženo preferencijalno otapanje ^{234}U .

LITERATURA

- [1] Jia G, Belli M, Sansone U, Rosamilia S, Gaudino S. Concentration and characteristics of depleted uranium in biological and water samples collected in Bosnia and Herzegovina. *Journal of Environmental Radioactivity* 2006; 89:172-187.
- [2] Jia G, Belli M, Sansone U, Rosamilia S, Gaudino S. Concentration, distribution and characteristics of depleted uranium (DU) in the Kosovo ecosystem: A comparison with the uranium behavior in the environment uncontaminated by DU. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2004;260:481-494
- [3] Oliver IW, Graham MC, MacKenzie AB, Ellam RM, Farmer JG. Distribution and partitioning of depleted uranium (DU) in soils at weapons test ranges – Investigations combining the BCR extraction scheme and isotopic analysis. *Chemosphere* 2008;72:932–939.
- [4] The Health Hazards of Depleted Uranium Munitions, Part I. The Royal Society 2001.
- [5] Eichrom Technologies Inc. Analytical procedures – Uranium and Thorium in Water – ACW03. Ver 1.7. 2001.
- [6] Environmental Measurements Laboratories (EML). Microprecipitation source preparation for alpha spectrometry. EML Procedures Manual-HASL 300. 28th Ed. 1997.
- [7] Lee MH, Choia GS, Choa YH, Lee CW, Shin HS. Concentrations and activity ratios of uranium isotopes in the groundwater of the Okchun Belt in Korea. *Journal of Environmental Radioactivity* 2001;57:105-116.
- [8] Jobbágy V, Chmielewska I, Kovács T, Chalupnik S. Uranium determination in water samples with elevated salinity from Southern Poland by microcoprecipitation using alpha spectrometry. *Microchemical Journal* 2009; 93:200-205.
- [9] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. 4th Ed. WHO. 2011.
- [10] Bonotto DM. Hydro(radio)chemical relationships in the giant Guarani aquifer, Brazil. *Journal of Hydrology* 2006;323:353–386.
- [11] Chkir N, Guendouz A, Zouari K, Hadj Ammar F, Moulla AS. Uranium isotopes in groundwater from the continental intercalaire aquifer in Algerian Tunisian Sahara (Northern Africa). *Journal of Environmental Radioactivity* 2009;100:649–656.

RECENT DETERMINATIONS OF URANIUM AND GROSS ALPHA AND BETA IN GROUNDWATER SAMPLES OF HADŽIĆI AREA

Alfred Vidic¹, Azra Rašidagić², Zorana Ilić¹ and Mirza Nuhanović²

¹Institute for Public Health of FB&H, M. Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina

²University of Sarajevo, Faculty of Science, Sarajevo,
Bosnia and Herzegovina
a.vidic@zzjzfbih.ba

Intake of radionuclides due to ingestion of water can give significant rise to internal exposure of humans. The aim of our work was to determine gross alpha and beta activity as a screening value and to determine uranium radioisotopes activity concentration in groundwater samples. Five samples of free flowing water are collected at the outlets of concrete protection boxes. Gross alpha and beta activity measurements were performed according to ISO 9696 and ISO 9697 standards on gas proportional counter. For the measurements of uranium radioisotopes activity concentration alpha spectrometry following radiochemical separation on anion exchange resins was used. The results for the gross alpha were <MDA, while for gross beta range from <MDA to 53.5 ± 6.0 mBq/L. The activity concentration of uranium radioisotopes in analyzed samples range between 1.6 ± 0.2 mBq/L and 10.9 ± 0.7 mBq/L, between <MDA and 7.9 ± 1.2 mBq/L and between 2.7 ± 0.3 mBq/L and 16.0 ± 0.9 mBq/L for ^{238}U , ^{235}U and ^{234}U , respectively. The results for all of the investigated waters are considerably lower than WHO drinking water guideline values of 0.5 Bq/L for gross alpha, 1 Bq/L for gross beta, as well as 30 µg/L for total uranium.

PRIRODNA RADIOAKTIVNOST U OKOLIŠU ODLAGALIŠTA FOSFOGIPSA

Tomislav Bituh¹, Gordana Marović¹, Branko Petrinc¹, Zlatko Vučić²
i Ivica Prlić¹

¹Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

²Institut za fiziku, Zagreb

tbituh@imi.hr

UVOD

Odlagalište fosfogipsa, otpadnog materijala koji nastaje tijekom proizvodnje fosfatnih mineralnih gnojiva, nalazi se na rubu Parka prirode Lonjsko polje. Sirovina za proizvodnju fosfatnih mineralnih gnojiva je fosfatna ruda koja ima povišenu prirodnu radioaktivnost (*Naturally Occurring Radioactive Material* – NORM). Kemijski, fosfogips je $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (95 %), dok ostatak čine fosfati koji nisu izreagirali s H_2SO_4 , neotopljeni fluorosilikati, zaostali topivi P_2O_5 , te minerali i organske tvari. U procesu proizvodnje fosfatnih mineralnih gnojiva prirodni ^{238}U iz fosfatne rude uglavnom odlazi u gotove proizvode, dok se 80 % ^{226}Ra ugrađuje u fosfogips zamjenjujući Ca u kemijskoj strukturi [1-3].

Jedinica za zaštitu od zračenja redovito provodi istraživanja radioaktivnosti uslijed rada tvornice fosfatnih mineralnih gnojiva sa ciljem dobivanja podataka o stanju radioaktivnosti na samom odlagalištu i u okolišu. Proširena istraživanja u okolišu odlagališta fosfogipsa provedena su u sklopu izrade doktorskog rada "Istraživanje širenja fosfogipsa s odlagališta u okoliš uporabom radionuklida" [4].

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra i ^{40}K) u travi i tlu oko odlagališta, te su posebno određene koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u procjednim vodama radi kontrole eventualne propusnosti odlagališta.

MATERIJALI I METODE

Uzorkovanje procjednih voda, trava i tla provedeno je prema postupku propisanom od IAEA-e [5].

Procjedne vode uzorkovane su iz 6 piezometara smještenih oko odlagališta fosfogipsa na dvije dubine (4 m i 10 m). Nakon radiokemijskog odvajanja, ^{226}Ra je određen alfaspektrometrijskim mjerenjem (Canberra

PIPS detektor aktivne površine 450 mm², α -rezolucija za ²⁴¹Am 19 keV; vrijeme brojanja 24 h).

Uzorkovanje trave provedeno je na udaljenostima 10 m i 30 m od ruba odlagališta dok je tlo uzorkovano na dubini od 0 do 20 cm pomoću korer alata na 6 mjesta uz odlagalište. Uzorci su sušeni na 105 °C tijekom 24 – 72 h, zatim spaljeni na 450 °C, te spremljeni u plastične kutijice za mjerenje.

Tako pripremljeni uzorci trave i tla pohranjeni su najmanje 30 dana zbog postizanja radioaktivne ravnoteže između ²²⁶Ra i njegovih potomaka, te je na njima provedena gamaspektrometrijska analiza. Vrijeme brojanja svakog uzorka bilo je najmanje 24 h.

Gamaspektrometrijska mjerenja provedena su poluvodičkim detektorom HPGe (*High-Purity Germanium Detector*). Korišten je detektor GMX ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ⁶⁰Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ⁶⁰Co, povezan s elektroničkim sustavom i računalom. Određivane su koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th, ²²⁶Ra i ⁴⁰K.

REZULTATI I RASPRAVA

U Tablici 1 prikazane su koncentracije aktivnosti ²²⁶Ra u procjednim vodama. Vrijednosti su bile u rasponu od 6 do 34 Bq/m³ i nešto su niže ili su istog reda veličine od vrijednosti dobivenih prijašnjih godina, kad su koncentracije aktivnosti ²²⁶Ra bile u rasponu od 15 do 125 Bq/m³ [6].

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ²²⁶Ra u procjednim vodama iz piezometara.

Koncentracija aktivnosti ²²⁶ Ra [Bq/m ³]						
Oznaka piezometra	D1	D2	D6	D3/3	D4/1	D7
Min.	10 ± 4	14 ± 4	6 ± 3	11 ± 4	12 ± 4	12 ± 4
Max.	29 ± 8	32 ± 7	30 ± 8	34 ± 9	25 ± 7	21 ± 7

Također, dobiveni rezultati slični su i rezultatima u istraživanjima provedenima uz odlagališta u Španjolskoj i SAD-u (1 – 75 Bq/m³) [7-9]. Iz dobivenih vrijednosti koncentracija aktivnosti ²²⁶Ra u procjednim vodama, možemo zaključiti da fosfogips slabo prodire u podzemne vode ispod odlagališta odnosno da je zaštita ispod donje površine odlagališta učinkovita.

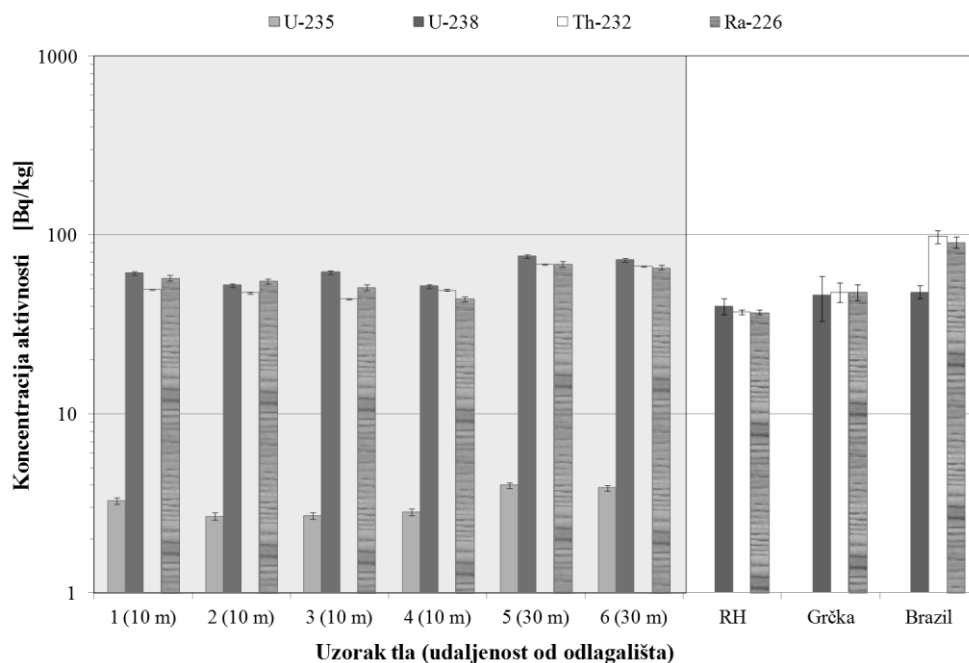
U Tablici 2 prikazani su rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida (^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{235}U) u uzorcima trave na 8 mjesta oko odlagališta.

Tablica 2. Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima trave oko odlagališta.

	Koncentracija aktivnosti [Bq/kg]				
	^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{235}U
Minimum	157 ± 2	$0,1 \pm 0,3$	$0,94 \pm 0,05$	$0,34 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,08$
Maximum	779 ± 4	$1,9 \pm 0,5$	$4,38 \pm 0,09$	$1,5 \pm 0,1$	$0,77 \pm 0,09$

Slični rezultati za ^{226}Ra ($\sim 4,2$ Bq/kg), ^{238}U ($\sim 2,3$ Bq/kg) i ^{232}Th ($\sim 0,4$ Bq/kg) dobiveni su i u travama oko odlagališta u Siriji [10]. Koncentracije aktivnosti za sve prikazane radionuklide u uzorcima trave uz odlagalište istog su reda veličine ili čak i nešto niže u odnosu na one izmjerene u uzorcima trave iz drugih dijelova Hrvatske (Zagreb, Zadar, Osijek) tijekom 2010. i 2011. godine [11,12]. Naime, u Hrvatskoj su se vrijednosti kretale od $562 - 1229$ Bq/kg za ^{40}K , $0,4 - 4,3$ Bq/kg za ^{238}U , $0,3 - 8,7$ Bq/kg za ^{226}Ra , $0,7 - 7,7$ Bq/kg za ^{232}Th i $0,02 - 1,2$ Bq/kg za ^{235}U . Dakle, nije uočena povišena prirodna radioaktivnost u travama oko odlagališta fosfogipsa.

Na Slici 1 prikazane su koncentracije aktivnosti ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th i ^{226}Ra u uzorcima tla uzorkovanim na 6 mjesta oko odlagališta. Vrijednosti pokazuju da nema značajne razlike između uzoraka uzorkovanih bliže odlagalištu (10 m) i onih uzorkovanih dalje od odlagališta (30 m). Vrijednosti za ^{238}U , ^{226}Ra i ^{232}Th istog su reda veličine u odnosu na koncentracije aktivnosti u tlima oko grčkih i brazilskih odlagališta [9,13], kao i u odnosu na koncentracije aktivnosti u tlu iz ostalih dijelova Hrvatske [11,12].



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th i ^{226}Ra u uzorcima tla.

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 prirodnih radionuklida u uzorcima procjernih voda, trava i tla uzorkovanim uz samo odlagalište nisu povišene u odnosu na uzorke iz ostalih dijelova Hrvatske. 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

Ovaj rad načinjen je u okviru projekta MZOS 022-0222882-2335. Autori zahvaljuju dr. sc. Stjepanu Leakoviću i tvrtki "Petrokemija" d.d. iz Kutine, te upravi Parka prirode Lonjsko polje.

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, Marović G, Franić Z, Senčar J, Bronzović M. Radioactive contamination in Croatia by phosphate fertilizer production. *J Hazard Mater* 2009;162:1199-1203.
- [3] Rutherford PM, Dudas MJ, Samek RA. Environmental impact of phosphogypsum. *Sci Total Environ* 1994;149:1-38.
- [4] Bituh T. Istraživanje širenja fosfogipsa s odlagališta u okoliš uporabom radionuklida. Doktorski rad. Zagreb, 2012.
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA). Measurement of radionuclides in food and the environment. Technical Report Series No 295. Vienna: IAEA 1989.
- [6] Marović G. Detekcija putova rasprostiranja ionizirajućeg zračenja tijekom proizvodnje NPK gnojiva. Izvještaj za 2011. godinu. IMI-P-273. IMI, Zagreb, 2011.
- [7] FIPR-Florida Institute of Phosphate Research. Evaluation of exposure to technologically enhanced naturally occurring radioactive materials (TENORM) in the phosphate industry. Florida Institute of Phosphate Research, Bartow, Florida, USA, 1998.
- [8] Canete SJP, Palad LJH, Enriquez EB, Garcia TY, Yuolo-Nazarea T. Leachable ²²⁶Ra 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 Environ Manage* 2011;92:2151-2158.
- [11] Marović G, Avdić M, Babić D, Bituh T, Branica G, Franić Z, Fanulović I, Petrinc B, Petroci Lj, Senčar J, Skoko B. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Izvještaj za 2010. godinu. IMI-CRZ-91. IMI, Zagreb, 2011.
- [12] Marović G, Avdić M, Babić D, Bituh T, Branica G, Franić Z, Fanulović I, Petrinc B, Petroci Lj, Senčar J, Skoko B. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Izvještaj za 2011. godinu. IMI-CRZ-92. IMI, Zagreb, 2012.
- [13] Papastefanou C, Stoulos S, Ioannidou A, Manolopoulou M. The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact. *J Environ Radioact* 2006;89:188-198.

NATURAL RADIOACTIVITY IN THE PHOSPHOGYPSUM DEPOSITION SITE SURROUNDINGS

*Tomislav Bituh¹, Gordana Marović¹, Branko Petrinec¹, Zlatko Vučić²
and Ivica Prlić¹*

¹Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

²Institute of Physics, Zagreb

tbituh@imi.hr

As a waste product in phosphate fertilizer production, phosphogypsum is characterized by technically enhanced natural radioactivity caused by phosphate rock, a raw material used during the production. Phosphogypsum is deposited at a local pile situated at the borderline of Lonjsko Polje Nature Park. Therefore, constant monitoring of the deposition site environment is necessary.

In this investigation, the natural radionuclides (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) in the soil, grass and water samples from the surroundings of the deposition site were measured. Soil and grass samples were measured gammaspectrometrically. Ground water samples collected by piezometers were measured alphaspectrometrically after radiochemical separation of ^{226}Ra .

The results showed that there was no significant difference between the activity concentrations of natural radionuclides in any of the samples and those measured in samples from other parts of Croatia as well as those from the surroundings of other deposition sites worldwide. However, constant monitoring is necessary to detect possible future changes in the radioactivity levels in the environment.

LONG TERM SURVEILLANCE OF THE VOJVODINA AGRICULTURAL SOIL

*Ištván Bikit, Sofija Forkapić, Dušan Mrđa, Miroslav Vesković,
Nataša Todorović, Jovana Nikolov and Kristina Bikit*
Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia
sofija@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

Vojvodina is the northern province of Serbia. It is an agricultural region located in the Pannonian Plain of Central Europe. The soil of Vojvodina may contain radioactive contaminants from different sources. There are nuclear power plants in the South East Europe region that could contaminate this soil through the release of radionuclides into air and water. The application of phosphate fertilizers with high uranium concentration may also cause a gradual increase of the uranium series activity concentration in soil.

The concentration of uranium and thorium in Earth's crust is in the range 1.1 – 10 ppm [1] for uranium and 10 ppm [2] for thorium. These values correspond to an activity concentration range of 13.5 – 123 Bq/kg for ^{238}U and 39.4 Bq/kg for ^{232}Th . The intensity of the processes of soil sorption/desorption, migration, retention and translocation is influenced by the nature of the given radionuclide, the type of soil and of crops grown on it, and the climatic conditions.

Nuclear Physics Group in Novi Sad has more than 30 years long tradition in low-level gamma spectrometry measurement of agricultural soil in Vojvodina region and the area of Novi Sad. In this paper we compared the results of soil monitoring from 2011 with those results obtained during the year 2001. We used similar measurement technique, and the samples were collected from the same locations.

MEASUREMENT METHOD

Activity concentrations of radionuclides gamma emitters were determined by the method of low-level gamma spectrometry on actively and passively shielded germanium detectors with maximal background reduction. Two high resolution HPGe detectors were used. First of them,

produced by CANBERRA, has nominal efficiency of 36 % and resolution of 1.79 keV. The detector was operated inside the 12 cm thick lead shield with 3 mm Cu inner layer. Second one, germanium detector made by ORTEC, was extended range GMX type detector (10 keV – 3 MeV) with nominal efficiency of 32 % and resolution of 1.9 keV. The detector was shielded with the cylindrical lead shield of 12 cm wall thickness. Surrounding the lead shield, the five 0.5 m × 0.5 m × 0.05 m plastic veto detectors, produced by SCIONIX, were placed and operated in anticoincidence mode with Ge detector. The active shield reduces the integral background by factor 3 in the energy range from 50 to 2800 keV [4]. The gamma spectra were acquired and analyzed using the Canberra Genie 2000 software.

A special procedure developed in the Novi Sad laboratory was used for the determination of the ^{238}U activity concentration from gamma-lines of the first progeny of this radionuclide, ^{234}Th [5].

RESULTS

The samples of soil were collected from 50 locations in Vojvodina region (Figure 1) and about 300 locations in Novi Sad municipality. From each location of an approximate area of 10 m × 10 m subsamples were collected, mixed and homogenized. The soil was sampled from the surface (0 – 5 cm). Soil samples were dried at 105 °C to constant mass and mechanically fragmented and homogenized as fine powder. Prepared soil samples were packed in cylindrical measurement utensils 62 mm in height and 67 mm in diameter. Typical measurement time was 80 ks.



Figure 1. The sampling locations in Vojvodina

Obtained results of gamma spectrometry measurements of soil samples for Vojvodina region are presented in Table 1. Activity concentrations of fission and corrosion products (except ^{137}Cs) were below detection limits, therefore in the final results only the activity concentrations of ^{137}Cs , the natural radioactive series of ^{238}U and ^{232}Th , and the natural radionuclide ^{40}K are presented.

Table 1. Arithmetic means (A), standard deviations (σ) and range of measured radionuclide activity concentrations in agricultural soil of Vojvodina region

radionuclide	A [Bq/kg]	$\sigma(A)$ [Bq/kg]	Range [Bq/kg]
^{40}K	554	92	238 – 1000
^{226}Ra	35.4	8.1	9.7 – 49.1
^{232}Th	38	10	6 – 64
^{238}U	42	20	5 – 80
^{137}Cs	8.8	6.2	0.7 – 55

The activity concentration of the natural radioactive series of ^{238}U and ^{232}Th , and the natural radionuclide ^{40}K are also at the normal environmental levels. The activity concentrations of natural radionuclides in soil samples confirm the ln-normal distribution and good correlation (Figure 2). The distribution of ^{137}Cs is skewed which is typical for a man-made contaminant.

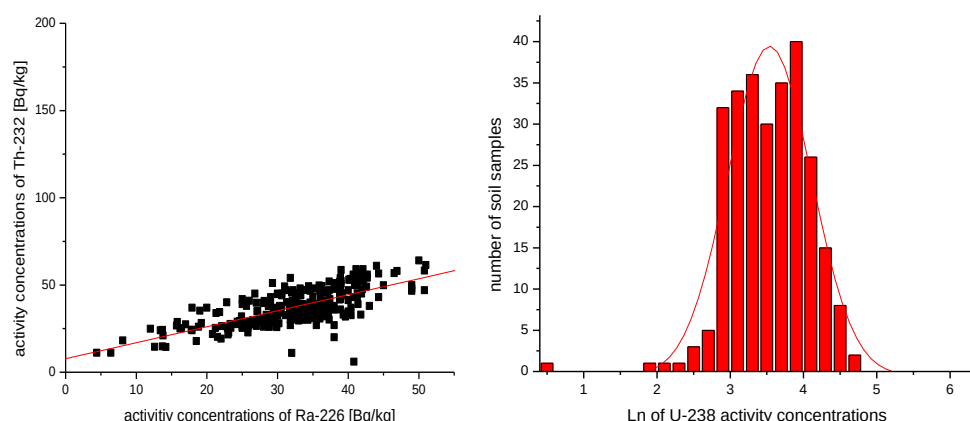


Figure 2. Correlation of natural radionuclides in agricultural soil

CONCLUSION

The activity concentrations of the natural radioactive series of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and the natural radionuclide ^{40}K in agricultural soil in Vojvodina region are at the normal environmental levels. The radionuclide ^{137}Cs was identified in all soil samples. It originates from nuclear weapons test fall-out and, after 1986, mostly from the accident of the nuclear power plant "Lenin" in Chernobyl. Due to the 30 year half-life of this radionuclide, it will be relocated, washed out and redistributed. However, it will be present for a long time in the Vojvodina ecosystem. If we compare ^{137}Cs activity concentration results with previous measurements, we note a slight decrease after 2001.

Since the ^{238}U activity concentration in all samples is at the natural environmental level, and the $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ ratio is not substantially changed, one can conclude that in the measured samples there is no indication of depleted uranium presence.

If we compare the recent ^{238}U activity concentrations with previous measurements, we note a slight discrepancy probably due to use of phosphate fertilizers. Taking into account the transfer factors of present radionuclides to plants, the measured activity concentrations of radionuclides in Vojvodina agricultural soil should not endanger the health safety of the produced food.

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia, within the Projects No171002 and No43002.

REFERENCES

- [1] Andrejeva OS, Badjin VI, Kornilov AN. Natural and depleted uranium. Atomizdat, Moscow 1987. (*in Russian*).
- [2] Kikoina IK. Tables of physical constants. Atomizdat, Moscow 1976. (*in Russian*).
- [3] Bikit I, Slivka J, Čonkić Lj, Krmar M, Vesković M, Žikić-Todorović N, Varga E, Čurčić S, Mrđa D. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). *Journal of Environmental Radioactivity* 2005;78:11-19
- [4] Bikit I, Forkapić S, Mrđa D, Todorović N. Study of Active Shielding for Gamma Spectrometers in FINUSTAR-2005. In: HarissopulosSV et al. (eds). AIP Conference Proceedings 831, AIP, Melville, NY, 2006: 409 – 411.
- [5] Bikit I, Slivka J, Mrđa D, Žikić-Todorović N, Čurčić S, Varga E, Vesković M, Čonkić Lj. Simple method for depleted uranium determination. *Japanese Journal of Applied Physics* 2003;42:5269–5273.

LONG TERM SURVEILLANCE OF THE VOJVODINA AGRICULTURAL SOIL

*Ištván Bikit, Sofija Forkapić, Dušan Mrđa, Miroslav Vesković,
Nataša Todorović, Jovana Nikolov and Kristina Bikit*
Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia
sofija@df.uns.ac.rs

Nuclear Physics Group in Novi Sad has more than 30 years long tradition in low-level gamma spectrometry measurement of agricultural soil in Vojvodina region and the area of Novi Sad. When the issue of depleted uranium emerged, the experimental advantages of the measuring equipment (GMX type of HPGe detector with enhanced efficiency below 100 keV, and iron low-level shielding) were fully exploited. A detection technique selective for depleted uranium was developed. The details of this method together with the results for about 400 samples of soil are presented and discussed. Based on the assessment of radionuclides transfer factors from soil to plants the safety of the food grown on the investigated soil is considered.

¹³⁷CS U TLU I OBORINI ZAGREBAČKE REGIJE

Marko Šoštarić, Branko Petrinc i Dinko Babić

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

msostaric@imi.hr

UVOD

U Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada provode se istraživanja prisutnosti prirodnih i fisijskih radionuklida u uzorcima životne sredine u Republici Hrvatskoj. Oborina, kao jedan od prvih pokazatelja kontaminacije u atmosferi uz zrak, i tlo, kao potencijalni izvor kontaminacije biote, od posebne su važnosti u proširenim programima praćenja stanja radioaktivnosti okoliša u uvjetima nuklearnih/radioloških nesreća.

U ožujku 2011. godine potres u dubinama oceana sjeveroistočno od Japana i posljedični tsunami razorili su područje prefektуре Fukushima i izazvali niz nesretnih događaja u nuklearnoj elektrani Fukushima Dai-ichi. Došlo je do ispuštanja radioaktivnih tvari u atmosferu.

Primijećeni porast aktivnosti nekih radionuklida tijekom 2011. godine u gotovo svim sastavnicama okoliša moguće je pripisati upravo novonadošloj kontaminaciji.

U radu su prikazani rezultati istraživanja koncentracije aktivnosti ¹³⁷Cs u tlu i oborini zagrebačke regije u periodu od 2007. do 2012. godine [1]. Rezultati iz 2011. i 2012. godine uspoređeni su s onima prije nesreće (2007. – 2010. godine).

MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje neobrađenog tla provedeno je na istočnom rubnom dijelu Zagreba u proljeće svake godine. Tlo je uzorkovano bušačem promjera 10 cm u slojevima na tri različite dubine: 0 – 5 cm, 5 – 10 cm i 10 – 15 cm. Tlo se suši i prosijava, a zatim žari u peći na 450 °C [2]. Tako pripremljeno tlo pakira se u Marinelli posude volumena jedne litre za potrebe gamaspektrometrijskog mjerenja.

Oborina se svakodnevno, u dane s oborinom, sakuplja na lokaciji Instituta lijevkom površine 1 m², postavljenim jedan metar iznad tla. Dnevni se uzorci spajaju u zbrojni tromjesečni koji se nakon toga uparava na volumen 1 L za potrebe gamaspektrometrijskog mjerenja.

Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišten je detektor: HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,26 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co povezan s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. 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 [3].

Vrijeme mjerenja uzoraka tla bilo je najmanje 80 000 sekundi, a oborine najmanje 250 000 sekundi.

REZULTATI

Ovim radom se želi pokazati koliko se novog ^{137}Cs pojavilo u tlu i oborini nakon nesreće u Fukushima. Uspoređene su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima tla i oborine, iz razdoblja od 2007. do ožujka 2011. godine s onima iz razdoblja od ožujka 2011. do kraja 2012. godine. U Tablici 1 prikazane su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu po slojevima za svaku godinu.

Tablica 1. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u tlu po slojevima od 2007. do 2012. godine

		$A \pm \sigma$ (Bq/kg)				
sloj	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
0-5 cm	16,4±0,5	17,2±0,4	16,4±0,4	14,4±0,4	20,4±0,2	18,5±0,3
5-10 cm	18,3±0,4	12,2±0,4	12,3±0,4	14,2±0,4	22,9±0,3	17,8±0,2
10-15 cm	17,1±0,4	23,5±0,5	16,1±0,4	15,0±0,4	20,5±0,2	17,5±0,2

Dobar pokazatelj promjene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs dobijemo određivanjem srednje vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs za godine prije i poslije Fukushima, tj. pomoću izraza (1) i (2).

$$\bar{A}_{1710} = \frac{A_{07} \cdot \frac{1}{\sigma_{07}^2} + A_{08} \cdot \frac{1}{\sigma_{08}^2} + A_{09} \cdot \frac{1}{\sigma_{09}^2} + A_{10} \cdot \frac{1}{\sigma_{10}^2}}{\frac{1}{\sigma_{07}^2} + \frac{1}{\sigma_{08}^2} + \frac{1}{\sigma_{09}^2} + \frac{1}{\sigma_{10}^2}} \quad (1)$$

$$\bar{A}_{2Tlo} = \frac{A_{11} \cdot \frac{1}{\sigma_{11}^2} + A_{12} \cdot \frac{1}{\sigma_{12}^2}}{\frac{1}{\sigma_{11}^2} + \frac{1}{\sigma_{12}^2}} \quad (2)$$

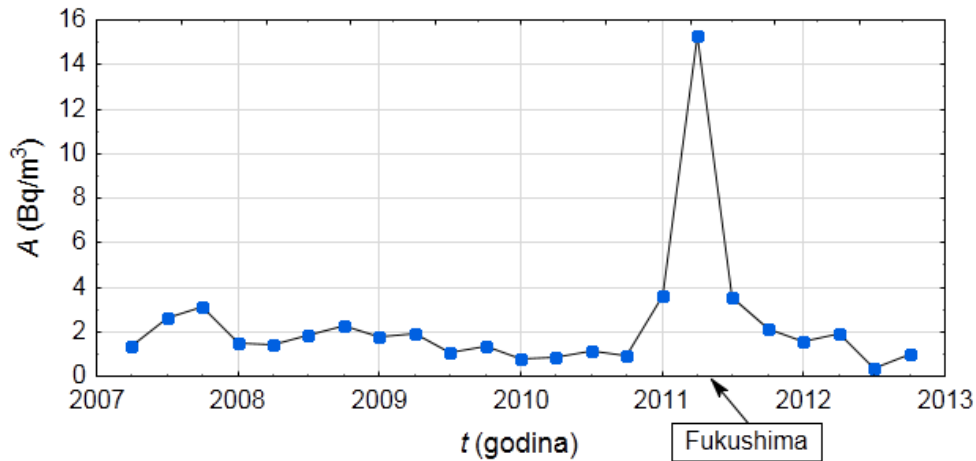
$\bar{A}_{1Tlo}$ je srednja vrijednost koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u tlu prije, a $\bar{A}_{2Tlo}$ poslije Fukushimae. $A_{07}, A_{08}, \dots, A_{12}$ su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs redom za godine 2007., 2008., ..., 2012., a $\sigma_{07}, \sigma_{08}, \dots, \sigma_{12}$ su redom pripadne nepouzdanosti mjerenja. Kod izračuna srednje vrijednosti koristi se težinska statistika, tj. relacije (1) i (2), a na taj se način može dodijeliti veće značenje rezultatu mjerenja koji ima manju nepouzdanost. Nepouzdanost srednje vrijednosti računa se kao drugi korijen recipročne vrijednosti nazivnika iz jednadžbe (1) ili (2). Izračun srednjih vrijednosti proveden je za svaki sloj posebno i prikazan je u Tablici 2.

Tablica 2. Srednje vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs za pojedini sloj prije i poslije nesreće u Fukushimai.

sloj	$\bar{A}_{1Tlo} \pm \bar{\sigma}_{1Tlo}$ (Bq/kg)	$\bar{A}_{2Tlo} \pm \bar{\sigma}_{2Tlo}$ (Bq/kg)	Povećanje (%)
0-5 cm	$16,1 \pm 0,2$	$19,8 \pm 0,2$	23,0
5-10 cm	$14,3 \pm 0,2$	$19,4 \pm 0,2$	35,7
10-15 cm	$17,4 \pm 0,2$	$19,0 \pm 0,1$	9,2

Može se vidjeti kako je koncentracija aktivnosti ^{137}Cs porasla za svaki sloj tla u 2011. i 2012. godini, tj. poslije ispuštanja radionuklida u Fukushimai.

Na Slici 1. prikazane su izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u oborini u ovisnosti o vremenu. Može se vidjeti kako koncentracija aktivnosti ^{137}Cs naglo raste poslije ožujka 2011. godine. Prvo mjerenje nakon Fukushimae daje najvišu ili maksimalnu vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs $A_{Max} = (15,3 \pm 0,5) \text{ Bq/m}^3$. Također, treba napomenuti da je uzorak za prvo mjerenje nakon nesreće sakupljan od 1. siječnja do 31. ožujka 2011. godine. 57 % oborine za taj uzorak sakupljeno je poslije 11. ožujka 2011. godine, pa se može zaključiti da bi koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u oborini sakupljenoj u razdoblju od 11. do 31. ožujka 2011. godine mogla biti i veća od navedene vrijednosti $A_{Max} = (15,3 \pm 0,5) \text{ Bq/m}^3$.



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u oborini.

Kako je povećanje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu povezano s količinom oborine koja padne na tlo, potrebno je koncentraciju aktivnosti ^{137}Cs izraziti i u jedinicama Bq/m^2 . Na taj se način vidi koliko je aktivnosti palo na m^2 . Koncentraciju aktivnosti oborine izraženu u Bq/m^3 potrebno je pomnožiti s količinom oborine koja je pala u određenom periodu, da bi se dobila koncentracija aktivnosti izražena u Bq/m^2 .

Izračun srednje vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u oborini prije i poslije nesreće u Fukushima ne bi dobro prikazao porast aktivnosti. Razlog za to je brzi pad koncentracije aktivnosti ^{137}Cs nakon izmjerenog maksimuma. Za kvantitativan prikaz promjene koncentracije aktivnosti možemo usporediti srednju vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs prije Fukushime s izmjerenim maksimumom. Srednju vrijednost koncentracije aktivnosti računamo težinskom statistikom, kao i u slučaju s tlom. Koristimo relaciju (3).

$$\bar{A}_{\text{IOborina}} = \frac{A_{07-1} \cdot \frac{1}{\sigma_{07-1}^2} + A_{07-2} \cdot \frac{1}{\sigma_{07-2}^2} + \dots + A_{10-4} \cdot \frac{1}{\sigma_{10-4}^2}}{\frac{1}{\sigma_{07-1}^2} + \frac{1}{\sigma_{07-2}^2} + \dots + \frac{1}{\sigma_{10-4}^2}} \quad (3)$$

$\bar{A}_{\text{IOborina}}$ je srednja vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs oborine prije nesreće u Fukushima. $A_{07-1}, A_{07-2}, \dots, A_{10-4}$ su koncentracije aktivnosti oborina redom za 1. uzorak u 2007., 2. uzorak u 2007., ..., 4. uzorak u 2010. godini. Nepouzdanost srednje vrijednosti računa se kao drugi korijen recipročne vrijednosti nazivnika iz relacije (3). Nakon uvrštavanja u relaciju (3) dobiju se rezultati koji su prikazani u Tablici 3.

Tablica 3. Usporedba srednjih vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u oborini s maksimalnom vrijednošću

	$\bar{A}_{\text{IOborina}} \pm \bar{\sigma}_{\text{IOborina}}$	A_{max}	Povećanje (%)
Bq/m^3	$0,875 \pm 0,009$	$15,3 \pm 0,5$	1649
Bq/m^2	$0,333 \pm 0,007$	$1,00 \pm 0,03$	200

Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u oborini izražena u Bq/m^3 povećala se za 1649 %, a ona izražena u Bq/m^2 za 200%.

ZAKLJUČAK

Rezultati mjerenja pokazuju povećanje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu i oborini nakon nesreće u Fukushima. Prva dva sloja tla pokazuju veće povećanje koncentracije aktivnosti ^{137}Cs od trećeg sloja. Izmjereno je povećanje aktivnosti za približno 25 % u prvom sloju, 35 % u drugom sloju i 9 % u trećem sloju tla. Oborina pokazuje nagli porast koncentracije aktivnosti ^{137}Cs odmah nakon nesreće, a nakon godine dana aktivnost ^{137}Cs već pada na razinu vrijednosti prije nesreće u Fukushima. Porast koncentracije aktivnosti mjeren u Bq/m^3 iznosi približno 1600 %, a onaj izražen u Bq/m^2 iznosi 200 %.

Zahvala

Ovaj rad načinjen je u okviru projekata MZOS *Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja* (022-0222882-2335).

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] Harley JJ. HASL Procedures Manual. USAEC Report HASL-300. 1970.
- [3] Petrinc B, Franić Z, Bituh T, Babić D. Quality assurance in gamma-Ray spectrometry of seabed sediments. *Arh Hig Rada Toksikol* 2011;62:17-23.

¹³⁷CS IN SOIL AND FALLOUT OF THE ZAGREB REGION

Marko Šoštarić, Branko Petrinc and Dinko Babić
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
msostaric@imi.hr

The Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb monitors the activity concentrations of natural and fission-produced radionuclides in environmental samples from Croatia. In this article, we present results of the monitoring of ¹³⁷Cs in soil and fallout in the period 2007-2010. We focus on differences in the activity concentrations before and after the nuclear accident in Fukushima. Activity concentrations of ¹³⁷Cs were measured in samples of soil and fallout (wet and dry precipitation) from the region of Zagreb. Measurements were performed on soil samples from three different depths (0 – 5 cm, 5 – 10 cm, and 10 – 15 cm). Samples of fallout were collected during several periods before and after the Fukushima accident. Activity concentration in fallout is presented in two different ways, by expressing results in Bq/m³ and in Bq/m². Results expressed in Bq/m² indicate how much activity was transferred from fallout to soil, thus relating the activity concentrations in the two media. Measurement results show that in both media, i.e., soil and fallout, the activity concentration of ¹³⁷Cs increased after the Fukushima accident. In soil samples, the activity concentration increased by 9 – 35 %, depending on the depth. The increase was larger for the first two sampling depths than for the third one. For fallout, we compare the mean value of activity concentrations of all the samples before the Fukushima accident with the highest activity concentration after the accident. We found an increase in the activity concentration by approximately 1600 percent in units of Bq/m³, and by approximately 200 percent in units of Bq/m².

RADIOACTIVITY IN CHEMICAL FERTILIZERS

*Milica M. Rajačić, Nataša B. Sarap, Marija M. Janković, Jelena D. Nikolić,
Dragana J. Todorović and Gordana K. Pantelić*

Institute for Nuclear Sciences "Vinča", University of Belgrade,
Belgrade, Serbia

milica100@vinca.rs

INTRODUCTION

Natural radioactivity results mainly from primordial radionuclides, such as ^{40}K and the radionuclides from the ^{232}Th , ^{238}U and ^{235}U series and their decay products. Terrestrial radioactivity and exposure due to gamma radiation depend primarily on the geological conditions and appear in different quantities in the soils of each region in the world. [1]

Fertilizers are chemical compounds that provide necessary chemical elements and nutrients to the plants. Fertilizers have become essential to the agricultural field all over the world. Different types of fertilizers, such as phosphate, NPK etc. used for agricultural purposes are essential components of agricultural activities that help to increase the crop production and to improve the nutrient-deficient properties of lands.

Fertilizers usually employed in the agriculture contain traces of heavy metals and relatively high concentrations of naturally occurring radionuclides. Phosphate containing fertilizers have been used worldwide to increase the quantities of the micronutrients, which are being continuously taken off from the soil due to farming activities. At the same time, the use of such fertilizers is the main anthropogenic source of the uranium input in the environment (about 73 % of the total input of uranium) [2]. In Jordan, Tunisia, Algeria and Israel, phosphate fertilizers containing high uranium concentration have been discussed in the literature [3,4].

Plants take some fraction of the radioactivity present in the fertilizers applied to soil. The soil to plant transfer factor is broadly used as one of the parameters to estimate the intake of radionuclides through food ingestion. Human beings are internally and externally exposed to radioactivity due to ingestion of plants raised on fertilized soil and inhalation of rock and fertilizer dust.

Quantities of chemical fertilizers are tested continuously in the Radiation and Environmental Protection Department of the Vinča Institute,

Belgrade, as a part of the regular inspection of imported goods. The level of activity concentration of radionuclides in widely used fertilizers provides useful information in the monitoring of environmental contamination. The aim of this paper is to assess the implications of extended use of fertilizers on the concentrations of natural radionuclides in cultivated soil.

MATERIAL AND METHODS

The samples of chemical fertilizers imported from different countries were investigated. The preparation of samples included weighing and placing into the 500 cm³ Marinelli beakers [5,6]. Since the purpose of measurement is screening, the counting of the samples was conducted immediately after preparation, under the assumption that the radioactive equilibrium was already achieved in natural state of the sample. The total of 140 samples of chemical fertilizers obtained over the period of 1 year was analyzed. Samples were measured using a high purity germanium detector (HPGe) with relative efficiency of 20 % and energy resolution of 1.8 keV for the 1332 keV ⁶⁰Co peak. The spectra were analyzed using the program GENIE 2000. Counting time interval was 6000 s. The combined measurement uncertainty of the results was calculated at the 95 % level of confidence ($k = 2$). The maximum combined measurement uncertainty was 10 %.

RESULTS AND DISCUSSION

In all samples of fertilizers, naturally occurring radionuclides ²²⁶Ra, ⁴⁰K, ²³⁸U and ²³⁵U were detected. Activity concentrations of ²³²Th were below the MDA. The minimum and maximum values, ranges, as well as average values of activity concentrations for all 140 investigated samples, are presented in Table 1 along with the average values in the world for the same radionuclides in soil [7]. The mean values are presented with the standard deviation of the mean value. The obtained concentrations for all radionuclides are significantly high especially in some phosphate fertilizers, where the concentration of ²³⁸U exceeded 1 kBq and in some NPK type of fertilizers where the main contribution was from ⁴⁰K (over 12 kBq).

Table 1. Activity concentrations of radionuclides in fertilizers and soil in the world; range and average

	Fertilizers				Soil*		
	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³⁵ U	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	²³⁸ U
Range [Bq/kg]	4-393	23-12324	26-1145	1,6-53	1-440	40-1800	0-330
Average [Bq/kg]	87±8	4860±250	220±20	15±1	35	400	35

* The results taken from reference [7]

As it can be seen, the activity concentration of radionuclides in fertilizers exceed the activity concentrations in soil by an order of magnitude. The distribution of ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K is not uniform in soil [8]. Uniformity in the respect of exposure to radiation has been defined in terms of radium equivalent activity (Ra_{eq}) in Bq/kg in order to compare the specific activity of materials containing different amounts of ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K. Also, the external absorbed gamma dose rate ($\dot{D}$) is another valuable parameter in estimation of exposure to ionizing radiation. The external gamma absorbed dose rate in the air at 1 m above ground level was calculated from the measured activities of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in all samples, assuming that the other radionuclides, such as ²³⁵U series can be neglected as they contribute insignificantly to the total dose from environmental background. Radium equivalent activity and external absorbed gamma dose rate are calculated using the following relations [8]:

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1,43 \times C_{Th} + 0,077 \times C_K \quad (1)$$

$$\dot{D} = 0,462 \times C_{Ra} + 0,604 \times C_{Th} + 0,042 \times C_K \quad (2)$$

where C_{Ra} , C_{Th} and C_K represent the activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K, respectively, Ra_{eq} is radium equivalent activity in Bq/kg and $\dot{D}$ is the external absorbed gamma dose rate in nGy/h. If we observe fertilizers as soil, we conclude that in 85 samples Ra_{eq} exceeds the recommended value of 370 Bq/kg set in the OECD report and should not be discarded into the environment [9]. The mean external absorbed gamma dose rate for

fertilizers is 219 nGy/h. There are 118 out of 140 samples where the external absorbed gamma dose rate exceeded 55 nGy/h reported for the soil [7].

In Serbia in average, 120 kg of fertilizers per 1 ha of cultivated soil is used during the course of one year [10]. Taking into account that there is 4.21×10^6 ha of cultivated soil in Serbia, it means that 505.2×10^6 kg of fertilizers used yearly on that surface. Since mobility of radionuclides in soils may vary strongly depending on soil type and its physical and chemical properties, we estimate that the layer of soil 10 cm thick is of the interest. If the soil density is approximately 1 g/cm^3 total mass of cultivated soil is 4.21×10^{12} kg. According to this, the concentration of fertilizer in the soil is 0.012 %. That means that the fertilizers contribute to the Ra_{eq} and $\dot{D}$ (if the maximum values are used in calculation) 0.1 Bq/kg of ^{226}Ra , 1.5 Bq/kg of ^{40}K , while there is no contribution from the ^{232}Th . Although the bulk of fertilizers represents a significant source of naturally occurring radionuclides, due to dilution of fertilizer in soil the impact of fertilization on the radioactivity of the soil is negligible.

CONCLUSION

A total of 140 samples of different types of fertilizers were measured for their radioactivity content using gamma spectrometry technique in order to assess the implications of extended use of fertilizers on the concentrations of natural radionuclides in cultivated soil. The obtained data show that the activity concentration of naturally occurring radionuclides in fertilizer samples were 87 Bq/kg, 4860 Bq/kg and 220 Bq/kg for ^{226}Ra , ^{40}K and ^{238}U , respectively, which exceeds the activity concentration in soil by an order of magnitude. As it was shown in the paper, the use of fertilizers has a negligible effect on Ra_{eq} and $\dot{D}$ in soil due to dilution of fertilizer used on the large amounts of cultivated soil. However, the long term application of these fertilizers can have the effect of an accumulation of radioactivity in soils that can be harmful for the health of farmers and consumers of the products.

Acknowledgment

The investigation was partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under the Project III43009.

REFERENCES

- [1] Akhtar N. Radionuclide pollution due to fertilizer use in some saline soils of the Punjab and their potential risk assessment on human health. Department of Physics Bahauddin Zakariya University Multan, Pakistan, 2006.
- [2] Stojanović M, Stevanović D, Milojković J, Mihajlović M, Lopičić Z, Šoštarić T. Influence of soil type and physical–chemical properties on uranium sorption and bioavailability. *Water Air Soil Pollut* 2012;223:135-144.
- [3] Makweba MM, Holm E. The natural radioactivity of the rock phosphates, phosphatic products and their environmental implications. *Sci of Total Environ* 1993;133:99-110.
- [4] Guimond RJ. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radium in fertilizers; Environmental Behaviour of Radium. Technical Report Series No. 310. Vienna: IAEA; 1990.
- [5] HASL–300. Procedures Manual. EML, New York, 1983.
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA). Measurements of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Report Series No. 295. Vienna: IAEA; 1989.
- [7] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly (UNSCEAR). Sources and effects of ionising radiation. Report of the United Nations, New York, USA; 2000.
- [8] Beretka J, Mathew PJ. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Phys* 1985;48:87-95.
- [9] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials. Report by a Group Experts of the OECD Nuclear Energy Agency. Paris, France; 1979.
- [10] Kovačević D. Zaštita životne sredine u ratarstvu i povrtarstvu. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2005.

RADIOACTIVITY IN CHEMICAL FERTILIZERS

*Milica M. Rajačić, Nataša B. Sarap, Marija M. Janković, Jelena D. Nikolić,
Dragana J. Todorović and Gordana K. Pantelić*

Institute for Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade, Serbia

milica100@vinca.rs

The fertilizers are essential in agriculture as they supply nutrients to the farming fields. One of the sources of radioactivity other than those of natural origin is mainly due to extensive use of fertilizers. The concentrations of natural radionuclides, ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U and ^{235}U in different chemical fertilizers, which are part of the regular control of imported goods from the border crossing were analyzed using gamma spectrometry with a high purity germanium (HPGe) detector, relative efficiency 20 %, in order to assess the implications of the extended use of chemical fertilizers. Measurements were performed at Vinča Institute, Radiation and Environmental Protection Department.

The obtained results show remarkable wide variations in the radioactivity contents of different samples. The mean (ranges) of specific activities for gamma activity of those fertilizer samples for ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U and ^{235}U are 4857 (23 – 12 324) Bq/kg, 87 (4 – 393) Bq/kg, 220 (26 – 1145) Bq/kg and 15 (1.6 – 53) Bq/kg, respectively. The radium equivalent activity (Ra_{eq}) as well as the external absorbed gamma dose rate ($\dot{D}$) for all samples was also calculated.

RADIOACTIVITY IN SOIL SAMPLES COLLECTED IN SOUTHERN SERBIA

*Nataša B. Sarap, Milica M. Rajačić, Marija M. Janković,
Dragana J. Todorović, Jelena D. Nikolić and Gordana K. Pantelić*
Radiation and Environmental Protection Department, Institute Vinča,
University of Belgrade, Belgrade, Serbia
natasas@vinca.rs

INTRODUCTION

Depleted uranium (DU) came into military use in the early seventies of the 20th century and was used for the first time in the Gulf War in 1991 [1,2]. Quantitative determination of the DU fraction in environmental samples is difficult, primarily because of the relatively large content of natural uranium present in the environment with typical activity values in the range from 10 to 30 Bq/kg for ^{238}U . The detection of eventual DU contamination by gamma spectrometry is mainly based on the determination of the $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio. The natural $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio is 0.046. Only if this ratio is lower than the given value it can be said that there is a presence of depleted uranium [3].

During NATO air strikes in 1999, NATO forces used ammunition containing depleted uranium in the attack on the Federal Republic of Yugoslavia. The focus of operation was in Kosovo and Metohija and southern Serbia. According to data provided by NATO at 91 locations DU was used. NATO and Military of Serbia (VS) data largely disagree, but the use of DU was confirmed at 4 locations in southern Serbia: Pljačkovica, Borovac, Bratoselce and Reljan (Figure 1).

Institute Vinča (Radiation and Environmental Protection Department) has analysed the soil samples collected from different locations in southern Serbia, in order to determine activity concentrations of radionuclides in soil samples and to establish eventually the presence of depleted uranium.

The aim of this study was to determine content of radionuclides in soil samples from southern Serbia, sampled five years after cleaning action of DU and to determine whether these locations are safe for the people who live there. The measurements were made within the monitoring of Serbia.

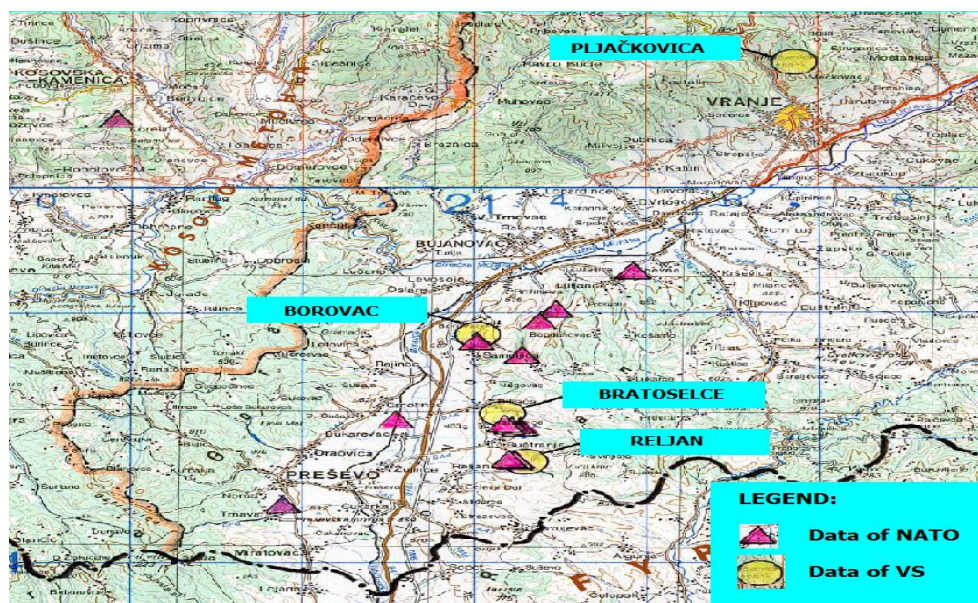


Figure 1. Information on locations in southern Serbia which are targeted depleted uranium

MATERIAL AND METHOD

Soil samples were collected in July 2011 at 4 locations in southern Serbia. After removing the stones and vegetation, all soil samples were dried up to 105 °C, sieved, placed in the plastic 500 mL Marinelli beakers and left for four weeks to reach radioactive equilibrium [4].

Gamma spectrometric measurements were performed using a HPGe Canberra detector with a counting efficiency of 20 %. The counting time interval was 60 000 s. The activity of ^{226}Ra and ^{232}Th was determined via their decay products: ^{214}Bi (609 keV, 1120 keV and also 1764 keV), ^{214}Pb (295 keV and 352 keV) and ^{228}Ac (338 keV and 911 keV), respectively. ^{235}U was determined via 186 keV corrected for ^{226}Ra . ^{238}U was determined via ^{234}Th (63 keV) or by ^{234}Pa ($t_{1/2} = 1.17$ min, 1000 keV). The activities of ^{40}K and ^{137}Cs were determined from its 1460 keV and 661 keV γ -energy, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of measurements of gamma emitters in soil samples collected at different locations in southern Serbia are presented in Table 1. All samples were collected at 5 measuring points for each location (east,

west, north, south and centre). This paper presents the results of the mean activity concentration for gamma emitters. The activity concentrations of the radionuclides in Bq/kg ranged between 16 – 102 for ^{226}Ra , 21 – 90 for ^{232}Th , 184 – 979 for ^{40}K , 2.9 – 19 for ^{137}Cs , 1.1 – 7.4 for ^{235}U and from 21 to 125 for ^{238}U . Table 1 also presents a comparison with literature.

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 [3,5,6]. 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.

As can be seen from Table 1, the highest concentrations of ^{226}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{235}U and ^{238}U were obtained for Bratoselce, and the lowest activity concentrations were obtained for Borovac. The results are shown with standard deviation. Based on the activity ratio of $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$, we can conclude that this is natural activity ratio and there is no presence of depleted uranium.

Table 1. Activity concentrations of radionuclides in soil samples in southern Serbia and comparison with literature (Bq/kg).

Location	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{235}U	^{238}U	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$
Pljačkovica	27±17	32±17	498±138	14.4±8.2	2.2±1.2	33±20	0.067
Borovac	16±6	21±17	184±47	2.9±2.2	1.1±0.6	21±5	0.052
Bratoselce	102±28	58±16	979±133	19±12	7.4±3.0	95±40	0.059
Reljan	35±6	90±11	941±64	4.6±3.0	2.9±1.0	49±15	0.059
Average	45	50.3	650.5	10.2	3.4	57	/
Comparison with literature							
Republic of Srpska [3]	47	41	536	26	3.4	6.4	/
Vojvodina [5]	40	53	554	12	/	51	/
Croatia [6]	74	62	650	39	5.4	110	/
World [7]	35	30	400	/	/	35	/

Based on the obtained concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K , radium equivalent activity (Ra_{eq}), gamma dose rate ($\dot{D}$) and external hazard index

(H_{ex}) were calculated [7–9] and presented in Table 2. As it can be seen from Table 2, the radium equivalent activity values for the soil samples varied from 60 to 260 Bq/kg. These values are less than 370 Bq/kg, get in the OECD report [10]. The mean absorbed gamma dose in air was calculated as 78 nGy/h and it is insignificantly higher than the world average of 57 nGy/h [7]. The calculated values of external hazard index obtained of this study range from 0.16 to 0.70. Since these values are lower than unity, we can say that the radiation hazard is low.

Table 2. Radium equivalent activity (Ra_{eq}), gamma dose rate ($\dot{D}$) and external hazard index (H_{ex}) at different locations in southern Serbia.

Location	Ra_{eq} (Bq/kg)	$\dot{D}$ (nGy/h)	H_{ex}
Pljačkovica	111.1	52.7	0.30
Borovac	60.2	27.8	0.16
Bratoselce	260.3	123.3	0.70
Reljan	236.2	110.1	0.64
Average	167	78	0.45

CONCLUSION

Soil samples collected at 4 different locations in southern Serbia, after decontamination were analyzed for radioactivity due to ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{235}U and ^{238}U isotopes. The results of gamma spectrometric measurements in 2011 showed that the radioactivity levels in samples to be in the range of those published for neighbouring countries [3,5,6]. The measured activity concentrations of soil samples collected in southern Serbia are similar to the world average values.

Since the $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ is at the natural environmental level, we can conclude that in the measured samples there is no indication of DU presence, after decontamination at these locations.

All values obtained for radium equivalent activity are less than 370 Bq/kg. The obtained average value of gamma dose rate (78 nGy/h) is higher than the world average (57 nGy/h). The calculated values of external hazard index are lower than unity, which means that the radiation hazard is insignificant for the population of the investigated area. Measurements of

radioactivity in environmental samples at these locations in southern Serbia should be continued in the future.

Acknowledgement

The investigation was partially supported by The Ministry of Education and Sciences of Serbia, under Project III43009.

REFERENCES

- [1] Hamilton EI. Depleted uranium (DU): a holistic consideration of DU and related matters. *Sci Total Environ* 2001;281:5-21.
- [2] Bleise A, Danesi PR, Burkart W. Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview. *J Environ Radioact* 2003;64:93-112.
- [3] Janković M, Todorović D, Savanović M. Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska. *Radiation Measurements* 2008; 43:1448-1452.
- [4] HASL-300. Procedures Manual, EML, New York, 1983.
- [5] 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 Environmental Radioactivity* 2005;78:11-19.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Beretka J, Mathew PJ. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics* 1985;48:87-95.
- [9] Yu KN, Guan ZJ, Stokes MJ, Young ECM. The assessment of the natural radiation dose committed to the Hong Kong people. *J Environmental Radioactivity* 1992;17:31-48.
- [10] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials. Report by a Group Experts of the OECD Nuclear Energy Agency. Paris, France; 1979.

RADIOACTIVITY IN SOIL SAMPLES COLLECTED IN SOUTHERN SERBIA

*Nataša B. Sarap, Milica M. Rajačić, Marija M. Janković,
Dragana J. Todorović, Jelena D. Nikolić and Gordana K. Pantelić*
Radiation and Environmental Protection Department, Institute Vinča,
University of Belgrade, Belgrade, Serbia
natasas@vinca.rs

In the attack on the Federal Republic of Yugoslavia (the focus effect was of Kosovo and Metohija and southern Serbia) in 1999, NATO forces used ammunition containing depleted uranium.

Cleaning action of depleted uranium was performed by Radiation and Environmental Protection Department of the Vinča Institute of Nuclear Science, during 2002–2007 at locations: Pljačkovica, Bratoselce, Borovac and Reljan. At all locations underwent detailed dosimetric screening and decontamination was performed. Because of the loose soil, DU projectiles were found to a depth of 1 m. Found missiles, contaminated soil and radioactive material has been collected and stored on radioactive waste. After cleaning the ground is leveled and another dosimetric prospecting was performed.

Monitoring of radioactivity in southern Serbia included determination of gamma emitters as well as determination of gross alpha and beta activities in soil, water and plant. Sampling was carried out at Pljačkovica, Borovac, Bratoselce and Reljan in July 2011.

This paper presents only the results of measurement of gamma emitters in soil samples and showed the presence of natural radionuclides: ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U and the produced radionuclide ^{137}Cs (from the Chernobyl accident). Also, the ratio between the ^{235}U and ^{238}U is given. In order to evaluate the radiological hazard of the natural radioactivity, the radium equivalent activity, the gamma-absorbed dose rate and the external hazard index have been calculated.

NATURAL RADIOACTIVITY AROUND FORMER URANIUM MINE KALNA IN EASTERN SERBIA

*J. Nikolov¹, S. Forkapić¹, J. Hansman¹, U. Kozmidis-Luburić², I. Bikit¹,
M. Vesković¹, M. Krmar¹, N. Todorović¹, D. Mrđa¹ and K. Bikit¹*

¹ Department of Physics, Faculty of Sciences

² Faculty of Technical Sciences

University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

The territory of Eastern Serbia is well-known by a number of natural occurrences and deposits of nuclear mineral ores with higher uranium content. Stara Planina Mountain represents a significant area, with variety of mineral paragenesis formed, both of endogenetic or atmospheric/surface origin. Particular points of interests are hercinyan orogeny ore deposits, such as uranium, gold, silver and bismuth deposits [1]. Exploitation of the uranium in this region started in the late fifties of the twentieth century, but after the year 1996, all of the mines were closed. Two closed mines, "Mezdreja" and "Grabovnica" exist within the study area together with number of exploratory galleries on the "Srneći Do" and "Aldina reka" locations [1-2].

The investigations of radioactivity content of the samples collected around abandoned mine "Grabovnica" are carried out in order to determine the present state of the environment in this area. This paper presents results obtained by measuring the activity concentration of soil and water samples by gamma spectrometry and also indoor ²²²Rn activity concentrations in houses in the nearby village Kalna. The mine was never officially decommissioned. The results obtained might be useful for the future decommissioning procedure.

MATERIAL AND METHODS

Soil samples were collected together with some stones and moss on a couple of locations on the vicinity of former Uranium Mine in October 2012. Radon activity concentration in air inside houses in nearby village Kalna were also measured using charcoal canisters exposure for 48 hours.

The activity of radionuclides in all collected samples was determined using HPGe detector, by standard gamma spectroscopy methodology. The homogenized samples were dried at 105 °C to constant mass. After that, all mechanical contaminants, mainly small rocks and pieces of plant material were removed. Dried samples were mechanically fragmented and homogenized to a fine powder. Prepared samples were packed in cylindrical measurement vessels-sample holders, 62 mm in height and 67 mm in diameter. Typical sample mass was between 200 g and 300 g [3]. The duration of measurement was 70,000 s. Gamma spectrometry measurements were performed with high resolution HPGe gamma spectrometer produced by CANBERRA. This detector has a nominal relative efficiency of 36 % and a resolution of 1.79 keV. The detector was operated inside the 12 cm thick lead shield with a 3 mm Cu inner layer [3].

Charcoal canisters represent the simplest device for measuring radon concentration in air. Accuracy is fair (around 20%) and is greatly affected by humidity and air movement. Detailed explanation of this method is given in the references [4-5]. The charcoal canisters were exposed in eight houses in the village Kalna. Activity concentrations of ^{222}Rn in them were determined using HPGe detector, which is mentioned above. The calculation is made according to the EPA standard operating procedures [6].

RESULTS

Geographical map of sampling location is presented on Figure 1. Figure 2 represents geological map of this area. The obtained gamma-spectroscopy results are presented in the Table 1.

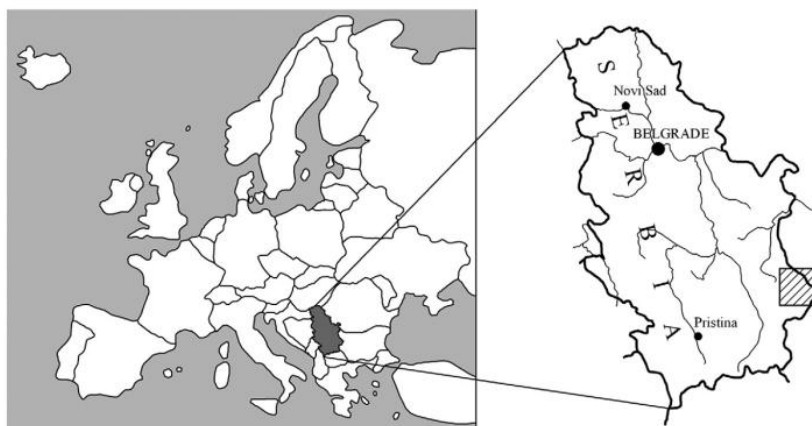


Figure 1. Geographical location of Stara Planina [2]

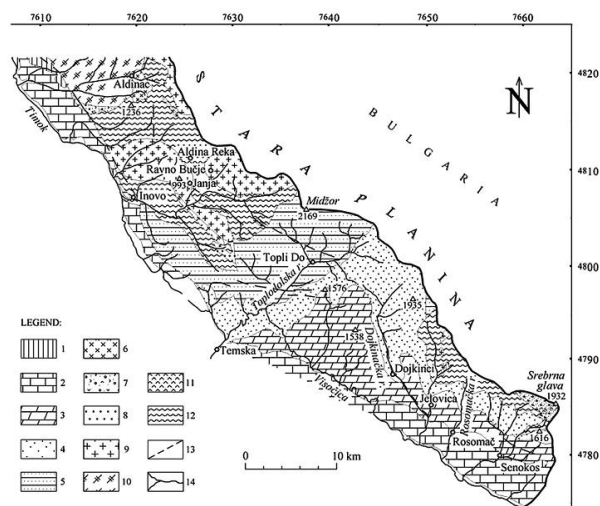


Figure 2. Geological map of Stara Planina in the Serbian territory [2]

Table 1. Activity concentrations of radionuclides in samples from surrounding area of former uranium mine "Grabovnica"

Location	Activity concentration [$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$]					H_{ex}
	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	
1. stone – entrance to the mine shaft	134±8	2290±270	111±9	1080±40	<4	6.8
2. soil – entrance to the mine shaft	131±6	51.6±1.4	136.2±2.3	1110±30	1.0±0.3	0.9
3. soil – in front of the entrance	249±11	1308±100	69±4	960±30	15.3±0.8	4.0
4. soil – in front further	279±16	3030±160	78±3	1260±80	42.1±2.3	8.8
5. soil – in front of the nearby house	120±7	46±4	118±8	1030±40	53.4±2.1	0.8
6. stone	112±6	40.1±1.3	114±4	1220±30	<1.7	0.8
7. moss – entrance	92±8	51±19	144±15	520±40	13.7±2.2	0.8
8. road to the mine shaft	123±8	114±5	66.3±1.9	790±30	60.1±2.6	0.7
9. rubbish mining 1	262±11	390±9	137±7	1300±40	6.5±0.6	1.9
10. rubbish mining 2	273±11	495±13	109.2±2.5	1070±30	7.0±0.6	2.0
11. stone – rubbish mining	231±10	230±5	132±5	1510±40	<2.5	1.4
12. moss – rubbish mining	442±18	880±50	170±4	1290±50	74.0±2.2	3.3
13. rubbish mining – river	44.6±2.9	28.6±2.0	32.9±2.1	616±20	2.5±0.6	0.3
14. soil – around well	207±9	63±5	160±8	1280±40	29.2±1.5	1.1

The external hazard index is given in the last column in Table 1 calculated according to the equation (1) from the reference [7]:

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \leq 1 \quad (1)$$

where A_{Ra} , A_{Th} and A_K are the activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K [$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$]. The value of external hazard index should be less than one in order to have insignificant radiation hazard on the examined area.

Table 2 presents obtained results of ^{222}Rn activity concentration in the air in houses in the nearby village Kalna.

Table 2. Activity concentrations of ^{222}Rn in houses using charcoal canisters.

Location ID	Activity concentration of ^{222}Rn , A [Bq m^{-3}]
House 1 – ground floor	107 ± 6
House 2 – basement	50 ± 4
House 3 – ground floor (old building)	49 ± 5
House 4 – ground floor (new building)	33 ± 3
House 5 – ground floor	93 ± 6
Building 6 – working area – ground floor	903 ± 14
Building 6 – working area – basement	231 ± 9
House 7 – basement	120 ± 6
House 8 – ground floor	114 ± 7
House 8 – basement	137 ± 6

CONCLUSION

Most of the examined samples from the vicinity of the former uranium mine “Grabovnica” near village Kalna in East Serbia show elevated radioactivity. Only six samples (from 14 measured by gamma-spectroscopy) have external hazard index less than one. There are two soil samples taken from the entrance to the main shaft which have really high external hazard index. The obtained results also show higher activity concentration of ^{137}Cs in some samples.

The highest activity concentration of ^{222}Rn is found in the building 6 – which is working area. According to recommendations from the International Commission on Radiological Protection Statement on Radon, from November 2009, the upper level for radon gas in dwellings is

300 Bq m⁻³. Taking account of differences in the lengths of time spent in homes and workplaces of about a factor of three, a level of radon gas of around 1000 Bq m⁻³ defines the entry point for applying occupational protection for existing exposure situations [8]. All houses are very well ventilated which greatly affect ²²²Rn activity concentrations in air, so there is no need for any intervention.

Future investigations should include other mentioned locations in East Serbia and also comparison with areas of this origin worldwide.

Acknowledgment

This study was supported by Ministry of Education, Science and Technological Development within the projects No. 43002 and 171002.

REFERENCES

- [1] Milenić D, Dragisić V, Savić N, Vranješ A., Environmental Impact of Uranium Mine Waters in Eastern Serbia. – In: Rapantova N, Hrkal Z. eds. Mine Water and the Environment. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava; 2008. p. 197-200.
- [2] Kovačević J, Nikić Z, Papić P. Genetic model of uranium mineralization in the Permo-Triassic sedimentary rocks of the Stara Planina eastern Serbia. *Sedimentary Geology* 2009;219:252-261.
- [3] Bikit I, Slivka J, Čonkić Lj, Krmar M, Žikić-Todorović N, Varga E, Ćurčić S, Mrđa D. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). *Journal of Environmental Radioactivity* 2005;78:11-19.
- [4] Nikolov J, Todorović N, Petrović Pantić T, Forkapić S, Mrđa D, Bikit I, Krmar M, Vesković M. Exposure to radon in the radon spa Niška Banja, Serbia. *Radiation Measurements* 2012;47:443-450.
- [5] Todorović N, Forkapić S, Bikit I, Mrđa D, Vesković M, Todorović S. Monitoring for exposures to TENORM sources in Vojvodina region. *Radiation Protection Dosimetry* 2011;144(1-4):655-658.
- [6] EPA, EERF Standard Operating Procedures for Rn-222 Measurement Using Charcoal Canisters, U.S.EPA Publication, 520/5-87-005; 1987.
- [7] Díaz Rizo O, Gelen Rudnikas A, Arado Lopez J O, D'Alessandro Rodriguez K, Gonzalez Hernandez P, Fagundo Castillo J R, Blanco Padilla D. Radioactivity levels and radiation hazard of healing mud from San Diego River, Cuba. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2013;295: 1293-1297.
- [8] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, vol. 37, ICRP Publication 103, Ann. ICRP, 2007. pp. 2-4.

NATURAL RADIOACTIVITY AROUND FORMER URANIUM MINE, KALNA IN EASTERN SERBIA

*J. Nikolov^{1,*}, S. Forkapić¹, J. Hansman¹, U. Kozmidis-Luburić², I. Bikit¹,
M. Vesković¹, M. Krmar¹, N. Todorović¹, D. Mrđa¹ and K. Bikit¹*

¹ Department of Physics, Faculty of Sciences

² Faculty of Technical Sciences

University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

"Grabovnica" near small village Kalna was one of the first uranium mine established in Yugoslavia. In 1963, the Nuclear Energy Commission began operating the mine and mill. Between 1964 and 1966, the staff at this mine extracted and produced an estimated 900 kg of UO₂ and 400 kg of uranium metal. The Kalna ore was of poor quality, containing very low uranium content, which required higher-cost mining and refining methods. That was the main reason for closing this mine. This paper presents results obtained by measuring the activity concentration of soil and water samples by gamma spectrometry and also indoor ²²²Rn activity concentrations in houses in the nearby village Kalna. The investigations of radioactivity content of the samples collected around abandoned mine "Grabovnica" are carried out in order to determine the present state of the environment in this area.

Most of the examined samples show elevated radioactivity. Only six samples (from 14 measured by gamma-spectroscopy) have external hazard index less than one. There are two soil samples taken from the entrance to the main shaft which have really high external hazard index. The obtained results also show higher activity concentration of ¹³⁷Cs in some samples.

The highest activity concentration of ²²²Rn is found in one house which is working area. All houses are very well ventilated which greatly affect ²²²Rn activity concentrations in air, so there is no need for any intervention.

The mine was never officially decommissioned. The results obtained might be useful for the future decommissioning procedure. Future investigations should include other mentioned former mine locations in East Serbia and also comparison with areas of this origin worldwide.

ELEVATED MASSIC ACTIVITIES OF ^{238}U AND ^{226}Ra IN SEDIMENT OF THE KAŠTELA BAY (ADRIATIC SEA, CROATIA)

Ivanka Lovrenčić Mikelić

Laboratory for Radioecology, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

ivanka.lovrencic@irb.hr

INTRODUCTION

The area around the Kaštela Bay is intensively industrialized and urbanized and is the greatest urban agglomeration on the east Adriatic coast. The sources of contaminants for the bay were or still are numerous and include sewage system, industry, agriculture, and an airport. Sediment pollution with metals and the influence of the discharge of large amounts of nutrients of anthropogenic origin were intensively studied [1-5]. However, there are only few studies related to the radionuclides in the bay [6,7]. These studies indicated the presence of the TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) in the bay. Its origin was attributed to the combustion of the coal with elevated ^{238}U and ^{226}Ra activities in the former chemical factory "Adriavinil" resulting with the bottom ash and slag enriched with ^{238}U and ^{226}Ra up to several times compared to the coal.

By studying spatial distribution of ^{238}U and ^{226}Ra it is possible to determine the extent to which the bay is influenced by the deposition of the allochthonous material into the bay. The aim was to determine the areas or localized sites in the bay with elevated ^{238}U and ^{226}Ra massic activities and to assess the quality of the related sediments.

MATERIAL AND METHODS

Samples were collected by gravity corer or by autonomous diving in a regular grid 1×1 km covering the whole bay, in a grid 500×500 m around the "Adriavinil" factory, and along the 300 m long profile in the vicinity of the "Adriavinil" fenced area (Figure 1). Total of 604 samples on 95 sampling stations were collected. Samples were taken up to a depth of 50 cm whenever possible. Sediment cores were sliced into eight segments of which the upper six were 5 cm long and two deepest ones were 10 cm long.

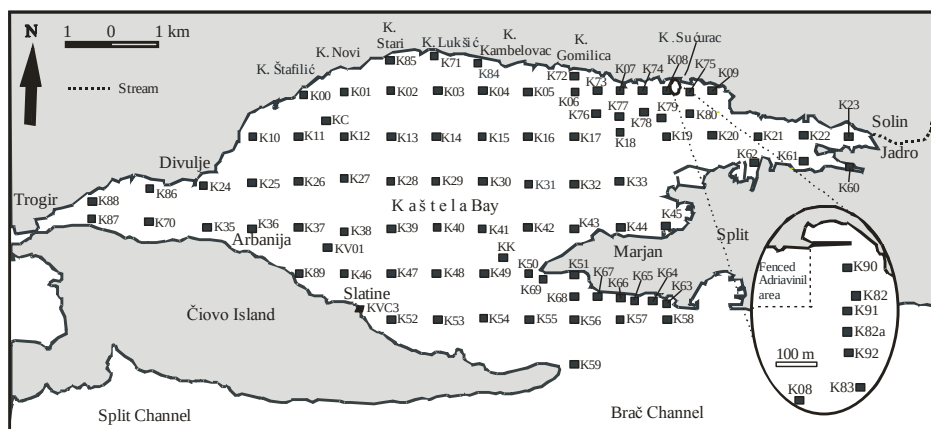


Figure 1. Sampling grid of the Kaštela Bay sediments

Prior to radiometric analysis sediments were dried overnight in a drier at 105 °C, ground, homogenized, put into plastic containers, weighed, sealed and stored for at least four weeks. Radiometric analysis was performed using HPGe detectors coupled with multichannel analyzers with 8,192 channels (Canberra Industries). Spectra were collected for 80,000 s and analyzed with Genie 2000 programme package (Canberra Industries). ^{226}Ra activity was determined through ^{214}Pb and ^{214}Bi peaks at 295.21 keV and 351.92 keV and at 609.31 keV, 1120.28 keV, and 1764.49 keV, respectively. ^{238}U activity was calculated through ^{234}Th activity using 63.29 keV and 92.6 keV peaks.

Elevated ^{238}U and ^{226}Ra activities were compared with the literature values for activities of Adriatic coastal sediments (AS) and with the experimentally obtained activities for the average, unpolluted Kaštela Bay sediment (KBS) calculated as the mean values of ^{238}U and ^{226}Ra activities in several samples in which no radionuclide contamination, i.e. anthropogenic influence was expected.

RESULTS

Basic statistical parameters of ^{238}U and ^{226}Ra massic activities for all collected samples are given in Table 1. Very similar ranges of ^{238}U and ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments up to 55 cm depth were reported earlier (11.4 – 606 Bq/kg for ^{238}U , 13.2 – 773 Bq/kg for ^{226}Ra) [7]. Other authors also reported 130–750 Bq/kg of ^{238}U and 130 – 810 Bq/kg of ^{226}Ra in the Kaštela Bay sediments [6].

Table 1. Descriptive statistics for ^{238}U and ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments for eight depth segments up to 50 cm depth; $\bar{x}$ – mean value, SD – standard deviation

Statistical parameter	$a(^{238}\text{U})$ (Bq/kg)	$a(^{226}\text{Ra})$ (Bq/kg)
$\bar{x}$	34	25
SD	46	48
Minimum	6.7	5.4
Maximum	603	685
Median	28	20

Elevated ^{238}U and/or ^{226}Ra massic activities were determined in 25 individual samples on five sampling stations (Figure 2). These samples can be divided in two groups: i) samples with moderately elevated activities, and ii) samples with significantly elevated activities. Significantly elevated ^{238}U and ^{226}Ra activities were determined only on the K90 station up to 30 cm depth (samples K9001–K9006).

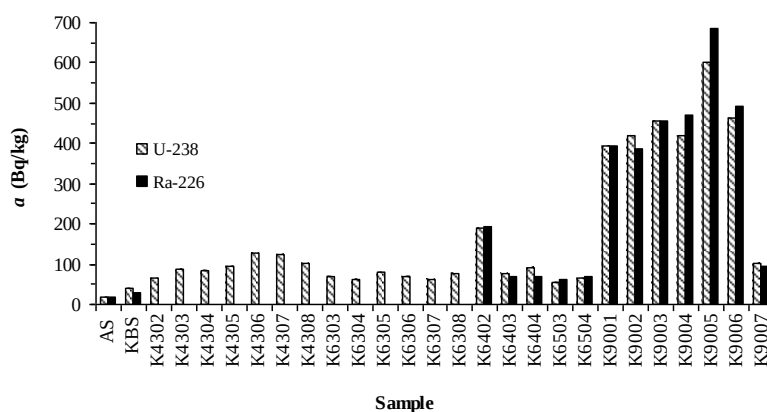


Figure 2. Samples with elevated ^{238}U and/or ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments; massic activities in the AS and KBS are given for comparison

The average ^{238}U and ^{226}Ra massic activities in the AS are 18.2 Bq/kg and 19.2 Bq/kg, respectively [7]. Moderately elevated ^{238}U and ^{226}Ra massic activities were 3 – 10 times higher than the average massic activities in the AS (Figure 3). Significantly elevated ^{238}U and ^{226}Ra massic activities were

22 – 33 times and 20 – 36 times higher, respectively, than the corresponding average values of the AS (Figure 3).

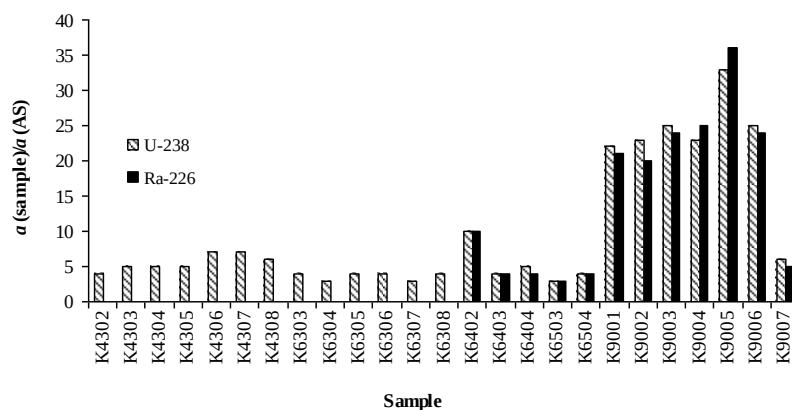


Figure 3. Elevated ^{238}U and/or ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments compared to massic activities in the Adriatic coastal sediments

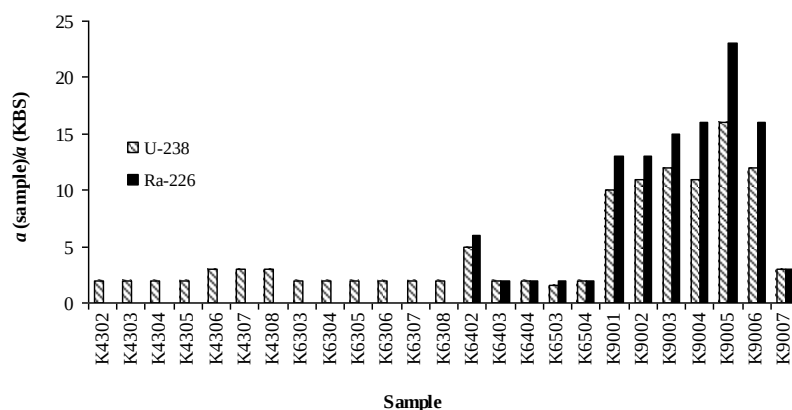


Figure 4. Elevated ^{238}U and/or ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments compared to massic activities in the unpolluted Kaštela Bay sediment

Experimentally obtained ^{238}U and ^{226}Ra massic activities for unpolluted Kaštela Bay sediment were 38.8 ± 4.2 Bq/kg and 29.8 ± 1.7 Bq/kg, respectively. In the group with moderately elevated activities ^{238}U massic activities were 1.5 – 5 times and ^{226}Ra 2 – 6 times higher compared to these values while in the group with significantly elevated activities ^{238}U

massic activities were 10–16 times and ^{226}Ra 13 – 23 times higher than the respective average massic activities in the KBS (Figure 4).

CONCLUSION

Elevated ^{238}U and/or ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments are limited to local occurrences. All affected sampling stations are in the east part of the bay in the nearest vicinity of the industrial facilities or urban centre. Thus, anthropogenic influence is highly possible on these stations. The first 30 cm of the K90 sediment core is attributed to dumping of the allochthonous material into the sea. Taking into account very high radionuclides activities, this material can be considered as TENORM.

Acknowledgment

This study was funded by the Ministry of Science, Education, and Sports of the Republic of Croatia through the "Radionuclides and trace elements in environmental systems" project (098-0982934-2713). Significant financial support from the Kaštela town is also greatly appreciated.

REFERENCES

- [1] Tudor M, Zvonarić T, Horvat M, Stegnar P. Vertical transport of mercury by settling particles in Kaštela Bay. *Acta Adriat* 1991;32(2):753-763.
- [2] Bogner D, Juračić M, Odžak N, Barić A. Trace metals in fine grained sediments of the Kaštela Bay, Adriatic Sea. *Water Sci Technol* 1998; 38(11):169-175.
- [3] Ujević I, Odžak N, Barić A. Trace metal accumulation in different grain size fractions of the sediments from a semi-enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastewaters. *Water Res* 2000;34(11):3055-3061.
- [4] Kwokal Ž, Frančišković-Bilinski S, Bilinski H, Branica M. A comparison of anthropogenic mercury pollution in Kaštela Bay (Croatia) with pristine estuaries in Öre (Sweden) and Krka (Croatia). *Mar Pollut Bull* 2002; 44(10):1152-1157.
- [5] Barić A, Marasović I, Gačić M. Eutrophication phenomenon with special reference to the Kaštela Bay. *Chem Ecol* 1992;6:51-68.
- [6] Mikac N, Foucher D, Kwokal Ž, Barišić D. Mercury and Radionuclides in Sediments of the Kaštela Bay (Croatia) – Evaluation of the Sediment Pollution History. *Croat Chem Acta* 2006;79(1):85-93.
- [7] Oreščanin V, Barišić D, Lovrenčić I, Mikelić L, Rožmarić-Mačefat M, Pavlović G, Lulić S. The influence of fly and bottom ash deposition on the quality of Kaštela Bay sediments. *Environ Geol* 2005;49:53-64.

ELEVATED MASSIC ACTIVITIES OF ^{238}U AND ^{226}Ra IN SEDIMENT OF THE KAŠTELA BAY (ADRIATIC SEA, CROATIA)

Ivanka Lovrenčić Mikelić

Laboratory for Radioecology, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

ivanka.lovrencic@irb.hr

^{238}U and ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments were studied in order to determine the extent to which the bay is influenced by the deposition of the allochthonous material into the bay and to determine the areas or localized sites with elevated ^{238}U and ^{226}Ra massic activities.

Total of 609 samples were collected on 95 sampling stations in a regular grid up to a depth of 50 cm whenever possible and sliced in eight segments. Radiometric analysis was performed on all samples and elevated ^{238}U and ^{226}Ra activities were detected and compared with the literature values for activities of the Adriatic coastal sediments (AS) and with the experimentally obtained activities for the average, unpolluted Kaštela Bay sediment (KBS).

^{238}U massic activities were in the range 6.7 – 603 Bq/kg with the mean value 34 Bq/kg and median 28 Bq/kg. ^{226}Ra massic activities were in the range 5.4 – 685 Bq/kg with the mean value 25 Bq/kg and median 20 Bq/kg. Elevated radionuclides activities were determined in 25 individual samples on five sampling stations. Significantly elevated ^{238}U and ^{226}Ra activities were determined only on one sampling station close to the former chemical factory up to 30 cm depth where ^{238}U and ^{226}Ra activities were 22 – 33 times and 20 – 36 times higher, respectively, than the respective average massic activities of the AS. Compared with the KBS, ^{238}U activities were 10 – 16 times higher and ^{226}Ra 13 – 23 times higher than the respective average values. In other samples activities were moderately elevated and ^{238}U and ^{226}Ra massic activities were 3 – 10 times higher than the average massic activities in the AS while compared to the KBS ^{238}U activities were 1.5 – 5 times higher and ^{226}Ra activities were 2 – 6 times higher.

^{238}U and/or ^{226}Ra massic activities in the Kaštela Bay sediments are elevated only locally in the east part of the bay. TENORM dumping into the sea in the vicinity of the chemical factory was documented.

UTJECAJ GLOBALNOG ^{14}C ZAGAĐENJA ATMOSFERSKOG CO_2 NA KRŠKI SUSTAV PLITVIČKIH JEZERA

Nada Horvatinčić, Andreja Sironić, Jadranka Barešić i Ines Krajcar Bronić

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

nada.horvatincic@irb.hr

UVOD

Radioaktivni izotop ^{14}C je kozmogenog porijekla i njegova prirodna produkcija je uglavnom konstantna, uz manja variranja. Prirodna koncentracija ^{14}C u atmosferi/atmosferskom CO_2 je u ravnoteži i iznosi ~ 100 pMC (*percent of modern carbon*). Značajan poremećaj prirodne koncentracije ^{14}C u atmosferi uzrokovan je termonuklearnim pokusima pedesetih i šezdesetih godina 20. stoljeća, kada je aktivnost ^{14}C (u daljnjem tekstu $a^{14}\text{C}$) na sjevernoj hemisferi porasla za gotovo 100 %. Maksimum od 190 pMC zabilježen je 1963. godine [1]. Taj značajan porast $a^{14}\text{C}$ na globalnoj razini reflektirao se i u ukupnom okolišu na Zemlji, odnosno u ciklusu ugljika gdje je uključen atmosferski CO_2 .

U krškom području, koje prekriva oko 50 % teritorija Hrvatske, procesi izmjene ugljika s atmosferskim CO_2 su posebno izraženi i imaju značajnu ulogu u sustavu atmosferski CO_2 – kopnena vegetacija/humus – otopljeni ugljik u vodi/vodno bilje – karbonatni sediment (jezerski sediment, sedra, sige). U Hrvatskoj se $a^{14}\text{C}$ atmosferskog CO_2 prati kontinuirano od 1985. godine [2,3] i danas se $a^{14}\text{C}$ atmosfere približila prirodnoj ^{14}C aktivnosti.

MATERIJAL I METODE

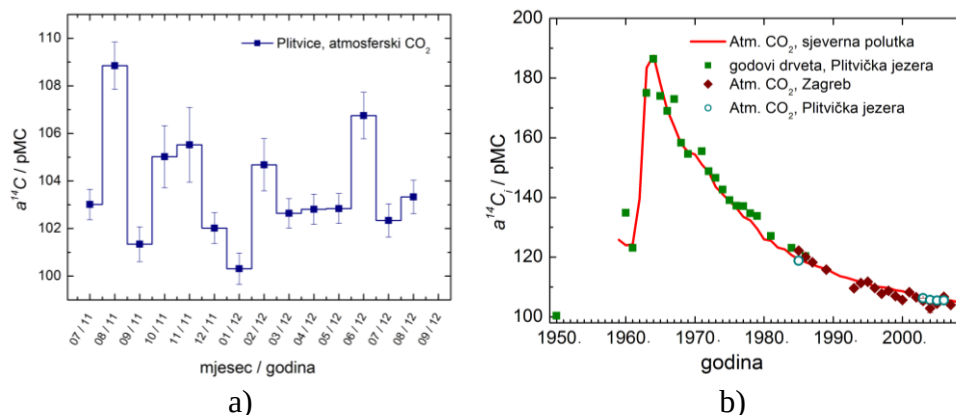
Područje Plitvičkih jezera je kao nacionalni park zaštićeno područje pa je utjecaj ljudskog djelovanja na lokalnoj razini sveden na minimum. No, utjecaj globalnog zagađenja, u ovom slučaju porast $a^{14}\text{C}$ u atmosferskom CO_2 , pa time i u ukupnom okolišu Plitvičkih jezera, je registriran i na tom području. U svrhu praćenja raspodjele $a^{14}\text{C}$ na području Plitvičkih jezera mjerila se $a^{14}\text{C}$ u razdoblju 2011. – 2012. u: atmosferskom CO_2 , površinskom humusu, kopnenom i vodnom bilju, vodi i to u otopljenom anorganskom ugljiku (*dissolved inorganic carbon*, DIC) i organskom ugljiku (*dissolved organic carbon*, DOC), te u jezerskom sedimentu, karbonatnoj i organskoj frakciji.

Za određivanje $a^{14}\text{C}$ koristile su se dvije metode: 1) mjerenje tekućinskim scintilacijskim brojačem (LSC), pri čemu se uzorci kemijskim postupkom prevode u benzen [4] i 2) mjerenje akceleratorom masenom spektrometrijom (AMS), a uzorci se kemijskim postupkom prevode u grafit [5,6].

REZULTATI

^{14}C u atmosferskom CO_2

$a^{14}\text{C}$ atmosferskog CO_2 mjenen je u mjesečnim uzorcima, a rezultati su prikazani na Slici 1a. Na Slici 1b vidi se da je globalna kontaminacija atmosfere bila registrirana i na Plitvičkim jezerima što se rekonstruiralo preko mjerenja $a^{14}\text{C}$ u godovima drveća sa Plitvičkih jezera [2]. Današnje vrijednosti $a^{14}\text{C}$ atmosferskog CO_2 približile su se vrijednostima $a^{14}\text{C}$ iz razdoblja prije termonuklearnih eksplozija uz manja variranja koja mogu biti uzrokovana lokalnim utjecajima, npr. sagorijevanjem fosilnih goriva u zimskim mjesecima. Srednja vrijednost $a^{14}\text{C}$ atmosferskog CO_2 za razdoblje 2011. – 2012. na Plitvicama iznosi $103,5 \pm 2,1$ pMC, dok na području Zagreba za isto razdoblje iznosi $103,6 \pm 3,6$ pMC.

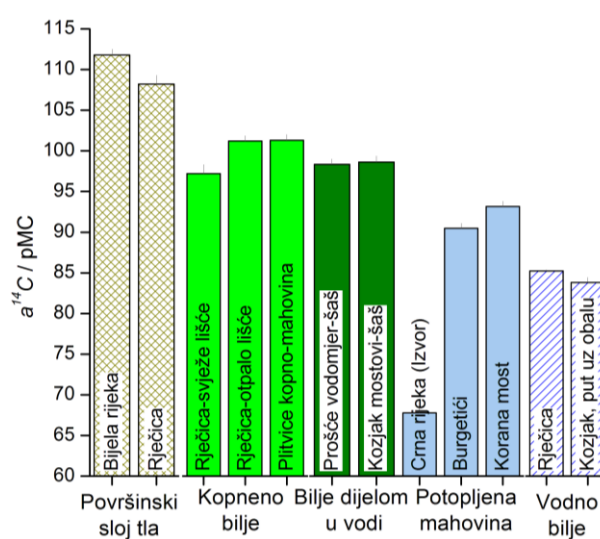


Slika 1. a) $a^{14}\text{C}$ u mjesečnim uzorcima atmosferskog CO_2 na području Plitvičkih jezera u razdoblju 2011. – 2012. b) Prosječne godišnje vrijednosti $a^{14}\text{C}$ atmosferskog CO_2 te $a^{14}\text{C}$ u godovima drveća s područja Plitvičkih jezera za razdoblje 1950. – 2010. [1,3].

^{14}C u kopnenom i vodnom bilju te humusu

Rezultati (Slika 2) pokazuju da je $a^{14}\text{C}$ kopnenog bilja, pa i bilja koje raste u vodi, ali asimilira atmosferski CO_2 (šas) (između 100 i 105 pMC), sličan $a^{14}\text{C}$ atmosferskog CO_2 . Potopljeno bilje, kao što je mahovina na nekoliko lokacija te vodno bilje, sadrže nižu koncentraciju ^{14}C . Takva

raspodjela ^{14}C posljedica je različitih izvora ugljika kod procesa asimilacije. Površinski sloj humusa (prvih 10 cm), koji predstavlja prosjek $\delta^{14}\text{C}$ kopnenog bilja u zadnjih 10 – 20 godina, ima najvišu $\delta^{14}\text{C}$. Za vodno bilje $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti variraju zavisno o mjestu uzorkovanja, s najnižom $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti na izvoru Crne rijeke te najvišom na rijeci Korani, ~16 km nizvodno od izvora. To ukazuje da je izvor ugljika u vodnom bilju pretežno ugljik iz DIC-a, a nizvodni porast $\delta^{14}\text{C}$ u bilju slijedi nizvodni porast $\delta^{14}\text{C}$ u DIC-u (vidi iduće poglavlje).

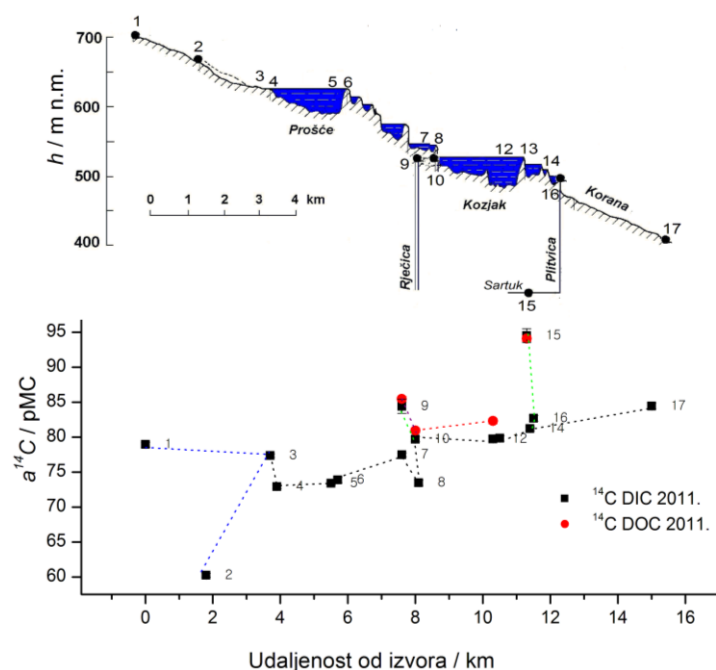


Slika 2. $\delta^{14}\text{C}$ u kopnenom i vodnom bilju te u površinskom humusu sa područja Plitvičkih jezera.

^{14}C u vodi (DIC i DOC)

$\delta^{14}\text{C}$ ugljika otopljenog u vodi na području Plitvičkih jezera mjerila se od izvora do rijeke Korane koja istječe iz Plitvičkih jezera, ukupne udaljenosti oko 16 km. Otopljeni ugljik u krškim vodama se nalazi uglavnom u obliku bikarbonata (DIC) te manjim dijelom u obliku organskog ugljika (DOC).

Postupni porast $\delta^{14}\text{C}$ DIC-a u nizvodnom toku, od izvora do rijeke Korane (Slika 3), rezultat su određenih procesa u vodi i to: izmjene ugljika iz DIC-a s ugljikom iz atmosferskog CO_2 te procesa fotosinteze u vodama Plitvičkih jezera. $\delta^{14}\text{C}$ DOC-a na mjeranim točkama slijedi $\delta^{14}\text{C}$ DIC-a, što ukazuje na međusobnu interakciju DIC-a i DOC-a u procesima u vodi.



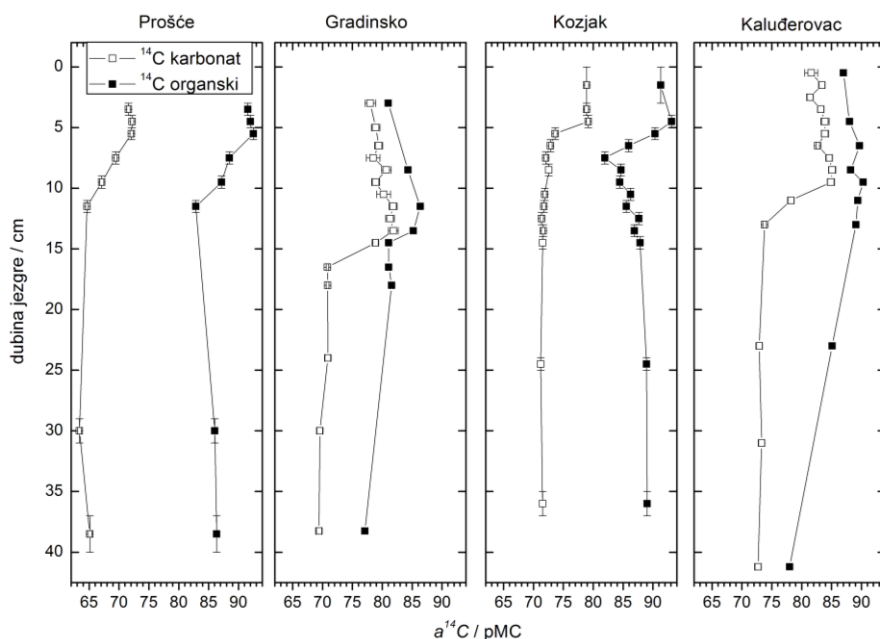
Slika 3. $a^{14}\text{C}$ DIC-a u nizvodnom toku, od izvora do rijeke Korane, te $a^{14}\text{C}$ DOC-a na nekoliko točaka.

^{14}C u jezerskim sedimentima

U krškim vodama Plitvičkih jezera jedan od glavnih procesa je taloženje karbonata iz vode u obliku sedre formirajući sedrene barijere, što Plitvice čini svjetskim prirodnim fenomenom. No, pored taloženja sedre karbonat se taloži i u obliku jezerskog sedimenta na dnu jezera. Za naša istraživanja koristili smo površinske sedimente (~40 cm površinskog sedimenta) iz 4 jezera: Prošće, Kozjak, Gradinsko jezero i Kaluđerovac. $a^{14}\text{C}$ je mjereno u karbonatnoj i organskoj frakciji sedimenta, a rezultati su prikazani na Slici 4.

Razlika $a^{14}\text{C}$ između karbonatne (niže vrijednosti) i organske frakcije (više vrijednosti) u svim jezerima potječe od različitog porijekla ugljika. Karbonat u sedimentu (karbonatna frakcija u jezerskom sedimentu iznosi 80 - 95 %) nastaje taloženjem iz DIC-a u vodi, koji je nastao geokemijskim procesima otapanja vapnenca djelovanjem CO_2 iz humusa/atmosfere. Ugljik iz organske frakcije sedimenta potječe od raspada vodnog bilja te dijelom kopnene vegetacije. U svim sedimentnim profilima može se uočiti maksimalna $a^{14}\text{C}$ u obje frakcije na 5 – 15 cm ispod površine, što je odraz povišene $a^{14}\text{C}$ vrijednosti u atmosferi prije pedesetak godina (Slika 1b).

Porast $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti u sedimentu je znatno manje izražen (povišenje za 5 - 10 pMC) nego u atmosferi, te se pojavljuje s vremenskim zakašnjenjem od ~30 godina [7] u odnosu na atmosferski maksimum, što je posljedica geokemijskih procesa uključenih u taloženje karbonata.



Slika 4. $\delta^{14}\text{C}$ vrijednosti za karbonatnu i organsku frakciju u sedimentnim profilima jezera Prošće, Gradinsko, Kozjak i Kaluđerovac.

ZAKLJUČAK

Značajan porast $\delta^{14}\text{C}$ u atmosferi uzrokovan termonuklearnim pokusima sredinom 20. stoljeća imao je utjecaja i na $\delta^{14}\text{C}$ u ukupnom okolišu Plitvičkih jezera. Mjerenja $\delta^{14}\text{C}$ tijekom 2011. i 2012. godine u atmosferskom CO_2 , kopnenoj i vodnoj vegetaciji, vodi (DIC i DOC) te u jezerskom sedimentu pokazala su da se koncentracija ^{14}C približila prirodnoj koncentraciji ^{14}C iz razdoblja prije 1950. (prije kontaminacije). Zaostala/povišena ^{14}C aktivnost uočljiva je u jezerskom sedimentu, 5 – 15 cm ispod površine sedimenta. U atmosferskom CO_2 i kopnenom bilju $\delta^{14}\text{C}$ se kreće između 100 - 110 pMC, dok $\delta^{14}\text{C}$ u vodi (DIC i DOC) i vodnom bilju ovisi o procesima koji su uključeni u ciklus ugljika, a to su geokemijski procesi otapanja/taloženja karbonata, procesi fotosinteze, te izmjene ugljika iz atmosferskog CO_2 i DICa.

Zahvala

Rad je izrađen u okviru projekta MZOS 098-0982709-2741 i projekta s Nacionalnim parkom Plitvička jezera *Utjecaj klimatskih promjena i stanja u okolišu na biološki inducirano taloženje sedre i sedimentacijske procese u Plitvičkim jezerima*.

LITERATURA

- [1] Levin I, Naegler T, Kromer B, Diehl M, Francey RJ, Gomez-Pelaez AJ, Steele LP, Wagenbach D, Weller R, Worthy DE. Observations and modelling of the global distribution and long-term trend of atmospheric $^{14}\text{CO}_2$. *Tellus B* 2010;62(1):26-46.
- [2] Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B. Two decades of environmental isotope record in Croatia: reconstruction of the past and prediction of future levels. *Radiocarbon* 1998;40:399-416.
- [3] Krajcar Bronić I, Obelić B, Horvatinčić N, Barešić J, Sironić A, Minichreiter K. Radiocarbon application in environmental science and archaeology in Croatia. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 2010;619:491-496.
- [4] 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.
- [5] 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. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2010;268:943-946.
- [6] 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. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2013;294:185-188.
- [7] 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.

INFLUENCE OF GLOBAL ^{14}C CONTAMINATION OF ATMOSPHERIC CO_2 ON THE KARST AREA OF THE PLITVICE LAKES

*Nada Horvatinčić, Andreja Sironić, Jadranka Barešić
and Ines Krajcar Bronić*

Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

nada.horvatincic@irb.hr

Global increase/contamination of ^{14}C activity ($a^{14}\text{C}$) of atmospheric CO_2 produced by thermonuclear weapon tests in fifties and sixties of the 20th century has been reflected also in the protected environment of the Plitvice Lakes National Park. $a^{14}\text{C}$ was measured in the period 2011 – 2012 in the Plitvice Lakes environment: atmospheric CO_2 , surface soil, terrestrial and aquatic plants, dissolved inorganic carbon (DIC) and organic carbon (DOC) in water, and lake sediments, carbonate and organic fraction. $a^{14}\text{C}$ values measured in recent samples are close to the pre-bomb natural $a^{14}\text{C}$, i.e. before 1950. Increased $a^{14}\text{C}$ values were observed in lake sediments in all four lakes. The peak in $a^{14}\text{C}$ in both, organic and carbonate fractions, was observed at sediment depths of 5 – 10 cm. $a^{14}\text{C}$ values of atmospheric CO_2 and terrestrial plants are 100 – 110 pMC which is similar to the global $a^{14}\text{C}$ in the global atmosphere in present. $a^{14}\text{C}$ values of DIC and DOC as well as of the aquatic plants depend on the processes involved in the carbon cycle, i.e., geochemical processes of dissolution/precipitation of the carbonate, photosynthetic process and carbon isotope exchange between atmospheric CO_2 and DIC in water.

UTJECAJ CENTRALNOG UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA OKOLIŠ

*Gordana Pehnec, Vladimira Vadić, Mirjana Čačković, Gordana Marović i
Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

gpehnec@imi.hr

UVOD

Projekt CUPOVZ (Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Grada Zagreba) prva je koncesija za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj koja Gradu Zagrebu omogućuje poštivanje ekoloških standarda Europske unije u području zaštite okoliša i voda. Gradnja CUPOVZ-a završila je 2007. godine, a Zagrebačke otpadne vode – Upravljanje i pogon d.o.o. zaduženo je za upravljanje i rad uređaja te njegovo redovito održavanje. Od samog početka izgradnje 2003. godine pratio se utjecaj pročišćivača na okoliš, uključujući i praćenje stanja radioaktivnosti na lokaciji. Zbog specifičnosti samog postrojenja praćenje stanja radioaktivnosti svelo se na neprekidno praćenje brzine apsorbirane doze, kako bi se tim prije moglo reagirati u slučaju neželjenih povećanja. Istovremeno provodila su se i mjerenja specifičnih onečišćenja u zraku. U ovom radu prikazani su rezultati praćenja brzine apsorbirane doze te imisijskih koncentracija amonijaka (NH_3), vodikovog sulfida (H_2S) i merkaptana (RSH), značajnih zbog utjecaja na kvalitetu življenja i dodijavanja mirisima.

MATERIJAL I METODE

Mjerno mjesto za praćenje stanja radioaktivnosti te određivanja plinovitih onečišćenja (NH_3 , H_2S , RSH) nalazilo se unutar samog kompleksa CUPOVZ-a (Slika 1). Mjerenja radioaktivnosti obuhvatila su neprekidno mjerenje brzine doze zračenja u mjesečnim intervalima, dok su uzorci NH_3 , H_2S i RSH sakupljani tijekom 24-satnih razdoblja. Mjerenja su provedena po mjesec dana u svakom godišnjem dobu tijekom 2011. godine.

Neprekidno mjerenje brzine ekspozicijske doze zračenja provedeno je mjernim uređajem *ALARA ED*. Elektronički dozimetar *ALARA ED* razvijen je na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu. Uređaj neprekidno mjeri ionizacijske događaje u svojoj okolini i

pohranjuje podatke u desetminutnim intervalima. Spremljeni podaci iščitavaju se računalnim programom koji izračunava vrijednosti brzina apsorbiranih doza, a dobiveni su kako pisani tako i grafički zapisi brzina apsorbiranih doza. Izračunavaju se srednje dnevne vrijednosti.

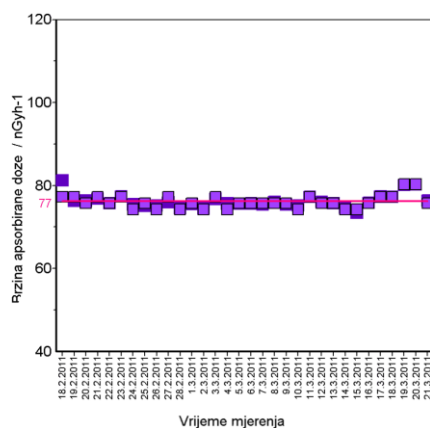


Slika 1. Položaj mjerne postaje

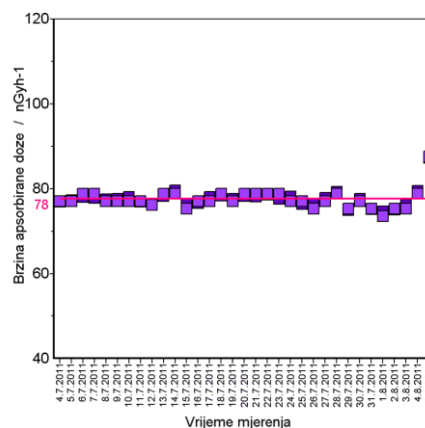
Uzorci NH_3 sakupljani su prosisavanjem zraka kroz apsorpcijsku otopinu, a koncentracija amonijaka određena je spektrofotometrijski Nesslerovom metodom. Uzorci H_2S sakupljani su prosisavanjem na filter papir Whatman No. 41 impregniran živa (II) kloridom uz dodatak uree kao antioksidansa. Analiza H_2S provedena je spektrofotometrijskom metodom molibdenskog plavila [1,2]. Merkaptani su sakupljani na filter papiru Whatman No. 41 impregniranom živa (II) acetatom uz dodatak octene kiseline. Koncentracija merkaptana određivana je spektrofotometrijski pomoću N,N dimetil fenilendiamin hidroklorida i Reissnerova reagensa [3]. Ovom metodom određuju se ukupni merkaptani, a rezultati su izraženi kao merkaptanski sumpor R-SH. Izmjereni rezultati interpretirani su prema Zakonu o zaštiti zraka [4] te Uredbi o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku [5].

REZULTATI

Tijekom 2011. godine prosječna brzina apsorbirane doze na mjernom mjestu unutar samog kompleksa CUPOVZ iznosila je $77 \pm 4 \text{ nGyh}^{-1}$, što je niža vrijednost od godišnjeg prosjeka za lokaciju Instituta (prosječna vrijednost za 2011. godinu iznosila je $118 \pm 3 \text{ nGyh}^{-1}$) [6]. Slike 2 i 3 prikazuju dnevne vrijednosti i mjesečni prosjek za zimski i ljetni period mjerenja brzine apsorbirane doze na lokaciji.

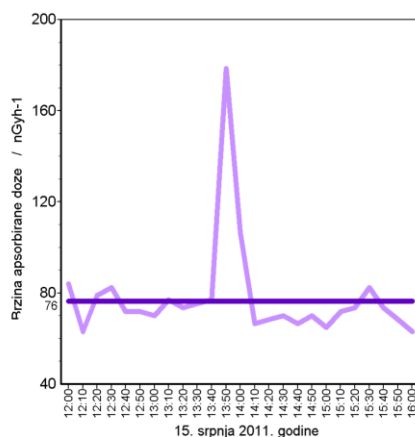


Slika 2. Brzina apsorbirane doze na lokaciji CUPOVZ tijekom zime 2011. godine



Slika 3. Brzina apsorbirane doze na lokaciji CUPOVZ tijekom ljeta 2011. godine

Prateći prosječne vrijednosti brzina apsorbirane doze lako bi bilo zaključiti da je rizik izlaganju ionizirajućem zračenju na lokaciji CUPOVZ neznatan. Međutim, pogledamo li kretanje brzine apsorbirane doze tijekom 15. srpnja 2011. godine, nameću se pitanja sustavnijeg praćenja radioaktivnosti u sustavu pročišćavanja otpadnih voda. Toga ljetnoga dana izmjerena je maksimalna vrijednost brzine apsorbirane doze, viša od dvostruke vrijednosti dnevnog i mjesečnog prosjeka. Slika 4 prikazuje dnevni hod brzine apsorbirane doze od podneva do četrnaest sati 15. srpnja 2011. godine.



Slika 4. Brzina apsorbirane doze na lokaciji CUPOVZ tijekom 15.7.2011.

Polusatna izloženost većim brzinama doze doprinosi osampostotnom (8 %) povećanju procjene dnevne doze za izloženog djelatnika CUPOVZ. No, kako se izloženost vanjskom zračenju procjenjuje i za djelatnike i za stanovništvo na temelju prosječnih dnevnih, mjesečnih i godišnjih vrijednosti brzina apsorbirane doze, kratkotrajna povećanja, u konkretnom slučaju do pola sata, brzine doze ne doprinose bitno izloženosti stanovništva.

24-satne koncentracije amonijaka kretale su se tijekom 2011. godine između 2,3 i 23,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najviše prosječne vrijednosti izmjerene su ljeti, a najniže zimi (Tablica 1). Prema Uredbi o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku [5] propisane su granične vrijednosti (GV) za vrijeme usrednjavanja 1 godina (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i 24 sata (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ne smije biti prekoračeno više od 7 puta tijekom kalendarske godine). GV dane su za razdoblje od jedne godine, pa se na osnovu ciljanih mjerenja od po mjesec dana u svakom godišnjem dobu ne može provesti kategorizacija okolnog područja. Međutim, s obzirom da su koncentracije amonijaka bile niske u svim razdobljima mjerenja i nisu prelazile GV, može se zaključiti da je zrak bio zadovoljavajuće kvalitete.

Tablica 1. Koncentracije NH_3 , H_2S i RSH ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) u okolini CUPOVZ-a tijekom 2011. godine

Onečišćenje	Razdoblje mjerenja	N	$C_{\min}$	C	C_{50}	C_{98}	$C_{\max}$
NH_3	Zima	31	2,85	6,93	5,46	17,80	23,04
	Proljeće	32	2,31	7,17	7,11	13,45	13,81
	Ljeto	31	5,99	12,29	11,74	21,23	22,10
	Jesen	31	2,69	8,38	7,50	18,51	19,76
H_2S	Zima	31	0	0,40	0,13	1,60	1,62
	Proljeće	32	0	2,13	1,47	9,99	10,99
	Ljeto	31	0	1,84	0,91	11,23	17,78
	Jesen	31	0	1,02	0,68	4,85	7,66
RSH	Zima	31	0	0,24	0,23	0,82	0,93
	Proljeće	32	0	0,19	0,18	0,65	0,75
	Ljeto	31	0	0,32	0,30	0,70	0,81
	Jesen	31	0,07	0,28	0,25	0,65	0,88

N – broj uzoraka
 C_{50} – 50. percentil

$C_{\min}$ – najmanja 24-satna koncentracija
 C_{98} – 98. Percentil

C – srednja vrijednost
 $C_{\max}$ – najveća 24-satna koncentracija

Koncentracije vodikovog sulfida bile su između 0 i 17,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a najviše vrijednosti izmjerene su u proljeće i ljeto. Prema Uredbi [5] propisane su GV za vrijeme usrednjavanja 1 godina (2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i 24 sata

($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne smije biti prekoračeno više od 7 puta tijekom kalendarske godine). Granična vrijednost od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bila je prekoračena ukupno 6 puta, a do prekoračenja nije dolazilo jedino zimi (Tablica 2).

Tablica 2. Učestalost pojavljivanja visokih koncentracija H_2S

Razdoblje mjerjenja	Učestalost koncentracija većih od $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ *	
	Broj dana	%
Zima	-	-
Proljeće	2	6,3
Ljeto	3	9,7
Jesen	1	3,2

Koncentracije RSH kretale su se između 0 i $0,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tablica 1). Za merkaptane GV za vrijeme usrednjavanja od 1 godine iznosi $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a za vrijeme usrednjavanja 24 sata $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ne smije biti prekoračeno više od 7 puta tijekom kalendarske godine). Koncentracije RSH bile su niske u svim razdobljima mjerjenja. Najniže vrijednosti izmjerene su u proljeće, a najviše ljeti. S obzirom da koncentracije nisu prelazile GV može se zaključiti da je zrak s obzirom na ovo onečišćenje bio zadovoljavajuće kvalitete.

ZAKLJUČAK

Dugogodišnja mjerjenja brzine apsorbirane doze pokazuju da CUPOVZ ne predstavlja dodatno dozno opterećenje za stanovnike toga dijela grada. Koncentracije H_2S prelazile su povremeno vrijednosti propisane hrvatskim zakonskim propisima te je dolazilo do dodijavanja neugodnim mirisom vodikova sulfida, dok su koncentracije amonijaka i merkaptana bile ispod graničnih vrijednosti te je s obzirom na njih kvaliteta zraka bila zadovoljavajuća.

LITERATURA

- [1] Vađić V. Metoda za određivanje H_2S u atmosferi. *Zašt Atm* 1982;10:116.
- [2] Vađić V, Gentilizza M, Hršak J, Fugaš M. Determination of Hydrogen Sulphide in the Air. *Staub Reinhalt Luft* 1980;40:73.
- [3] Moore HBA, Helwig HL, Graul RJ. A Spectrophotometric Method for the Determination of Mercaptans in Air. *Am Ind Hyg Assoc J* 1960;21:466.
- [4] Zakon o zaštiti zraka. NN 130/2011.
- [5] Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku. NN 133/2005.
- [6] IMI-CRZ-92; 2012. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj (Izvješće za 2011. godinu). G. Marović i sur.

INFLUENCE OF CENTRAL WASTEWATER TREATMENT PLANT ON THE ENVIRONMENT

*Gordana Pehnec, Vladimira Vađić, Mirjana Čačković, Gordana Marović
and Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
gpehnec@imi.hr

Project CUPOVZ (Zagreb Central Wastewater Treatment Plant) is the first concession for wastewater purification in Croatia. For the City of Zagreb this project provides compliance with EU ecological standards in the field of environmental protection and protection of waters. The construction of CUPOVZ has finished in 2007, and "Zagrebačke otpadne vode – Upravljanje i pogon d.o.o." is responsible for its management, proper working and regular maintenance. The influence of the wastewater treatment plant on the environment has been monitored since the beginning of the construction in 2003. Monitoring includes radioactivity measurements and measurements of specific air pollutants. This paper presents the measuring results obtained at CUPOVZ in 2011. Measurements were carried out over four months; for thirty days in each season. Ionising radiation was measured using ALARA ED dosimeters (expressed here as mean daily absorbed dose rates). In 2011 average absorbed dose rate at CUPOVZ was $77 \pm 4 \text{ nGy h}^{-1}$. Equivalent dose for population was assessed on yearly base $0.680 \pm 0.064 \text{ mSv}$. Samples of ammonia (NH_3), hydrogen sulphide (H_2S) and mercaptans (RSH) were collected by 24-hour sampling. Twenty-four-hour concentrations of ammonia ranged between $2.3 \mu\text{g/m}^3$ and $23.0 \mu\text{g/m}^3$, concentrations of hydrogen sulphide were between $0 \mu\text{g/m}^3$ and $17.8 \mu\text{g/m}^3$, while mercaptan concentrations ranged between $0 \mu\text{g/m}^3$ and $0.93 \mu\text{g/m}^3$. H_2S levels occasionally exceeded values set by Croatian air protection legislation.

SPECIFIČNA UKUPNA BETA AKTIVNOST LEBDEĆIH ČESTICA U ATMOSFERI ZAGREBA

Krešimir Šega, Ivan Bešlić, Gordana Marović i Jasminka Senčar
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
ksega@imi.hr

UVOD

Razorni potres koji se 11. ožujka 2011. godine dogodio u dubinama oceana sjeveroistočno od Japana i posljedični tsunami razorili su područje sjeveroistočnog Japana. Jedna od posljedica katastrofe jest i nesreća u nuklearnoj elektrani Fukushima Dai-ichi smještenoj u gradu Okuma u distriktu Futaba japanske prefekture Fukushima. Došlo je do ispuštanja većih količina radioaktivnosti u okoliš. Posljedično su širom svijeta pojačana praćenja radioaktivnih tvari u atmosferi [1,2]. S obzirom na to, da je uz nesreću u Černobilu 1986. godine, ova nesreća jedina ocijenjena razinom 7 prema Međunarodnoj skali nuklearnih akcidenata (INES, *The International Nuclear and Radiological Event Scale*, IAEA), u svrhu utvrđivanja moguće povišene aktivnosti na našim prostorima, proširena su praćenja u sklopu radiološkoga monitoringa. Tako se povećao i broj lokacija za praćenje ukupne beta aktivnosti zraka. Obnovljena su, nakon prestanka 2007. godine [3-5], mjerenja ukupne β -aktivnosti u frakciji lebdećih čestica $PM_{2.5}$ na mjernom mjestu Siget te je pokrenuto određivanje ukupne β -aktivnosti u frakciji lebdećih čestica PM_{10} na mjernom mjestu Miramarska. Mjerenja obuhvaćaju razdoblje od početka ožujka 2011. do kraja 2012. godine. Rezultati istraživanja prikazani su grafički i tabelarno te ocijenjeni s obzirom na rezultate dobivene mjerenjima aktivnosti frakcije lebdećih čestica $PM_{2.5}$ izmjerenih prije navedene nesreće, kroz razdoblje od 2005. do 2007. godine.

MATERIJAL I METODE

Na mjernom mjestu lokalne mreže grada Zagreba smještenom u Domu zdravlja Siget u južnom dijelu grada, definiranom kao gradska prometna lokacija, sakupljani su dnevni uzorci frakcije lebdećih čestica $PM_{2.5}$ na filtre od kvarcnih vlakana QMA Whatman promjera 47 mm (promjer mrlje uzorka 42 mm) iz ukupnog volumena od 55,2 m³ (protok

2,3 m³h⁻¹) uporabom referentnog sakupljača (KleinfILTERgerät) LVS3 proizvodnje Sven Leckel Ingenieur Büro. Sakupljanje uzoraka trajalo je od podneva do podneva sljedećeg dana uz ručnu izmjenu filtara. Određivanja masenih koncentracija uzoraka provedena su sukladno standardu HRN EN 14907:2006. Filtri bez uzorka, kao i filtri s prikupljenim uzorkom kondicionirani su prije vaganja na konstantnu temperaturu od 20 ± 1 °C i relativnu vlažnost zraka od 50 ± 5 % tijekom 48 sati, vagani, ponovno kondicionirani uz iste uvjete tijekom sljedećih 24 sata te ponovno vagani. Odvage uzoraka određivane su uporabom analitičke vage MX5 Mettler Toledo s rezolucijom od 10⁻⁶ g uz izmjerenu proširenu mjernu nesigurnost (k = 2) od 9,2 % na razini vrijednosti granične godišnje koncentracije od 25 µg m⁻³.

Istovremeno, na mjernom mjestu Državne mreže za praćenje onečišćenja zraka Zagreb-1, definiranom kao gradska prometna lokacija, smještenom na sjeverozapadnom raskrižju Miramarske i Vukovarske ulice, sakupljani su dnevni uzorci frakcije lebdećih čestica PM₁₀. Uzorci lebdećih čestica sakupljani su na filtre od kvarcnih vlakana QMA Whatman promjera 150 mm (promjer mrlje uzorka 140 mm) iz ukupnog volumena od 720 m³ (protok 30 m³ h⁻¹) uporabom sakupljača uzoraka DIGITEL DHA-80. Sakupljanje uzoraka trajalo je od podneva do podneva sljedećeg dana uz automatsku izmjenu filtara. Posluživanje i pregled uređaja obavljani su jednom u dva tjedna. Određivanja masenih koncentracija uzoraka provedena su sukladno standardu HRN EN 12341:2006. Filtri bez uzorka, kao i filtri s prikupljenim uzorkom kondicionirani su prije vaganja na konstantnu temperaturu od 20 ± 1 °C i relativnu vlažnost zraka od 50 ± 5 % tijekom 48 sati. Odvage uzoraka određivane su uporabom analitičke vage AX205 Mettler Toledo s rezolucijom od 10⁻⁵ g uz proširenu mjernu nesigurnost (k = 2) nižu od dopuštenih 25 % na razini dnevne granične vrijednosti od 50 µgm⁻³.

Za određivanja ukupne β-aktivnosti korišteni su alikvotni uzorci frakcije lebdećih čestica (PM₁₀; PM_{2.5}) promjera 32 mm. Ukupna beta aktivnost mjerena je u beta brojaču niskih aktivnosti (GM Multicounter System RISØ) najmanje pet dana (120 sati) nakon uzorkovanja; petodnevno razdoblje predstavlja vrijeme potrebno za raspad kratkoživućih radionuklida, uglavnom nižih članova prirodnih radioaktivnih nizova uranija i torija. Efikasnost brojača za mjerenja ukupne beta aktivnosti određena je uporabom standarda ⁴⁰K [6].

REZULTATI

Rezultate određivanja koncentracija PM_{10} i $PM_{2.5}$ frakcija lebdećih čestica i rezultate mjerenja ukupne beta aktivnosti povezali smo u veličinu koju smo nazvali specifična ukupna aktivnost PM_{10} i $PM_{2.5}$ frakcije lebdećih čestica, A_s , izraženu u $Bq\ g^{-1}(PM_{10})$ i $Bq\ g^{-1}(PM_{2.5})$. Sumarni rezultati određivanja specifične ukupne beta aktivnosti, A_s , po mjernim mjestima i godinama prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Parametri razdioba specifične ukupne β -aktivnosti, A_s , PM_{10} i $PM_{2.5}$ frakcije lebdećih čestica po mjernim mjestima i godinama ($Bq\ g^{-1}$)

	Miramarska (PM_{10})		Siget ($PM_{2.5}$)				
Godina	2011	2012	2005	2006	2007	2011	2012
N	295	354	247	240	231	160	246
$A_{s\ sred}$	90,4	90,0	30,9	30,4	34,3	96,6	88,1
$A_{s\ min}$	14,1	14,9	4,1	4,3	4,5	12,1	10,9
A_{s10}	39,6	32,5	12,5	12,5	11,9	35,5	24,5
$A_{s\ 25}$	53,0	47,5	18,6	17,4	16,4	51,0	42,4
$A_{s\ 50}$	77,7	75,8	28,9	26,2	27,6	80,4	76,7
$A_{s\ 75}$	116,0	116,6	39,1	37,7	43,7	131,0	116,0
$A_{s\ 90}$	160,1	162,6	51,7	55,1	65,0	176,3	164,1
$A_{s\ 98}$	225,8	243,2	74,3	77,6	102,7	245,4	211,4
$A_{s\ max}$	304,6	393,6	118,6	108,2	160,2	327,1	459,0

N – broj uzoraka

$A_{s\ sred}$ – srednja vrijednost

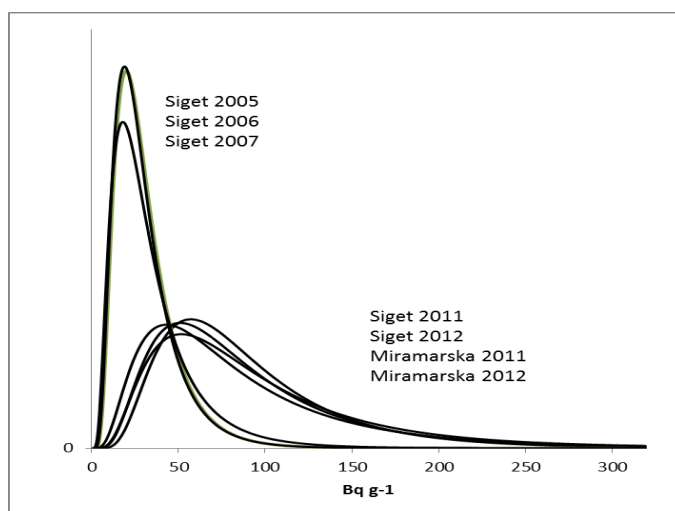
$A_{s\ x}$ – x-ti percentile

$A_{s\ min}$ – minimalna vrijednost

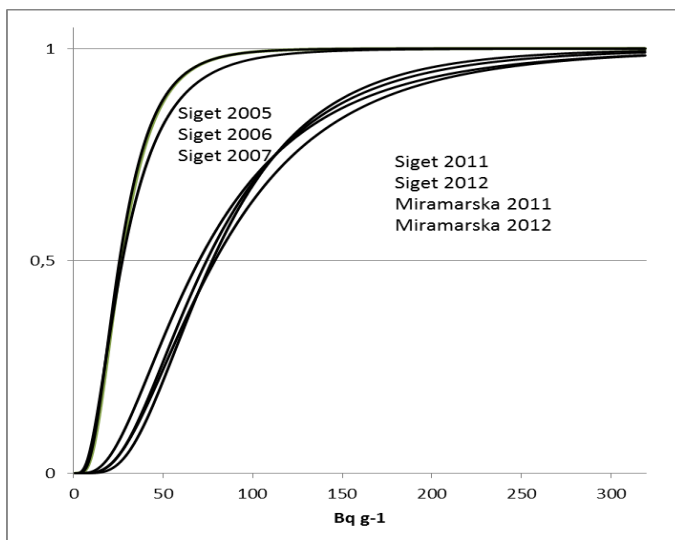
$A_{s\ max}$ – maksimalna vrijednost

Broj uzoraka varira s obzirom na mjerno mjesto (Miramarska - svakodnevni uzorci, Siget - dnevni uzorci radnim danom i integrirani uzorak vikendom), kao i s obzirom na godinu mjerenja. Mjerenja ukupne beta aktivnosti PM_{10} i $PM_{2.5}$ frakcije lebdećih čestica ne obuhvaćaju siječanj i veljaču 2011. godine, započela su tek nakon nesreće u Fukushima i nastavljena tijekom cijele 2012. godine. Također treba napomenuti da su na dva različita mjerna mjesta sakupljane dvije različite frakcije lebdećih čestica. S obzirom na to da masa frakcije $PM_{2.5}$ u Zagrebu predstavlja prosječno 75% mase frakcije PM_{10} , te da je većina radionuklida sadržana u sitnijim česticama, usporedba rezultata je opravdana.

Na Slici 1 prikazane su razdiobe, a na Slici 2 kumulativne razdiobe specifične ukupne β -aktivnosti po mjernim mjestima i godinama.



Slika 1. Razdiobe specifične ukupne beta aktivnosti po mjernim mjestima i godinama



Slika 2. Kumulativne razdiobe specifične aktivnosti po mjernim mjestima i godinama

Uočljivo je da se razdiobe grupiraju u dvije jasno odvojene skupine i to ne s obzirom na istraživanu frakciju lebdećih čestica ili mjerno mjesto, već s obzirom na razdoblje mjerenja. Uočljiv je porast, kako srednjih tako i percentilnih vrijednosti specifične ukupne β -aktivnosti od približno 200 % tijekom 2011. i 2012. godine u odnosu na trogodišnje razdoblje od 2005. do 2007. godine.

ZAKLJUČAK

Izmjerene vrijednosti specifične ukupne β -aktivnosti ne pokazuju značajne razlike između frakcija lebdećih čestica PM_{10} i $PM_{2.5}$ kao ni između mjernih mjesta.

Razine specifične ukupne β -aktivnosti narasle su nakon nesreće u Fukushimai tijekom 2011. i 2012. godine na razine za približno 200 % više od vrijednosti izmjerenih tijekom trogodišnjeg razdoblja od 2005. do 2007. godine.

Zahvala

Rad je izrađen uz financijsku potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske (projekti: 022-0222882-2335 i 022-0222882-2271).

LITERATURA

- [1] Tositti L, Brattich E, Cinelli G, Previti A, Mostacci D. Comparison of radioactivity data measured in PM_{10} aerosol samples at two elevated stations in northern Italy during the Fukushima event. *J Environ Rad* 2012; 114:105-112.
- [2] Sugiyama G, Nasstrom J, Pobanz B, Foster K, Simpson M, Vogt Ph, Aluzzi F, Homann S. Atmospheric dispersion modeling: Challenges of the Fukushima Dai-ichi response. *Health Phys.* 2012;102(5):493-508.
- [3] Marović G, Senčar J, Šega K, Bešlić I. Lebdeće čestice - doprinos ukupnoj beta aktivnosti zraka i brzini ekspozicijske doze. *Gospodarstvo i okoliš* 2001;55:134-6.
- [4] Marović G, Senčar J, Šega K, Bešlić I. Ukupna beta aktivnost u zraku i oborini u odnosu na koncentraciju lebdećih čestica. *Gospodarstvo i okoliš.* 2004;12(65):594-596.
- [5] Šega K, Bešlić I, Marović G, Senčar J. Ukupna beta aktivnost frakcije $PM_{2.5}$ lebdećih čestica u atmosferi Zagreba, U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova VIII. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 13.-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2011. str. 196-201.
- [6] U.S. Atomic Energy Commission Report, Health and Safety Laboratory. HASL-300. Procedures Manual. EML, New York:1983.

AIRBORNE PARTICULATES SPECIFIC TOTAL BETA ACTIVITY IN ZAGREB ATMOSPHERE AFTER FUKUSHIMA ACCIDENT

Krešimir Šega, Ivan Bešlić, Gordana Marović and Jasminka Senčar
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
ksega@imi.hr

Specific total β -activity (A_s in Bqg^{-1}) was investigated after the Fukushima accident in airborne particulate matter at two urban measuring sites in Zagreb. Sample aliquots were measured by means of beta counter for low-level activities (GM multi-counter system RISØ) five days after sampling in order to avoid the influence of short half-life radionuclides. Counter calibration was performed by ^{40}K standard. At the traffic measuring site located in the southern part of the town $\text{PM}_{2.5}$ particle fraction samples were collected at daily (noon to noon) basis using reference samplers LVS3 (KleinfILTERGERÄT, Sven Leckel Ingenieur Büro) following HRN EN 14907:2006. At the traffic measuring site located closer to city centre daily (noon to noon) PM_{10} particle fraction samples were collected by means of high volume sampler DIGITEL DHA-80 following HRN EN 12341:2006. After conditioning of filters and samples for constant air temperature and humidity ($20 \pm 1^\circ\text{C}$; $50 \pm 5\%$) sample mass was determined using microbalance MX5 Mettler Toledo with resolution of 10^{-6} g for $\text{PM}_{2.5}$ particle fraction or analytical balance AX205 Mettler Toledo with resolution of 10^{-5} g for PM_{10} particle fraction. Specific activity distributions are strictly separated into two groups, showing a significant rise of about 200 % when comparing the results obtained in the period 2011 – 2012 to the results from the period 2005 – 2007. This rise in specific activity could to be attributed to the Fukushima Dai-ichi nuclear accident, since no other accident of this level (7 at INES, The International Nuclear and Radiological Event Scale, IAEA) was reported during the last years.

KISELE KOMPONENTE U PM₁₀ FRAKCIJI LEBDEĆIH ČESTICA I UKUPNA BETA AKTIVNOST ZRAKA

*Mirjana Čačković, Gordana Marović, Krešimir Šega, Vladimira Vadić,
Ivan Bešlić i Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

mcackovic@imi.hr

UVOD

Dosadašnja višegodišnja istraživanja povezanosti ukupne beta aktivnosti zraka i koncentracije lebdećih čestica pokazuju značajnu povezanost. Povezanost je to bolja, što su frakcije lebdećih čestica manjeg ekvivalentnog aerodinamičkog promjera [1,2].

Lebdeće čestice u svom sastavu sadrže veliki broj različitih organskih i anorganskih spojeva, čađe, radionuklida i drugih elemenata. Sastav lebdećih čestica ovisan je o vrsti i svojstvima izvora, meteorološkim parametrima, godišnjem dobu, kao i o veličini i starosti samih čestica [3].

Povezanost između onečišćenja zraka, napose onečišćenja lebdećim česticama i štetnih učinaka na sve elemente okoliša, pri čemu su veličina i sastav čestica važni čimbenici, tema je mnogobrojnih istraživanja [4].

U radu su prikazani rezultati ispitivanja ukupne beta aktivnosti (UBA) i kiselih komponenti klorida, nitrata i sulfata u PM₁₀ frakciji lebdećih čestica u zraku (lebdeće čestice ekvivalentnog aerodinamičkog promjera manjeg od 10 µm) i predstavljaju prva takva istraživanja u nas.

MATERIJAL I METODE

Na mjernoj postaji smještenoj u centru Zagreba uzorci PM₁₀ frakcije lebdećih čestica sakupljani su tijekom 24-satnih razdoblja od ožujka do prosinca 2011. godine. Uzorci čestica sakupljani su na kvarcne filtre promjera 150 mm i volumena zraka od 720 m³. Masena koncentracija čestica određena je gravimetrijski. Za mjerenje ukupne beta aktivnosti korišteni su alikvotni uzorci PM₁₀ frakcije čestica promjera 32 mm. Ukupna beta aktivnost određena je beta brojačem za mjerenje niskih aktivnosti (GM multicounter system RISØ), najmanje 120 sati nakon uzorkovanja i raspada kratkoživućih radionuklida uglavnom nižih članova prirodnih radioaktivnih nizova uranija i torija. Za kalibraciju brojača za mjerenje ukupne beta aktivnosti korišten je standard ⁴⁰K [5]. Za određivanje sadržaja u vodi

topljivih klorida, nitrata i sulfata također su korišteni alikvotni uzorci PM₁₀ frakcije čestica promjera 37 mm, a mjerenja su provedena metodom ionske kromatografije na uređaju DIONEX-DX 120.

REZULTATI

Statistički parametri masenih koncentracija PM₁₀ frakcije čestica, aniona klorida, nitrata i sulfata i ukupne beta aktivnosti zraka u PM₁₀ frakciji čestica prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Masene koncentracije mjerenih onečišćenja ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i ukupna beta aktivnost – UBA (mBq m^{-3}) zraka u PM₁₀ frakciji čestica

Statistički parametar	PM ₁₀	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	UBA
N	297	297	297	297	297
C	30,7	0,08	1,93	3,37	2,27
C _{min}	3,3	0,00	0,31	0,46	0,40
C ₂₅	15,9	0,01	0,47	1,46	1,36
C ₅₀	23,5	0,02	0,77	2,23	1,84
C ₇₅	36,5	0,07	2,22	3,87	2,95
C _{max}	181,9	1,41	15,96	24,94	7,86

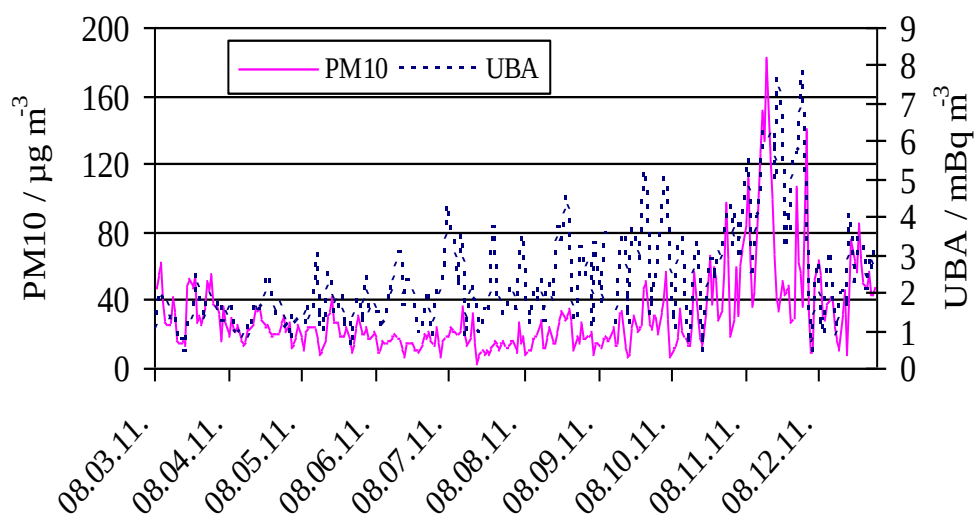
N – broj uzoraka, C – srednja vrijednost, C_{min} - minimalna vrijednost, C₂₅ – 25. percentil, C₅₀ – medijan, C₇₅ - 75. percentil, C_{max} - maksimalna vrijednost

Odnos između masenih koncentracija onečišćenja i ukupne beta aktivnosti - UBA zraka u PM₁₀ frakciji čestica prikazan je u Tablici 2. Kretanje srednjih dnevnih vrijednosti ukupne beta aktivnosti zraka i masenih koncentracija PM₁₀ frakcije čestica prikazano je na Slici 1. Isti parametri za ukupnu beta aktivnost zraka i masenih koncentracija aniona u PM₁₀ frakciji čestica prokazani su na Slici 2. Koeficijenti korelacije između masenih koncentracija mjerenih onečišćenja i ukupne beta aktivnosti zraka – UBA prikazani su u Tablici 3.

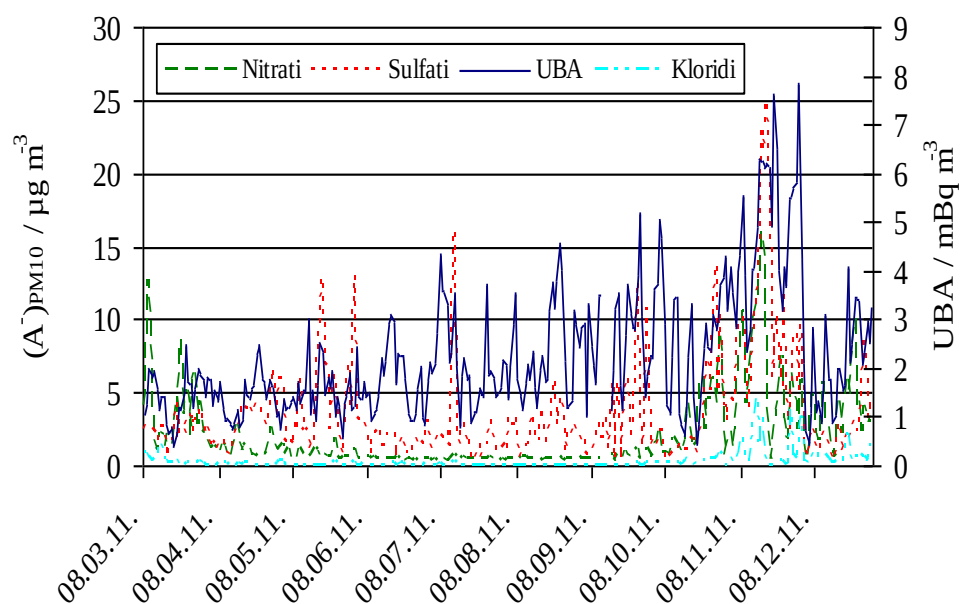
Tablica 2. Odnos između masenih koncentracija onečišćenja ($\mu\text{g m}^{-3}$) i ukupne beta aktivnosti - UBA (mBq m^{-3}) zraka u PM_{10} frakciji čestica

Onečišćenje	N	r	p	$y = a + bx$
PM	297	0,586	< 0,01	$\text{UBA} = 1,29 + 0,032 \times \text{PM}_{10}$
Cl^-	297	0,365	< 0,01	$\text{UBA} = 2,04 + 2,921 \times (\text{Cl}^-)_{\text{PM}_{10}}$
NO_3^-	297	0,403	< 0,01	$\text{UBA} = 1,85 + 0,215 \times (\text{NO}_3^-)_{\text{PM}_{10}}$
SO_4^{2-}	297	0,572	< 0,01	$\text{UBA} = 1,53 + 0,217 \times (\text{SO}_4^{2-})_{\text{PM}_{10}}$

N – broj uzoraka, r – koeficijent korelacije, $y = a + bx$ – linearna regresija



Slika 1. Kretanje srednjih dnevnih vrijednosti ukupne beta aktivnosti zraka - UBA i masenih koncentracija PM_{10} frakcije čestica



Slika 2. Kretanje srednjih dnevnih vrijednosti ukupne beta aktivnosti zraka – UBA i masenih koncentracija aniona u PM₁₀ frakciji čestica

Tablica 3. Koeficijenti korelacije između masenih koncentracija mjerenih onečišćenja i ukupne beta aktivnosti zraka – UBA

Korelirane komponente	PM ₁₀	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Cl ⁻	0,809**			
NO ₃ ⁻	0,857**	0,698**		
SO ₄ ²⁻	0,657**	0,380**	0,508**	
UBA	0,586**	0,365**	0,403**	0,572**

** p < 0,01

Mjerenjem UBA-i u uzorcima PM₁₀ frakcije čestica u zraku utvrđeno je dobro slaganje između masenih koncentracija PM₁₀ frakcije čestica i UBA-i zraka ($r = 0,586$). Također dobro slaganje utvrđeno je i između UBA-i i masenih koncentracija kiselih komponenti u PM₁₀ frakciji čestica i to: najbolje za sulfate ($r = 0,572$), zatim za nitrare ($r = 0,403$) i kloride ($r = 0,365$).

Analiza uzoraka PM₁₀ frakcije čestica na sadržaj u vodi topljivih klorida, nitrata i sulfata za promatrano razdoblje mjerenja pokazala je da mjereni anioni doprinose ukupnoj masi čestica oko 17,5 %, a njihov pojedinačni doprinos slijedi niz; sulfati > nitrati > kloridi [6].

Visoke vrijednosti koeficijenata korelacije utvrđene između masenih koncentracija mjerenih aniona u PM₁₀ frakciji čestica (posebice nitrata i klorida) kao i njihova povezanost s česticama upućuju na značajan doprinos istog izvora onečišćenja, najvjerojatnije prometa.

ZAKLJUČCI

S obzirom da su mjerenja UBA-i u uzorcima PM₁₀ frakcije čestica u zraku pokazala dobro slaganje između masenih koncentracija PM₁₀ frakcije čestica i UBA-i zraka, kao i između UBA-i zraka i masenih koncentracija kiselih komponenti u PM₁₀ frakciji čestica, daljnja istraživanja su usmjerena na kemijska i radiokemijska ispitivanja i drugih sastojaka u PM₁₀ frakciji čestica, a u svrhu što boljeg razumijevanja odnosa i povezanosti između UBA-i zraka i onečišćujućih tvari prisutnih u zraku.

LITERATURA

- [1] Marović G, Senčar J, Šega K, Bešlić I. Lebdeće čestice – doprinos ukupnoj beta aktivnosti zraka i brzini ekspozicijske doze. *Gospodarstvo i okoliš* 2001;55:134-6.
- [2] Marović G, Senčar J, Šega K, Bešlić I. Ukupna beta aktivnost u zraku i oborini u odnosu na koncentraciju lebdećih čestica. *Gospodarstvo i okoliš* 2004;12:594-6.
- [3] Fosco T, Schmeling M. Aerosol ion concentration dependence on atmospheric conditions in Chicago. *Atmos Environ* 2006;40:6638-49.
- [4] Bourotte C, Curi-Amarante AP, Forti MC, Pereira LAA, Braga AL, Lotufo PA. Association between ionic composition of fine and coarse aerosol soluble fraction and peak expiratory flow of asthmatic patients in Sao Paulo city (Brazil). *Atmos Environ* 2007;41:2036-48.
- [5] U. S. Atomic Energy Commission Report, Health and Safety Laboratory. HASL300. Procedures Manual. EML, New York: 1983.
- [6] Čačković M, Šega K, Vadić V, Bešlić I. Mass concentrations of major acidic species in PM10 particle fraction measured at two different sampling sites in Zagreb air, Croatia (paper no. AER4.1.39.). In: Incecik S, Kahya C, eds. Proceedings of the 4th International Symposium & IUAPPA Regional Conference "Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales", September 10-13, 2012; Istanbul, Turkey: ITU, TUNCAP; 2012.

ACIDIC COMPONENTS IN PM₁₀ PARTICLE FRACTION AND TOTAL BETA ACTIVITY IN THE AIR

*Mirjana Čačković, Gordana Marović, Krešimir Šega, Vladimira Vadić,
Ivan Bešlić and Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
mcackovic@imi.hr

This investigation focuses on the measurements of major acidic anions chlorides, nitrates, and sulphates in PM₁₀ particle fraction and total beta activity in the air – UBA in the city of Zagreb, Croatia. Sampling was carried out continuously over a period March – December 2011. Daily samples of PM₁₀ were collected on quartz filters from 720 m³ of ambient air. Mass concentrations of PM₁₀ fraction were determined by gravimetry. Content of water soluble acidic anions chlorides, nitrates and sulphates in the filter sample were measured using ion chromatography. Total beta activities of the filter samples were measured using beta counter for low-level activities (GM multi-counter system RISØ) five days after sampling in order to avoid the influence of short half-life radionuclide.

Results of the continuous monitoring of total beta activity in the filter samples of PM₁₀ particle fraction during the observed period showed significant agreement with PM₁₀ mass concentrations. The results of total beta activity in the filter samples of PM₁₀ particle fraction showed significant agreement with mass concentrations of acidic components in PM₁₀ particle fraction too, best for sulphates, followed by nitrates, and then by chlorides. The annual average mass concentrations of the investigated anions followed the order chlorides < nitrates < sulphates and their mass concentrations accounted for about 17.5 % of total PM₁₀ mass. Significant correlations were obtained between PM₁₀ and investigated anions.

Next concern shall be given to the chemical and radiochemical analysis of other species in PM₁₀ particle fraction to the possible relationship between total beta activity and PM₁₀ particle fraction in the air.

UTJECAJ POSTROJENJA ZA EKSPLOATACIJU PRIRODNOG PLINA NA OKOLIŠ

*Vladimira Vadić, Gordana Pehneć, Mirjana Čačković, Gordana Marović
i Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

vvadjic@imi.hr

UVOD

Prirodni plin iz ležišta Duboka Podravina (Molve, Kalinovac, Stari Gradec i Gola duboka), uz ugljikovodike u svom sastavu, sadrži i štetne primjese ugljikov dioksid, sumporovodik, živu i merkaptane koje je potrebno izdvojiti i na kraju zbrinuti bez štetnog učinka na okoliš. Zbog toga je na području Molvi izgrađena centralna plinska stanica (CPS) na koju se dovodi prirodni plin iz 34 proizvodne bušotine i na kojoj se provodi izdvajanje i uklanjanje štetnih primjesa iz prirodnog plina.

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja sumporovodika, merkaptana i sumporova dioksida kao i mjerenje brzine doze zračenja tijekom 2011. godine ljeti i u jesen, na tri mjerne postaje, i to MOLVE-9, MOLVE-10 i CPS.

MATERIJALI I METODE

Uzorci H_2S sakupljani su prosisavanjem na filter papir Whatman No. 41 impregniran živa(II)kloridom uz dodatak uree kao antioksidansa tijekom 24 sata. Analiza H_2S provedena je spektrofotometrijskom metodom molibdenskog plavila [1,2].

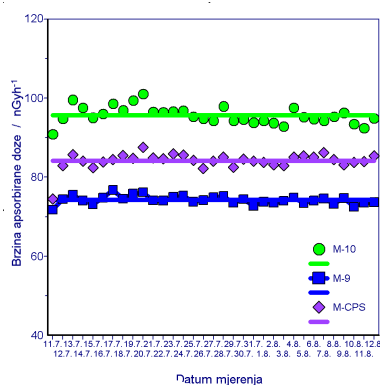
Merkaptani su sakupljani na filter papiru Whatman No. 41 impregniranom živa(II)acetatom uz dodatak octene kiseline. Koncentracija merkaptana određivana je spektrofotometrijski pomoću N,N dimetil p-fenilendiamin hidroklorida i Reissnerova reagensa [3]. Ovom metodom određuju se ukupni merkaptani, a rezultati su izraženi kao merkaptanski sumpor R-SH.

Uzorci SO_2 sakupljani su tijekom 24-satnih razdoblja pomoću "volumetrijskog aparata" [4] prosisavanjem mjerenog volumena zraka kroz apsorpcijsku otopinu vodikova peroksida, pri čemu se SO_2 oksidira u sulfatnu kiselinu i u daljnjoj analizi određuje se u obliku sulfatnog iona ionskom kromatografijom [5].

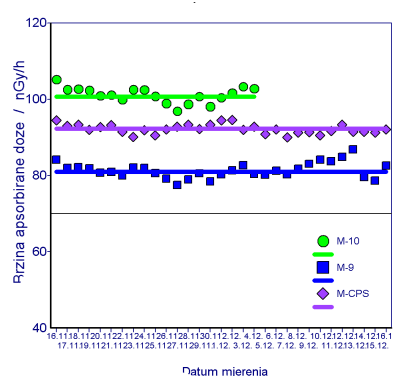
Neprekidno mjerenje brzine ekspozicijske doze provedeno je elektroničkim dozimetrima ALARA [6]. Uređaj neprekidno mjeri ionizacijske događaje u svojoj okolini i pohranjuje podatke u 10-minutnim intervalima. Spremljeni podaci očitavaju se računalnim programom koji izračunava vrijednosti brzina apsorbiranih doza iz kojih se izračunavaju srednje dnevne vrijednosti.

REZULTATI

Na Slici 1 prikazane su brzine apsorbirane doze izmjerene tijekom uzorkovanja u ljetnom razdoblju mjerenja, od 11.7. do 10.8.2011. godine na bušotinama MOLVE-9, MOLVE-10 i CPS.



Slika 1. Brzina apsorbirane doze izmjerene tijekom uzorkovanja u ljetnom razdoblju mjerenja

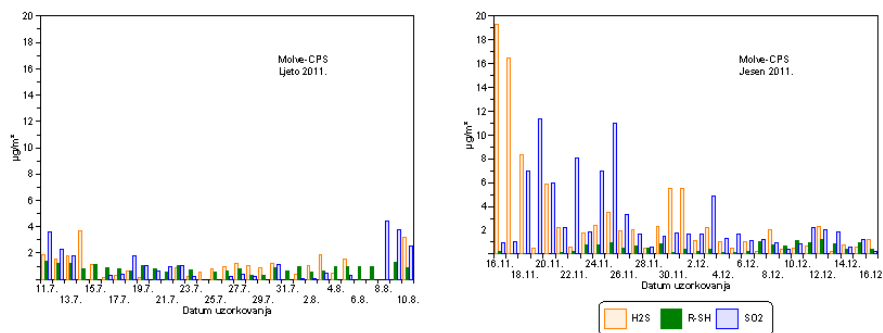


Slika 2. Brzina apsorbirane doze izmjerene tijekom uzorkovanja u jesenskom razdoblju mjerenja

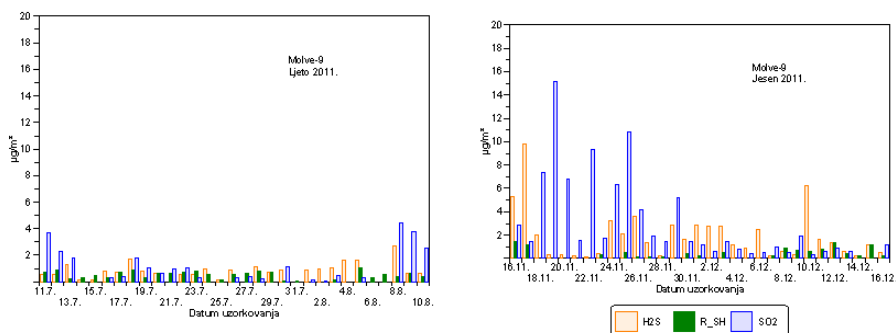
Na Slici 2 prikazane su brzine apsorbirane doze izmjerene tijekom uzorkovanja u jesenskom razdoblju mjerenja, od 16.11. do 17.12.2011. godine na istim mjernim postajama.

Vrijednosti brzine apsorbirane doze prikazane horizontalnim linijama predstavljaju srednje vrijednosti za svaku pojedinu lokaciju u pojedinom razdoblju mjerenja. Srednja vrijednost za bušotinu MOLVE-9 iznosila je $78 \pm 7 \text{ nGy h}^{-1}$, za bušotinu MOLVE-10 $98 \pm 9 \text{ nGy h}^{-1}$ i za MOLVE-CPS $88 \pm 8 \text{ nGy h}^{-1}$. Takve brzine apsorbirane doze rezultirale su godišnjim doznom opterećenjem od $0,680 \pm 0,064 \text{ mSv}$ za MOLVE-9, odnosno $0,855 \pm 0,079 \text{ mSv}$ za MOLVE-10 te za MOLVE-CPS $0,772 \pm 0,067 \text{ mSv}$, što je u suglasju s vrijednostima izračunatima proteklih godina.

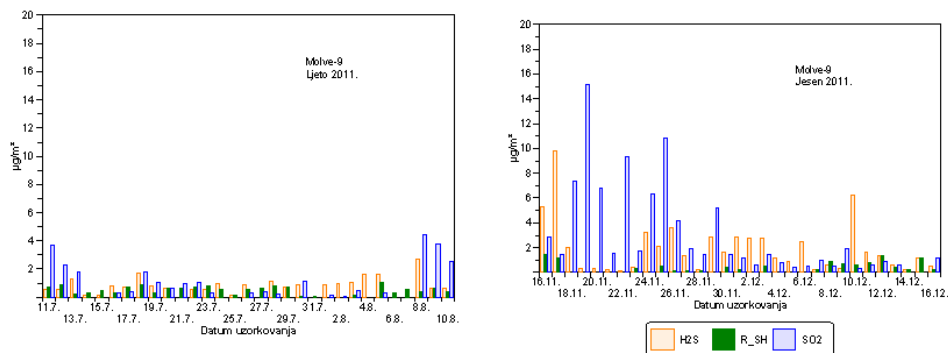
Na Slici 3 prikazane su srednje dnevne koncentracije H_2S , merkaptana i SO_2 izmjerene na CPS-u u ljetnom i jesenskom razdoblju mjerenja 2011. godine.



Slika 3. Srednje dnevne koncentracije H_2S , merkaptana i SO_2 izmjerene na CPS-MOLVE u ljetnom i jesenskom razdoblju mjerenja 2011. godine



Slika 4. Srednje dnevne koncentracije H_2S , merkaptana i SO_2 izmjerene na MOLVE-9 u ljetnom i jesenskom razdoblju mjerenja 2011. godine



Slika 5. Srednje dnevne koncentracije H_2S , merkaptana i SO_2 izmjerene na MOLVE-10 u ljetnom i jesenskom razdoblju mjerenja 2011. godine

Na Slici 4 prikazane su srednje dnevne koncentracije istih onečišćenja izmjerenih na mjernoj postaji MOLVE-9, a na Slici 5 izmjerenih na mjernoj postaji MOLVE-10 u ljetnom i jesenskom razdoblju mjerenja 2011. godine.

U Tablici 1 prikazana je učestalost pojavljivanja visokih koncentracija H₂S, a u Tablici 2 pojavljivanje visokih koncentracija merkaptana izmjerenih u ljetnom i jesenskom razdoblju mjerenja na sve tri mjerne postaje.

Tablica 1. Učestalost pojavljivanja visokih koncentracija H₂S tijekom 2011. godine na mjernim postajama u okolini plinskog polja

Mjerna postaja	Razdoblje praćenja	Učestalost koncentracija >5 µg/m³ (GV ne smije biti prekoračena više od 7 puta tijekom kalendarske godine)
Molve-CPS	11.7.-10.8.2011.	-
	16.11.-16.12.2011.	6
Molve-9	11.7.-10.8.2011.	-
	16.11.-16.12.2011.	3
Molve-10	11.7.-10.8.2011.	3
	16.11.-16.12.2011.	5

Tablica 2. Učestalost pojavljivanja visokih koncentracija merkaptana tijekom 2011. godine na mjernim postajama u okolini plinskog polja

Mjerna postaja	Razdoblje praćenja	Učestalost koncentracija >3 µg/m³ (GV ne smije biti prekoračena više od puta tijekom kalendarske godine)
Molve-CPS	11.7.-10.8.2011.	-
	16.11.-16.12.2011.	-
Molve-9	11.7.-10.8.2011.	-
	16.11.-16.12.2011.	-
Molve-10	11.7.-10.8.2011.	-
	16.11.-16.12.2011.	1

Razine SO₂ bile su niske i nije dolazilo do prelaska granične vrijednosti (GV) za dnevni uzorak tijekom oba intervala mjerenja, na sve tri mjerne postaje.

Na mjernoj postaji MOLVE-CPS došlo je do prelaska GV za 24-satni uzorak H₂S tijekom 6 dana u jesenskom razdoblju mjerenja. Na mjernoj postaji MOLVE-9 došlo je do prelaska GV tijekom 3 dana također u jesenskom razdoblju mjerenja. Na mjernoj postaji MOLVE-10 došlo je do prelaska GV tijekom 3 dana u ljetnom razdoblju mjerenja i tijekom 5 dana u jesenskom razdoblju mjerenja.

Kako GV ne smije biti prekoračena više od 7 puta tijekom kalendarske godine, a do prelaska na mjernoj postaji MOLVE-10 došlo je 8 puta u samo dva mjeseca, izmjerena kvaliteta okolnog zraka, s obzirom na H₂S, na toj mjernoj postaji nije zadovoljavala. Na ostale dvije mjerne postaje, na kojima je također dolazilo do povremenog prekoračenja GV, okolni zrak je samo djelomično zadovoljavao.

Do prelaska GV za 24-satne uzorke merkaptana došlo je samo tijekom jednog dana u jesenskom razdoblju mjerenja na mjernoj postaji MOLVE-10 te je kvaliteta zraka s obzirom na merkaptane uglavnom zadovoljavala.

ZAKLJUČAK

Kako prirodni plin na svim ležištima na plinskim poljima u Podravini sadrži štetne primjese, postupno su poduzimane mjere za uklanjanje štetnih primjesa u plinovima prije njihovog ispuštanja u okoliš. Ugrađeni su adsorberi za uklanjanje žive, LO-CAT postrojenje za uklanjanje sumpornih spojeva i uređaj za spaljivanje otpadnih plinova.

U 2011. godini kvaliteta zraka s obzirom na SO₂ i merkaptane je zadovoljavala.

S obzirom na H₂S došlo je do prekomjernog onečišćenja na mjernoj postaji MOLVE-10 i umjerenog onečišćenja na mjernim postajama MOLVE-9 i MOLVE-CPS.

Rezultati istraživanja pokazuju da radioaktivnost okoliša na plinskom polju Molve nije povećana radom plinskih bušotina. Zbog primijećenih varijacija nužno je i dalje pratiti stanje okoliša na plinskom polju Molve.

LITERATURA

- [1] Vadić V. Metoda za određivanje vodik-sulfida u atmosferi. Zašt Atm 1982; 10:116.
- [2] Vadić V, Gentilizza M, Hršak J, Fugaš M. Determination of Hydrogen Sulphide in the Air. Staub Reinhalt Luft 1980;40:73.
- [3] Moore H BA, Helwig H L, Graul R J. A Spectrophotometric Method for the Determination of Mercaptans in Air. Am Ind Hyg Assoc J 1960;21:466.
- [4] HRN ISO 4219: 1997. Kakvoća zraka – Određivanje plinovitih sumpornih spojeva u vanjskom zraku – Uređaj za sakupljanje uzoraka.
- [5] UNEP/WHO, GEMS/AIR Methodology Reviews, Vol. 4: Passive and Active Sampling Methodologies for Measurement of Air Quality. WHO/EOS/94.4, UNEP/GEMS/94.A.5, UNEP, Nairobi 1994.
- [6] Prlić I, Radalj Ž, Cerovac Z, Marović G, Gladić J, Vrtar M, Senčar J. Digital dosimeter – ALARA OD – personal and environmental monitoring system. In: Medizinische Physik, Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik, Berlin 2001;125.

IMPACT OF NATURAL GAS EXPLOITATION PLANT ON THE ENVIRONMENT

*Vladimira Vađić, Gordana Pehnec, Mirjana Čačković, Gordana Marović
and Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
vvadjic@imi.hr

Exploitation of natural gas at the gas field Molve has been provided more than 20 years.

Natural gas and gas condensate have been extracted from 34 bores in Podravina on an area wider than 200 km². The gas is then transported to the central gas station CPS Molve using a closed collection and transportation system. In addition to hydrocarbons, natural gas contains many other substances such as CO₂, H₂S, mercaptanes, Hg, and water which have to be removed at the Molve station by different technological processes.

This paper presents the results of H₂S, mercaptanes and SO₂ monitoring at measuring sites MOLVE-9, MOLVE-10, and MOLVE-CGS in the area of influence of a central natural gas station Molve in 2011.

Measurements were carried out one month in the summer and one month in the autumn. H₂S levels exceeded the Croatian limit values (LV) at all three measuring sites, while the mercaptan levels exceeded the Croatian LV at MOLVE-10 in the autumn. The obtained results showed that the levels of SO₂ mass concentrations were below LV.

During the same measuring periods, at the same measuring sites, radiation was measured using ALARA dosimeters (expressed here as mean daily dose rates).

Absorbed dose measurements were calculated on yearly base. At MOLVE-9 yearly equivalent dose was 0.680 ± 0.064 mSv, at MOLVE-10 0.855 ± 0.079 mSv and at MOLVE-CGS 0.772 ± 0.067 mSv.

The measurements also showed that the refining processes at the gas station did not increase radioactivity in the environment. Observed variations were within the normal fluctuations.

MEASUREMENTS OF AEROSOL CHARACTERISTICS IN ŠKOCJAN CAVES

Peter Jovanovič

ZVD. D. D., Chengdujska street 25, 1260 Ljubljana-Polje, Slovenia

peter.jovanovic@zvd.si

INTRODUCTION

There are several thousand caves in Slovenia, some of them are daily occupied by cavers or other visitors. Radon concentration, c_{Rn} , in caves in summer period can reach 30 kBq/m³. Because of low air exchange rate also radon progeny concentration, c_{RnP} , can be very high, equilibrium factor goes over 80 %, unattached fraction, f_p , can reach values over 25 % [1-4]. Temperature in caves ranges between 8 and 10 °C throughout all the year, relative humidity is higher than 90 %, because of chemical processes in limestone carbon dioxide concentration (CO₂) increases up to 2000 ppm. Radioactive decay of radon and their progeny produces ions in the air. Volume concentration of positive and negative ions in the air can increase up to 60 000 ions/cm³. All parameters mentioned before produce completely different aerosol characteristics in cave air in comparison with the outside air.

METHODS

Continuous measurements of radon concentrations were performed by Alphaguard (Saphymo, Germany) and RAD7 (DurrIDGE, USA). Continuous measurements of radon daughter concentrations were performed by Working Level Monitor, WLM-30 (Scintrex, Canada) and by Doseman Pro (SARAD, Germany). Measurements of unattached fraction of radon daughters were made by modified WLM-30. Cut off for unattached fraction measurement was 50 nm. Unattached fraction f_p is defined as quotient between equilibrium equivalent concentration of unattached radon progeny c_{eq}^f and equilibrium equivalent concentration of attached radon progeny c_{eq}^a [5],

$$f_p = c_{eq}^f / c_{eq}^a. \quad (1)$$

Measuring interval was one or two hours for radon concentration and 30 minutes or one hour for radon progeny concentrations. Aerosol concentration (PM_{10}) was performed by Airpointer. The airpointer PM

module uses a well proven optical method, the nephelometry. A sample heater minimizes humidity effects. It uses a light-scattering photometer with a near-IR LED, a silicon detector hybrid preamplifier and a source reference detector. The light scattered is proportional to the particle concentration. Aerosol size distribution has been performed by ten stage Hauke impactor and Scanning Mobility Particle Sizer – SMPS. SMPS consists of two functional parts, Electrostatic Classifier and Condensation Particle Counter. Measuring interval was five minutes, and measuring range from 14 up to 710 nm. Measurements in duration of at least one week have been performed in summer and winter periods.

Two measuring locations in Škocjan caves were selected, Kalvarija and Šotor (Figure 1). Location Kalvarija is situated closer to the entrance, while location Šotor is situated deeper in the cave. Measurements with impactor and SMPS were implemented only on the location Kalvarija, all other measurements were implemented on both locations.

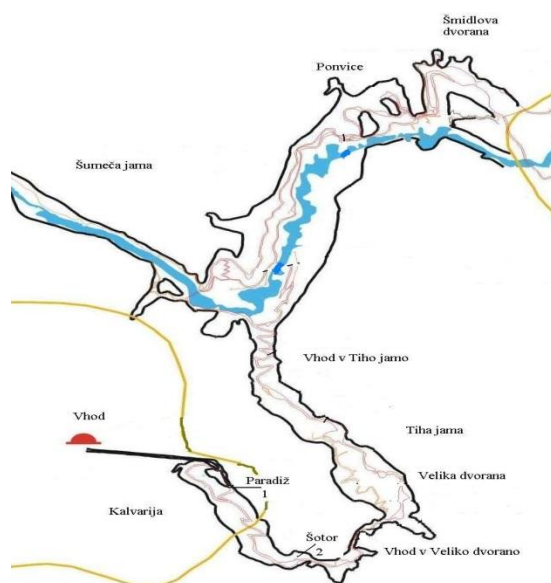


Figure 1. Measuring locations in Škocjan caves

RESULTS

Radon and radon progeny concentrations

Radon and radon progeny concentrations on location Kalvarija in the period from 8.8.2012 to 20.8.2012 are presented in Figure 2.

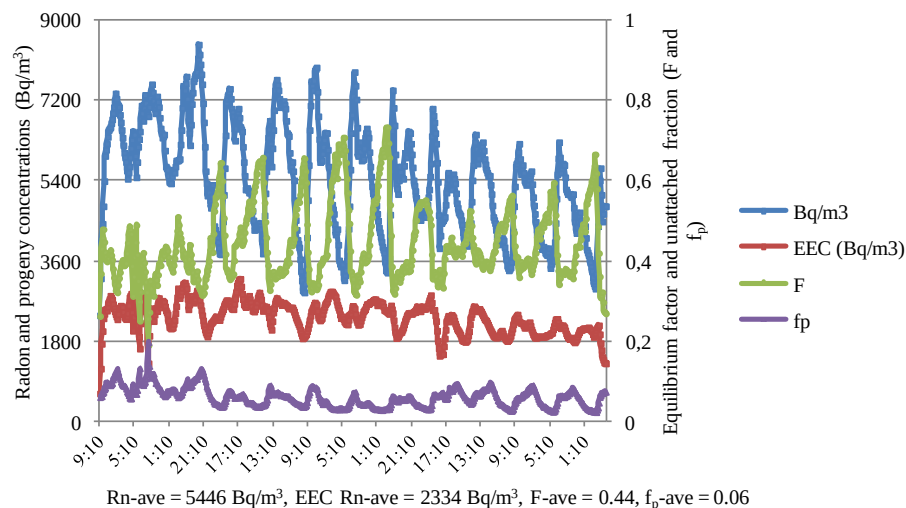


Figure 2. Radon and radon progeny concentrations

Radon concentration ranges between 2380 Bq/m^3 and 8457 Bq/m^3 , equilibrium radon progeny concentration EEC ranges between 625 Bq/m^3 and 3199 Bq/m^3 . Equilibrium factor F ranges between 19 % and 73 % and unattached fraction f_p ranges between 2.3 % and 19.7 % (Figure 2). Average radon concentration in winter period ranges between 182 Bq/m^3 and 710 Bq/m^3 , equilibrium radon progeny concentration EEC ranges between 35 Bq/m^3 and 445 Bq/m^3 . Equilibrium factor F ranges between 46 % and 80 % and unattached fraction f_p ranges between 2.0 % and 5.7 %. Radon concentration in winter period is much lower than in summer period. Equilibrium factor is higher in winter than in summer, what produces also lower unattached fraction. The reason for this is lower air exchange rate in winter during the measurement.

Aerosol concentration (PM_{10}) and size distribution

Aerosol concentration (PM_{10}) determined by Airpointer and Aerosol size distribution determined by Hauke impactor were measured in December 2011 and August 2012 (Table 1, Table 2).

Aerosol concentrations PM_{10} are about three times higher in summer period than in winter period (Table 1). The same results were obtained also by Hauke impactor (Table 2). Measurements of aerosol size distribution by SMPS for August 14th are presented in Figure 3, which represents typical size distribution in cave. We can see two peaks, one on 35 nm in the period from 13 – 16 o'clock and another peak on 70 nm in other periods of the day.

Table 1. Aerosol concentration (PM_{10}) in Škocjan caves, location Kalvarija

Date	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Date	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
30.11.2011	4.58	8.8.2012	11.2
1.12.2011	4.29	9.8.2012	13.4
2.12.2011	4.58	10.8.2012	13.1
3.12.2011	4.31	11.8.2012	12.8
4.12.2011	5.11	12.8.2012	13.1
5.12.2011	5.42	13.8.2012	13.2
6.12.2011	4.94	14.8.2012	12.8
7.12.2011	4.40	15.8.2012	12.8
8.12.2011	4.40	16.8.2012	13.0
9.12.2011	4.16	17.8.2012	13.4
10.12.2011	4.48	18.8.2012	13.2
11.12.2011	4.62	19.8.2012	14.1
12.12.2011	4.58	20.8.2012	15.0

Table 2. Aerosol size distribution (Hauke impactor)

Date	5. - 12.12.2011	8.8. - 20.8.2012
D_{50}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
0.05	0.03	/
0.083	0.06	0.04
0.13	0.21	0.05
0.22	0.55	0.40
0.41	1.24	1.26
0.75	0.45	1.91
1.4	0.50	2.44
2.8	0.46	3.35
5.7	0.16	3.62
11	0.08	1.36
Sum	3.73	14.43

CONCLUSIONS

Measurements of aerosol concentrations PM_{10} showed about three times higher concentrations in summer period than in winter period. Measurements of size distribution by Hauke impactor showed the highest aerosol concentration $D_{50} = 0.4 \mu\text{m}$ in winter period and $D_{50} = 5.7 \mu\text{m}$ in summer period. Measurements of aerosol size distribution by SMPS do not show big difference between size distribution in night time and time of visit. Peak of mono disperse distribution in night time ranged between 70 nm and 100 nm. In time of visits the peak is shifted to 120 nm, what is probably caused by opening the entrance to the cave.

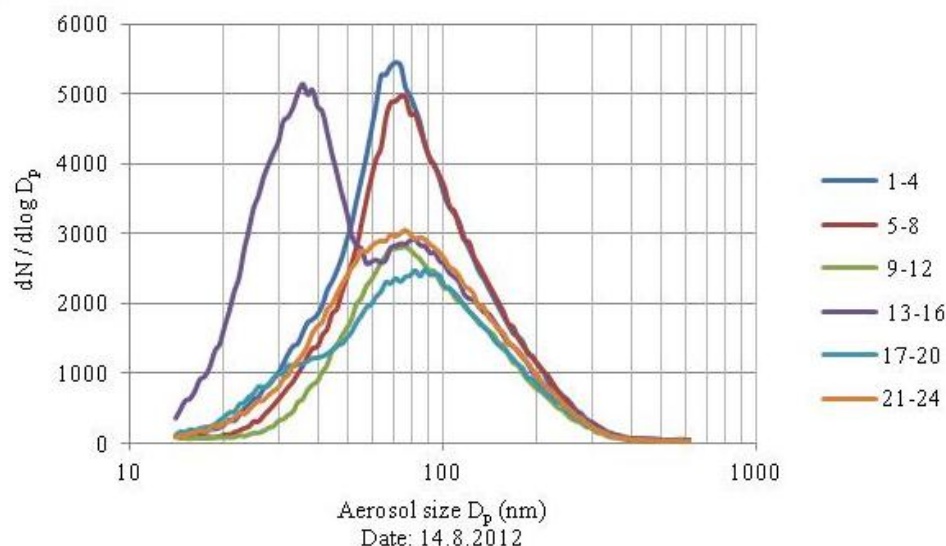


Figure 3. Aerosol size distribution (SMPS)

We could not find good correlation between unattached fraction and aerosol size distribution. Also we could not find clear impact of visitors to the air characteristics in cave. Probably our measuring location was too close to the entrance and the impact of outer air was too high. We will repeat measurements deeper in cave to find better results.

REFERENCES

- [1] Jovanovič P. Ocena izpostavljenosti zaposlenih v turističnih jamah, ZVD, 2005.
- [2] Jovanovič P. Radon measurements in the cave Vilenica. IRPA9, Vienna, April 14-19, 1996, Proc. Int. Conf. on Radiation Protection, Vol. 2. pp. 98-100, Berger, Austria, 1996.
- [3] Jovanovič P, Debevec A, Naracsik P. Entwicklungsmöglichkeiten der Speläotherapie im klassischen Karst der Republik Slowenien; 10. Int. Symp. für Speläotherapie, Bad Bleiberg (1992), Verband Österreichischer Höhlenforscher, Wien, 1994.
- [4] Jovanovič P. A radon survey performed in caves in Slovenia, Proc. 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Munich, 2000, BfS Schriften 2002.
- [5] Porstedörfer J. Behaviour of radon daughter products in indoor air. Radiat Prot Dosim 1984;7:107-113.

MEASUREMENTS OF AEROSOL CHARACTERISTICS IN ŠKOCJAN CAVES

Peter Jovanovič

ZVD. D. D., Chengdujska street 25, 1260 Ljubljana-Polje, Slovenia

peter.jovanovic@zvd.si

Measurements of radon concentration and radon progeny concentration (attached and unattached) have been performed in Škocjan caves. In the same time also aerosol concentration (PM_{10}), aerosol size distribution with ten stage Hauke impactor and Scanning Mobility Particle Sizer – SMPS have been performed. The idea was to find impact of outer air and visitors to the aerosol characteristics of cave air. Measurements with impactor have been implemented in summer and winter period, with SMPS only in summer period. Radon concentrations ranged in winter period in region from 500 to 1000 Bq/m³, equilibrium factor was about 55 %. In summer period radon concentration increased up to 10 kBq/m³, equilibrium factor was about 45 %, and unattached fraction went up to 20 %. Measurements of aerosol size distribution show lower aerosol sizes in winter season (around 1 µm) and bigger aerosol sizes in summer season (around 3 – 6 µm). We could not find good correlation between unattached fraction and aerosol size distribution. Also we could not find clear impact of visitors to the air characteristics in cave. Probably our measuring location was too close to the entrance and the impact of outer air was too high. We will repeat measurements deeper in cave to find better results.

RADIOAKTIVNOST MAHOVINE – ODGOVOR NA KONTAMINACIJU IZ FUKUSHIME

*Gordana Marović, Zdenko Franić, Mak Avdić, Božena Skoko
i Jasminka Senčar*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

marovic@imi.hr

UVOD

Mahovine promatramo kao biološke indikacijske organizme. Višegodišnje su biljke sporoga rasta, osjetljive na uvjete u okolišu koga su sastavni dio. Pokazatelj su informacija o prostornoj i vremenskoj razdiobi i trendovima onečišćenja zraka i okoliša uključujući i radioaktivne tvari, posebno u uvjetima nuklearne nesreće i nekontrolirane emisije fisijskih produkata u okoliš. Praćenje kontaminacije mahovine fisijskim radionuklidima, posebno ^{137}Cs , u posliječernobilskom razdoblju potvrdilo je mahovinu kao važnu kariku u biomonitoringu [1,2].

Važnost se bioindikatora potvrdila i nakon nesreće 2011. godine u Japanu. Razorni potres u dubinama oceana uz sjeveroistočnu obalu Japana i posljedični tsunami prouzročili su niz nesretnih događaja u nuklearnoj elektrani Fukushima Dai-ichi. Posljedično, došlo je do ispuštanja radioaktivnih tvari u atmosferu. Globalna dinamička kretanja u atmosferi i oceanu proširila su radioaktivnost diljem sjeverne hemisfere [3]. U biosferi u uzorcima iz okoliša ponovno su se pojavili i ^{131}I i ^{134}Cs uz povećanu prisutnost ^{137}Cs . Pokazalo se da mahovine opet mogu odigrati važnu ulogu pri procjeni stupnja radioaktivne kontaminacije nekog područja. Primijećeni porast aktivnosti cezija u mahovinama tijekom 2011. i 2012. godine moguće je pripisati upravo novonadošloj kontaminaciji zraka kao glavnog puta njihove kontaminacije. Mahovine u gotovo zanemarivim količinama resorbiraju fisijske produkte iz zemlje. Novija istraživanja proučavanja mahovine kao osjetljivog bioindikatora pokazuju da i resorpcija iz tla nije zanemariv i manje važan izvor kontaminacije, ali samo u za mahovinu pogodnim uvjetima rasta, uz dovoljnu vlažnost cijelog površinskog sloja tla [4].

U radu su prikazani rezultati istraživanja koncentracija aktivnosti cezija u mahovini posljednjih nekoliko godina. Za usporedbu, prikazani su i rezultati već objavljenih procjena i modela temeljeni na posliječernobilskim

rezultatima istraživanja aktivnosti cezija u mahovinama; poslužili su kao podloga kojom pokazujemo koliki je utjecaj nesreće u Fukushimi na stanje opterećenosti mahovina cezijem [2].

Istraživanja su provedena u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu kao dio proširenog programa praćenja stanja radioaktivnosti uzoraka životne sredine na području Republike Hrvatske.

MATERIJAL I METODE

Uzorci mahovine skupljani su na nekoliko lokacija u unutrašnjosti Hrvatske: Podravina, Prigorje, Moslavina, okolica Zagreba, karlovačko područje, područje Plitvičkih jezera. Uzorci se suše u sušioniku na 105 °C, potom se spaljuju otvorenim plamenom i na kraju u peći na 450 °C.

Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom, akreditiranom metodom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Korišteni su detektori: Ge(Li) detektor ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8 % na 1,33 MeV ^{60}Co ; HP GMX detektor ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co povezani s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. 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.

REZULTATI

U dosadašnjim je istraživanjima kontaminacije mahovine cezijem na području Hrvatske pokazano da mahovine akumuliraju cezij i da je on stalno prisutan u uzorcima i godinama poslije nesreće u Černobilju [1,2]. Pokazalo se da vrijedi provedeni izračun efektivnog ekološkog vremena boravka ^{137}Cs u mahovini iz modelirane funkcije ponašanja koncentracije aktivnosti ^{137}Cs :

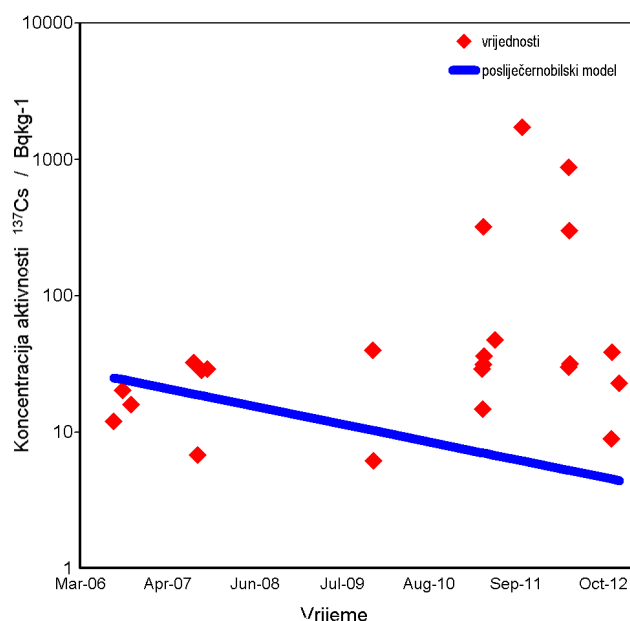
$$A(t) = A(0) e^{-kt} \quad (1)$$

gdje su:

$A(t)$ - vremenski ovisna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u mahovini (Bqkg^{-1}),

$A(0)$ - vršna vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovini (Bqkg^{-1}),
u 1986. godini i
 $k = \ln(2)/T_{1/2,ef}$, gdje je $T_{1/2,ef}$ efektivno ekološko vrijeme boravka ^{137}Cs u
mahovini (u danima).

Procijenjeno ekološko vrijeme boravka ^{137}Cs u mahovini bilo je oko 978 dana. Modelirane vrijednosti za vrijeme koje odgovara vremenu uzorkovanja mahovine i poslije 2004. godine prikazane su punom linijom na Slici 1 (posliječernobilski model).



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovini

Na Slici 1 vidi se porast koncentracije aktivnosti u mahovini u proljeće 2011. godine, s maksimumom od $(1720 \pm 1) \text{ Bqkg}^{-1}$ početkom listopada 2011. godine u uzorku s područja Plitvičkih jezera. Kako je 2011. godina bila vrlo suha na cijelom području Hrvatske, za očekivati je pojavnost većih koncentracija aktivnosti ^{137}Cs i u vremenu nakon 2012. godine budući da deponirana, oborena aktivnost ^{137}Cs u vlažnim vremenima može potaknuti resorpciju cezija iz tla na kom raste mahovina.

Poslije černobilske nesreće u okolišu je u lepezi fizijskih izotopa bio prisutan i ^{134}Cs . Omjer koncentracije aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs smanjivao se u godinama nakon nesreće od početnih 0,5 do ispod 0,1 prije nego li je aktivnost ^{134}Cs spuštена u područje ispod granica mjerljivosti. ^{134}Cs se ponovno pojavio u okolišu Hrvatske kao posljedica nesreće u Fukushima, no radi se o mnogo manjoj količini u odnosu na onaj černobilski. Zbog različitog mehanizma rada nuklearne elektrane u Fukushima u kojoj je došlo do nesreće, kao i različitog slijeda događaja, omjeri aktivnosti nisu jednostavno određivi kao ni posljedično stalni u okolišu. Aktivnost ^{134}Cs je već krajem 2012. godine pala u područje ispod granice mjerljivosti. U Tablici 1 sumarno su prikazani rezultati koncentracije aktivnosti ^{134}Cs u mahovinama uzorkovanim od travnja 2011. godine do listopada 2012. godine.

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{134}Cs u mahovini uzorkovanoj 2011. i 2012. godine u Hrvatskoj

	Koncentracija aktivnosti ^{134}Cs Bqkg^{-1}
Minimum	0,084
10-ti percentil	0,137
25-ti percentil	0,226
50-ti percentil / medijan	0,257
75-ti percentil	0,438
90-ti percentil	0,537
Maksimum	0,904
Prosjek	0,349

U mahovinama uzorkovanim krajem 2012. godine više nije bilo moguće izmjeriti koncentraciju aktivnosti ^{134}Cs , već samo onu ^{137}Cs . Izračunati su omjeri aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs , dobivene vrijednosti kreću se od 0,0018 do 0,0576. Neposredno nakon nuklearne nesreće u Černobilju omjer je aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs bio $\approx 0,5$, što je bilo posljedica samog izvora kontaminacije (vezano uz nuklearni gorivi ciklus i samu nesreću). U godinama koje su uslijedile bilo je vidljivo smanjivanje toga omjera sukladno omjeru krivulja radioaktivnog raspada ^{134}Cs i ^{137}Cs .

ZAKLJUČAK

Mahovine su vrlo dobri bioakumulatori radioaktivne kontaminacije. Svojom su izuzetnom osjetljivošću ponovno pokazale sposobnost akumulacije u okolišu prisutne radioaktivnosti. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs povećala se krajem 2011. godine i nekoliko redova veličine u odnosu na predviđene vrijednosti modelirane poslije černobilske nesreće. Maksimalna izmjerena koncentracija aktivnosti ^{137}Cs iznosila je $(1720 \pm 1) \text{ Bq kg}^{-1}$. Također su u mahovinama ponovno izmjerene koncentracije aktivnosti ^{134}Cs , ali u znatno manjim količinama u odnosu na černobilske vrijednosti. Već krajem 2012. godine više nisu zabilježene koncentracije ^{134}Cs u mahovini. Daljnjim sustavnim istraživanjem mahovina i njihovog prirodnog staništa uz praćenje i meteoroloških i hidroloških parametara omogućit će se bolje poznavanje bioindikatorskog sustava i proširivanje spoznaja o prostornim i vremenskim razdiobama fizijske aktivnosti (kontaminacije) u svim sastavnicama okoliša.

Zahvala

Ovaj rad ostvaren je u sklopu projekta financiranog od MZOS, *Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja* (022-0222882-2335) i *Radioekologija mora i priobalja* (022-0222882-2823). Autori se zahvaljuju Ljerki Petroci na pomoći.

REFERENCES

- [1] Marović G. The role of bioindicators in assessing radioactive contamination. *Arh hig rada toksikol* 1990;41:371-378.
- [2] Marović G, Franić Z, Senčar J, Bituh T, Vugrinec O. Mosses and some Mushroom Species as Bioindicators of Radiocaesium Contamination and Risk Assessment. *Collegium antropologicum* 2008;32(S2):109-114.
- [3] Sugiyama G, Nasstrom J, Pobanz B, Foster K, Simpson M, Vogt Ph, Aluzzi F, Homann S. Atmospheric dispersion modeling: Challenges of the Fukushima Dai-ichi response. *Health Phys* 2012;102(5):493-508.
- [4] Klos A, Czora M, Rajfur M, Waclawek M. Mechanisms for Translocation of Heavy Metals from Soil to Epigeal Mosses. *Water Air Soil Pollut* 2012; 223:1829-36.

RADIOACTIVITY IN MOSSES – CONTAMINATION AFTER FUKUSHIMA

*Gordana Marović, Zdenko Franić, Mak Avdić, Božena Skoko
and Jasminka Senčar*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
marovic@imi.hr

Mosses, characterized by slow growth, are able to efficiently accumulate different radionuclides from their environment to a much higher degree than other vegetation. Consequently, mosses are sensitive bioindicators of radioactive contamination for various ecosystems.

On 11th March 2011 a catastrophic earthquake and subsequent tsunami set into motion a series of tragic events in Japan including the severe accident at Fukushima Dai-ichi nuclear power plant. Radioactivity released into the air became involved into atmospheric processes and the transport of matter in the biosphere, causing global contamination.

Determination of radioactivity in mosses by high resolution gammaspectrometry showed the presence of radiocaesium, ^{137}Cs and especially ^{134}Cs , for a first time after Chernobyl accident. Systematic, long-term measurements of ^{137}Cs activities in mosses for the period after Chernobyl are the base for fitting the measured values in moss to the theoretical curve (Eq.1). The ecological half-life of ^{137}Cs in moss was found to be about 978 days [1,2]. Figure 1 shows increasing ^{137}Cs activity concentration with maximum value $1720 \pm 1 \text{ Bqkg}^{-1}$ in October 2011. In Table 1 are presented results of ^{134}Cs activity concentration in mosses that ranged from 0.084 up to 0.904 Bqkg^{-1} . The ^{134}Cs : ^{137}Cs activity ratio ranged from 0.0018 to 0.0576. At the end of 2012 the ^{134}Cs activity could not be measured any more.

The study was conducted in the Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health in Zagreb, as a part of an extensive monitoring program of the Croatian environment.

ŠEST GODINA SUSTAVNOG PRAĆENJA ^{14}C U ATMOSFERI I BILJU U OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO (NEK)

*Ines Krajcar Bronić¹, Bogomil Obelić¹, Borut Breznik², Aleš Volčanšek²,
Jadranka Barešić¹, Nada Horvatinčić¹ i Anita Rajtarić¹*

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

²Nuklearna elektrana Krško, Krško, Slovenija

krajcar@irb.hr, obelic@irb.hr

UVOD

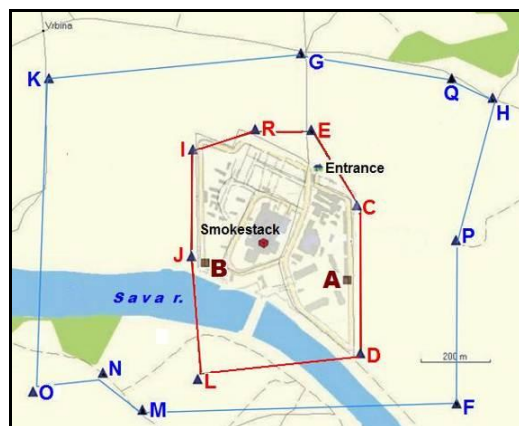
Sustavno praćenje ^{14}C aktivnosti atmosferskog CO_2 i bioloških uzoraka (voće – uglavnom jabuke, povrće, žitarice, kukuruz) u neposrednoj okolini Nuklearne elektrane Krško (NEK) provodi se od 2006. godine [1,2] sa ciljem procjene mogućeg utjecaja NEK na razinu ^{14}C u okolišu te na efektivnu dozu koju primi lokalno stanovništvo putem prehrane. Posebna je pozornost posvećena praćenju utjecaja remonta elektrane, koji se provodi svakih 18 mjeseci, na aktivnost ^{14}C u okolišu.

UZORKOVANJE I MJERENJE

Atmosferski CO_2 skuplja se apsorpcijom CO_2 u zasićenoj otopini NaOH na dvije lokacije (A, B, Slika 1) u dvomjesečnim intervalima, a u vrijeme trajanja remonta razdoblja sakupljanja uzoraka su nešto kraća. U laboratoriju se sakupljeni Na_2CO_3 prevodi u benzen [3,4], a aktivnost ^{14}C mjeri se u tekućinskom scintilacijskom brojaču (LSC) Quantulus 1220.

Biološki uzorci skupljaju se na početku vegetacijskog razdoblja (lipanj ili srpanj) te ujesen (prije berbe, rujn ili listopad) na lokacijama u okolini NEK koje se mogu podijeliti u tzv. unutarnje i vanjske (Slika 1), kao i na kontrolnoj točki u Dobovi, 12 km jugoistočno od NEK. Uzorci se nakon sušenja i karbonizacije spaljuju u struji kisika. Dobiveni CO_2 se apsorbira u smjesi Carbosorba[®]E i Permafluora[®]E [4-6]. Aktivnost ^{14}C mjeri se u LSC-u.

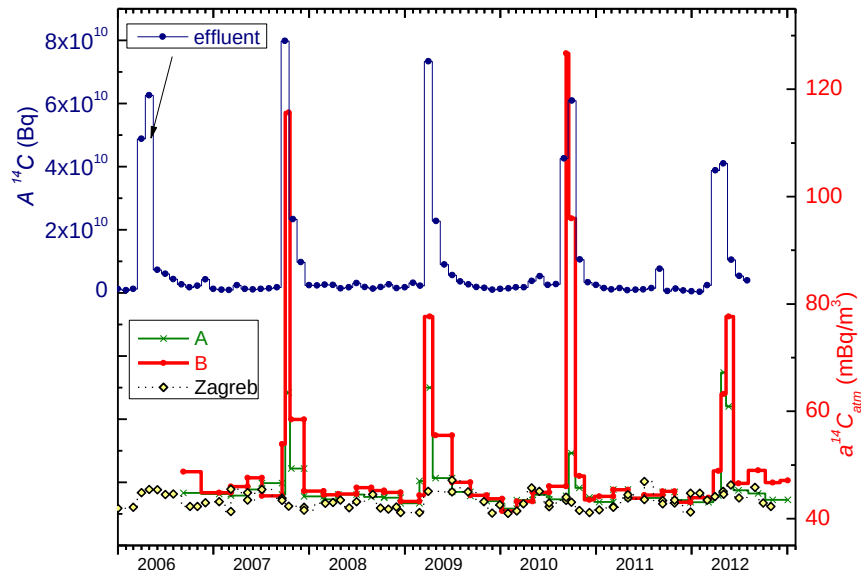
Rezultati su izraženi kao relativna specifična aktivnost $a^{14}\text{C}$ ugljika ^{14}C u jedinicama "postotak modernog ugljika" (*percent Modern Carbon*, pMC). Prema usvojenoj konvenciji, vrijednost $a^{14}\text{C} = 100$ pMC odgovara specifičnoj aktivnosti atmosfere nezagađene antropogenim utjecajem, koja iznosi (226 ± 12) Bq/kg ugljika, odnosno 42 mBq/m^3 zraka. U daljnjem radu za $a^{14}\text{C}$ koristimo izraz "aktivnost ^{14}C ".



Slika 1. Lokacije uzorkovanja u okolici NEK. A i B: atmosferski CO₂, C, D, E, L, J, I i R – unutarnji krug, H, P, F, M, N, O, K, G i Q – vanjski krug.

ATMOSFERSKI CO₂

Rezultati ¹⁴C aktivnosti u atmosferskom CO₂ ($a^{14}C_{atm}$) na lokacijama A i B u krugu NEK uspoređeni su na Slici 2 s ukupnim mjesečnim aktivnostima $A^{14}C$ plinovitih efluenata iz NEK u razdoblju od 2006. do kraja 2012. godine [7], kao i s $a^{14}C_{atm}$ vrijednostima u atmosferskom CO₂ u Zagrebu.



Slika 2. Aktivnost ¹⁴C u atmosferskom CO₂ ($a^{14}C_{atm}$) na lokacijama A i B u NEK i u Zagrebu (desna ordinata) i ukupna aktivnost u plinovitom ispustu ($A^{14}C$) [7] u razdoblju od 2006. do kraja 2012. godine.

Uočavaju se više vrijednosti $A^{14}C$ tijekom remonta NEK svakih 18 mjeseci, što se odražava i na $a^{14}C_{atm}$, i to više na lokaciji B koja je bliže ispuštu i nalazi se u smjeru najčešćih vjetrova. Nakon 2-3 mjeseca $a^{14}C_{atm}$ se vraća na uobičajene vrijednosti. Najviša vrijednost $a^{14}C_{atm}$ tijekom remonta 2012. godine ($79,4 \pm 0,7$ Bq/m³ na lokaciji B) niža je od najviših vrijednosti 2007. i 2010. godine (do 130 Bq/m³), što se može objasniti manjom ispuštenom $A^{14}C$ u efluentu tijekom remonta 2012. godine (Slika 2). Prosječne vrijednosti $a^{14}C_{atm}$ u razdoblju 2006. – 2012. dane su u Tablici 1.

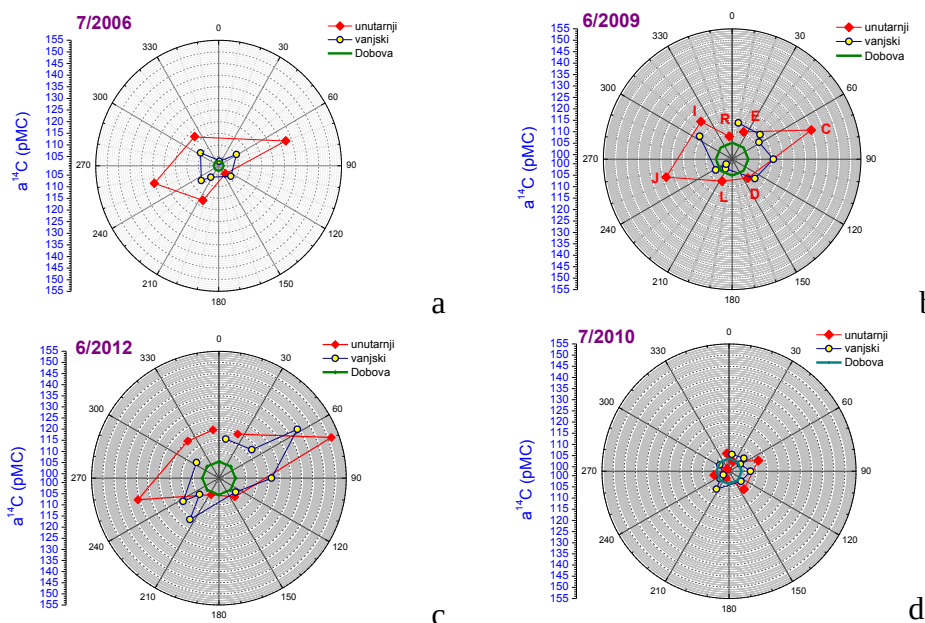
Tablica 1. Prosječne vrijednosti i rasponi od najniže do najviše vrijednosti $a^{14}C_{atm}$ na lokacijama NEK-A i NEK-B i u Zagrebu u razdoblju 2006.–2012.

Lokacija	$a^{14}C_{atm}$ (pMC) sred. vrijednost	$a^{14}C_{atm}$ (pMC) min – max	$a^{14}C_{atm}$ (Bq/m ³) sred. vrijednost	$a^{14}C_{atm}$ (Bq/m ³) min – max
NEK–A	$108,8 \pm 11,8$	99,7 – 160,1	$45,7 \pm 4,9$	41,9 – 67,2
NEK–B	$118,8 \pm 36,1$	98,6 – 301,7	$49,9 \pm 15,2$	41,4 – 126,7
Zagreb	$103,3 \pm 3,6$	97,6 – 112,2	$43,4 \pm 1,5$	41,0 – 47,1

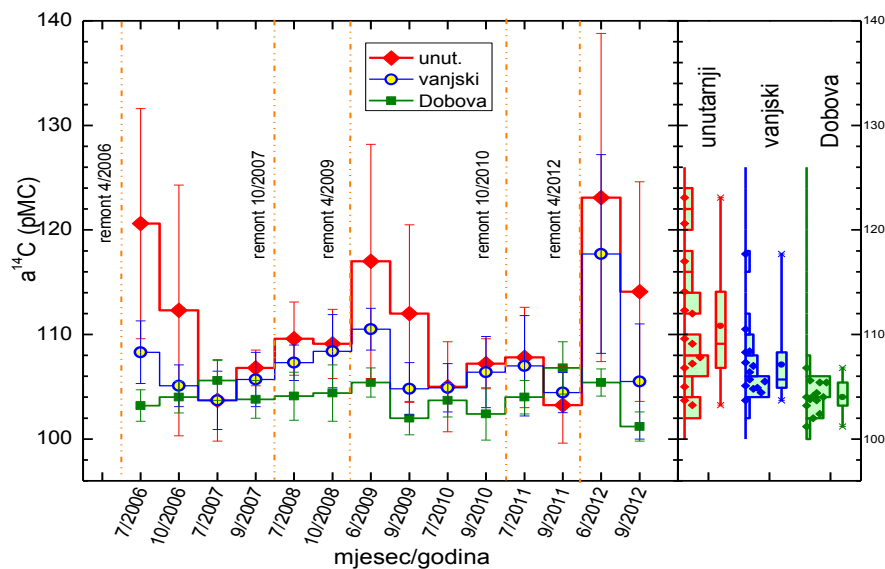
BILJE

Prostorna raspodjela aktivnosti ^{14}C u bilju za proljetna uzorkovanja 2006., 2009. i 2012. godine nakon proljetnog remonta prikazana je na Slikama 3a, b i c, i uspoređena je s raspodjelom $a^{14}C$ za proljetno uzorkovanje 2010. godine (Slika 3d) kada nije bilo proljetnog remonta. Nešto povišene aktivnosti ^{14}C u bilju opažene su u SW-NE smjeru vjetrova, kao i u biološkom materijalu koji koristi CO₂ u razdoblju za vrijeme i nakon remonta obavljenog neposredno prije vegetacijskog perioda u travnju te godine. Raspodjela vrijednosti $a^{14}C$ bilja, te srednje vrijednosti za unutrašnji i vanjski krug (Slika 4) slične su za sve tri proljetne serije iz 2006., 2009. i 2012. godine, kada je remont obavljen u proljeće. Srednje vrijednosti $a^{14}C$ u biljkama u oba kruga oko NEK najviše su neposredno nakon proljetnog remonta. Vrijednosti $a^{14}C$ izmjerene na unutarnjim lokacijama više su nego na vanjskima. Najniže $a^{14}C$ u oba kruga oko NEK i usporedive s onima u Dobovi izmjerene su u godinama kada je remont uslijedio iza jesenskog uzorkovanja bilja (2007. i 2010. godina). U Dobovi su izmjerene najniže vrijednosti $a^{14}C$, a raspodjela tih vrijednosti odražava prirodne varijacije u $a^{14}C$ u bilju u promatranom razdoblju (Slika 4, desno).

Svi rezultati $a^{14}C$ u biljkama korigirani su odgovarajućim $\delta^{13}C$ vrijednostima izmjerenima u biološkom materijalu s lokacija oko NEK [8]. Srednja vrijednost $\delta^{13}C$ za jabuke i pšenicu (C3 biljke) iznosi -27 ‰ VPDB, a za kukuruz (C4 biljke) -12 ‰ VPDB.



Slika 3. Prostorna raspodjela $a^{14}\text{C}$ u bilju uzorkovanom u okolici NEK i u Dobovi u srpnju 2006. (a), lipnju 2009. (b) i lipnju 2012. (c) nakon proljetnog remonta, te u srpnju 2010. (d) kad nije bilo proljetnog remonta.

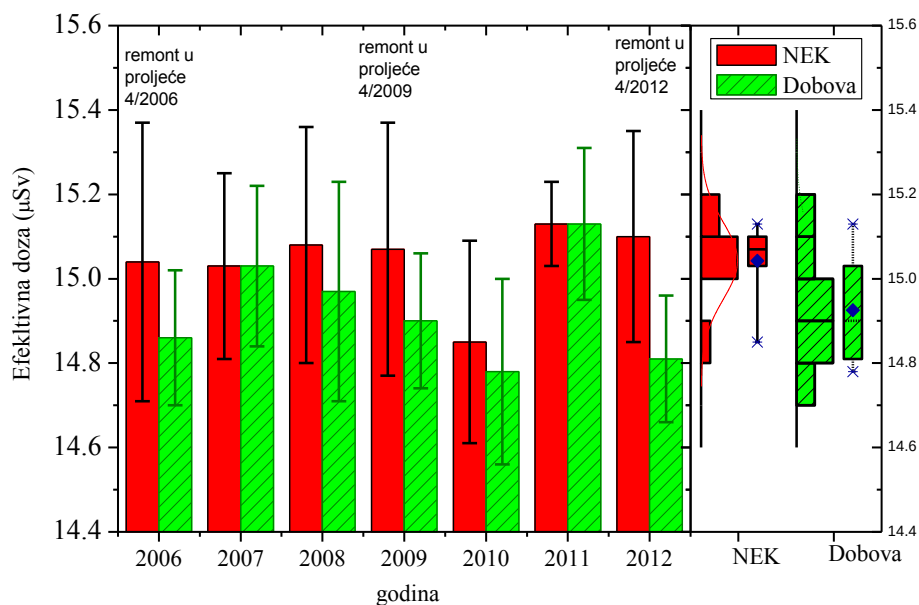


Slika 4. Prosječne vrijednosti $a^{14}\text{C}$ bilja za unutarnji i vanjski krug te Dobovu u razdoblju 2006. – 2012. Desno: histogrami raspodjele srednjih $a^{14}\text{C}$ u unutarnjem i vanjskom krugu, te u Dobovi.

Ekvivalentna godišnja doza E koju primi prosječna osoba uzimanjem hrane (ingestijom) određene specifične ^{14}C aktivnosti može se izraziti kao:

$$E = e \times a^{14}\text{C} \times m \quad (1)$$

gdje je m masa ugljika koja se godišnje unese hranom, $a^{14}\text{C}$ je izmjerena specifična aktivnost (Bq/kg C), a e je očekivana efektivna doza po jedinici aktivnosti, $5,8 \times 10^{-10}$ Sv/Bq. Ako je ukupna godišnja potrošnja hrane odraslog stanovnika Republike Slovenije oko 330 kg, uz udio ugljika u hrani od oko 30 %, godišnji unos ugljika putem hrane je oko 100 kg. Za stanovnika iz okolice NEK moramo pretpostaviti da ta količina hrane ne dolazi samo iz najbliže okolice NEK, nego i iz udaljenijih područja, uključujući kontrolnu točku koja predstavlja referentnu prirodnu dozu zbog ingestije ^{14}C na područjima bez utjecaja nuklearnih elektrana. U našem modelu pretpostavljamo da tijekom 2 mjeseca godišnje stanovnik koristi hranu iz okolice NEK i to iz bilo kojeg područja unutarnjeg ili vanjskog kruga, a tijekom ostalih 10 mjeseci iz udaljenijih područja u kojima se ne osjeća utjecaj NEK. Doze za stanovnike okolice NEK izračunate ovim modelom ne razlikuju se značajno od doza na kontrolnoj točki u Dobovi (Slika 5).



Slika 5. Usporedba godišnjih efektivnih doza zbog unošenja ^{14}C ingestijom za stanovnike u okolici NEK i na kontrolnoj točki u Dobovi. Desno – histogrami raspodjele godišnjih doza za stanovnike iz okolice NEK i Dobove.

ZAKLJUČAK

Porast ^{14}C aktivnosti u atmosferskom CO_2 unutar NEK opažen je za vrijeme i neposredno nakon remonta koji se provodi svakih 18 mjeseci. ^{14}C aktivnost bilja u okolici NEK ovisi o udaljenosti od ventilacijskog ispusta i o smjeru vjetrova. Najviše ^{14}C aktivnosti u bilju izmjerene su u ljetnim sakupljanjima u godinama kad je remont proveden u proljeće (2006., 2009. i 2012.), a najniže u jesenskim sakupljanjima 2007. i 2010., prije jesenskog remonta. Nije opažena značajna razlika u efektivnim dozama zbog unosa hranom za stanovnike iz okolice NEK i iz Dobove.

Zahvala. Rad je izrađen uz financijsku potporu Nuklearne elektrane Krško i projekta MZOS 098-09872709-2741.

LITERATURA

- [1] Obelić B, Krajcar Bronić I, Barešić J, Sironić A, Breznik B. ^{14}C aktivnost bioloških uzoraka i atmosferskog CO_2 u neposrednoj okolici Nuklearne elektrane Krško. 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. 222-9.
- [2] Obelić B, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Sironić A, Barešić J, Rajtarić A, Breznik B, Volčanšek A. Utjecaj remonta Nuklearne elektrane Krško na aktivnost ^{14}C u atmosferi i bilju. 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, Hrvatska. Zagreb; HDZZ; 2011. str. 347-54.
- [3] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka u obliku benzena u tekućinskom scintilacijskom brojaču. U: Garaj-Vrhovac V, Kopjar N, Miljanić S, ur. Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja: 18.-20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb; HDZZ; 2005. str. 158-163.
- [4] 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.
- [5] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka pripremljenih metodom apsorpcije CO_2 . U: Krajcar Bronić I, Miljanić S, Obelić B, ur. Zbornik radova Petog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 9.-11. travnja 2003; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb. HDZZ, 2003. str. 267-272.
- [6] Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Obelić B. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. App. Radiat. Isotopes 2009;67:800-4.
- [7] Stibilj V, Svetek B, Trkov Z, Volčanšek A, Breznik B. Measurement of ^{14}C activity in exhaust air at the Krško Nuclear Power Plant. U: Krajcar Bronić I, Kopjar N, Milić M, Branica G, ur. Zbornik radova Osmog simpozija HDZZ: 13.-15. travnja 2011; Krk, Hrvatska. Zagreb; HDZZ; 2011. str. 341-46.
- [8] Šturm M, Vreča P, Krajcar Bronić I. Carbon isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C activity) of plant samples in the vicinity of the Slovene nuclear power plant. Journal of Environmental Radioactivity 2012;110:24-29.

SIX YEARS OF CONTINUOUS MONITORING OF ^{14}C ACTIVITY OF ATMOSPHERE AND PLANTS IN VICINITY OF NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO (NEK)

*Ines Krajcar Bronić¹, Bogomil Obelić¹, Borut Breznik², Aleš Volčanšek²,
Jadranka Barešić¹, Nada Horvatinčić¹ and Anita Rajtarić¹*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

²Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenia

krajcar@irb.hr, obelic@irb.hr

Systematic monitoring of ^{14}C activity of atmospheric CO_2 and biological samples (fruits, vegetables, cereals, corn) in the vicinity of Nuclear Power Plant Krško (NEK) has been performed since 2006 with the main aim of estimating a possible influence of NEK on the environmental ^{14}C level and on effective dose received by local population through food chain. Atmospheric CO_2 has been collected at two locations inside the NEK in two-month intervals, while in the outage period the sampling periods are shorter. Biological samples have been collected in two sampling campaigns yearly, the first being in the beginning of vegetation period (June/July) and the second before harvesting (September/October). Sampling locations have been chosen in all directions around NEK at various distances from the ventilation stack, and also on the control site in Dobova, 12 km SE from NEK.

Increase in the ^{14}C activity of atmospheric CO_2 is observed during and immediately after the refuelling of the power plant, which has been performed every 18 months. After 2 – 3 months ^{14}C activities turn back to normal values. ^{14}C activity of biological samples in vicinity of NEK is slightly higher than at the control site Dobova and its spatial distribution depends on the distance from the exhaust of the ventilation system and on the distribution of wind direction. Spatial ^{14}C activity distributions obtained for summer campaigns after the spring refuelling in April 2006, 2009 and 2012, resemble in both the shape and values. Lowest ^{14}C activities are found in years of October refuelling (2007 and 2010), i.e., when the refuelling has been performed after the autumn sampling campaigns. The model of ingestion has been developed for the purpose of estimating the effective dose due to ingestion of ^{14}C via food. No significant difference in the effective dose for inhabitants at the control site and in the vicinity of NEK is obtained.

RASPODJELA ^{137}Cs U MESU I UNUTARNJIM ORGANIMA DIVLJE SVINJE

Božena Skoko, Gordana Marović, Dinko Babić i Ivan Vicković
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
bskoko@imi.hr

UVOD

Divljač je dobar bioindikator stanja ekosustava jer ima sposobnost akumulacije fizijskih radionuklida nekoliko puta veću od domaćih životinja [1]. Budući da se slobodno kreće i ovisi isključivo o hrani i vodi koju nalazi, daje prostornu i vremensku informaciju o okolišu u kojem obitava [2,3].

Divlja svinja (*Sus scrofa*) nalazi se na području Hrvatske u velikom broju te se na račun svoje brojnosti dosta izlovljava. U tom smislu, konzumacija mesa i unutarnjih organa divlje svinje u slučaju veće kontaminacije fizijskim produktima može predstavljati povećan radiološki rizik za lovce i njihove obitelji kao kritičnu populaciju [2,4].

Nakon nesreće u Černobilu, prosječna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u mesu divljih svinja na području Hrvatske iznosila je 24 Bqkg^{-1} , a u unutarnjim organima 104 Bqkg^{-1} [1]. Na razini pojedinačnih organa, izmjerene su sljedeće koncentracije aktivnosti ^{137}Cs : jetra $7 - 9 \text{ Bqkg}^{-1}$, bubrezi $7 - 24 \text{ Bqkg}^{-1}$ te srce $7 - 90 \text{ Bqkg}^{-1}$ [2]. Istraživanje provedeno 2001. i 2002. godine (samo uzorci mesa divljih svinja) na širem području Hrvatske pokazalo je veliku varijabilnost koncentracija aktivnosti ^{137}Cs , od $0,4$ do $611,5 \text{ Bqkg}^{-1}$ [4]. Za aktivnosti ^{137}Cs u unutarnjim organima divljih svinja postoji nedostatak novijih podataka.

Cilj ovog istraživanja je proširivanje dosadašnjih spoznaja o raspodjeli ^{137}Cs u mesu i unutarnjim organima divljih svinja. Za potrebe istraživanja izmjerene su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima mesa, organa (srce, pluća, jetra, slezena i bubrezi) i kosti divljih svinja s područja znanstveno-istraživačkog poligona "Šumbar". Dobiveni podaci daju ne samo uvid u trenutačno stanje kontaminacije te dinamiku kretanja ^{137}Cs unutar organizma divlje svinje, već i novi orijentir u pogledu na radiološku zaštitu biote.

MATERIJALI I METODE

11 divljih svinja odstrijeljeno je na području znanstveno-istraživačkog poligona „Šumbar“, koji se nalazi u okolici Karlovca, tijekom prosinca 2009. i kolovoza 2010. godine. Od unutarnjih organa uzorkovani su srce, pluća, jetra, bubrezi i slezena. Obzirom da divljač nije česti tip uzoraka, osim mesa prikupljeni su i uzorci kostiju od dvije životinje, iako kost nije kritični organ za bioakumulaciju ^{137}Cs . Uzorak mesa je činila muskulatura bedrenog područja, dok su uzorak kostiju činile: tibia, fibula, ulna, radius, humerus, femur. Starost životinja se kretala između 8 mjeseci i 5 godina, a težina ukupnog tijela između 50 kg i 150 kg te su uzorcima obuhvaćena oba spola. Uzorci su dostavljeni u svježem stanju te čuvani u hladnjaku na $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Prikupljeni organi, meso i kosti sušeni su na $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, spaljeni na $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, homogenizirani te pakirani u posudice volumena (50 mL, 100 mL ili 200 mL) za gamaspektrometrijsko određivanje. Zbog male mase pojedinih organa najveći broj uzoraka je spojen u zbirne uzorke po skupinama organa. Uzorci jetre podijeljeni su u dva zbirna uzorka: jedinke mlađe od godinu dana i jedinke starije od godinu dana. Meso i kosti obrađeni su zasebno po jedinkama.

Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom akreditiranom prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025; Ge(Li) detektorom ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8 % na 1,33 MeV; HPGe detektorom ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co , povezanima s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Vrijeme mjerenja je 80 000 s ili duže, ovisno o aktivnosti uzorka.

REZULTATI

Sve koncentracije aktivnosti ^{137}Cs izražene su kao Bqkg^{-1} svježe mase. U Tablici 1 prikazani su rezultati mjerenja u unutarnjim organima i mesu divljih svinja. Te vrijednosti niže su od koncentracija izmjerenih neposredno nakon Černobila, što je bilo i očekivano obzirom na smanjenu kontaminaciju okoliša [2]. U odnosu na vrijednosti izmjerene 2001. i 2002. godine u uzorcima mesa divljih svinja, naši rezultati nalaze se u nižem dijelu raspona tadašnjih koncentracija aktivnosti ^{137}Cs [4].

Najmanja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs određena je u mesu ($1,47 \pm 0,01\text{ Bqkg}^{-1}$), a najveća u bubrežima ($3,18 \pm 0,06\text{ Bqkg}^{-1}$). Dosadašnji podaci o raspodjeli ^{137}Cs u tkivima divlje svinje upućivali su da bi najveća koncentracija aktivnosti trebala biti u uzorcima srca [2]. No, veće aktivnosti

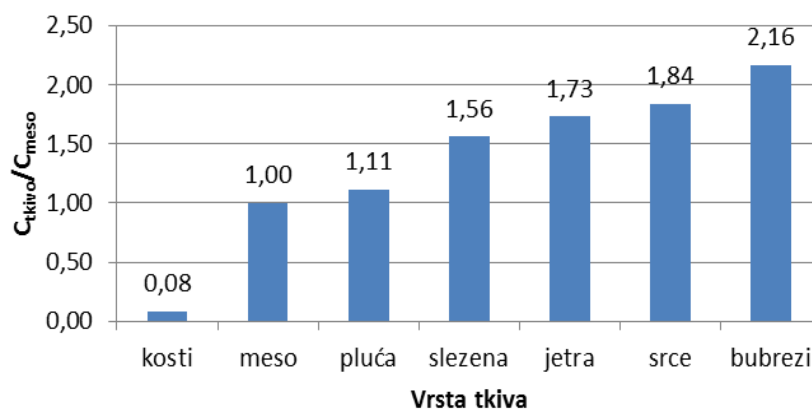
u bubrezima primjećene su ne samo u ovom istraživanju, već i kod drugih autora s drugom vrstom divljači (srna, jelen, zec, sob) [2,5,6,].

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mesu, plućima, slezeni, jetri, srcu i bubrezima divlje svinje

Vrsta tkiva	^{137}Cs (Bqkg^{-1})
Meso	$1,47 \pm 0,01$
Pluća	$1,63 \pm 0,01$
Slezena	$2,29 \pm 0,04$
Jetra	$2,54 \pm 0,02$
Srce	$2,70 \pm 0,02$
Bubrezi	$3,18 \pm 0,06$

Izmjerene koncentracije aktivnosti u uzorcima razlikuju se po godišnjem dobu. Tako je u uzorku mesa iz prosinca određena koncentracija aktivnosti cezija ($0,85 \pm 0,01$) Bqkg^{-1} , a u uzorku iz kolovoza ($2,09 \pm 0,01$) Bqkg^{-1} . U uzorku kosti iz prosinca određeno je manje od $0,009 \text{ Bqkg}^{-1}$, a u uzorku iz kolovoza ($0,12 \pm 0,01$) Bqkg^{-1} . Budući da kost nije kritični organ za akumulaciju ^{137}Cs , niske koncentracije aktivnosti u njima bile su očekivane. Niže koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mesu i kostima iz prosinca, u odnosu na one iz kolovoza, najvjerojatnije su uzrokovane promjenom prehrane izmjenom godišnjih doba. Za razliku od sjevernih europskih zemalja, gdje u zimskim mjesecima divljač ima povećan unos radionuklida, jer ovisi o prehrani mahovinom i lišajevima (bioakumulatorima ^{137}Cs), prehrana divljači u Hrvatskoj u zimskim mjesecima je suplementirana hranom od strane lovaca. Zbog toga je moguć pad koncentracije aktivnosti cezija u divljim svinjama tijekom zimskih mjeseci. U uzorcima jetre jedinki do godinu dana starosti izmjerene su koncentracije aktivnosti od ($1,22 \pm 0,22$) Bqkg^{-1} , a iznad godinu dana ($3,85 \pm 0,02$) Bqkg^{-1} . Razlika u koncentracijama vjerojatnije je uzrokovana duljinom izloženosti ceziju iz okoliša, nego s godišnjim dobom u kojem su uzorci prikupljeni [1].

Omjeri koncentracije aktivnosti ^{137}Cs su prikazani na Slici 1. Za kosti, meso i jetru ti omjeri su izračunati preko podataka iz Tablice 1.



Slika 1. Omjeri koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u tkivima u odnosu na meso

Usporedba omjera sa Slike 1 s izračunatim omjerima iz 1986. godine (0,32 jetra, 0,6 bubreg, 1,92 srce) pokazuje da su naši omjeri za jetra i bubrege viši dok je omjer za srce približno isti [1]. Niži omjeri aktivnosti za uzorke iz 1986. godine vjerojatno su posljedica povećane koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mesu divlje svinje što je direktno bilo povezano s tadašnjom povećanom kontaminacijom okoliša.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovih istraživanja pokazuju da trenutačno veći dio radiološke opterećenosti sa ^{137}Cs je na vitalnim organima divljih svinja, nego na mesu i kostima. Raspodjela koncentracije ^{137}Cs u tkivima ide sljedećim redom: kosti < meso < pluća < slezena < jetra < srce < bubrezi. Podaci o radiološkoj opterećenosti vitalnih organa mogu biti značajniji za samu populaciju divljih svinja od uobičajenih uzoraka mesa koji su prvenstveno uzimani radi procjene izloženosti ljudi. Budući da su ovi uzorci uzimani u godinama prije nesreće u Fukushima, potrebna su dodatna istraživanja koja bi dala još novih spoznaja o biološkom kretanju ^{137}Cs u okolišu.

ZAHVALA

Ovaj rad je ostvaren uz financijsku potporu MZOS (Projekt *Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja*, br. 022-0222882-2335). Autori zahvaljuju Jasminki Senčar, Stjepanu Begi i Josipu Tončiću, dr.vet.med., na pomoći u istraživanju.

LITERATURA

- [1] Marović G, Lokobauer N, Bauman A. Risk estimation of radioactive contamination after the Chernobyl accident using bionindicators. *Health Phys* 1992;62(4):332-7.
- [2] Marović G. Procjena nuklearnog akcidenta pomoću bioindikatora. (disertacija). Zagreb, 1990.
- [3] Tataruch F, Kierdorf H. Trace Metals and other Contaminants in the Environment. Elsevier B.V, 2012. ISBN: 978-0-08-044177-1.
- [4] Vilić M, Barišić D, Kraljević P, Lulić S. ¹³⁷Cs concentration in meat of wild boars (*Sus scrofa*) in Croatia a decade and half after the Chernobyl accident. *J Environ Radioactiv* 2005;81:55-62.
- [5] Rissanen K, Rahola T, Aro P. Distribution of cesium-137 in reindeer. *Rangifer* 1990;10(2):57-66.
- [6] Skuterud L, Gaare E, Eikermann IM, Hove K, Steinnes E. Chrenobyl radioactivity persist in reindeer. *J Environ Radioactiv* 2005;83:231-252.

DISTRIBUTION OF ^{137}Cs IN MEAT AND INTERNAL ORGANS OF WILD BOAR

Božena Skoko, Gordana Marović, Dinko Babić and Ivan Vicković
Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
bskoko@imi.hr

Wild boar (*Sus scrofa*) is one of the most common species of game on the territory of Croatia. Similarly to other game, it can accumulate fission products more effectively than domestic animals. Therefore, it is a good biondicator for radioactive contamination of ecosystems.

The purpose of our research has been to investigate current radioactive contamination of wild boars by ^{137}Cs and its distribution inside the animal body. Therefore, during the winter of 2009 and summer of 2010, we collected samples of meat, internal organs (heart, lungs, spleen, kidney and liver) and bones from 11 animals. All the animals were from the area of the research locality "Šumbar".

The average activity concentration of ^{137}Cs found in meat samples was $(1.47 \pm 0.01) \text{ Bqkg}^{-1}$, and in bones $(0.12 \pm 0.01) \text{ Bqkg}^{-1}$. Activity concentration found in organs was (in ascending order): lungs $(1.63 \pm 0.01) \text{ Bqkg}^{-1}$, spleen $(2.29 \pm 0.04) \text{ Bqkg}^{-1}$, liver $(2.54 \pm 0.02) \text{ Bqkg}^{-1}$, heart $(2.70 \pm 0.02) \text{ Bqkg}^{-1}$, and kidney $(3.18 \pm 0.06) \text{ Bqkg}^{-1}$. We also calculated the values of the ratio of activity concentrations in internal organs and meat. Comparison of the obtained values with those for samples collected after the Chernobyl accident shows that the present ones are higher for liver and kidney, while those for heart are almost the same.

Since vital organs of wild boars are more loaded than meat and bones, the impact of radioactive contamination on health of these animals should be more closely investigated. Also, these results imply that kidney is the most accumulating organ for ^{137}Cs .

INSTRUMENTACIJA I MJERNE TEHNIKE

***INSTRUMENTATION AND MEASURING
TECHNIQUES***

METODOLOGIJA I INTERPRETACIJA REZULTATA ODREĐIVANJA UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI U TEKUĆIM UZORCIMA

Ivana Milanović, Marijana Nodilo i Željko Grahek

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

imilanov@irb.hr

UVOD

Ukupna alfa i beta aktivnost u prirodnim vodama potječe od prirodnih radioaktivnih izotopa urana i torija, $^{238,235}\text{U}$, ^{232}Th te njihovih potomaka, drugih prirodnih izotopa kao što je ^{40}K , ali i različitih umjetnih radioaktivnih izotopa koji završavaju u prirodnim recipientima zbog kontroliranog i/ili nekontroliranom ispusta iz medicinskih ustanova, industrije, nuklearnih postrojenja i drugih mogućih izvora. Stoga, određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti može poslužiti kao indikativna metoda za otkrivanje razine radioaktivne kontaminacije pa se kao takva primjenjuje za kontrolu zdravstvene ispravnosti vode za piće, podzemnih voda, ali i kontrolu tekućih ispusta iz objekata koji u svom radu koriste i/ili proizvode radioaktivne izotope.

Ukupna alfa aktivnost definira se kao ukupna aktivnost svih alfa emitera, nakon eliminacije radona i njegovih produkata raspada dok se ukupna beta aktivnost definira kao ukupna aktivnost beta emitera isključujući tricij i ^{40}K [1]. Na osnovu te definicije i općepoznatih činjenica o utjecaju radioaktivnosti na čovjeka, postavljena je ukupna indikativna doza 0,1 mSv/godišnje te maksimalne dozvoljene ukupna alfa i beta aktivnosti u pitkim vodama [1-2]. Stoga, ako su metodom određivanja ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti dobivene vrijednosti veće od preporučenih, zahtijeva se kvalitativno i kvantitativno određivanje pojedinih radionuklida što iziskuje upotrebu kompleksnih i skupih metoda određivanja. Samo određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti vrlo je zahtjevno u pogledu točnosti s obzirom da efikasnost detekcije ovisi o energiji emitiranih alfa i beta čestica te njihovoj interakciji s materijom. Kako je potrebno mjeriti vrlo različite izotope u različitim omjerima u uzorcima nepoznatog porijekla, odabir metodologije određivanja ključan je za točnost. U praksi najčešće korištene metode za određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti jesu standardizirane metode ISO 10704, ISO 11704,

ISO 9696/9697, EPA 900.0 i 900.1. Bitna razlika između pojedinih metoda je u pripremi uzoraka, propisanim standardima za određivanje efikasnosti detekcije, instrumentima te preporukama o vremenu između pripreme uzoraka i brojanja.

Stoga je cilj rada pokazati u kojoj mjeri parametri kao što je metoda pripreme uzorka, energetska ovisnost efikasnosti detekcije i izbor standarda utječu na točnost određivanja ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti.

MATERIJAL I METODE

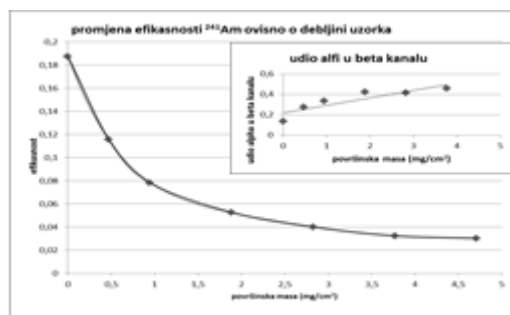
U radu su korišteni tekući interkomparacijski uzorci dobiveni od Environmental Resource Association (ERA), USA i uzorci voda dobiveni od Instituta za referentne materijale i mjerenja (IRMM), Geel. Za određivanje ukupne alfa i beta aktivnosti korištena je standardna procedura ISO 10704, EPA 900.0. Procedura se sastoji od određivanja sadržaja ukupno otopljenih krutina (TDS) kako gustoća otparnog ostatka na planšeti ne bi bila veća od 5 mg/cm^2 , što je maksimalno dozvoljena količina prilikom određivanja alfa emitera [3,4]. Za određivanje su korištene metoda uparavanja te metoda koprecipitacije. Metodom uparavanja određeni volumen uzorka uparen je do konstantne mase pod IR lampom i brojen na beta brojaču sa Si detektorom *i-Matic*, Canberra, na kojem se simultano određuje alfa i beta aktivnost. Metodom koprecipitacije, koja je pogodna za uzorke koji sadrže veću koncentraciju TDS, primjerice površinske ili podzemne vode, talože se BaSO_4 i Fe(OH)_3 s kojima koprecipitiraju svi bitni alfa i beta emiteri (izotopi uranija, radija, torija). Različite metode određivanja primjenjene su kako bismo usporedili rezultate aktivnosti obzirom na primjenjenu metodu, ali i korištene standarde za određivanje efikasnosti.

Za određivanje efikasnosti detekcije korištene su certificirane standardne otopine ^{241}Am za alfa i $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{36}Cl , ^{89}Sr i ^{40}K za beta emitere, dobivene od National Institute of Standard and Technology NIST i Eckert&Ziegler Analytics, USA te referentne otopine ^{230}Th i ^{137}Cs , ERA. Eksperimentalno je određena efikasnost detekcije u ovisnosti o energiji emitiranih alfa i beta čestica te masi uzorka.

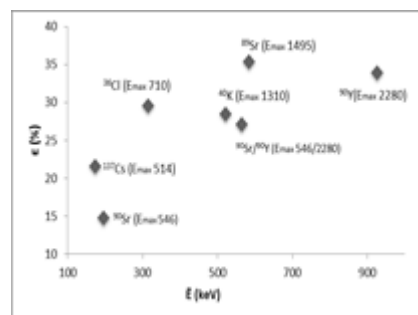
REZULTATI I RASPRAVA

Određivanje ukupe alfa i ukupne beta aktivnosti ovisi o nekoliko parametara među kojima je točnost određivanja efikasnosti detekcije ključan, pogotovo za određivanje ukupne alfa aktivnosti. Naime, zbog snažne interakcije alfa čestica s materijom koja rezultira brzim gubitkom

energije, efikasnost detekcije naglo se smanjuje s porastom mase uzorka. Zbog toga se kod svih metoda mora što točnije odrediti ta ovisnost. Kod metode uparavanja s porastom debljine sloja rapidno se smanjuje efikasnost (Slika 1a) dok se primjenom metode koprecipitacije debljina sloja može kontrolirati unutar uskih granica, a shodno tome i efikasnost detekcije varira unutar puno užeg intervala. Za razliku od alfa čestica, elektroni ne gube tako brzo energiju u interakciji s materijom pa debljina sloja ne igra veliku ulogu kod određivanja efikasnost detekcije ako je ta debljina u granicama propisanim za određivanje alfa aktivnosti. Nadalje, alfa čestice koje izgube dio energije detekcijski sustav prepoznaje kao događaje u beta kanalu, a njihov udio je to veći što je debljina sloja veća (Slika 1b). To izravno utječe na rezultat mjerenja i alfa i beta aktivnosti pa je poznavanje te ovisnosti bitno za točnost određivanja.



Slika 1. a) Ovisnost efikasnosti detekcije alfa čestica ^{241}Am o debljini sloja uzorka, b) udio alfa u beta kanalu



Slika 2. Ovisnost efikasnosti o energiji beta čestica

Isto tako, na rezultat utječe i vrsta standarda koji se koriste za određivanje efikasnosti. Točniji rezultat će se dobiti kad izabrani standard ima energiju alfa i beta čestica podudarnu energijama dominirajućih izotopa u uzorku. Stoga je u praktičnom radu kod izbora standarda poželjno imati što više informacija o prirodi samog uzorka. Za određivanje ukupne alfa aktivnosti u prirodnim vodama poželjan standard je ^{230}Th (potomak ^{238}U) jer njega i njegovih potomaka ima najviše u prirodnim uzorcima. Standard ^{241}Am , koji se preporuča u normiranim metodama zbog visokih energija, daje veću efikasnost pa može uzrokovati pogrešku u određivanju, tj. može podcijeniti veličinu stvarne aktivnosti. Za određivanje ukupne beta aktivnosti kao standard preporuča se $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{137}Cs ili ^{40}K , ali kako direktiva [2] definira maksimalnu dozvoljenu granicu za ukupnu beta aktivnost

isključujući kalij [2], tako u radu za izračun nije korišten, već mu je samo u datim uvjetima određena efikasnost. Uz sve navedeno u radu je istraživana i ovisnost efikasnosti o energiji beta čestica (Slika 2). Iz tih rezultata vidljivo je da efikasnost, osim s debljinom sloja opada i s energijom. Međutim, pad efikasnosti detekcije nije proporcionalan smanjenju energije, što dodatno komplicira izbor standarda za praktičnu primjenu jer može značiti da čak i približno poznavanje sastava uzorka ne garantira izbor primjerenog standarda. Koliko je izbor standarda važan može se vidjeti iz rezultata određivanja ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u uzorcima IRMM-a i ERA uzorcima.

Tablica 1. Rezultati određivanja ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti u interkomparacijskim uzorcima ERA i IRMM

Uzorak	Koprecipitacija	Uparavanje	Prijavljena vrijednost	Ref. vrijednost	Prihvatljiv raspon
Ukupna alfa aktivnost (mBq/L)					
IRMM	724,9 – 874,8	936,6 – 1154,3	802,0 ± 51,0	954,5	799,9–1109,1
ERA	1153,3 – 1211,7	3400,0 – 5761,9	3848 ± 377,4*	2845,3	1010,1–4403,0
		2875,0 – 4570,0*			
Ukupna beta aktivnost (mBq/L)					
IRMM	728 – 1150,4	1009,0 – 1116,6	1042,0 ± 39,0	1037,3	871,3–1203,3
ERA	439,7 – 456,7	1155,7 – 1558,3	2264,4±220,7**	2316,2	1324,6–3429,9
		2003,0–2470,0**			

*²³⁰Th korišten kao standard, u ostalim slučajevima ²⁴¹Am

**¹³⁷Cs korišten kao standard, u ostalim slučajevima ⁹⁰Sr/⁹⁰Y

U uzorak vode IRMM-a dodani su ²⁴¹Am i ⁹⁰Sr/⁹⁰Y. Kako su u radu korišteni ti standardi pretpostavlja se da je pravilan odabir standarda omogućio dobivanje rezultata unutar 2σ. Međutim, ako bi se ti standardi upotrijebili za određivanje u ERA uzorcima, u čijim uputama je navedeno da je kao standard za ukupnu alfa aktivnost korišten ²³⁰Th, a betu ¹³⁷Cs, dobile bi se vrijednosti unutar granica prihvatljivosti, ali s puno većim odstupanjem od srednje vrijednosti (Tablica 1). Upotrebom ⁹⁰Sr/⁹⁰Y zbog veće efikasnosti od standarda ¹³⁷Cs dobivene vrijednosti su niže od referentnih, odnosno podcijenjene. Isto bi se očekivalo i prilikom

određivanja alfa aktivnosti ako se koristi ^{241}Am za određivanje efikasnosti umjesto ^{230}Th , ali rezultat je suprotan. Razlog je u vrlo maloj efikasnosti jer je površinska masa uzorka oko $4,5 \text{ mg/cm}^2$ pa je mogućnost greške veća.

Ako uspoređujemo primjenjene metode, vidljivo je kako u ERA uzorcima za određivanje ukupne beta aktivnosti metoda koprecipitacije nije prihvatljiva jer ^{137}Cs ostaje u otopini čime je ukupna beta aktivnost jako podcijenjena. Razlog tomu je što alkalijski metali ne koprecipitiraju s BaSO_4 ili $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Također, za razliku od metode uparavanja, ovom metodom u uzorku IRMM-a ukupna beta aktivnost se smanjivala unutar 15 dana, čime je pala ispod prihvatljivih vrijednosti, a zatim stagnirala. Moguće je kako se nije sav stroncij vezao iz uzorka pa se opadanje aktivnosti može pripisati raspadu ^{90}Y , što bi trebalo dodatno istražiti.

Koliko je istovremeno određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti zahtjevno, u pogledu dobivanja točnih rezultata, najbolje govore podaci preliminarnog izvješća određivanja u IRMM-uzorku. Naime, samo 12 laboratorija, od ukupno 65, odredilo je ukupnu alfa i ukupnu beta aktivnost unutar granice 2σ . Od toga je 28 laboratorija odredilo ukupnu beta, a 29 ukupnu alfa aktivnost unutar granice 2σ , dok su pripadne određene alfa odnosno beta aktivnosti bile izvan tog intervala.

ZAKLJUČAK

Određivanje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti zbog jednostavnosti izvođenja i dobivanja brzih rezultata vrlo je poželjna metoda za okvirno određivanje prisutnosti radioaktivnih elemenata u vodama te može ukazati ima li potrebe za skupljim i sofisticiranijim analizama identifikacije pojedinih radionuklida. Kako bi određivanje bilo što točnije, poželjno je prikupiti što više informacija o podrijetlu uzorka zbog primjene adekvatne metode određivanja kao i kalibracijskog standarda.

LITERATURA

- [1] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality 4th edition. Geneva, Switzerland; 2011.
- [2] Council Directive 98/83/EC drinking water directive on the quality of water intended for human consumption. Official Journal L 330; 1998.
- [3] ISO 10704:2009(E), Water quality – Measurement of gross alpha and gross beta activity in non-saline water – Thin source deposit method
- [4] Environmental Protection Agency (EPA). Gross Alpha and Gross Beta Radioactivity in Drinking Water, Method 900.0; 1980.

GROSS ALPHA AND GROSS BETA ACTIVITY DETERMINATION IN LIQUID SAMPLES: METHODOLOGY AND RESULTS INTERPRETATION

Ivana Milanović, Marijana Nodilo and Željko Grahek

Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

imilanov@irb.hr

Determination of gross alpha and gross beta activity is used as a screening method for fast, but not accurate estimation of alpha and beta emitters in waters, waste waters, air filters, soils, sludges and solvents. The purpose of this method is to provide adequate information concerning the activity within samples, and thus determine if, more detailed analyses are further required.

According to the valid directive 98/83/CE, total indicative dose in water intended for human consumption should not exceed 0.1 mSv/year. WHO guidelines (2011) stipulate that screening levels for drinking water, below which no further action is required, are 0.5 Bq/L for gross alpha activity and 1 Bq/L for gross beta activity. Since there is more than one procedure for determination of gross alpha and gross beta activity, with different guidelines, laboratories may get various results. Most problems that can occur depend on the sample preparation, the standards used for calibration, the time elapsed from sample collection to analysis and the time elapsed between sample preparations and counting. In this study it is shown how two types of sample preparation, evaporation and coprecipitation, may give different results of gross alpha and gross beta activity. Also, it is pointed out how choosing of inappropriate standards may lead to incorrect efficiency determination and consequently to wrong activity determination.

PROCJENA MJERNIH NESIGURNOSTI I GRANICA DETEKCIJE KOD ODREĐIVANJA $^{89,90}\text{Sr}$ ČERENKOVLJEVIM BROJENJEM

Marijana Nodilo, Gorana Karanović i Željko Grahek
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
mnodilo@irb.hr

UVOD

Određivanje $^{89,90}\text{Sr}$ je komplicirano i dugotrajno zbog njihovih radiokemijskih svojstava. Oba izotopa su čisti beta emiteri te njihovo kvantitativno određivanje zahtijeva kemijsku izolaciju čistog stroncija iz uzorka te izolaciju ^{90}Y nakon postizanja radiokemijske ravnoteže tako da čitav postupak traje najmanje šesnaest dana. Zbog toga se razvoj novih postupaka određivanja fokusira na redukciju vremena određivanja što je posebno važno u izvanrednim situacijama (nuklearni akcidenti) kada je brzo dobivanje točnog i pouzdanog rezultata od posebne važnosti za donošenje odluka o mjerama zaštite zdravlja. Razvoj brzih metoda se zasniva na razvoju novih visoko selektivnih kromatografskih postupaka izolacije koji omogućuju brzu i jednostavnu kemijsku izolaciju čistog stroncija te metodi detekcije koja omogućuje njihovo simultano određivanje. Jedna od najjednostavnijih metoda simultanog određivanja ^{89}Sr i ^{90}Sr je metoda Čerenkovljevog brojenja na scintilacijskom brojaču. Metoda se temelji na činjenici da je srednja energija emitiranih elektrona ^{90}Sr niža od praga potrebnog za postizanje Čerenkovljevog zračenja te činjenici da energije emitiranih elektrona ^{90}Y i ^{89}Sr proizvode Čerenkovljevo zračenje. Naime, s obzirom da su vremena poluraspada ^{89}Sr i ^{90}Y dovoljno različita, moguće je njihovo kvantitativno određivanje. Stoga je svrha ovog rada opisti princip kvantitativnog određivanja $^{89,90}\text{Sr}$ Čerenkovljevim brojenjem te pokazati koji parametri i na koji način dominantno utječu na točnost, granice detekcije i mjernu nesigurnost određivanja.

METODOLOGIJA

Princip određivanja je sljedeći: $^{89,90}\text{Sr}$ izoliraju se iz uzorka uz istovremeno odjeljivanje ^{90}Y i broje sukcesivno na tekućinskom scintilacijskom brojaču u otopini dušične kiseline tijekom 64 sata. Bilježi se aktivnost u minimalno dva različita vremenska intervala [1]:

$$A_{T_1} = \varepsilon_1 \cdot f_{11} \cdot A_{89Sr} + \varepsilon_2 \cdot f_{21} \cdot w_1 \cdot A_{90Y} \quad (1)$$

$$A_{T_2} = \varepsilon_1 \cdot f_{12} \cdot A_{89Sr} + \varepsilon_2 \cdot f_{22} \cdot w_2 \cdot A_{90Y} \quad (2)$$

Aktivnosti ^{89}Sr i ^{90}Y se izračunaju iz izraza:

$$A_{89Sr} = \frac{(A_{T_1} - A_B)f_{22}w_2 - (A_{T_2} - A_B)f_{21}w_1}{\varepsilon_1(f_{11}f_{22}w_2 - f_{12}f_{21}w_1)} \quad (3)$$

$$A_{90Y} = \frac{(A_{T_2} - A_B)f_{11} - (A_{T_1} - A_B)f_{12}}{\varepsilon_2(f_{11}f_{22}w_2 - f_{12}f_{21}w_1)} \quad (4)$$

a koncentracije aktivnosti iz izraza:

$$Ac(^{89}\text{Sr}) = \frac{A_{89Sr}}{R \cdot Q} \cdot e^{\lambda t} ; Ac(^{90}\text{Sr}) = \frac{A_{90Y}}{R \cdot Q} \cdot e^{\lambda t} \quad (5ab)$$

$$L_d = 2.71 + 4.65 \cdot \sqrt{A_B \cdot t_c} ; MDA = \frac{L_d}{K} ; K = \varepsilon \cdot R \cdot t_c \cdot Q \quad (6abc)$$

Značenja simbola u jednadžbama (1 – 6) su sljedeća:

A_{T1} – izmjerena aktivnost u prvom intervalu t_1 (cps),

A_{T2} – izmjerena aktivnost u drugom intervalu t_2 (cps)

A_{89Sr} – izračunata aktivnost ^{89}Sr (dps), A_{90Y} – izračunata aktivnost ^{90}Y (dps)

A_c – koncentracija aktivnosti (Bq (kg/L) $^{-1}$),

A_B – osnovno zračenje (cps)

ε_1 – efikasnost detekcije ^{89}Sr , ε_2 – efikasnost detekcije ^{90}Y

$f_{11} = e^{-\lambda t_1}$ – faktor raspada ^{89}Sr u t_1 , $f_{12} = e^{-\lambda t_2}$ – faktor raspada ^{89}Sr u t_2

f_{21}, f_{22} – faktori raspada ^{90}Y za vrijeme brojenja t_c

λ – konstanta raspada ($\ln 2/t_{1/2}$), t_c – vrijeme brojenja

w_1, w_2 – udio ravnoteže, R – kemijsko iskorištenje

Q – količina uzorka (kg ili L), L_d – granica detekcije (impulsi),

MDA – minimalna koncentracija aktivnosti u (Bq (kg/L) $^{-1}$).

Mjerna nesigurnost pojedinačnih mjerenja dobiva se kao kombinirana

nesigurnost $u = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u_i^2}$ gdje su koeficijenti osjetljivosti c_i dobiveni

deriviranjem izraza za izračun aktivnosti i koncentracija aktivnosti (3-5) po

svakoj varijabli $c_i = \frac{\partial A_i}{\partial(\varepsilon, A_{T_1}, w_1 \dots)}$, a u_i su pripadajuće nesigurnosti svake

varijable. Općenito govoreći, ova metoda temelji se na praćenju promjene

ukupne aktivnosti tijekom vremena. Aktivnost izotopa može se odrediti samo u slučaju kada je konstanta raspada mjerenih izotopa različita (kao u slučaju ^{90}Y i ^{89}Sr). Valja napomenuti da je određivanje moguće samo u slučaju kada su ispunjeni sljedeći uvjeti. Prvo, promjena aktivnosti između dva brojenja treba biti takva da daje značajnu razliku koja osigurava pouzdanost određivanja; i drugo, omjer aktivnosti izotopa treba biti u granicama utvrđenim statističkim izračunom greške brojenja za dane razine aktivnosti. U Currie smislu [2] to znači da minimalna promjena aktivnosti između dva intervala t_c mora biti najmanje $(A_{T_i} - A_{T_{i+1}}) \cdot t_c \geq 4.65\sqrt{N_T}$ gdje je $N_T = (\sum_{j=1}^m \varepsilon_j \cdot A_j) \cdot t_c$ ukupan broj impulsa registriran na brojaču. Iz relacije $A_{T_i}(1 - e^{-\lambda t}) = 4.65\sqrt{N_T}$ može se dobiti minimalno potrebno vrijeme koje mora proteći između dva brojenja $t_{\min} = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(1 - 4.65 \cdot \sqrt{\frac{1}{N_T}}\right)$, a λ je konstanta raspada izotopa s kraćim vremenom poluraspada. Naime, promjena aktivnosti ovisit će o konstanti raspada izotopa, tako da izotop s kraćim vremenom poluraspada određuje vrijeme između dva brojenja. Za pouzdano određivanje bitan je i omjer aktivnosti pa je pitanje kako se taj omjer može procijeniti? Odgovor se može djelomično dobiti primjenom Currie relacija [2]. Ako se pretpostavi da aktivnost jednog izotopa A_j mora biti veća od pogreške brojanja $\varepsilon_j \cdot A_j = 4.65 \cdot \sqrt{N_T}$, te da je promjena aktivnosti između dva brojenja jednaka $(A_{T_i} - A_{T_{i+1}}) \cdot t_c \geq 4.65\sqrt{N_T}$ može se odrediti granični omjer.

REZULTATI I RASPRAVA

Kao što je ranije spomenuto, za pouzdano određivanje potrebno je ispuniti nekoliko uvjeta te definirati određene granice. Poznato je da u fisijskom *falloutu* ^{89}Sr i ^{90}Sr mogu biti u širokom rasponu aktivnosti (uz prisutnost i drugih izotopa Y i Sr). Stoga je za njihovo pouzdano određivanje potrebno poznavati u kojim omjerima $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ se mogu odrediti. U tu svrhu poznati omjeri aktivnosti ^{89}Sr i ^{90}Sr mjereni su u različitim vremenskim intervalima (10, 24, 36, 48 i 64 sata, nakon odjeljivanja ^{90}Y od ^{90}Sr), a aktivnosti ^{89}Sr i ^{90}Sr izračunate su iz relacija 3 i 4. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablicama 1 i 2. Rezultati u Tablici 1 pokazuju da se izračunata i nominalna aktivnost ne razlikuju više od 10 %

kada je nominalni omjer aktivnosti $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ 10:1. Realno nominalni omjer $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ 10:1, daje omjer na brojaču 6:1 (ili $^{90}\text{Sr}/^{89}\text{Sr}$ 1:17) zbog različitih efikasnosti detekcije. Međutim, kada omjer prelazi tu granicu, odstupanje postaje značajno za izotop s nižom aktivnošću. Razlog je razumljiv jer je ukupna aktivnost detektirana na brojaču jednaka sumi aktivnosti oba izotopa pa kad je aktivnost jednog od izotopa u razini (ili niže) od pogreške brojenja određivanje nije moguće.

Tablica 1. Određivanje ^{89}Sr i ^{90}Sr za različite omjere aktivnosti

$A^{89}\text{Sr}/A^{90}\text{Sr}$	^{89}Sr add (dpm)	^{89}Sr calc (dpm)*	E (%)	^{90}Sr add (dpm)	^{90}Sr calc (dpm)*	E (%)	$\varepsilon A^{89}\text{Sr}/\varepsilon A^{90}\text{Sr}$
1:33	349±3.5	545±30	+56.2	11659±160	11200±210	-3.9	1:51
1:19	209±3.1	248±20	+18.7	3925±40	3740±90	-4.9	1:28
1:4.6	838±9	931±25	+11.1	3925±40	3740±90	-4.9	1:7
1:1.5	2234±22	2360±40	+5.4	3886±40	3820±90	-1.70	1:2.3
1:1.1	3490±35	3540±40	+1.4	3886±40	3760±90	-3.24	1:1.7
60:1	6981±70	7130±105	+2.1	116±1.6	-	-	38:1
17:1	7050±71	7100±105	+0.7	427±6.0	234±40	-45.2	11:1
6:1	7050±71	6990±100	-0.8	1166±16	1095±90	-6.1	3.6:1

*srednja vrijednost računata ± mjerna nesigurnost, E – odstupanja računata i mjerene aktivnosti ($\varepsilon_{89\text{Sr}} = 0,34$, $\varepsilon_{90\text{Sr}} = 0,53$).

Zato je potrebno da aktivnost prijeđe određenu granicu. Ta granica također se može procijeniti iz Currieovog principa [2]: $\varepsilon_{90\text{Sr}} \cdot A_{90\text{Sr}} \cdot t_c \geq K_1 + K_2 \cdot \sqrt{N_T}$ gdje su K_1 i K_2 konstante koje je potrebno odrediti. K_2 se može uzeti iz Currieovih relacija (npr. 4,65 za 99 % vjerojatnosti) dok se K_1 može procijeniti na temelju statističke pogreške brojenja ($0,035A_{89\text{Sr}}$ za 5 % pogreške brojenja [1]). U Tablici 2 dani su rezultati koji pokazuju koju minimalnu aktivnost ^{90}Sr je moguće odrediti u ovisnosti o vremenu između brojenja u prisutnosti različitih aktivnosti ^{89}Sr , a koja je izračunata iz prethodnih relacija. Iz tih rezultata proizlazi da se produljenjem vremena brojenja može povećati omjer aktivnosti koji je moguće odrediti, ali treba napomenuti da je vrijeme brojenja determinirano konstantom raspada ^{90}Y te vremenskim intervalom između dva brojenja (koji ovisi o razini i omjeru aktivnosti kao što je prethodno spomenuto). Vrijeme brojanja od 200 min je maksimalno vrijeme do kojeg nije potrebno raditi korekcije zbog raspada ^{90}Y .

Tablica 2. Izračunati omjer aktivnosti $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ koji se može odrediti

$t(\text{min})$ $^{89}\text{Sr} \text{ (dpm)}$	20	50	100	200
10	1,3 (7,8)*	1,9 (5,7)	2,6 (3,8)	3,5 (3)
100	3,5 (28)	4,9 (20)	6,3 (16)	7,8 (13)
1000	7,8 (128)	9,9 (101)	11,3 (88)	12,7 (78)
10000	12,7 (784)	14,3 (699)	15,2 (657)	15,9 (627)
100000	15,9 (6272)	16,6 (6000)	17,0 (5870)	17,3 (5775)

(*) minimalna aktivnost ^{90}Sr (dpm) koja se može odrediti

Naime, u slučaju dužeg vremenskog intervala brojenja potrebno je korigirati aktivnost ^{90}Y zbog kumuliranja impulsa u intervalu brojenja s jedne strane te pada aktivnosti ^{90}Y u tom intervalu s druge strane. Uz to, vrijeme brojenja utječe i na mjernu nesigurnost. Kako je uz vrijeme brojenja utjecaj svih ostalih parametara na točnost određivanja ključan za procjenu granica upotrebljivosti metode, u radu je metoda testirana određivanjem ^{89}Sr i ^{90}Sr u uzorcima s poznatom aktivnošću uz analizu parametara koji utječu na mjernu nesigurnost. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 3. Iz rezultata proizlazi da mjerna nesigurnost određivanja aktivnosti ^{89}Sr kod viših aktivnosti ovisi o nesigurnosti određivanja efikasnosti, a kod nižih o vremenskom intervalu. Nesigurnost određivanja aktivnosti ^{90}Sr ovisi dominantno o intervalu između dva brojenja. Kombinirana mjerna nesigurnost određivanja ovisi o nesigurnosti određivanja aktivnosti i iskorištenja. Na kraju, na temelju prikazanih rezultata može se konstatirati da metoda simultanog određivanja $^{89,90}\text{Sr}$ daje pouzdane rezultate u širokom rasponu aktivnosti uz uvjet da omjer aktivnosti ne prelazi granice definirane danim relacijama.

Tablica 3. Analiza mjerne nesigurnosti

	^{89}Sr	^{90}Sr	^{89}Sr	^{90}Sr	^{89}Sr	^{90}Sr
Δt	16h		50h		50h	
A (dpm)	6970±115	993±204	7110±98	1140±41	14,6±2,7	18,8±4,9
A_{add} (dpm)	7050	1166	7050	1166	16,2	22,3
E (%)	73,13	0,93	72,55	16,04	0,53	0,34
A_{T1} (%)	22,98	48,84	26,64	40,89	80,72	40,40
A_{T2} (%)	3,88	50,22	1,28	43,06	5,46	59,25
A_b (%)	0,01	-	0,03	-	13,27	0,01
A (Bq/mL)	116±4	18,9±3,4	119±4	16,5±1,3	0,24±0,04	0,31±0,08
A (%)	23,07	99,68	16,36	94,41	97,34	99,85
V (%)	-	-	-	-	-	-
R (%)	76,84	0,31	82,54	5,53	2,63	0,14
Ostalo (%)	0,08	-	0,08	0,05	0,01	0,01

LITERATURA

- [1] Grahek Ž, Karanović G, Nodilo M. Rapid determination of $^{89,90}\text{Sr}$ in wide range of activity concentration by combination of yttrium, strontium separation and Cherenkov counting. Journal Radio Nucl Chem 2012; 292: 555-569.
- [2] Currie L. Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination: Application to Radiochemistry. Anal Chem 1968; 40: 586-593.

UNCERTAINTY AND DETECTION LIMIT IN DETERMINATION OF $^{89,90}\text{Sr}$ BY CHERENKOV COUNTING

Marijana Nodilo, Gorana Karanović and Željko Grahek
Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
mnodilo@irb.hr

The methodology for the rapid determination of $^{89,90}\text{Sr}$ in normal and emergency situations is given. Methodology is based on simultaneous separation of strontium and yttrium from samples and quantitative $^{89,90}\text{Sr}$ determination by Cherenkov counting within three days. Methodology for quantitative determination by Cherenkov counting based on following changes of sample activity during the time is described and discussed. It has been shown that $^{89,90}\text{Sr}$ can be determined with acceptable accuracy when $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ ratio is over 10:1. Obtained results show that by using low level liquid scintillation counter it can be possible to determine ^{89}Sr and ^{90}Sr in broad range of concentration activities ($1 - 1000 \text{ Bq (kgL)}^{-1}$) with uncertainties below 10% within 2-3 days. Results also show that accuracy of determination of ^{89}Sr (and ^{90}Sr) depends on determination of difference between separation and counting time when activity ratio of $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ is high. Analysis of combined uncertainty shows that it mainly depends on uncertainty of efficiency and recovery determination, uncertainty of activities determination for both isotopes and level of background radiation. Portion of each in combined uncertainty depend on level of activity of each isotope and its activity ratio.

ANALIZA STABILNOSTI SUSTAVA ZA PRIPREMU I MJERENJE ^3H I ^{14}C

Ines Krajcar Bronić, Jadranka Barešić, Andreja Sironić i Nada Horvatinčić
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
krajcar@irb.hr, jbaresic@irb.hr

UVOD

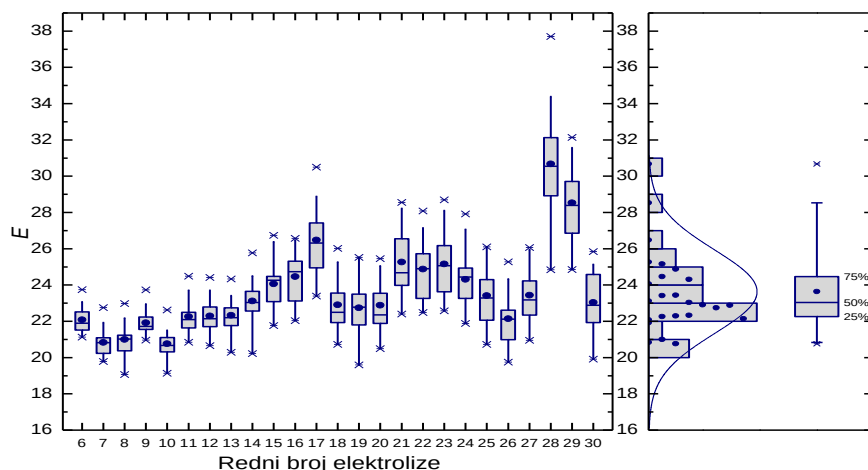
U Laboratoriju za mjerenje niskih radioaktivnosti Instituta Ruđer Bošković provode se mjerenja koncentracije aktivnosti tricija (^3H) u vodama metodom elektrolitičkog obogaćenja vode tricijem i mjerenjem u tekućinskom scintilacijskom brojaču LSC Quantulus 1220 [1]. Specifična aktivnost ^{14}C uzoraka ($a^{14}\text{C}$) određuje se tehnikom pripreme benzena (LSC-B) i mjerenjem u LSC-u [2-4]. Razvijena je tehnika pripreme grafita iz uzoraka za mjerenje ^{14}C akceleratorском spektrometrijom masa (AMS) [5-7].

U ovom radu prikazat ćemo rezultate praćenja stabilnosti navedenih postupaka pripreme i mjerenja putem nekih karakterističnih parametara.

ELEKTROLIZA VODE I MJERENJE AKTIVNOSTI ^3H

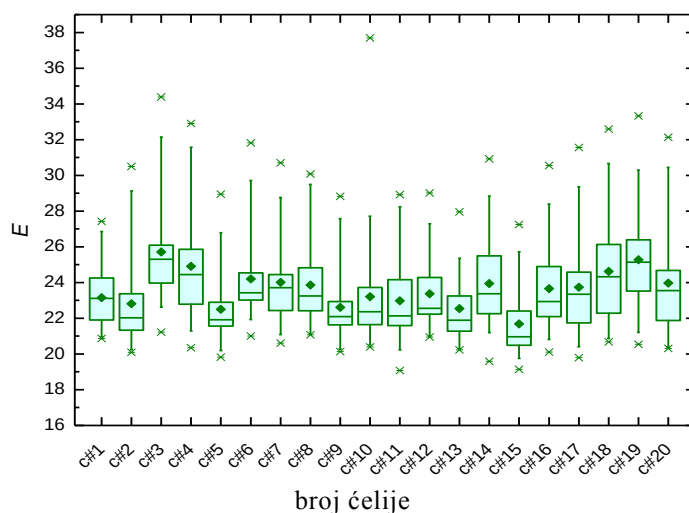
Uređaj za elektrolitičko obogaćenje vode tricijem sastoji se od 20 ćelija volumena 500 mL i detaljno je opisan u [1]. Za jedan postupak elektrolize troši se 1420 Ah tijekom 8 dana, a početni volumen uzorka od 500 mL se pritom smanji do (18 ± 1) mL. Na temelju početne i konačne mase uzorka, te odbroja "spike" uzoraka ^3H prije i poslije elektrolize, određuju se faktor obogaćenja E [1].

Do sada je provedeno ukupno 30 elektroliza. Sustav je stabiliziran nakon prvih 5 postupaka [1]. Na Slici 1 prikazan je faktor obogaćenja E u pojedinim ćelijama nakon stabilizacije sustava, tj. za elektrolize od broja 6 do 30. Pojedine ćelije unutar jedne elektrolize daju različita obogaćenja. Tako se npr. vrijednosti E za pojedine ćelije u elektrolizi 7 kreću između 19,8 i 22,7, a u elektrolizi 28 između 24,8 i 37,7. Srednje vrijednosti E u pojedinim elektrolizama prikazane su histogramom i pravokutnim dijagramom (Slika 1, desno) i kreću se od 20,7 (elektroliza 10) do 30,7 (elektroliza 28). Srednja vrijednost svih vrijednosti E u elektrolizama 6 – 30 iznosi $23,6 \pm 2,3$, a median je 23,0. U elektrolizama 28 i 29 dobiveni su izrazito visoki faktori obogaćenja (>28 , s ekstremno visokom vrijednošću 37,7 u elektrolizi 28), iako su svi uvjeti bili jednaki.



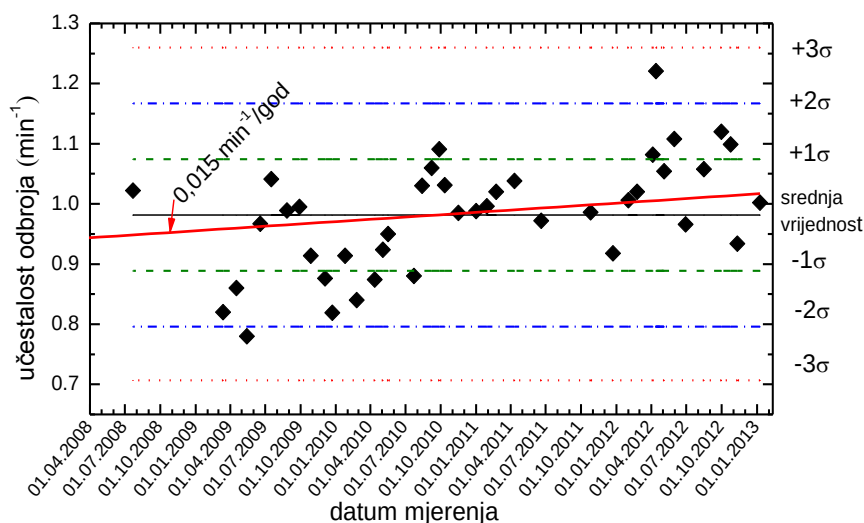
Slika 1. Statistička analiza faktora obogaćenja E u pojedinim ćelijama za elektrolize od broja 6 do broja 30, te raspodjela srednjih vrijednosti E .

Kako bismo provjerili postoje li sustavne razlike između pojedinih ćelija, napravljena je statistička analiza vrijednosti E u svakoj ćeliji tijekom svih elektroliza 6 – 30 (Slika 2). Iako svaka ćelija pokazuje neki raspon vrijednosti E (sukladno Slici 1), vidljivo je da je srednja vrijednost E najviša u ćeliji 3 i iznosi $25,7 \pm 2,9$ (raspon od 21,2 do 34,4). Ćelija 10 daje najnižu srednju vrijednost E , $21,7 \pm 2,0$ (raspon od 19,1 do 27,2). Najviša pojedinačna vrijednost E izmjerena je u ćeliji 10 u elektrolizi broj 28 (Slike 1,2).



Slika 2. Statistička analiza faktora obogaćenja E pojedinih ćelija za elektrolizu.

Stabilnost mjerenja u LSC prati se preko učestalosti odbroja uzorka vode koja ne sadrži tricij (*background*). Odbroji *backgrounda* sa srednjom vrijednošću $0,98 \pm 0,09 \text{ min}^{-1}$ (Slika 3) pokazuju trend porasta od $0,015 \text{ min}^{-1}$ godišnje. Srednje vrijednosti odbroja *backgrounda* iznose $0,906 \pm 0,088$ u 2009., $0,962 \pm 0,083$ u 2010., $0,988 \pm 0,038$ u 2011. i $1,060 \pm 0,079$ u 2012. Kalibracijski faktor, tj. omjer poznate koncentracije aktivnosti ^3H referentnog standarda i njegove učestalosti odbroja je stabilan sa srednjom vrijednošću $71,1 \pm 3,1 \text{ TU min}^{-1}$ ($1 \text{ TU} = 0,112 \text{ Bq L}^{-1}$).

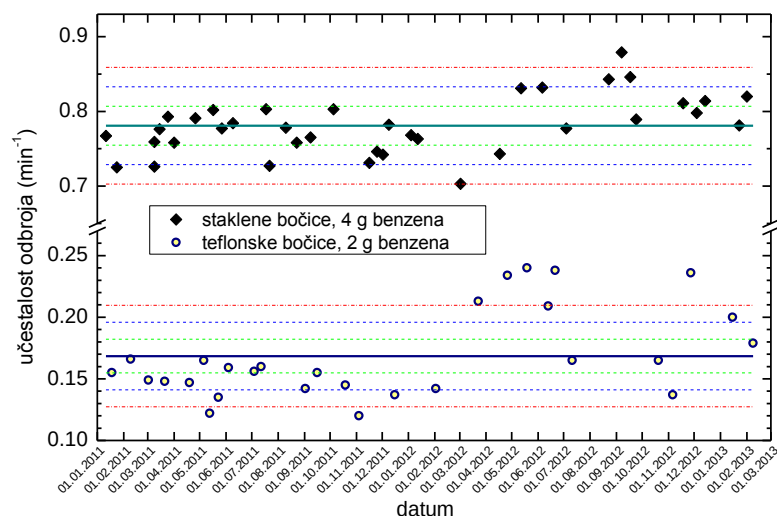


Slika 3. Učestalost odbroja uzorka vode bez tricija (*background*) za razdoblje 2008. – 2012. i pravac linearne regresije nagiba $0,015 \text{ min}^{-1}/\text{god}$

MJERENJE ^{14}C METODOM LSC-B

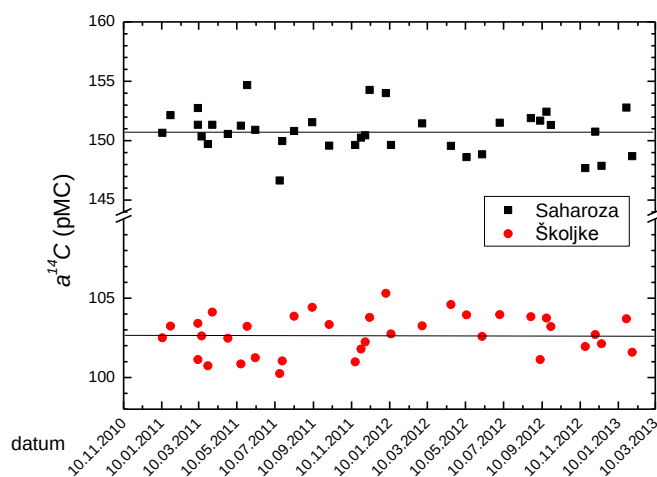
Različiti uzorci za mjerenje aktivnosti ^{14}C prevode se u benzen. Ovisno o količini dobivenog benzena uzorci se mjere u staklenim bočicama ukupnog volumena 7 mL koje se pune s 4 g benzena ili u teflonskim bočicama volumena 3 mL koje se pune s 2 g benzena [2-4].

Stabilnost sustava za mjerenje prati se odbrojima *background* uzoraka i kontrolnim uzorcima poznate ^{14}C aktivnosti. Slika 4 prikazuje odbroje *background* uzoraka (antracit) u dvije vrste bočica. Opažamo da je tijekom 2012. godine učestalost odbroja viša nego u 2011. godini. Prosječne vrijednosti odbroja *backgrounda* u staklenim bočicama su $0,766 \pm 0,026$ u 2011. i $0,800 \pm 0,044$ u 2012., a u teflonskim bočicama $0,148 \pm 0,014$ u 2011. i $0,196 \pm 0,038$ u 2012. godini.



Slika 4. Učestalost odbroja uzoraka bez ^{14}C aktivnosti (*background*) pripremljenih u obliku benzena i mjerenih u dvije vrste bočica. Pune linije – srednje vrijednosti, crtkane linije $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ i $\pm 3\sigma$.

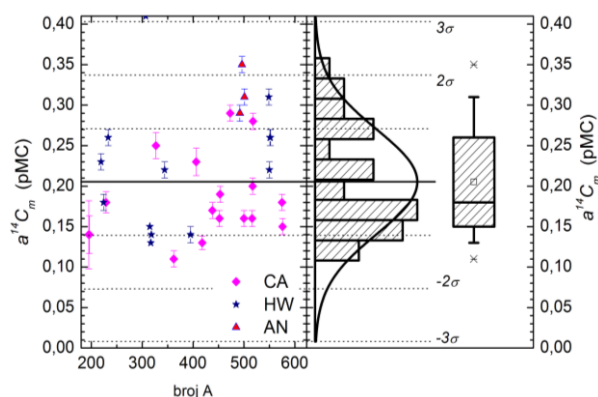
Aktivnost ^{14}C kontrolnih uzoraka (školjke i saharoza, u staklenim bočicama) tijekom posljednje dvije godine prikazana je na Slici 5. Srednja vrijednost izmjerenih vrijednosti $a^{14}\text{C}$ za saharoza je $150,7 \pm 1,8$ pMC, što se vrlo dobro slaže s pravom $a^{14}\text{C}$ vrijednošću tog uzorka od 150,6 pMC [8]. Srednja vrijednost $a^{14}\text{C}$ za školjke iznosi $102,7 \pm 1,3$ pMC, a pojedinačne se vrijednosti kreću u rasponu od 100,2 pMC do 105,3 pMC, median je 102,7.



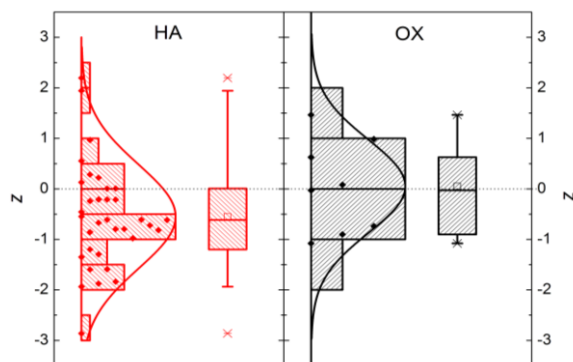
Slika 5. ^{14}C aktivnost kontrolnih uzoraka (saharoza i školjke)

MJERENJE ^{14}C METODOM AMS

Tehnika AMS se koristi za mjerenje ^{14}C aktivnosti uzoraka mase <100 mg, a iz uzorka se priprema 1,5 mg grafita. Izmjerene aktivnosti ($a^{14}\text{C}_m$) raznih vrsta *background* uzoraka (antracit AN, tzv. „Heidelberg“ drvo HW, mramor Carrara CA) pokazuju stabilnost postupka pripreme grafita (Slika 6). Za određivanje ^{14}C aktivnosti se kao referentni standard koristi oksalna kiselina (NIST SRM4990C, oznaka OX), a kao kontrolni uzorak humusna kiselina (HA, uzorak T iz međunarodne interkomparacije [7]). Na Slici 7 prikazane su vrijednosti $z = (a^{14}\text{C}_{\text{IRB}} - a^{14}\text{C})/\sigma_{\text{IRB}}$ za OX i HA. Vrijednosti z za uzorke OX simetrično su raspodijeljene oko $z = 0$ i sve se nalaze unutar granica ± 2 , a srednja vrijednost i median su vrlo bliski vrijednosti 0, što znači da je $a^{14}\text{C}_{\text{IRB}}$ vrijednost bliska pravoj vrijednosti $a^{14}\text{C} = 134,07$ pMC. Vrijednosti z za uzorak HA se većinom nalaze u području $z < 0$, a srednja vrijednost je $z = -0,5$, što znači da su $a^{14}\text{C}_{\text{IRB}}$ vrijednosti u prosjeku za $0,5 \sigma_{\text{IRB}}$ niže od prave vrijednosti $a^{14}\text{C} = 65,82 \pm 0,03$ pMC [7].



Slika 6. Izmjerene vrijednosti $a^{14}\text{C}_m$ za grafite pripremljene iz uzoraka koji ne sadrže ^{14}C , HW, AN i CA, s histogramom raspodjele i pravokutnim dijagramom. Puna linija – srednja vrijednost, crtkane linije $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ i $\pm 3\sigma$. Broj A je redni broj pripreme grafita.



Slika 7. Histogrami z -vrijednosti za grafite pripremljene od standarda OX i kontrolnog uzorka HA.

$$z = (a^{14}\text{C}_{\text{IRB}} - a^{14}\text{C})/\sigma_{\text{IRB}}$$

ZAKLJUČAK

Prikazana analiza karakterističnih parametara za postupke pripreme i mjerenja aktivnosti ^3H i ^{14}C poslužit će za daljnje poboljšanje sustava kontrole kvalitete u laboratoriju, kao i točnosti i preciznosti mjerenja. Omogućit će se također i pravovremeno djelovanje u slučaju odstupanja od uobičajenih vrijednosti. Razlozi porasta odbroja backgrounda i sustavno niže vrijednosti $a^{14}\text{C}$ uzorka HA pokušat će se odrediti nizom testova.

Zahvala. Rad je izrađen uz okviru projekta MZOS 098-0982709-2741.

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] Barešić J, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka u obliku benzena u tekućinskom scintilacijskom brojaču. U: Garaj-Vrhovac V, Kopjar N, Miljanić S, ur. Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 18.-20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2005. str. 158-163.
- [3] 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.
- [4] Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Obelić B. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. Applied Radiation and Isotopes 2009;67:800-804.
- [5] Sironić A, Horvatinčić N, Krajcar Bronić I, Obelić B, Barešić J. Mjerenje ^{14}C aktivnosti metodom AMS – Akceleratorska masena spektrometrija. 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. 89-95.
- [6] 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. Nuclear Instruments and Methods B 2010;268:943-946.
- [7] 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. Nuclear Instruments and Methods B. 2013;294:185-8.
- [8] Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Obelić B, Bistović R. Radiocarbon intercomparison studies at the Rudjer Bošković Institute. Radiocarbon 1995; 37:805-11.

STABILITY ANALYSIS OF SYSTEMS FOR PREPARATION AND MEASUREMENT OF ^3H AND ^{14}C

*Ines Krajcar Bronić, Jadranka Barešić, Andreja Sironić and
Nada Horvatinčić*

Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia
krajcar@irb.hr, jbaresic@irb.hr

Measurements of tritium (^3H) activity concentration in water samples and ^{14}C specific activity in various types of carbon-containing samples have been performed in the Laboratory for Low-Level Measurements of the Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia. Water samples for ^3H analyses are electrolytically enriched, distilled, mixed with UltimaGold LLT scintillation cocktail and measured in Liquid Scintillation Counter (LSC) Quantulus 1220. The same LSC is used for ^{14}C activity measurement of benzene (LSC-B technique). Graphite preparation for AMS (Accelerator Mass Spectrometry) ^{14}C measurement has been also implemented. For each of the preparation and measurement techniques several parameters have been monitored and analyzed to assess the stability of the systems.

The system for electrolytic enrichment of water samples with tritium shows variations in the enrichment factor E among individual enrichment cells within a single electrolysis. The mean E value for electrolysis runs varies from 20.7 in run no. 10 to 30.7 in run no 28. The mean E value for all electrolyses (no. 6 to no. 30) is 23.6 ± 2.3 . The E values in each cell vary in different runs. The highest mean E value 25.7 ± 2.9 is obtained in cell no. 3 and the lowest 21.7 ± 2.0 in cell no. 15. Tritium background count rate shows a trend of increasing values of 0.015 min^{-1} per year.

Background count rate of benzene samples for ^{14}C activity measurement also shows an increasing trend of 0.030 min^{-1} per year in both low-potassium glass vials (7 mL volume, 4 g of benzene) and Teflon vials (5 mL volume, 2 g of benzene). Control samples (sucrose and molluscs) do not show any trend and do not differ from the true values.

Various background graphite samples for ^{14}C AMS show the stability of the preparation line and absence of contamination. The control sample of humic acid shows on average $\delta^{14}\text{C}$ values lower by $0.5 \sigma_{\text{RBI}}$ than the true value and the reason for this bias will be carefully checked in future.

SPECIFIČNOSTI INTERKOMPARACIJE NA UZORKU STIJENJA S OTOKA JABUKE

Branko Petrinc¹, Marko Šoštarić¹, Dinko Babić¹ i Benjamin Zorko²

¹Jedinica za zaštitu od zračenja,
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

²Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija

petrinc@imi.hr

UVOD

Provedeno je usporedno međulaboratorijsko gamaspektrometrijsko određivanje koncentracije aktivnosti radionuklida (interkomparacija) u površinskom uzorku stijenskog materijala s otoka Jabuke.

Uzorci su sakupljeni za vrijeme "International Scientific Cruise to Adriatic and Ionian Seas", 17-28. rujna 2007., koje je organizirala Međunarodna agencija za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) u okviru regionalnog TC projekta RER/7/003 "*Marine Environmental Assessment of the Mediterranean Region*". Uzorak stijenskog materijala ima specifična svojstva koja se posljedično prenose i na gamaspektrometrijsko mjerenje, za razliku od uzoraka vode i hrane ili sedimenata koji se u pravilu koriste za interkomparaciju, a to su prvenstveno njegova gustoća i prirodna radioaktivnost.

MATERIJAL I METODE

Jabuka je udaljen i nenaseljen srednjojadranski otok, visine 97 m i površine 0,02 km² [1]. Smješten je 50 km zapadno od otoka Visa. Jedinstvenog je stožastog oblika, a obala je strma i teško dostupna pa je na nju moguće doći jedino kada je more mirno. Jabuka se sastoji od magnetita i cijela je magmatskog podrijetla. Na otoku Jabuci bilo je potrebno odlomiti komade stijene. Uzorci su nakon toga osušeni u sušioniku na 80 °C do konstantne mase. Nakon sušenja uzorci su samljeveni u specijalnom geološkom mlinu do veličine zrna od 2 mm [2,3]. Uzorci za gamaspektrometrijsku analizu spremljeni su u geometrije mjerenja i ostavljeni na čekanju kako bi se osigurala ravnoteža unutar torijevog i uranijevog niza prirodnih radionuklida.

Gamaspektrometrijski sustav temelji se na High-Purity Germanium Coaxial Photon Detector System ORTEC HPGe detektoru (FWHM 2.24

keV na 1,33 MeV ^{60}Co s relativnom učinkovitosti od 74,2% na 1,33 MeV ^{60}Co), spojenim s višekanalnim analizatorom i korištenim za analizu uzoraka tla, šljunka i kamenja [4]. Detektor je zaštićen s 10 cm olova i unutrašnjom stjenkom od dvomilimetarske bakrene folije te dvomilimetarske folije kadmija. Kalibracija energije i efikasnosti gamaspektrometra učinjena je uz pomoć kalibracijskih izvora Češkog metrološkog instituta koji pokrivaju energije između 40 i 2500 keV.

Osiguranje kvalitete provodi se sukladno zahtjevima metode akreditirane po normi HRN EN ISO/IEC 17025 [5] sudjelovanjem u međunarodnim interkomparacijskim i interkalibracijskim programima u organizaciji IAEA, Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Zajedničkog istraživačkog centra (JRC). Vrijeme mjerenja bilo je minimalno 80 000 sekundi, a računalni program za analizu bio je GammaVision [6].

REZULTATI

U Tablici 1 prikazane su izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{238}U , ^{235}U i ^{210}Pb u cilindričnoj geometriji od 100 ml i u Marinelli posudi od 1 l.

Tablica 1. Koncentracija aktivnosti u uzorku stijena s otoka Jabuke

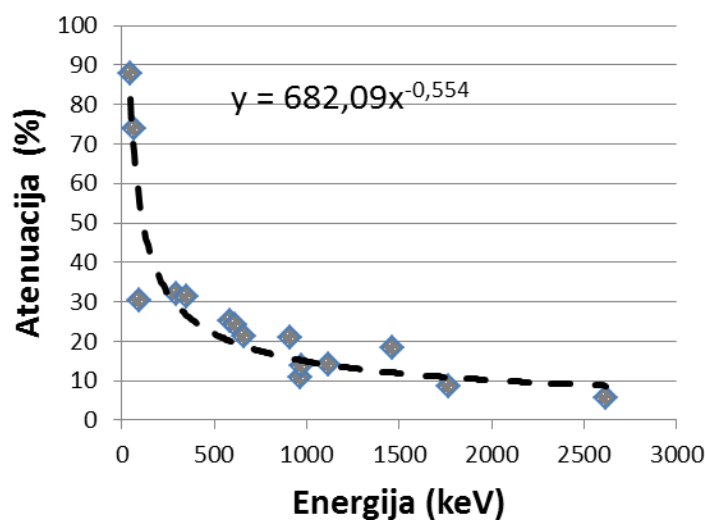
Radionuklid	Koncentracija aktivnosti / Bqkg^{-1}
^{238}U	$(2,86 \pm 0,03)\text{E}+1$
^{235}U	$(1,05 \pm 0,03)\text{E}+0$
^{232}Th	$(1,97 \pm 0,01)\text{E}+1$
^{226}Ra	$(1,27 \pm 0,01)\text{E}+1$
^{228}Ra	$(1,97 \pm 0,01)\text{E}+1$
^{40}K	$(2,77 \pm 0,01)\text{E}+2$
^{137}Cs	$(3,70 \pm 0,10)\text{E}-1$
^{210}Pb	$(1,76 \pm 0,03)\text{E}+1$

Kao što je bilo i očekivano, koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida bile su povišene u odnosu na koncentracije aktivnosti na lokacijama na kojima se provodi monitoring radioaktivnosti u tlu [7,8].

Gustoća mjenog uzorka bila je 2120 kg m^{-3} . Kako je kalibracija efikasnosti detektora provedena sa standardima radionuklida otopljenih u vodi, bilo je potrebno provesti korekciju za atenuaciju u uzorku. Mjerene su brzine brojanja impulsa I za stvarni uzorak i I_0 za uzorak destilirane vode. Atenuacijski faktori dobiveni su eksperimentalno za svaku pojedinu energiju karakteristične gama zrake radionuklida od interesa pomoću izraza (1) [9].

$$F_{att} = -\frac{\ln \frac{I}{I_0}}{1 - \frac{I}{I_0}} \quad (1)$$

Na Slici 1 prikazana je ovisnost atenuacije o energiji za uzorak stijena s otoka Jabuke. Iz slike je vidljivo da je atenuacija najveća za niže energije i da je vidljiva jasna funkcijska ovisnost atenuacije o energiji.



Slika 1. Ovisnost atenuacije o energiji za uzorak stijena s otoka Jabuke

U Tablici 2 prikazane su vrijednosti aktivnosti na pojedinim energijama prije i poslije provedene korekcije na atenuaciju. Vidljiva je razlika vrijednosti aktivnosti u uzorku za pojedini radionuklid na energijama karakterističnih gama zraka s korekcijom za atenuaciju (izraz 1) i bez nje.

Tablica 2. Aktivnosti radionuklida na karakterističnim energijama bez i s provedenom korekcijom za atenuaciju (izraz 1) u uzorku

radionuklid	E (keV)	$A_{bez\ korekcije}$ (Bq)	$A_s\ korekcijom$ (Bq)
^{40}K	1460,75	43,85	47,71
^{137}Cs	661,72	0,053	0,061
$^{232}\text{Th}, ^{228}\text{Ra}$ (^{228}Ac)	911,07	2,88	3,21
	964,6	3,09	3,43
	968,9	3,38	3,76
^{228}Tl	583,14	1,10	1,26
	2614,47	1,02	1,08
^{238}U (^{234}Th)	63,29	2,16	3,80
	92,80	3,07	4,68
^{226}Ra (^{214}Bi)	609,32	2,06	2,36
	1120,28	2,44	2,68
	1764,51	3,29	3,56
^{214}Pb	295,22	2,46	3,00
	351,99	2,33	2,79
^{210}Pb	46,52	2,17	4,65
^{235}U	185,72	0,134	0,175

ZAKLJUČAK

Posebna pozornost posvećena je osiguranju kvalitete kod laboratorijskih gamaspektrometrijskih mjerenja. Unesena su poboljšanja u radni postupak za određivanje koncentracije aktivnosti radionuklida u uzorcima tla. Poboljšana je metoda za određivanje atenuacijskog faktora u uzorcima sedimenata. Određen je atenuacijski faktor koji se mijenja ovisno o gustoći uzorka.

Zahvala

Ovaj rad načinjen je u okviru projekata MZOS "Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja" (022-0222882-2335) i "Radioekologija Jadranskoga mora i priobalja" (022-0222882-2823).

LITERATURA

- [1] Duplančić Leder T, Ujević T, Čala M. Coastline lengths and Areas of islands in the Croatian Part of the Adriatic Sea Determined from the Topographic Maps at the Scale of 1:25000. *Geoadria* 2004;9/1:5-32.
- [2] Harley J J. HASL Procedures Manual. USAEC Report HASL-300. 1970.
- [3] Petrinc B, Franić Z, Bituh T, Babić D. Quality assurance in gamma-ray spectrometry of seabed sediments. *Arh Hig Rada Toksikol* 2011;62:17-23.
- [4] IAEA, International Atomic Energy Agency. The use of gamma ray data to define the natural radiation environment. IAEA-TECDOC-566. Vienna. 1990.
- [5] Croatian Accreditation Agency, Registry of Accreditations. Accessible at: http://www.akreditacija.hr/akreditacija/files/read.php?re=5139__akredFile&wr=1288 Retrieved on 2011-07-20. (2011). <http://www.akreditacija.hr/registar>
- [6] GammaVision®-32. A66-B32: gamma-ray spectrum analysis and MCA emulator for Microsoft® Windows® 95,98,2000 and NT®. (Computer software). Version 5.3. Oak Ridge: ORTEC®; 2001.
- [7] Petrinc B, Franić Z, Leder N, Tsabaris C, Bituh T, Marović G. Gamma radiation and dose rate investigations on the Adriatic islands of magmatic origin. *Radiat Prot Dosim* 2010;4:551-559.
- [8] Marović G, Bituh T, Franić Z, Gospodarić I, Kovač J, Lokobauer N, Maračić M, Petrinc B, Senčar J. Results of environmental radioactivity measurements in the Republic of Croatia, annual reports 1998–2008. Institute for Medical Research and Occupational Health. Zagreb. (1999–2009).
- [9] Cutshall I, Larsen I L, Olsen C R. Direct analysis of ²¹⁰Pb in sediment samples: Self-absorption corrections. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 1983;206/1:309-312.

SPECIFICITIES OF AN INTERCOMPARISON ON A ROCK SAMPLE FROM THE ISLAND OF JABUKA

Branko Petrinc¹, Marko Šoštarić¹, Dinko Babić¹ and Benjamin Zorko²

¹Radiation Protection Unit,

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

²Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

petrinc@imi.hr

We carried out an interlaboratory comparison in gamaspectrometric determination of the radionuclide activity concentrations in a sample of superficial rocks from the island of Jabuka.

Samples in a cylindrical 100 ml geometry and in a 1 l Marinelli beakers were used to measure the activity concentrations of ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²³⁸U, ²³⁵U, and ²¹⁰Pb.

The rock sample has specific characteristic when compared with samples of water, food, or sediments, which are usually used in intercomparisons, and this consequently affects its use in gammaspectrometry.

Therefore, we especially paid attention to sample preparation. The material was homogenised by grinding in a geological mill down to the grain size of 2 mm, and subsequently it rested in order to obtain equilibrium of naturally occurring radionuclides.

In addition to exhibiting enhanced natural radioactivity, this sample was special by its high density which significantly influenced the attenuation of gamma radiation, hence imposing the necessity of correcting measured activity concentrations. These corrections were especially important at low energies (below 100 keV), i.e., for gamma rays emitted by ²¹⁰Pb and ²³⁴Th.

DETECTOR BACKGROUND REDUCTION BY PASSIVE AND ACTIVE SHIELDING

*Dušan Mrđa, Ištvan Bikit, Jaroslav Slivka, Nataša Todorović,
Sofija Forkapić, Kristina Bikit and Jovana Nikolov*
Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia
mradjad@df.uns.ac.rs sofija@df.uns.ac.rs

INTRODUCTION

The background spectrum of Ge-detectors is composed of the following components: environmental gamma radiation, radioactivity in the detector construction material, radio impurity in the shielding material, cosmic rays: nucleons, muons and activation products, radon and its progenies, neutrons from natural radioactivity (fission and (α, n) reactions). The background reduction of Ge detectors is of fundamental significance for the detection of rare nuclear decays like the neutrinoless double beta decay [1]. When the cosmic ray induced background becomes predominant, it can be suppressed by installing the spectrometer deep underground [2,3]. Otherwise, the active shield method with veto detectors around the passive shield and coincidence electronics is the only alternative technique. The main goal of these systems is to eliminate the (mainly cosmic muon induced) background without loss of events from sample. Many researchers have described their active shield techniques [4-6], not mentioning the task of sample count losses and the timing set up. Moreover, for similar experimental configurations [6,7] very different background reduction factors (5 and 1.4 respectively) are reported.

In the present paper we describe the first test of our ground based actively shielded extended range low level gamma spectrometer emphasizing the anticoincidence timing details which are unavoidable for the proper operation of the system.

MEASUREMENT METHOD

The germanium detector was the low background extended range (GMX) closed-end coaxial p-type, made by ORTEC corp. in a J type cryostat. The nominal relative efficiency is 36 %, and due to the thin surface dead layer and the Be window it has a good efficiency even at 10 keV. The

chamber inside the passive shield was flushed by nitrogen evaporating from the Dewar vessel. The passive shielding is made of 120 mm thick low-active lead (Figure 1). The ^{210}Pb content of the lead shield is measured [8] to be 25 ± 5 Bq/kg. Monte-Carlo calculations by the "Photon" code [9] have been performed in order to select the most appropriate material and the optimal thickness for the inner lining. It is found that Sn is more appropriate than the most frequently used Cd due to low probability of neutron capture.

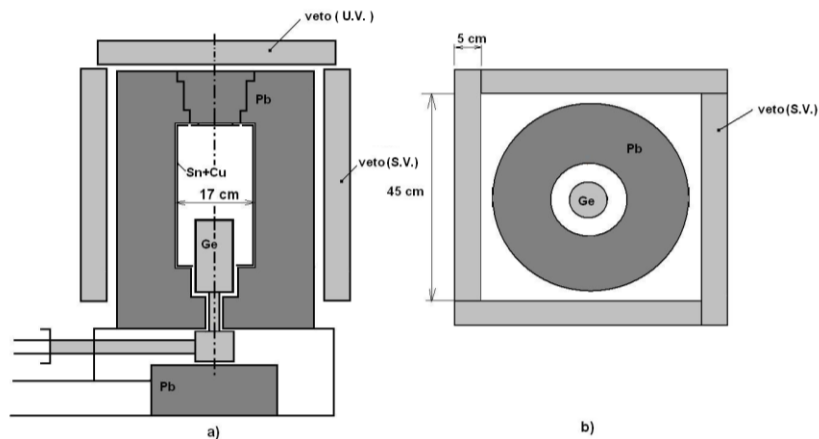


Figure 1. Vertical cross section (a) and horizontal cross section (b) of the passive and active shield

The integral count rate of the passively shielded detector in the energy range of 50 – 1800 keV is 0.9 c/s. This is a very good value for the ground based passive shield. Plastic scintillator detectors made by SCIONIX were arranged to surround the top and four sides of lead shielding. The active shielding consists of 5 plastic scintillators ($0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$). The most probable dE/dx value for the cosmic muons in such a detector is about 10 MeV, which is sufficient to separate the pulses from cosmic radiation and environmental background (which ends at 2.6 MeV). The cosmic rays and environmental gammas interacting both with the veto detector and the Ge detector produce coincident pulses which will reject the appropriate GMX event by an anti-coincidence circuit [10].

RESULTS

If we compare the background spectra obtained with and without using the active shielding devices (Figure 2) the suppressing of 511 keV line intensity can be clearly noted. The most annihilation events caused by the

cosmic muons are eliminated by the antimuon shield. The reduction of the continuum at low energies is pronounced (larger total number of coincidence events is rejected in the low-energy part of spectrum than in the high energy part, due to higher efficiency detection of Ge detector at lower energies).

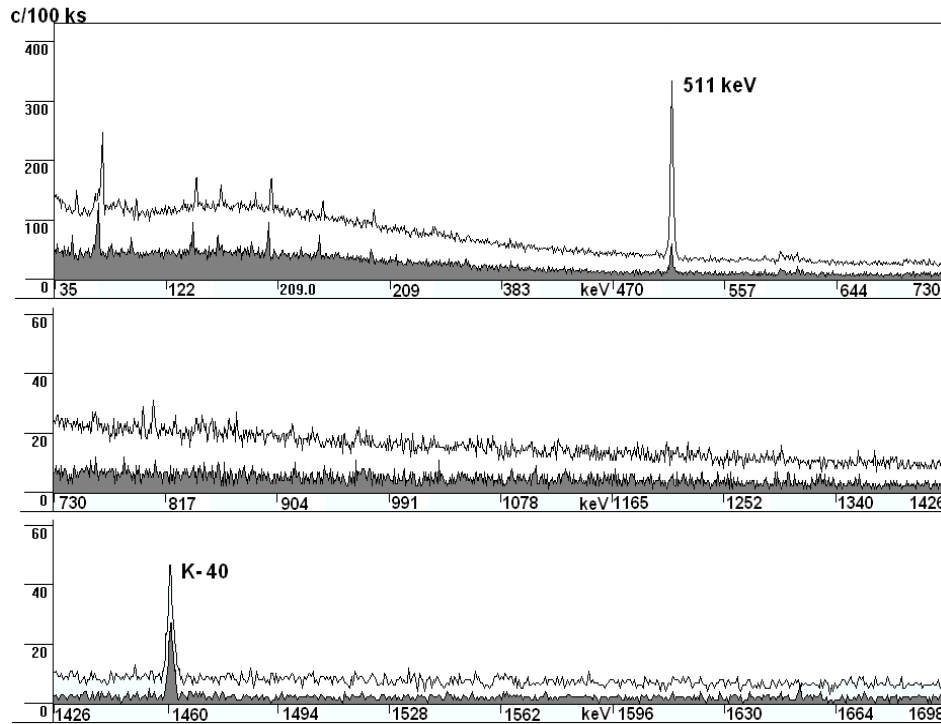


Figure 2. The background spectra obtained with and without using the active shielding devices: upper (white) – without active shield, and lower (grey) - with active shield

The detection limit of this system is presented in Figure 3. For the source dimensions $\Phi = 67$ mm, $h = 62$ mm and $p\gamma=1$ (gamma ray emission probability), the limits were calculated using the formula [11]:

$$A_L = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{R_B \cdot t}}{\varepsilon \cdot t} \quad (1)$$

where R_B is the background count rate, ε is detection efficiency and t is the measurement time.

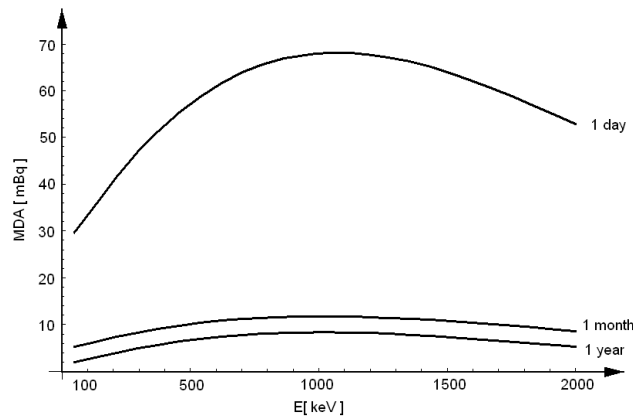


Figure 3. Detection limits calculated using (1)

We tested count loss of our gamma spectroscopy system by the cylindrical sample of river sediment ($m = 172$ g, $h = 31$ mm, $d = 67$ mm) in contact geometry with Ge detector. The activity concentration of radio nuclides in the sediment are the following: $A(^{40}\text{K}) = 240 \pm 10$ Bq/kg, $A(^{232}\text{Th}) = 12.0 \pm 1.2$ Bq/kg, $A(^{226}\text{Ra}) = 11.7 \pm 0.6$ Bq/kg, $A(^{137}\text{Cs}) = 3.1 \pm 0.5$ Bq/kg. The total count rate with this sample was 2200 c/ks. From low level gamma spectroscopy point of view, this sample represents relatively strong source, suitable for testing of count loss during measurements of typical environmental samples. The comparison of count rates between gated and non-gated Ge gamma spectra of the sample is presented in Table 1.

Table 1. The comparison of sample count rates, with and without active shield

Energy [keV]	Intensity [c/s] $\times 10^{-3}$ (with active veto)	Intensity [c/s] $\times 10^{-3}$ (without active veto)	Count loss [%]
238.6	26.8 ± 0.6	32.7 ± 1.7	18
351.9	13.6 ± 0.5	16.6 ± 1.3	18
609.3	10.4 ± 0.4	12.1 ± 1.2	14
661.7	4.15 ± 0.35	4.8 ± 0.9	14
1460.8	28.0 ± 0.5	35.0 ± 1.4	20

CONCLUSION

We developed an ultra-low-level background germanium spectrometer using active and passive shielding. The cosmic-ray-induced background is significantly suppressed by the designed active shield devices, which

consists of an array of plastic scintillators and anticoincidence electronics. The reduction of neutron lines by active shield is very small, so applying neutron absorbers inside the plastic assembly would be fully justified. For this purpose relatively thin layers of materials with high concentration of boron could be used. A good example are only 3.2 mm thick FLEX BORON silicon sheets, which contain 25 weight-percent of uniformly distributed boron with high cross section for thermal neutrons. After first tests, the most important task of our future investigations will be reduction of count losses to negligible level and finding of their causes. Our test showed that real count losses in measurements with active shields should be checked by a sample.

Acknowledgment

The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia, within the projects (No171002 and No43002).

REFERENCES

- [1] Klapdor-Kleingrothaus H V, Deitz A, Krivosheina I V. *Found of Phys* 2002;32:1181.
- [2] Hamajima Y, Komura K. *Appl Radiat Isot* 2004;61:185.
- [3] Hamajima Y, Komura K. *Appl Radiat Isot* 2004;61:179.
- [4] Byun J I, Choi Y H, Kwak S I, Hwang H Y, Chung K H, Choi G S, Park D W, Chang W L. *Appl Radiat Isot* 2003;58:579.
- [5] Povinec P P, Commanducci J-F, Levy-Palomo I. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2005;263:441.
- [6] Pointurier F, Laurec J, Blanchard X, Adam A. *Appl Radiat Isot* 1996;47:1043.
- [7] Hurtado S, Garcia-Leon M, Garcia-Tenorio R. *Appl Radiat Isot* 2006;64:1006.
- [8] Slivka J, Mrdja D, Varga E, Vesković M. In: Milošević M, Jakšić Z, Božić D, Potkonjak V, eds. *Proceedings of the 49th Conference of ETRAN, Budva, Serbia and Montenegro 2005*. Belgrade:2005. p. 56
- [9] Puzovic J, Anicin I. *Nucl Instr and Meth in Phys Res A* 1998;414:279.
- [10] Heusser G. 1994. Background in ionizing radiation detection – illustrated by Ge-spectrometry, *Proceedings, World Scientific Singapore*, pp. 16-28.
- [11] Gilmore G, Hemingway J. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*, John Wiley & Sons, Chichester, England. 1995. p. 122, 237. ISBN 0471 95150 1.

DETECTOR BACKGROUND REDUCTION BY PASSIVE AND ACTIVE SHIELDING

*Dušan Mrđa, Ištvan Bikit, Jaroslav Slivka, Nataša Todorović,
Sofija Forkapić, Kristina Bikit and Jovana Nikolov*
Department of Physics, Faculty of Science, University of Novi Sad,
Novi Sad, Serbia
mradjad@df.uns.ac.rs sofija@df.uns.ac.rs

The operational problems of the gamma ray spectrometer shielded passively with 12 cm of lead and actively by five $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.05\text{ m}$ plastic veto shields are described. The active shielding effect from both environmental gamma ray, cosmic muons and neutrons was investigated. For anticoincidence gating wide range of scintillator pulses, corresponding to the energy range of 150 keV–75 MeV, were used. With the optimal set up the integral background, for the energy region of 50 – 3000 keV, of 0.31 c/s was achieved. The detector mass related background was 0.345 c/(kg s). The 511 keV annihilation line was reduced by the factor of 7 by the anticoincidence gate. It is shown that the plastic shields increase the neutron capture gamma line intensities due to neutron thermalization.

KOMPARATIVNA ANALIZA METODA ZA KALIBRACIJU EFIKASNOSTI POLUPROVODNIČKOG GAMA SPEKTROMETRA

*Mirjana Đurašević, Aleksandar Kandić, Ivana Vukanac, Bojan Šešlak i
Zoran Milošević*

Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Srbija
mirad@vinca.rs

UVOD

Merenja u gama spektrometriji podrazumevaju primenu relativne metode koja obuhvata pripremu kalibracionog standarda poznate aktivnosti. Kalibracioni standardi nam omogućavaju da odredimo efikasnost detektorskog sistema. Efikasnost se definiše kao broj događaja registrovanih u detektoru u odnosu na broj emitovanih gama fotona i zavisi od energije gama zračenja, karakteristika detektora, geometrije merenja, gustine matriksa uzorka, itd.

Da bi rezultati merenja bili pouzdani i tačni neophodno je da se uzorak i standard mere u istoj geometriji i da su gustine i hemijski sastavi matriksa standarda i matriksa uzorka što približniji [1]. U većini slučajeva to nije moguće postići, što dodatno povećava mernu nesigurnost rezultata merenja.

Kalibracija poluprovodničkog HPGe spektrometra u Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku vrši se pomoću radnih standarda napravljenih u samoj laboratoriji korišćenjem sertifikovanog radioaktivnog rastvora različitih radionuklida.

Jedna od mogućnosti provere pouzdanosti tako dobijene kalibracije efikasnosti detektorskog sistema je učešće na interkomparativnim merenjima i međulaboratorijskim poređenjima organizovanim od strane renomiranih međunarodnih institucija (IAEA, IRMM...). Pored toga, sve više se koriste i brojni softverski paketi čija se numerička analiza zasniva na principu Monte Carlo simulacije, kao što je na primer EFFTRAN.

Cilj ovog rada je da se eksperimentalno dobijena kriva efikasnosti proverí primenom softvera EFFTRAN (*A Monte Carlo efficiencu transfer code for gamma-ray spectrometry*) [2]. Prikazani su rezultati dobijeni za standard vode.

MATERIJAL I METODE

U Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku duži niz godina se pripremaju radni standardi za radioaktivnost. Prvi standardi pripremljeni su 2005. godine i to standardi mineralizovane trave, mleka u prahu, zemlje, peska i vode korišćenjem sertifikovanog radioaktivnog rastvora različitih radionuklida (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{203}Hg , ^{113}Sn , ^{85}Sr i ^{88}Y), nabavljenog od Češkog Metrološkog Instituta (ČMI), kao i standard zemlje spajkovani sa standardnim rastvorom ^{152}Eu [3].

Novi standardi pripremljeni su 2012. godine korišćenjem sertifikovanog radioaktivnog rastvora nabavljenog od ČMI [4]. Matriksi za standarde (mineralizovana trava, aktivni ugalj, zemlja, pesak i voda) birani su tako da pokriju što širi opseg gustina matriksa (od $0,23 \text{ g/cm}^3$ do $1,6 \text{ g/cm}^3$). Matriksi su spajkovani po proceduri prikazanoj u radu Taskaeva *et al.* [5]. Svi standardi smešteni su u PVC kutijice zapremine 120 cm^3 , a standard vode u PVC flašicu zapremine 120 ml .

Ovako pripremljeni standardi korišćeni su za potrebe kalibracije efikasnosti poluprovodničkog HPGe spektrometra. Na osnovu eksperimentalno dobijenih spektara određene su krive efikasnosti za svaki od navedenih standarda.

Softver EFFTRAN je program koji koristi numeričke metode zasnovane na Monte Carlo simulaciji u cilju određivanja efikasnosti [2]. Primenom ovog softvera moguće je odrediti efikasnost detekcije za uzorke koji se razlikuju od standarda po geometriji merenja, gustini i/ili hemijskom sastavu. Upravo ta mogućnost ovog softvera je iskorišćena u realizovanom eksperimentu. Međutim, da bi se pravilno primenio EFFTRAN neophodno je dobro poznavati geometriju detektora, kao i sve relevantne podatke u vezi sa standardom i uzorkom. Korišćenjem eksperimentalno određenih efikasnosti za standard zemlje izračunate su efikasnosti standarda vode i upoređene sa eksperimentalno dobijenim efikasnostima.

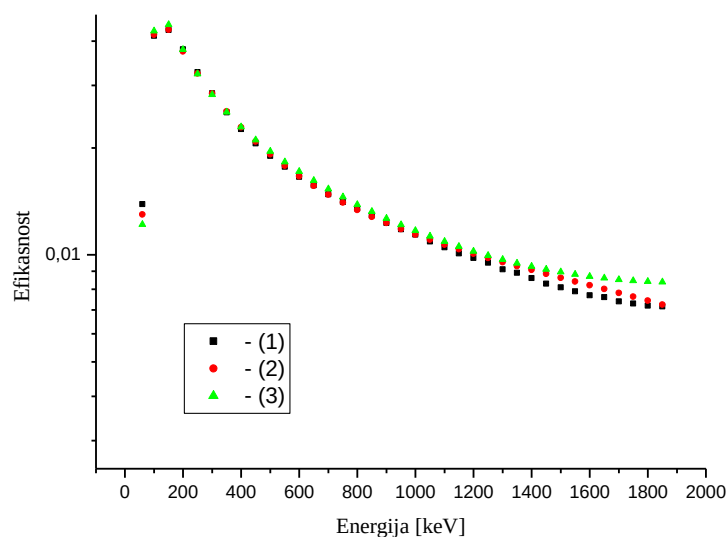
REZULTATI

Za potrebe kalibracije efikasnosti svi pripremljeni standardi mereni su u kontakt geometriji na ORTEC-ovom koaksijalnom poluprovodničkom HPGe spektrometru (rezolucija: $1,6 \text{ keV}$ i relativna efikasnost: 30% na $1332,5 \text{ keV}$). Eksperimentalno dobijeni spektri su snimljeni i obrađeni korišćenjem softvera Genie 2000, pri čemu su odbroji ispod pikova korigovani na blenk, mrtvo vreme, a gde je bilo potrebno dobijene efikasnosti korigovane su na uticaj efekta koincidentnog sumiranja [6-8].

Na osnovu eksperimentalno određenih efikasnosti za energije radionuklida koji se nalaze u sertifikovanom radioaktivnom rastvoru i fitovanjem dobijenih podataka polinomom petog reda dobijena je kalibraciona kriva u analitičkim oblikom: $\varepsilon = e^{-P(\text{Log}E)}$, pri čemu je: ε - efikasnost detekcije, E - energija, a $P(\text{Log}E)$ - polinom petog reda. Za standard vode eksperimentalno dobijena kriva efikasnosti ima oblik:

$$\varepsilon(E) = e^{-48797-30364\text{Log}^2[E]+87068\text{Log}^3[E]-14951\text{Log}^4[E]+1536\text{Log}^5[E]-0.8736\text{Log}^6[E]+0.02120\text{Log}^7[E]} E^{58777}. \quad (1)$$

Eksperimentalno dobijena kriva data jednačinom (1) prikazana je na Slici 1, zajedno sa krivama efikasnosti dobijenim primenom softvera EFFTRAN. Polazna osnova za dobijanje računski određenih kriva efikasnosti pomoću softvera EFFTRAN bile su eksperimentalno dobijene krive efikasnosti za standarde zemlje spajkovane u jednom slučaju već pomenutim sertifikovanim rastvorom, a u drugom slučaju rastvorom ^{152}Eu . Odstupanje rezultata dobijenih primenom softvera EFFTRAN od eksperimentalno dobijenih rezultata za 27 energija koje pokrivaju opseg od 60 keV do 1850 keV prikazano je u Tabeli 1.



Slika 1. Krive efikasnosti standarda vode dobijene: (1) eksperimentalno; (2) primenom softvera EFFTRAN na standard zemlje sa sertifikovanim rastvorom; (3) primenom softvera EFFTRAN na standard zemlje sa rastvorom ^{152}Eu .

Tabela 1. a) Relativno odstupanje efikasnosti dobijenih primenom softvera EFFTRAN na standard zemlje sa sertifikovanim rastvorom od eksperimentalno dobijenih efikasnosti; b) Relativno odstupanje efikasnosti dobijenih primenom softvera EFFTRAN na standard zemlje sa rastvorom ¹⁵²Eu od eksperimentalno dobijenih efikasnosti

E [keV]	a [%]	b [%]	E [keV]	a [%]	b [%]	E [keV]	a [%]	b [%]
60	6,4	14,1	600	-0,3	-3,4	1450	-6,5	-9,6
100	-0,7	-3,2	700	0,1	-3,6	1500	-6,4	-10,4
150	-0,1	-3,5	800	0,9	-2,7	1550	-6,6	-11,5
200	1,2	0,1	900	0,1	-3,0	1600	-6,7	-12,9
250	0,8	1,1	1000	-0,1	-2,6	1650	-5,4	-13,1
300	0,2	0,9	1100	-1,8	-3,8	1700	-5,6	-15,1
350	-0,6	-0,2	1200	-2,8	-4,5	1750	-4,4	-15,8
400	-1,2	-1,4	1300	-4,9	-6,7	1800	-3,2	-16,8
500	-1,1	-2,9	1400	-5,5	-7,9	1850	-1,2	-17,1

Posmatranjem rezultata prikazanih u Tabeli 1 može se uočiti prihvatljivo slaganje (do 5 %) eksperimentalnih i računski dobijenih vrednosti efikasnosti u oba slučaja (a i b) u opsegu od 100 keV do 1350 keV, što se može objasniti time da korišćeni rastvori (standardni rastvor ČMI i rastvor ¹⁵²Eu) imaju energije koje dobro pokrivaju ovaj energetski opseg.

U energetske oblasti gde nemamo definisane energije u korišćenim rastvorima, kriva efikasnosti se dobija ekstrapolacijom, što unosi veliko odstupanje u dobijenim efikasnostima (deo krive efikasnosti vode dobijen programom EFFTRAN korišćenjem standarda zemlje sa ¹⁵²Eu za energije ispod od 100 keV i iznad 1400 keV).

Nešto veće odstupanje koje nastaje na energiji 60 keV (Tabela 1 a) može se opravdati nepoznavanjem tačnih i pouzdanih podataka vezanih za geometriju samog detektora.

ZAKLJUČAK

Tačno i pouzdano određivanje koncentracije aktivnosti u gamaspektrometriji zahteva korišćenje pouzdane krive efikasnosti. U ovom radu analizirana je kriva efikasnosti standarda vode koja se koristi u Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku. Eksperimentalno dobijena kriva efikasnosti standarda vode poređena je sa krivom efikasnosti dobijenom računskom metodom primenom softvera EFFTRAN. Prikazani rezultati ukazuju na pouzdanost korišćenja napravljenog standarda vode, jer se dobijena odstupanja nalaze u prihvatljivim granicama (do 5 %). U narednom periodu u cilju eksterne provere kvaliteta, planira se i učešće u međunarodnim i nacionalnim interkomparacijama.

Zahvalnica

Rad je finansiran sredstvima Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru projekta 171018.

LITERATURA

- [1] IAEA, 1989. Measurement of Radionuclides in Food and Environment, A Guidebook. Technical Reports Series No. 295, Vienna.
- [2] Vidmar T. EFFTRAN - A Monte Carlo efficiency transfer code for gamma-ray spectrometry. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 2005;550:603-608.
- [3] Vukanac I, Djurašević M, Kandić A, Novković D, Nadjdjerdj L, Milošević Z. Experimental determination of the HPGe spectrometer efficiency curve. Applied Radiation and Isotopes 2008;66:792-795.
- [4] CMI (Czech Metrological Institute), 2012. Radioactive Standard Solutions, ER 25. ER X Prague.
- [5] Taskaeva M, Taskaev E, Penev I. On the preparation of efficiency standards for gamma-ray spectrometers. Applied Radiation and Isotopes 1996;47:981-990.
- [6] Debertin K, Schoötzig U. Bedeutung von Summationskorrekturen bei der Gammastrahlen-Spektrometrie mit Germaniumdetektoren, PTB-Bericht PTB-Ra-24. Braunschweig. 1990.ISSN:0341-6747, ISBN: 3-89429-010-2.
- [7] Novković D, Kandić A, Đurašević M, Vukanac I, Milošević Z, Nadder L. Coincidence summing of X-ray and γ -rays in γ -ray spectrometry. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 2007;578:207-217.
- [8] Lépy M-C et al (30 authors). Intercomparison of the methods for coincidence summing corrections in gamma-ray spectrometry – part II (volume sources). Applied Radiation and Isotopes 2012;70(9):2112-2118.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR EFFICIENCY CALIBRATION OF SEMICONDUCTOR GAMMA RAY SPECTROMETER

*Mirjana Đurašević, Aleksandar Kandić, Ivana Vukanac, Bojan Šešlak
and Zoran Milošević*

Laboratory for nuclear and plasma physics, Institute of Nuclear Science
"Vinča", University of Belgrade, Serbia
mirad@vinca.rs

Correctly and reliably obtained efficiency curve is necessary for accurate determination of activity concentrations. Detection efficiency is a complex function of the energy, spectrometer characteristics, measurement geometry, properties of the matrix, etc. The calibration of the semiconductor HPGe spectrometer in Laboratory for nuclear and plasma physics was performed using the self-made working radioactivity standards in different geometries and matrices. In order to cover the wide range of densities of the samples (from 0.23 g/cm^3 to 1.6 g/cm^3), the calibration standards were prepared with the following matrices: mineralized grass, activated carbon, surface soil, water and sand. The recorded spectra of standards were analyzed with GENIE 2000 software, and efficiency curves were calculated. Reliability of the obtained efficiency curves should be validated in interlaboratory comparison exercises and proficiency tests. Furthermore, experimentally obtained curve could be verified and confirmed using EFFTRAN software. Comparison of the efficiency curves obtained experimentally and by the EFFTRAN software (based on Monte Carlo efficiency transfer calculations) for one of the measuring geometry (water matrix in cylindrical PVC bottle), is presented in this paper. The presented results show reasonable agreement (up to 5%) in the energy range from 100 keV to 1350 keV.

O PRIPREMI RADNIH STANDARDA U GAMA SPEKTROMETRIJI

*Ivana Vukanac, Mirjana Đurašević, Bojan Šešlak, Aleksandar Kandić i
Zoran Milošević*

Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu,
Beograd, Srbija
vukanac@vinca.rs

UVOD

Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku Instituta „Vinča“, Laboratoriji za metrologiju radionuklida (LMR), ovlašćena je i akreditovana za gamaspektrometrijska ispitivanja sadržaja radionuklida u uzorcima različitog porekla. Da bi se obezbedila tačnost i pouzdanost rezultata merenja, a po zahtevima standarda ISO 17025, vrše se periodična interna etaloniranja HPGe poluprovodničkih spektrometara. Zbog raznovrsnosti uzoraka koji se mere kalibracija se mora izvršiti za više različitih geometrija i matriksa. U većini Laboratorija za ispitivanje radioaktivnosti, zbog specifičnosti ispitivanih uzoraka i geometrija merenja, nedostatka materijalnih sredstava i sl., uglavnom postoji problem adekvatnosti i mogućnosti nabavke komercijalno dostupnih radioaktivnih standarda i referentnih materijala. Program internog etaloniranja se u LMR sprovodi pomoću radnih standarda napravljenih u skladu sa potrebama i iskustvima proizišlim iz dugogodišnje prakse, a pouzdanost merenja proverena je uspešnim učešćem na više međunarodnih interkomparacija i PT šema. Zbog konačnog veka trajanja radioaktivnih standarda, određenog vremenima poluraspada radionuklida prisutnih u standardu, u LMR su u više navrata pripremani setovi radnih standarda pomoću standardnog rastvora miksa radionuklida gama emitera [1], a po proceduri detaljno opisanoj u literaturi [2,3]. U radu će sumarno biti prezentovana iskustva stečena tokom primene procedura pripreme radnih standarda.

MATERIJAL I METODE

Prvi korak u pripremi radnih standarda je da se, na osnovu potreba Laboratorije, odrede matriksi i geometrije za koje će se pripremati standardi. Na osnovu višegodišnjeg iskustva u ispitivanju, kao i prethodnih iskustava u pripremi standarda, odabrani su matriksi koji će „pokriti“ širi opseg gustina

uzoraka, biti odgovarajućeg hemijskog sastava i u isto vreme biti pogodni za manipulaciju tokom procesa pripreme. Odabrani matriksi bili su zemlja, voda, pesak, aktivni ugalj i žarena trava. Odabrane geometrije odgovarale su geometrijama u kojima se vrše merenja u LMR – standardi su pripremljeni u geometrijama cilindričnih PVC kutijica zapremine 120 cm³ i 250 cm³, cilindričnih PVC bočica zapremina 120 ml i 250 ml i Marineli posude zapremine 500 ml. Za spajkovanje pripremljenih matriksa korišćen je standardisan rastvor uobičajenog miksa radionuklida gama emitera: ²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁹Ce, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ²⁰³Hg, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ⁸⁸Y i ²¹⁰Pb, nabavljen od Češkog metrološkog instituta (ČMI) [1]. Kako svaki prirodni materijal sadrži određenu količinu radionuklida, za svaki od matriksa, u odabranim geometrijama napravljen je i blenk uzorak čiji se spektri uzimaju u obzir prilikom kalibracije efikasnosti detektorskog sistema.

Matriksi koji su korišćeni za pripremu standarda pripremani su po međunarodnim preporukama za pripremu uzoraka iz okoline za gama spektrometrijsku analizu [4]. U ranijim pripremama seta radnih standarda za potrebe kalibracije HPGe poluprovodničkog detektora, kao jedan od matriksa korišćeno je mleko u prahu. Ispitivanjem dugovremenske stabilnosti zaključeno je da standard napravljen od mleka u prahu ne pokazuje zadovoljavajuće rezultate [5] pa je ovaj materijal zamenjen komercijalno dostupnim praškastim aktivnim ugljem - matriksom približno iste gustine, granulacije i mehaničkih karakteristika.

Za potrebe spajkovanja pripremljenih materijala matriksa nabavljen je standardni rastvor od ČMI. Zbog visoke vrednosti ukupne specifične aktivnosti (40 kBq/g), ranije nabavljeni rastvori razblaživani su 2 do 5 puta rastvorom soli prisutnih radionuklida do specifične aktivnosti po radionuklidu takve da masa dodatog rastvora u matriks bude pogodna za odmeravanje i manipulaciju u radiohemijskoj laboratoriji. Pri pripremi poslednjeg seta radnih standarda nabavljen je osnovni rastvor mase 5 g i ukupne aktivnosti oko 40 kBq. Proračun željene aktivnosti radnih standarda pokazao je da dodatna razblaživanja nisu potrebna, čime je izbegnut deo procedure koji bi u ukupan budžet nesigurnosti dodao još jedan član. Za spajkovanje matriksa korišćen je aktivni ugalj kao materijal koji će skoro u potpunosti vezati pozitivne jone nosioce aktivnosti. Za svaki od planiranih radnih standarda pripremljena je porcija od približno 0,5 g aktivnog uglja i na nju su dodavani alikvoti osnovnog rastvora. Mase dodatih kapi bile su od 0,5 g do 0,8 g. Radioaktivnim rastvorom prvo je okvašen aktivni ugalj, a dodavanje u pripremljeni materijal vršeno je nakon potpunog sušenja na sobnoj temperaturi. Aktivni ugalj odmeravan je na plastičnim kašičicama

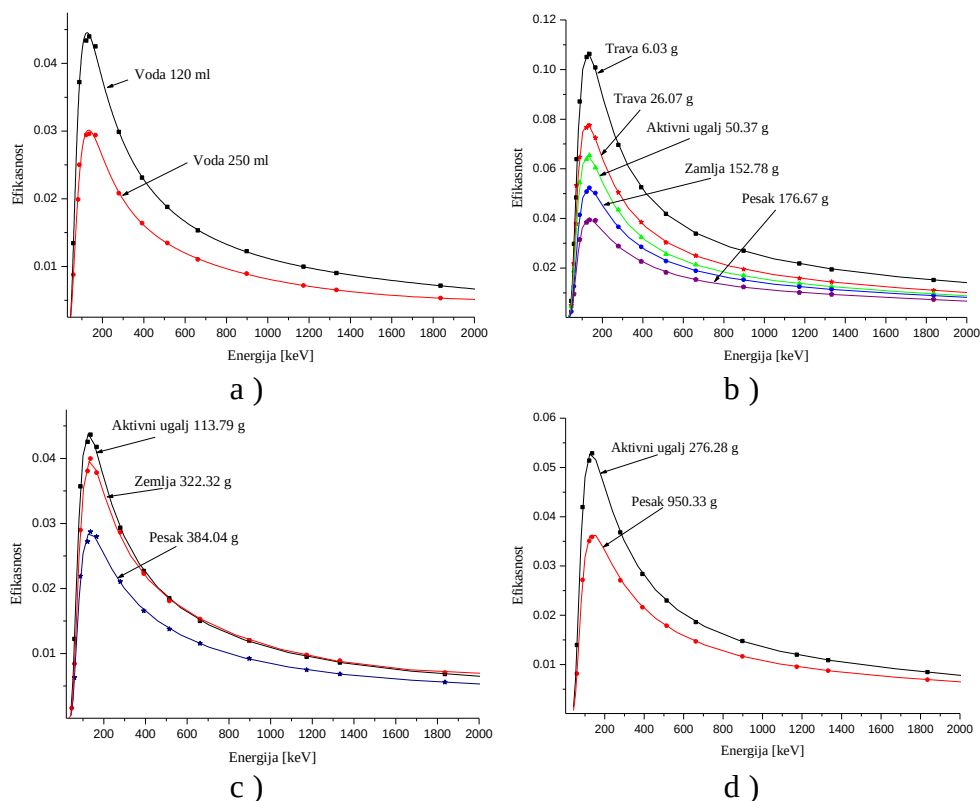
koje su, nakon dodavanja aktivnosti u materijal, merene na scintilacionom „well-type“ NaI(Tl) spektrometru u cilju detektovanja eventualno zaostale aktivnosti na njima. Na taj način procenjeno je da je gubitak aktivnosti reda 1 %. Radioaktivni rastvor se dodaje na ovaj način u materijal matriksa jer bi za slučaj direktnog dodavanja homogenizacija mehaničkim putem, koja predstavlja sledeći korak u pripremi, bila neizvodljiva. Alternativa ovom postupku je rastvaranje ukupne količine spajkovanog materijala u C_2H_5OH , mešanje i nakon toga sušenje pod IC lampom, što za slučaj nekih materijala (peska, na pr.) nije pogodno, a osim toga rad sa radioaktivnom tečnošću podrazumeva veću mogućnost kontaminacije radnog prostora. Nakon spajkovanja, svaki od materijala se mehanički homogenizuje mešanjem. Provera homogenosti vrši se merenjem na NaI(Tl) spektrometru, a mešanje i određivanje specifičnih odbroja odmerenih alikvota spajkovanog materijala se ponavlja sve dok nehomogenost ne bude manja od 5 %.

Praksa je pokazala da je ova faza pripreme standarda najzahtevnija i najdugotrajnija, kao i to da je homogenost za neke materijale veoma teško postići, kao i da zavisi od količine materijala koji se homogenizuje.

Ovako pripremljen homogenizovan spajkovani materijal smešta se u standardne geometrije. Ranije pripremani setovi radnih standarda bili su u geometrijama koje nisu punjene do vrha, po ugledu na neke komercijalno dostupne referentne materijale. Prema relevantnoj literaturi i na osnovu ispitivanja dugovremenske stabilnosti radnih standarda, pokazalo se da je uputnije posude puniti do vrha, što je i urađeno. Stabilnost standarda dodatno je poboljšana zatapanjem, čime je osigurano minimiziranje spoljašnjih uticaja. Provera eventualno zaostale radioaktivnosti na zidovima posuda za homogenizaciju vrši se merenjem na NaI(Tl) ili HPGe spektrometru. Procenjeno je da su ti gubici bili reda 1 %.

REZULTATI

Krive efikasnosti dobijene pomoću napravljenih radnih standarda prikazane su na Slici 1. Pri određivanju krive efikasnosti, odnosno pri određivanju fita eksperimentalno određenih efikasnosti za pojedine energije, uzimane su u obzir nesigurnosti eksperimentalno određenih efikasnosti „u tački“. Budžet ovih nesigurnosti sadržao je statističku mernu nesigurnost brzine brojanja za datu energiju - $u_{rel}(N_s(E))$, i nesigurnost aktivnosti korišćenog standarda za dati izotop (kojoj doprinose nesigurnost standardnog rastvora, nesigurnost odmeravanja mase osnovnog rastvora i nesigurnosti usled procenjenih gubitaka aktivnosti u procesu pripreme standarda - $u_{rel}(A_s)$, $u_{rel}(m)$ i $u_{rel}(\Delta)$, respektivno).



Slika 1. Uporedni prikaz krivih efikasnosti dobijenih pomoću različitih standarda za geometriju a) cilindrične bočice od 120 ml i 250 ml; b) cilindrične kutijice od 120 cm³; c) cilindrične kutijice od 250 cm³; d) Marineli posude od 500 ml.

Relativna merna nesigurnost efikasnosti određuje se primenom opšteg zakona propagacije nesigurnosti:

$$u_{rel}^2(\varepsilon(E)) = u_{rel}^2(A_s) + u_{rel}^2(m) + u_{rel}^2(\Delta) + u_{rel}^2(N_s(E)) + u_{rel}^2(f)$$

Poslednji član u gornjem izrazu predstavlja mernu nesigurnost određivanja krive fita - $\varepsilon(E)$.

Nesigurnost aktivnosti standardnog rastvora za dati izotop data je u sertifikatu (od 0,4 % za ²⁴¹Am do 2 % za ²⁰³Hg). Merna nesigurnost odmeravanja mase zanemarljiva je u odnosu na druge merne nesigurnosti, dok je nesigurnost usled gubitaka aktivnosti procenjena na 2 %. Statistička merna nesigurnost brojanja odgovarajućim vremenom merenja standarda ili referentnog materijala može se podesiti da bude ispod 1 %.

ZAKLJUČAK

Iz višedecenijskog iskustva u gamaspektrometrijskim ispitivanjima uzoraka različitog porekla i višestrukog sprovođenja postupka pripreme radnih etalona za potrebe internog etaloniranja mernih sistema u Laboratoriji, proizišla su iskustva koja mogu umnogome olakšati i unaprediti proceduru pripreme radnih standarda. Odabir matriksa standarda treba izvršiti sa posebnom pažnjom imajući u vidu potrebe laboratorije i pogodnost materijala za mehaničku manipulaciju i mogućnost lakog homogenizovanja. Osim toga, izabrani materijal mora biti mehanički i hemijski stabilan. Pri nabavci sertifikovanog rastvora treba voditi računa o željenoj aktivnosti standarda, odnosno specifičnoj aktivnosti rastvora, u cilju izbegavanja razblaživanja rastvora, odnosno unošenja dodatne komponente u ukupnu nesigurnost određivanja aktivnosti standarda. Mehanička homogenizacija spajkovanog matriksa pokazala se kao najproblematičniji korak u postupku, velike količine materijala moraju da se proveravaju više puta, neki materijali „lepe“ se za zidove posuda, granulišu tokom homogenizovanja i sl.

Zahvalnica

Rad je urađen u okviru projekta 171018 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] CMI (Czech Metrological Institute), 2005. Radioactive Standard Solutions, ER 25. ER X Prague OR
- [2] Taskaeva M, Taskaev E, Penev I. On the preparation of efficiency standards for gamma-ray spectrometers. *Applied Radiation and Isotopes* 1996;47:981-990.
- [3] Vukanac I, Djurašević M, Kandić A, Novković D, Nadjdjerdj L, Milošević Z. Experimental determination of the HPGe spectrometer efficiency curve. *Applied Radiation and Isotopes* 2008;66:792-795.
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA). Measurements of radionuclides in Food and in Environment, Technical Reports Series No. 295 Vienna: IAEA, 1989.
- [5] Kandić A, Vukanac I, Djurašević M, Novković D, Šešlak B, Milošević Z. On the long-term stability of calibration standards in different matrices. *Applied Radiation and Isotopes* 2012;70:1860-1862.

ON THE PREPARATION OF WORKING STANDARDS FOR GAMMA-RAY SPECTROMETRY

*Ivana Vukanac, Mirjana Đurašević, Bojan Šešlak, Aleksandar Kandić
and Zoran Milošević*

Institute of Nuclear Sciences "Vinča", University of Belgrade,
Belgrade, Serbia

vukanac@vinca.rs

In the Laboratory for Radionuclide Metrology at Vinča Institute, activity concentration measurements are routinely performed and numerous calibration standards are required. Thus, a variety of calibration standards whose measurement geometry and chemical composition and density are similar to those of the measured samples were prepared. The standardized solutions of a common mixture of gamma-emitting radionuclides (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{203}Hg , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y and ^{210}Pb) purchased at the Czech Metrological Institute were used to prepare working standards for efficiency and energy calibration of gamma-ray semiconductor HPGe spectrometer in accordance with the IAEA recommendations. Calibration standards were prepared in different geometries (PVC cylindrical boxes, Marinelly beakers and PVC cylindrical bottles) and with various matrices (mineralized grass, activated carbon, surface soil, water, sand and aged filter paper). The matrix materials were spiked by using the activated carbon as the activity carrier, and homogenized mechanically. A comprehensive review of the procedures and techniques used for working standard preparation is presented in this paper.

KARAKTERISTIKE EXARDIN A3 I A4 SFERNIH IONIZACIJSKIH KOMORA

Maja Vojnić Kortmiš, Robert Bernat i Branko Vekić
Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska
mvojnick@irb.hr

UVOD

Medicinska primjena izvora ionizirajućeg zračenja u zadnje vrijeme je u značajnom porastu. Posebno se to odnosi na terapiju zračenjem, ali i na dijagnostičku radiologiju.

Različite dijagnostičke tehnike uključuju rendgensko zračenje: fluoroskopija, interventna dijagnostička radiologija, mamografija, CT i zubna radiografija. Tipična najviša doza isporučena nekom organu tijekom procedura projekcijske radiografije (uključujući mamografiju) iznosi od 1 do 20 mGy. CT procedure rezultiraju isporučenjem doza organima od 10 do 100 mGy, što je ispod razine potrebne za determinističke efekte, ali svakako doprinose stohastičkim efektima [1] .

Radiolozi nastoje koristiti ekspozicije kojima bi dobili dovoljno dobru kvalitetu slike kako bi mogli dati ispravnu dijagnozu, a da ujedno isporuče pacijentu najmanju moguću dozu. Osiguranje kvalitete ("*quality assurance*") osigurava postizanje toga cilja.

Za odabranu projekcijsku tehniku, konačan rezultat ovisi o izvedbi opreme i o tome kako operater koristi opremu. Rutinska mjerenja različitih parametara moraju biti obavljena da se osigura optimalno funkcioniranje opreme. Neka mjerenja zahtijevaju uporabu dozimetara. Ovo uključuje mjerenje izlaza rendgenske cijevi i linearnost odziva, reproducibilnost te druga svojstva. Rendgenske zrake su definirane u terminima HVL koje se moraju odrediti. Također, poznavanje HVL-a je bitno kako bi se povezale mjerene veličine s veličinom u upotrebi kako bi se odredila doza isporučena organima.

Rendgenske zrake su određene sa "*radiation qualities*" (RQ) koje su zadane naponom rendgenske cijevi te HVL_1 i HVL_2 . Napon cijevi u dijagnostičkoj radiologiji je između 20 i 150 kV. U fluoroskopiji, CT i općoj radiografiji naponi pokrivaju raspon od 40 do 150 kV, dok se mamografska ispitivanja vrše pod naponima od 22 do 40 kV s različitim kombinacijama materijala anode i filtera.

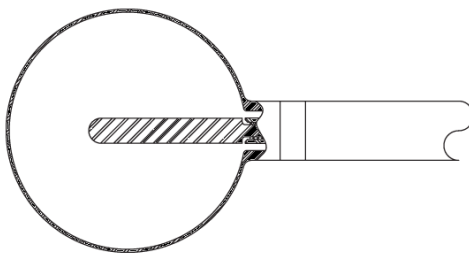
Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij (SSDL) Instituta Ruđer Bošković ove je godine dobio donaciju Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) - rendgen X82 – 160 – Mo – E, Hopewell Design Inc. Uz već postojeći 320 kV sistem dodan je 160 kV sistem s anodom od volframa kako bi se omogućile izvedbe niskoenergetskih "*Beam Codes*" te drugi 100 kV sistem s anodom od molibdena namijenjen kalibracijskim tehnikama u mamografiji.

MATERIJALI I METODE

Kotač s filterima na rendgen uređaju X-82 ima na poziciji jedan kvalitetu RQR-M te na ostalih 9 pozicija redom kvalitete RQR2 do RQR10 pri čemu je aktivna rendgenska cijev od 160 kV. Ostale kvalitete se konfiguriraju dodavanjem dodatnih filtera. Tako dobivamo kvalitete RQA (na naponima od 40 kV do 150 kV), te RQT (na naponima 100 kV, 120 kV te 150 kV).

Komore exardin A3 i A4, koje smo testirali, kalibrirane su u IAEA SSDL laboratoriju za dozimetriju. Testirali smo referentne komore Exardin A3 i A4 u polju X-zračenja prema međunarodnim preporukama danim u [1].

Exardin A3 i A4 sferne ionizacijske komore omogućuju precizna mjerenja u zraku u raznim poljima bez repozicioniranja te omogućuju točna mjerenja u bilo kojem smjeru tako da tijelo komore ne apsorbira zračenje. Shematski prikaz komora je dan na *Slici 1*.



Slika 2. Shematski prikaz sferne ionizacijske komore

Testirali smo struju istjecanja bez ozračivanja po preporukama danim u [2] te smo odredili prvu i drugu vrijednost HVL prema preporukama danim u [1] kao i koeficijent homogenosti.

REZULTATI

Struja istjecanja je određena mjerenjem odziva komora 20 minuta prije i nakon ozračivanja. U oba slučaja, struja istjecanja je bila 0,35 % struje ionizacije proizvedene pri minimalnoj brzini kerme u zraku korištenoj u ovom ispitivanju. Ova vrijednost je unutar međunarodnih preporučenih granica danih u [2]

Debljinu aluminija koja atenuira brzinu kerme u zraku na polovinu (HVL_1) pri različitim kvalitetama određivali smo za obje komore prema preporukama danih u [1]. Također smo odredili debljinu aluminija, dodanu filtraciju potrebnu da se brzina kerme u zraku smanji na četvrtinu početne vrijednosti (HVL_2) pri različitim energijama rendgenskih zraka, odnosno pri različitim kvalitetama. Poznavajući HVL_1 i HVL_2 odredili smo kao njihov omjer veličinu h , odnosno koeficijent homogenosti.

Veličina h daje određene indikacije o širini spektra rendgenskog zračenja. Ako je vrijednost h između 0 i 1, sa višim vrijednostima tada takova vrijednost koeficijenta homogenosti indicira uzak spektar. Tipične vrijednosti koeficijenta homogenosti u dijagnostičkoj radiologiji su između 0,7 i 0,9 [1]. Rezultati su dani u Tablicama 1,2 i 3.

Tablica 1. Mjerene vrijednosti HVL_1 i HVL_2 pri kvalitetama RQR ionizacijskom komorom Exardin A3. Određeno je odstupanje od standardnih vrijednosti [2]. Također je određen koeficijent homogenosti h .

EXARDIN A3					
RQR "beam qualities"		$HVL_1(\text{mmAl})$	odstupanje od standardnih vrijednosti (%)	$HVL_2(\text{mmAl})$	h
RQR2	40(kV)	1,46	3,02	1,75	0,83
RQR3	50(kV)	1,81	2,03	2,32	0,78
RQR4	60(kV)	2,22	1,07	3,22	0,69
RQR5	70(kV)	2,61	0,98	3,92	0,67
RQR6	80(kV)	3,10	3,09	4,59	0,68
RQR7	90(kV)	3,60	3,11	5,28	0,68
RQR8	100(kV)	4,05	2,04	6,30	0,64
RQR9	120(kV)	5,12	1,95	7,71	0,66
RQR10	150(kV)	6,76	2,99	9,21	0,73

Tablica 2. Mjerene vrijednosti HVL_1 i HVL_2 pri kvalitetama RQR ionizacijskom komorom Exardin A3. Određeno je odstupanje od standardnih vrijednosti [2].

EXARDIN A3		
RQT "beam qualities"	$HVL_1(\text{mmAl})$	odstupanje od standardnih vrijednosti (%)
RQT8 100(kV)	7,03	-
RQT9 120(kV)	8,55	1,00
RQT10 150(kV)	10,20	-

Tablica 3. Mjerene vrijednosti HVL_1 i HVL_2 pri kvalitetama RQR ionizacijskom komorom Exardin A4. Određeno je odstupanje od standardnih vrijednosti [2]. Također je određen koeficijent homogenosti h.

EXARDIN A4				
RQA "beam qualities"	$HVL_1(\text{mmAl})$	odstupanje od standardnih vrijednosti (%)	$HVL_2(\text{mmAl})$	h
RQA2 40(kV)	2,27	4,21	2,65	0,86
RQA3 50(kV)	3,91	4,91	4,03	0,78
RQA4 60(kV)	5,55	4,06	5,81	0,97
RQA5 70(kV)	6,97	3,12	7,21	0,97
RQA6 80(kV)	8,36	3,90	8,73	0,96
RQA7 90(kV)	9,46	3,04	9,89	0,96
RQA8 100(kV)	10,30	2,04	10,93	0,94
RQA9 120(kV)	11,97	3,01	12,10	0,99
RQR10 150(kV)	13,52	2,13	13,98	0,73

ZAKLJUČAK

Dobivenim mjerenjima utvrdili smo dobru izvedbenu razinu sfernih ionizacijskih komora Exardin A3 i A4 pri uvjetima koji imaju primjenu u dijagnostičkoj radiologiji. Budući da se RQR i RQT kvalitete primjenjuju u poljima opće radiografije, fluoroskopije te u polju dentalne medicine kao i u raznim CT primjenama, komora Exardin A3 je pokazala dobru izvedbenu razinu za primjene kalibracije u tim navedenim poljima. Kvalitete RQA prikazuju energiju rendgenskog zračenja pri procesima dijagnostičke radiologije iza pacijenta, te je komora Exardin A4 primjenjiva za kalibracije u tom polju dijagnostičke radiologije.

LITERATURA

- [1] TECHNICAL REPORT SERIES No. 457, Dosimetry in Diagnostic Radiology, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2007.
- [2] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment – Dosimeters with Ionization Chambers and/or Semiconductor Detectors as Used in X-Ray Diagnostic Imaging, Rep. IEC-61674, IEC, Geneva (1997).

CHARACTERISTICS OF EXARDIN A3 AND A4 SPHERICAL IONIZATION CHAMBERS

Maja Vojnić Kortmiš, Robert Bernat and Branko Vekić

Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia

mvojnick@irb.hr

Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL), Ruđer Bošković Institute, this year received International Atomic Energy Agency donation - X ray machine, X82 – 160 – Mo – E, Hopewell Design Inc. In addition to the existing 320 kV system was added 160 kV system with a tungsten target to enable the performance of low-energy Beam Codes, and the second 100 kV system with a molybdenum target designed for calibration techniques in mammography.

X-ray machine contains filter wheel. When one is in the position "1" it represents quality RQR-M, and the other nine positions respectively refer to qualities RQR2 to RQR10 where 160 kV X-ray tube is active. Other qualities are configured by adding additional filters. Thus we get the quality of RQA (voltages from 40 kV to 150 kV), and RQT (at voltages 100 kV, 120 kV and 150 kV).

With the X-ray machine we got ionizing chambers Exardin A3 and A4 with calibration certificates which we tested in the field of X-rays according to international recommendations given in Technical Report Series No. 457 (TRS 457).

We tested leakage current without irradiation, we measured first and second HVL for different qualities of radiation according to calibration certificates and also we determined the coefficient of homogeneity for each quality. Both chambers have demonstrated a satisfactory level of performance in different fields of diagnostic radiology.

FEASIBILITY STUDY FOR A TWO-ENERGY COMPACT MEDICAL CYCLOTRON CONTROLLED BY TWO PAIRS OF MAIN COILS

Dominik Blum, Klemens Zink and Joachim Breckow

Technische Hochschule Mittelhessen, University of Applied Sciences,
Wiesenstrasse 14, 35390 Giessen, Germany

dominik.blum@kmub.thm.de

INTRODUCTION

A cyclotron accelerates charged particles along a spiral path from the center to the extraction radius. The increase of speed takes place in the acceleration gap while the circular path comes from the magnetic field in the hollow electrode chambers (Figure 1). One type of cyclotrons are the "Isochronous cyclotrons". "Isochronous" means that the particles reach the acceleration gap always after the same time interval. This can be obtained by compensating the relative mass increase with a radial increasing B field.

COMET - the isochronous "Compact Medical Therapy" - cyclotron which is used for proton therapy at the Paul Scherrer Institute in Switzerland has an extraction energy of 250 MeV. The energy variation of the extracted beam is done by a degrader which reduces the energy into a range of 70 to 250 MeV. The reduction comes to a few side-effects: Increase of emittance, decrease of transmission, more activated components and a higher dose for the staff. If it is possible to extract a lower-energy beam from COMET, less degrade would be necessary.

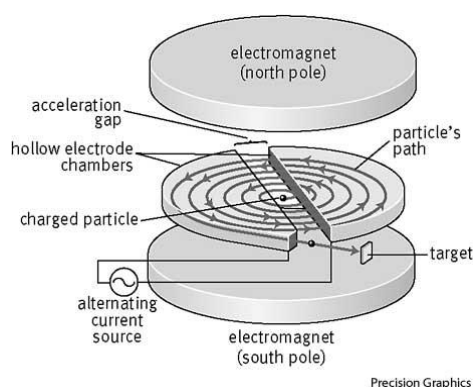


Figure 1. Schematic structure of a cyclotron [1]

The compounded B field is the sum of the B field made by the coil (red dotted line) and the B field made by the iron (blue dotted line). The shape of the resulting B curve is depending mainly from the shape of the coil's B field (Figure 2). For this reason a second coil was used for a lower-energy beam simulation.

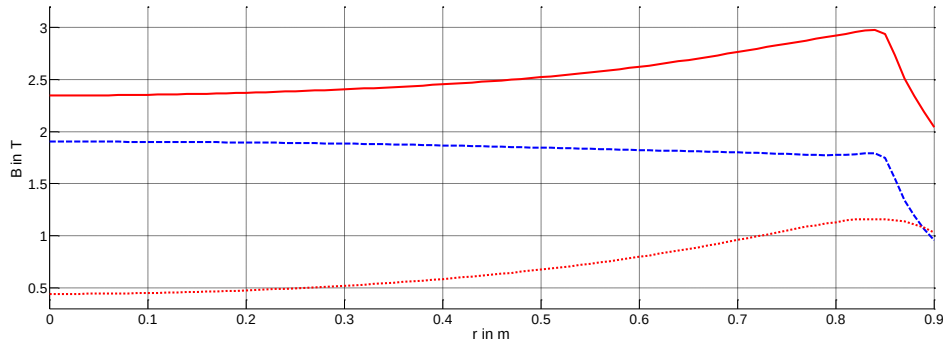


Figure 2. Composition of the B field as a function of radius r of the isochronous cyclotron COMET. B_{coil} = dotted red line, B_{iron} = dotted blue line, B_{compound} = solid line

MATERIAL AND METHODS

The B field distribution was simulated with the two-dimensional finite-element programs Mesh 6.1©2008 and PerMag6.5 ©2007 (Field Precision) based on detailed geometry of the COMET cyclotron. As a first step the existing coil geometry was simulated. The B field results in the angular velocity ω_o of the protons by

$$\omega_o = \frac{q*B}{\sqrt{m_0^2 + \left(\frac{q*B*r}{c}\right)^2}} \quad (1)$$

The phase shift per turn between the high frequency field of the electric acceleration gap and ω_o can be calculated by

$$\frac{\Delta\varphi}{dn} = 360^\circ * \left(\frac{\omega_{RF}}{\omega_o} - 1\right) \quad (2)$$

The goal was to find a beam with $E < 250$ MeV at extraction radius with a minimal phase shift Φ :

$$\Phi = \int_0^{250 \text{ MeV}} \left(\frac{\Delta\varphi_{250 \text{ MeV}}}{dn} - \frac{\Delta\varphi_{E < 250 \text{ MeV}}}{dn} \right) * \frac{1}{q*V*\cos(\Phi)} dE \quad (3)$$

The energy spread of the resulting beam was minimized by tuning the starting phase. According to Blosser [2] one gets the minimal energy spread if

$$\int_0^E \sin(\Phi(E)) dE \rightarrow 0 \quad (4)$$

Having found a result for the 250 MeV beam, the coil pair was split into two (Figure 3). There are four different ways to realize a B field under isochronous conditions with two main coils.

1. Variation of the coil position: There is an ample scope for the location of the coil pairs. It is necessary to find the best position by changing their distance to the borders of the iron, their dimensions and their amount.
2. Variation of the current ratio: If it is possible to have two different currents like a small and a great one, smaller changes in the profile of the beam curve are possible.
3. Variation of the total current: The variation of the total current comes to the increase or decrease of the total magnetic flux density.
4. Variation of the high frequency: A small variation of the high frequency fits the simulated B curve to the ideal one and to the second simulated B curve.

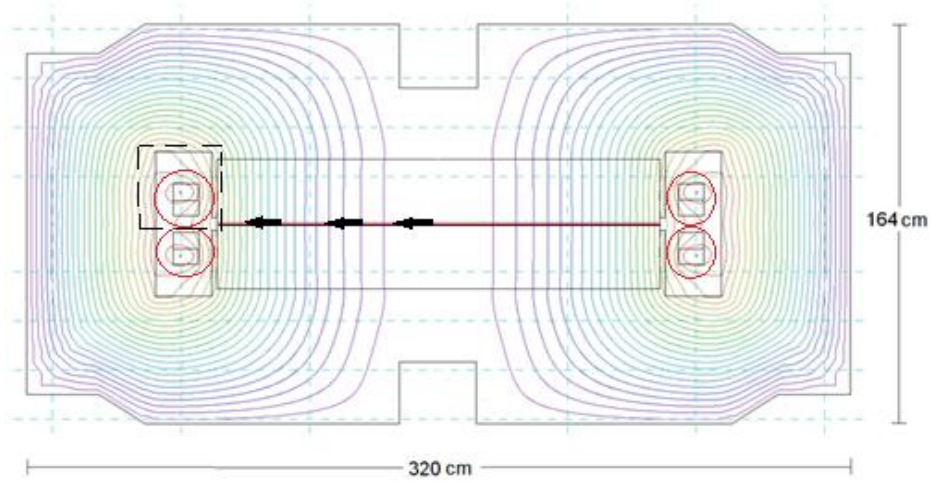


Figure 3. Schematic view on one quarter of COMET with tangential splitted main coils. The purple middle line symbolizes the beam plane (symmetry axis) and the arrows the analysed B field direction. The area within the dotted box is zoomed in Figure 4.

RESULTS

The best result for a 250 MeV beam which is isochronous to a lower energy beam was found by a tangential split of the existing coil pair, reduction of the dimensions and postponing a few centimetres away from the beam plane. The following simulation (Figure 4) shows the old position of the coil pair (dotted) compared to the positions of the two "new" coil pairs.

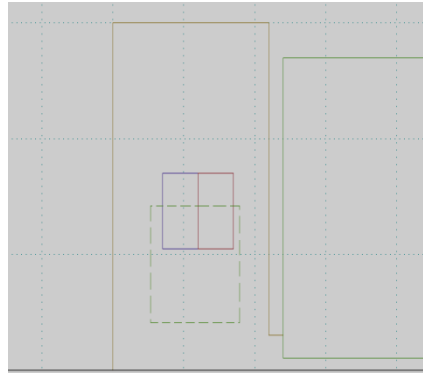


Figure 4. Zoom into the area mentioned in Figure 3. Dotted line shows the position and dimension of the coil in the existing COMET (for extraction of 250 MeV). Purple and red lines define the two new coil positions

Reducing the current in the upper coil by $\sim 20\%$ and increasing the current in the lower coil by $\sim 9\%$ comes to a beam with 240.1 MeV at extraction radius. The resulting B curves as a function of r are shown in Figure 5.

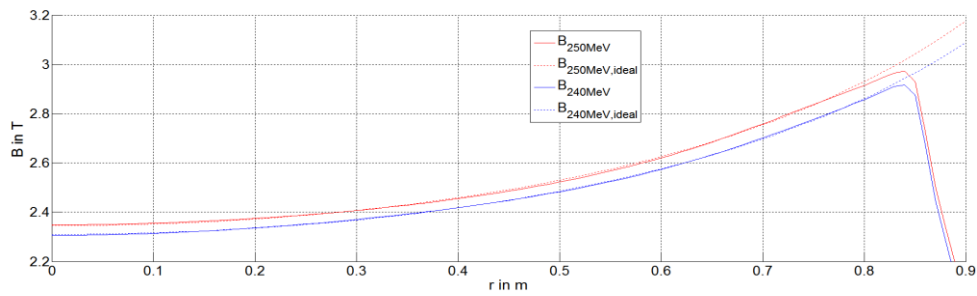


Figure 5. The magnetic flux density of a 250 MeV beam in comparison to the magnetic flux density of a "new" 240 MeV beam over radius

The resulting phase (Figure 6) between these two beams comes to a range of -25° to $+38^\circ$. With this result the particles should be accelerated until the extraction radius.

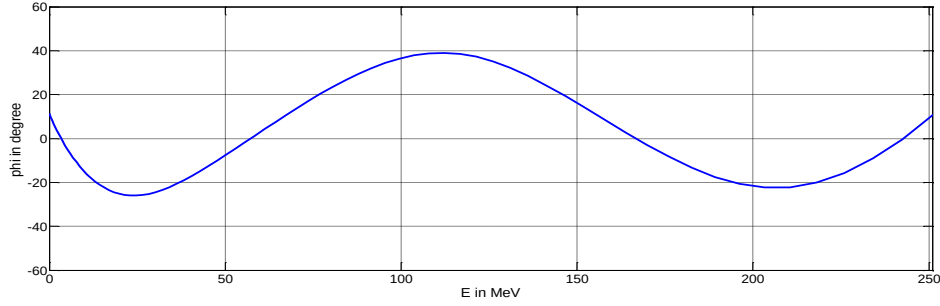


Figure 6. Phase shift as a function of energy

The minimal energy spread of

$$\int_0^{240 \text{ MeV}} \sin(\varphi(E)) dE = 0.066 \quad (5)$$

was found with a starting phase of 11.4° .

SUMMARY AND CONCLUSION

The goal was to find B field conditions for an isochronous cyclotron which has a lower extraction energy at the same radius as the 250 MeV beam. This study shows a way to extract a second beam with small changes in the design of COMET. For more precise results it is necessary to repeat the simulation with a 3D-capable software with higher spatial resolution including the coil heating influence. That would be the next step in this feasibility study which would also include the simulation with extraction energies in a range of 230-235 MeV.

Acknowledgment

This work was funded by the Swiss-German Fachverband für Strahlenschutz. I would like to give special thanks to Dr. Christian Baumgarten from Paul Scherrer Institute.

REFERENCES

- [1] American Heritage Science Dictionary. 2010.
- [2] Henry Blosser. The Michigan State University Cyclotron. 1971.

FEASIBILITY STUDY FOR A TWO-ENERGY COMPACT MEDICAL CYCLOTRON CONTROLLED BY TWO PAIRS OF MAIN COILS

Dominik Blum, Klemens Zink, Joachim Breckow

Technische Hochschule Mittelhessen, University of Applied Sciences,
Wiesenstraße 14, 35390 Gießen, Germany

dominik.blum@kmub.thm.de

At Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland, protons are accelerated for the proton therapy by a 250 MeV isochronous cyclotron. As for radiotherapy less energy is required (about 70 MeV) a carbon degrader reduces the extracted beam energy. This involves the increase of emittance, decrease of transmission, more activated components and a higher dose for the staff. By extracting a lower energy beam from the cyclotron, less degrade would be necessary and the above mentioned side-effects could be minimized. A possible solution could be to extract two energies from the cyclotron, 250 MeV for very deep located tumours and 230-235 MeV for others. A technically easy and affordable solution for this problem might be a two-energy cyclotron controlled by just two pairs of main coils. The feasibility of this solution has been analysed in this study.

The compounded magnetic flux density B is the sum of the coil's and the iron's flux density. The amount caused by a coil is mainly responsible for the shape of the compounded flux density. Therefore a split of the coil pair was simulated to obtain more possibilities in the adjustment of a lower-energy beam to its ideal isochronous shape. The result is a simulated isochronous 240 MeV beam which was found with an tangential split of the coil pair, their repositioning and the increasing of current in the first coil pair and decreasing in the other one. The tangential split seemed to reduce the problem of the irons linear share of B . This feasibility study is seen as a first step before using 3D-capable software which considers a higher spatial resolution and the influence of temperature.

"AU.RAEX": AN AUTOMATED, LONG LASTING EXPOSIMETER FOR MONITORING PERSONS WITH INCREASED RADON-EXPOSURE

Merna Attia, Volker Grimm and Joachim Breckow

THM, University of Applied Sciences Giessen, Institute of Medical Physics
and Radiation Protection, Wiesenstrasse 14, 35390 Giessen, Germany

merna.attia@kmub.thm.de

INTRODUCTION

Since the exposure with radon-222 might play a major role in overall human exposure, a dose monitoring is necessary and obligatory by law for people whose work places provide increased exposure to radon such as mines, water works etc. [1]. Monitoring systems allow evaluations and improvements for dose reduction. One disadvantage of common nuclear track detectors is the integrated exposure detection of radon even beyond working times. To get proper values of the real occupational exposition, it is necessary to place an additional device in the site where the radon exposimeter is stored, outside the working hours. In combination with the additional documentation of the real wearing times of the exposimeter it is possible to subtract the overexposure during the non-wearing (i.e. non-occupational) times to get roughly the "true" exposure values. However, these methods lead to a high level of uncertainty, therefore they have to be optimized.

In this paper, an in-house produced automated switchable exposimeter -"au.raex"- is presented. It enables the detection within defined times and the switch-of within defined holiday times and weekends. The switchability is achieved by a thin slide moving above the detector. This main improvement of the long established exposure detection by nuclear track detectors eliminates the described uncertainties and leads to a higher acceptance of the operator. Wearing comfort, dimensions and weight play a major role in achieving this acceptance. Furthermore, an exposimeter for everyday use has to be robust, easy to handle and has a sufficient power capacity which lasts for the entire examination time.

METHODS

Automation is achieved by a microcontroller (one-chip-computer) to which the tasks of movement recognition, time measurements, battery monitoring and activation of the actuating elements are sent. To achieve a long running time and a light weight at the same time, the energy demand of the microcontroller plays a major role even within the standby and sleeping periods. The construction of the microcontroller concerning computing capacity, memory and the number and types of in- and outputs provide enough room for the required functions as well as for future extensions.

Mechanics as well as the measuring chamber are schematically shown in Figure 1. The interruption of the measurement is constructed as a direct cover in the form of a slide above the detector film. This slide moves parallel to the film when needed. To avoid a mechanical damage of the film, there has to be a defined distance between slide and film. Due to the remaining air volume between them, the interruption of the measuring procedure is not complete. The radon which decays between slide and film exposes the detector film onwards. In relation to the film exposure with open slide, the exposition with closed slide (distance 0.5 mm) is less than 5 % [2]. The cover of the detector film is designed as a pivoting plate (lock plate) which is guided by a plate above and below the cover. This mechanical construction fulfils all demands. In spite of the rather poor demands on the dimensional stability of the plates, a precisely guided closure is achieved. This precision just comes from the parallelism of the industrially manufactured plates.

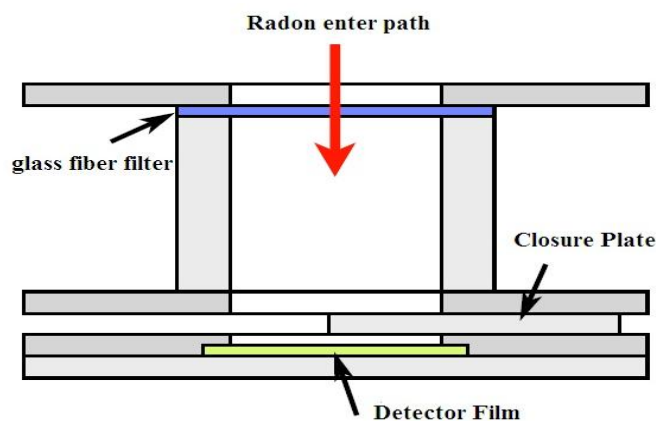


Figure 1. Scheme of the measuring chamber with closure mechanic and final filter; all filled areas are cut surfaces; the device is opened in half position.

The measuring chamber is constructed as a cylindrical stainless steel pipe, which is closed by a glass fiber filter to hold back the radon decay products. Above this filter the radon enters the measuring chamber.

The recognition of moving is achieved by a triaxial, digital acceleration sensor. Beside motion detection, it leads to detect the change of position beyond the measurement series. Movement is detected when one of the three axes exceeds a certain value. Since the acceleration sensor does not distinguish between static and dynamic acceleration, this certain value has to be a bit higher than the gravity acceleration. The sensor automatically detects that the device has been moved and wakes up the microcontroller via interrupt. After that, changes such as slide movement, time saving etc. are made by the microcontroller. This concept leads to high energy efficiency. If the status changes to "worn", which means that the device has been moved, the slide opens and remains opened over a defined period (eg. 30 sec). If the sensor does not recognize any other movement over a second defined period (eg. 30 sec), the slide moves above the detector film so that it remains closed until it gets moved again. When motion is detected during the second period, a new time interval follows.

RESULTS

The shown prototype (Figure 2) of the automated radon exposimeter is based on a self-produced board. It contains on both sides most of the electronic and the actuating components. At the same time it is integrated in the mechanical construction as a supporting part

Beside the microcontroller and the acceleration sensor, DC motor, gear unit, and driver stage, micro switch for position recognition and circuitry for monitoring the motor current and the operating voltage are united on the board.

The communication with the exposimeter is via USB connection with a computer. An easy to handle program allows the user to choose the operating mode, to define switching periods or to read the wearing times.

The device is covered with a housing which allows a rentable producing even in small quantities. The power supply is provided by a disposable battery which allows exposimeter running times for a couple of years.

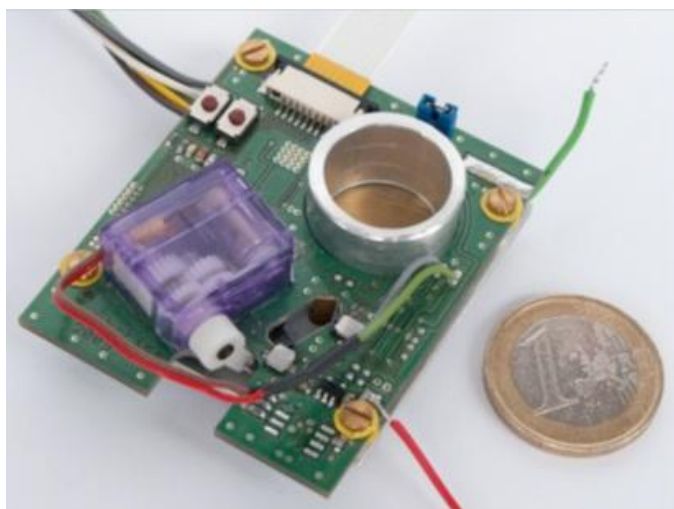


Figure 2. Prototype without housing and battery; the supply lines serve the power supply as well as the communication during the software development. The coin is for size comparison.

CONCLUSION

The presented automated nuclear track dosimeter which enables a time controlled measurement, improves former established methods. The production is cheaper, it has smaller dimensions and it is lighter than current all-electronic radon measuring devices with semiconductor detectors or ionization chambers.

Functions such as switchability and motion detection have been proven by several tests. The calibration as well as the practical testing of "au.raex" were made by the Radon Laboratory of Karlsruhe Institute of Technology KIT using their own nuclear track films and evaluation process. To validate the operation of the instrument, measurements are to be performed on persons with known increased radon-exposure.

Acknowledgment

This study was supported by the Karlsruhe Institute of Technology KIT.

REFERENCES

- [1] Decree on protection from ionizing radiation. (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) 20 Juli 2001 (BGB1. I S. 1714).
- [2] Hingmann H, Ehret V, Busch F, Rox A, Chadt C. Automatic disengaging passive radonexposimeter. 38 Annual Conference of the Association for Radiation Protection, Dresden, September 2006, pp. 423-430.

"AU.RAEX": AN AUTOMATED, LONG LASTING EXPOSIMETER FOR MONITORING PERSONS WITH INCREASED RADON-EXPOSURE

Merna Attia, Volker Grimm and Joachim Breckow

THM, University of Applied Sciences Giessen, Institute of Medical Physics
and Radiation Protection, Wiesenstrasse 14, 35390 Giessen, Germany

merna.attia@kmub.thm.de

Within this framework, the automated radon exposimeter "au.raex" improves the long-established method of radon exposure measurements using nuclear track detectors in a decisive method. Unlike conventional nuclear track exposimeters this radon measurement is switchable.

By movement recognition the exposition is constrained automatically to the period in which it is actually worn, the exposition time is captured automatically. Despite these advantages, it is comfortable to wear "au.raex". It has roughly the dimensions of a cigarette box.

Used as a time-controlled ambient exposimeter it captures only the radon expositions during relevant and defined periods. The timing control has been implemented in form of a complete calendar. Thus, the on-and off separately for each weekday, as well as public holidays and holiday periods are defined, in which the detector, against the rule, remains completely closed. Data evaluation and programming are performed using the USB port and software on a computer.

The switchability of the measurement is achieved by a movable slide at a small distance above the detector film. Both movement- and time-depended control of the closure are optimized for low electronic energy consumption. The "au.raex" is applicable for measuring campaigns lasting about several years, without the need to charge the device or further maintenance.

Calibration as well as the practical testing of "au.raex" were made by the Radon Laboratory of Karlsruhe Institute of Technology KIT using their own nuclear track films and evaluation process. To validate the operation of the instrument, measurements are to be performed on persons with known increased radon exposure.

POPIS AUTORA

AUTHOR INDEX

A

Aladrović J.	159
Andrási A.	65
Antic V.	283
Antunac K.	302
Antunović M.	373
Arandjic D.	283
Arsić V.	223
Attia M.	538
Avdić M.	462
Azzam Jai T.	187

B

Babić D.	181 , 395, 475, 502
Barešić J.	367 , 425, 468, 495
Barišić L.	99
Barišić D.	222 , 229, 361
Beck N.	265
Benedik Lj.	229, 361
Benković V.	172
Bernat R.	116 , 526
Bešlić I.	438, 444
Bibić J.	99
Bikit I.	199, 390 , 413, 508
Bikit K.	199, 390, 413, 508
Bituh T.	181, 384
Blum D.	532
Bogojević S.	223
Bokulić T.	93, 314, 334
Borojević N.	172
Bozovic P.	283
Branica G.	355

Braun M.	77
Breckow J.	187, 532, 538
Breznik B.	468
Brkić H.	253
Brnić Z.	271
Budanec M.	93, 314, 334

C

Ciraj-Bjelac O.	3, 283

Č

Čačković M.	432, 444 , 450
Čehobašić A.	302
Črnić B.	127

D

Deme S.	65
Diklić A.	340
Dimozoska B.S.	216
Dombrowski H.	121
Dundara Debeljuh D.	340

Dž

Džaja P.	159

Đ

Đurašević M.	514 , 520

E

Eremić Savković M.	193, 223

F			
Faj D.	253, 259, 295, 308, 340	Horvatinčić N.	425 , 468, 495
Fallon S.	367	Hršak H.	87 , 99, 289
Filipič M.	166	I	
Forkapić S.	193, 199 , 390, 413, 508	Idrizi S.	111
Franić Z.	355 , 462	Ilić J.	223
Franulović I.	211	Ilić Z.	373, 379
Frontasyeva M.	222	Ivković A.	295, 308
Fröbe A.	93	J	
G		Jagić R.	77
Gajski G.	166	Janković M.M.	401, 407
Gamulin M.	327	Javorina Lj.	223
Garaj-Vrhovac V.	166, 327	Jovanović P.	456
Gerić M.	166	Jurković S.	253, 259, 295, 340
Gobec S.	127	K	
Gottstein Ž.	147	Kandić A.	514, 520
Grahek Ž.	483, 489	Karadjole M.	147
Grbac Ivanković S.	253, 321	Karanović G.	489
Grego T.	99	Kasabašić M.	295 , 340
Gregov M.	93, 314 , 334	Kašuba V.	147
Grgić M.	327	Katušin Ražem B.	77
Grimm V.	187, 538	Knapp A.	51
Grund A. L.	187	Knežević Ž.	70, 121, 127, 135, 265, 271, 277 , 289
H		Kočić B.	346
Hajluai Musliu Z.	216	Koguchi Y.	76
Halovanić S.	172	Kolar M.	211
Hansman J.	413	Kopjar N.	153, 235 , 327
Hanžek B.	355	Kosalec I.	153
Heinrich Z.	289		
Horvat Knežević A.	172		

Kovačević M.	3	Mazerat J.	367
Kovačević N.	99	Medaković S.	45
Kozmidis Lugurić U.	413	Medvedec M.	59
Krajcar Bronić I.	14 , 425, 468 , 495	Meštrović T.	105, 111
Kralik I.	45, 253 , 259	Miklavčić I.	205, 308
Krča S.	45	Milanović I.	483
Križman M.J.	26	Miletić D.	259
Krpan I.	205, 308	Milić M.	147 , 153, 172
Kubelka D.	45	Milković Đ.	70, 265
Kuburić I.	321	Milošević Z.	514, 520
Kusić Z.	93, 314, 334	Miljanić S.	14, 70, 135, 147, 265, 289
Kušan V.	222	Mlinarić M.	93 , 314, 334
L		Mrčela I.	93, 105, 314, 334
Laškaj R.	159	Mrđa D.	199, 390, 413, 508
Leder N.I.	271	Mužević M.	205
Levanat I.	51	N	
Lokner V.	51	Neumaier S.	121
Lovrenčić Mikelić I.	419	Nikodemová D.	247
LJ		Nikolić J.D.	401, 407
Ljubić-Beer B.	159	Nikolov J.	199, 390, 413 , 508
M		Nodilo M.	483, 489
Majer M.	127, 135 , 277, 289	Novosel N.	39
Maltar-Strmečki N.	141 , 159	Nuhanović M.	379
Marinković J.	346	Nunić J.	166
Marović G.	181, 235, 355, 384, 432, 438, 444, 450, 462 , 475		
Matković I.	141		

O

Obelić B.	468
Omahen G.	26
Oršolić N.	172
Osvay M.	70 , 243

P

Pantelić G.	3, 193 , 401, 407
Pehnec G.	432 , 450
Pejaković Hlede J.	147
Petrinec B.	181, 205, 211, 355, 384, 395, 502
Planinšek P.	229
Poje M.	205, 308
Popić-Ramač J.	271 , 277
Posedel D.	253, 259
Praskalo J.	346
Prlić I.	105, 111, 235, 314, 384

R

Radić Wolf M.	253, 321
Radolić V.	205 , 308
Rajačić M.M.	401 , 407
Rajevac V.	302
Rajtarić A.	468
Ramić S.	235, 327
Ranogajec-Komor M.	14, 70 , 121 , 127, 265
Rašidagić A.	379
Rogić M.	229 , 361
Rožmarić Mačefat M.	229, 361

S

Sarap N.B.	401, 407
Sarić G.	253
Sekulovski P.	216
Senčar J.	181, 235, 432, 438, 444, 450, 462
Sironić A.	425, 495
Skoko B.	181, 462, 475
Slivka J.	508
Smilović Radojčić Đ.	340
Stanić D.	205
Stojković E.D.	216
Surić Mihić M.	105 , 111, 334

Š

Šaponja-	51
Milutinović D.	
Šega K.	438 , 444
Šegota D.	259
Šegvić Klarić M.	153
Šešlak B.	514, 520
Šiško J.	111
Šmalcelj K.	45
Šoštarić M.	395 , 502
Špirić Z.	222
Štefanić M.	253
Štraser A.	166
Štrok M.	361
Švabić Kolacio M.	340

T

Takeuchi N. 76
 Tanasković I. 223
 Težak S. 253
 Todorović N. 199, 390,
 413, 508

Todorović D.J. 401, 407
 Todorovik A. **216**
 Tomaš I. 295
 Trifunović D. 45
 Turák O. 243

U

Uzunov R. 216

V

Vadić V. 432, 444,
450
 Vekić B. 116, 222,
 526
 Vesković M. 199, 390,
 413
 Vicković I. 475
 Vidic A. **373, 379**

Vidjak V. **271**
 Vilić M. 147
 Vojnić Kortmiš M. 116, 526
 Volčanšek A. 468
 Vučić Z. 384
 Vukanac I. 514, **520**
 Vuković B. 205, 208

Y

Yamamoto T. 76

Z

Zink K. 532
 Zorko B. 127, 502

Ž

Žagar I. 265
 Žegura B. 166
 Želježić D. 235
 Živanović M. 193
 Živković A. 38

Dose Ace

Excellent small RPL glass element using a new manufacturing process has evolved a new sophisticated radiation dosimetry system.

- Excellent small RPL glass to replace TLD.
- Radiation dosimetry has been improved by this new material evolution.
- This new material fulfils all the requirements demanded of a dosimeter such as high accuracy, economical cost of the readout process and easy handling.
- In addition the RPL glass dosimeters do not suffer from problems such as complicated handling, damage and toxicity that can be encountered with some TLD monitors.



External View of READER (FGD-1000)

Controller PC



External view of GLASS DOSEMETER, GD-300 SERIES

Advantages

- The glass element can be repeatedly read out on the FGD-1000 reader. This reading process is non-destructive and can be repeated unlimited times, in contrast with the destructive readout process used in TLD readers.
- Due to the homogeneous composition of the glass material, each glass element has high uniformity in sensitivity.
- The Dose Ace system provides high accuracy of measurement across a wide range of doses.
- Simulation and quality assurance measurements for radiotherapy and diagnostic procedures are easily performed using the RPL dosimeters. The non destructive automatic readout procedure makes the results available immediately after testing.
- The readout process is made quick and easy with the FGD-1000 reader. Up to 20 dosimeters can be simultaneously readout in a fully automated process. Results are immediately available via a connected PC for further analysis.

The RPL glass dosimeters are stable, accurate and reliable and are suitable for a wide range of applications.

Applications

- Verification of the delivered dose in radiotherapy and diagnostic imaging using phantom simulations
- Studies using small animal irradiation experiments
- Quality assurance of X-ray irradiation procedures
- Localised dose distribution measurements with fine special resolution



Holder



Reading Magazine

Specifications table

Item	Specifications
Dosimeter elements	Model & Glass Element Dimensions
	GD-301 $\phi 1.5 \times 8.5$ mm
	GD-302M $\phi 1.5 \times 12$ mm (with ID)
	GD-351 $\phi 1.5 \times 8.5$ mm (with filter)
Reader (FGD-1000)	GD-352M $\phi 1.5 \times 12$ mm (with ID and filter)
	Weight
	Several 10 mg
	Measuring Range
Reader (FGD-1000)	Photon (gamma ray & X-ray)
	10 μ Gy(Sv) to 10 Gy(Sv) (to 500 Gy(Sv) by option)
	Indication Unit
	Gy (Sv)
	Indication Range
	1 μ Gy(Sv) to 10 Gy(Sv) (to 500 Gy(Sv) by option)
	Reproducibility
	Coefficient of variation
	5 % or less (at 100 μ Gy)
	2 % or less (at 1 mGy)
Calibration Technique	Continuous Reading
	20 glass elements
	Read-out time
	6 seconds or less / 1 element
	Calibration Technique
Printer	- The calibration of the reader is automatically executed by the internal calibration element valued with standard irradiation element.
	Page printer (Option)
	Power supply
	100, 115, 220 & 240 AC (50/60Hz)
Power consumption	Max. 200 W

Calibration Technique The calibration of the reader is automatically performed by the internal calibration element referencing a standard irradiation element.

Contact : **CHIYODA TECHNOL CORPORATION**

1-7-12, Yushima, Bunkyo-ku, 113-8681, Tokyo, Japan

E-mail : kobayashi-t@c-technol.co.jp

Website : <http://www.c-technol.co.jp>

F&J SPECIALTY PRODUCTS, INC.

THE NUCLEUS OF QUALITY AIR MONITORING PROGRAMS



Tel: 352.680.1177 / Fax: 352.680.1454

Email: fandj@fjspecialty.com / Web: www.fjspecialty.com

DF-60810E
Ambient Air Monitoring System



CD Style Digital Calibrator



DF-AB-40L
Emergency Response Air Sampler



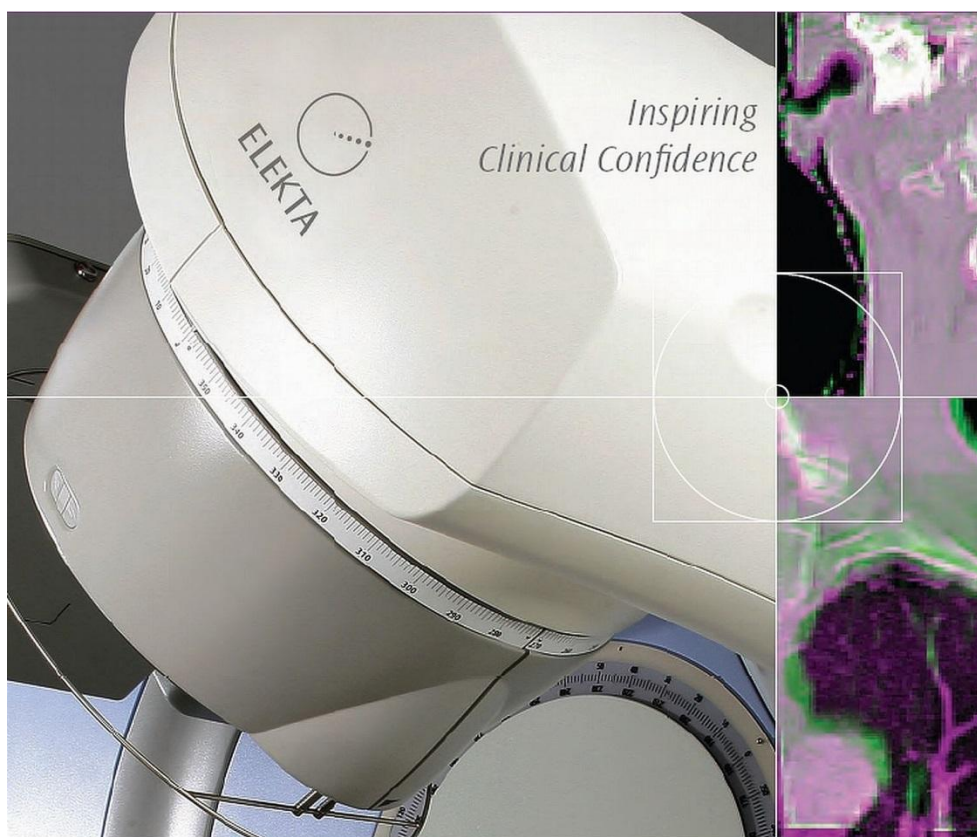
Filter Media
MCE Membrane Assortment
Glass Fiber
Qualitative and Quantitative Media

DF-1E
Portable Low volume Air Sampler
with Digital Flowmeter



Radioiodine Collection Filter Cartridges





**d.o.o. za servisne usluge i trgovinu
Lašćinska 102, 10000 Zagreb, HR**

mjerni instrumenti ▶ laboratorijska i edukacijska oprema ▶
umjerni laboratorij ▶ solarni sustavi



BELMET97

DETEKTORI GAMMA ZRAČENJA za

- ✓ Carinske i granične patrole
- ✓ Policiju
- ✓ Službe sigurnosti, laboratorije, medicinske ustanove
- ✓ Oružane snage
- ✓ Vladine institucije
- ✓ HazMat ekipe
- ✓ Vatrogasne postrojbe

RADOS
RDS-200



RAE Systems
GammaRAE II R



RAE Systems
MultiRAE PRO



Hrvatskog proljeća 34, Zagreb | Tel: 01 2959 900 | Fax: 01 2959 910 | www.belmet97.hr

ARHIV ZA HIGIJENU RADA I TOKSIKOLOGIJU

Arh Hig Rada Toksikol; ISSN: 0004-1254



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 (2011.): 1,048

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://versita.com/science/medicine/aiht> i <http://hrcak.srce.hr/aiht>



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

INSTITUT ZA MEDICINSKA
ISTRAŽIVANJA
I MEDICINU RADA
Zagreb, Ksaverska cesta 2

Znanstvenoistraživački ustrojstveni oblici



www.imi.hr

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



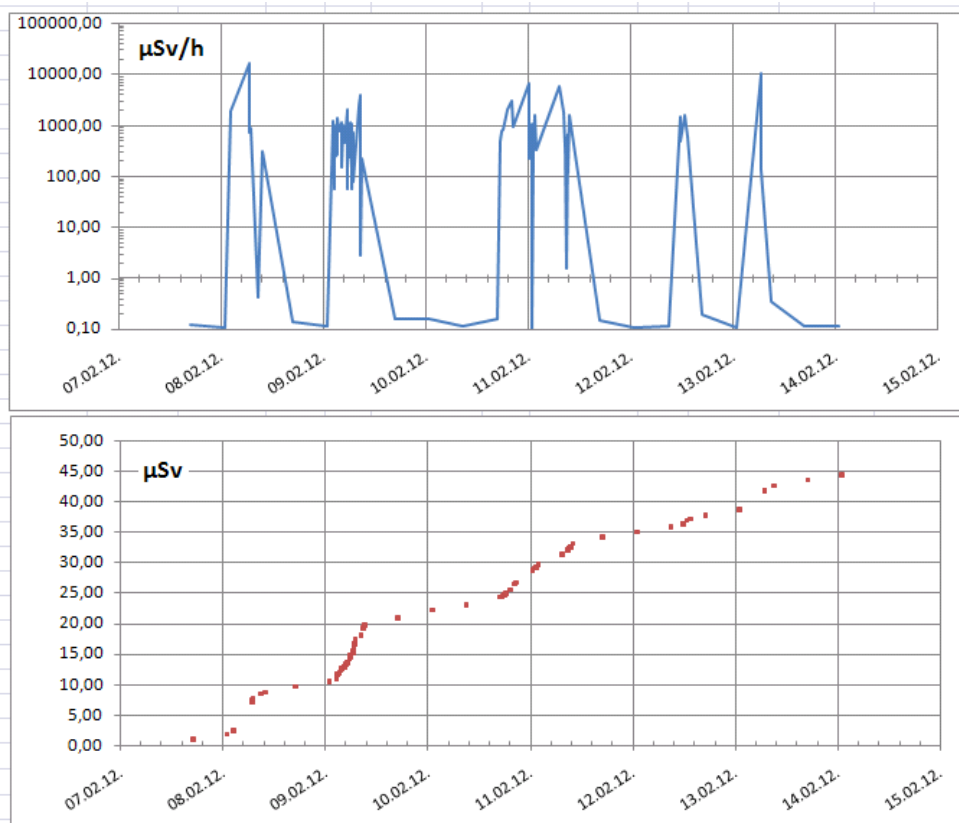
Stručni ustrojstveni oblici

Centar za kontrolu otrovanja
Jedinica za laboratorijske životinje
Znanstveno-istraživački poligon "Šumbar"



INSTITUTE FOR MEDICAL
RESEARCH AND
OCCUPATIONAL HEALTH
Ksaverska c. 2, Zagreb, Croatia





Dozimetrija budućnosti, već danas ...

„ALARA uređaji“ d.o.o.

The Siemens logo is displayed in green capital letters within a white rectangular box.

SIEMENS



www.siemens.com/radiation-oncology

Multiply chances.

Where imaging excellence meets RT expertise

In cancer treatment, nothing counts more than a life saved. And everything calls for increasing each patient's chances.

That's where we can help. As radiation therapy techniques are rapidly evolving, high-resolution imaging is becoming even more important.

Our state-of-the art imaging solutions lay the foundations for fully utilizing today's advance-

ments in cancer care. They integrate in your departmental workflow and give you the precision and confidence that you want for your patients. This is much more than creating synergies.

It's multiplying chances – for life.

Contact: Siemens d.d., Heinzelova 70a,
10 000 Zagreb, Croatia; Tel: +385 (1) 6105 258

Answers for life.



JADRANSKO

Moje osiguranje!

BELMET97

pik 