

HDZZ CRPA

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

Urednici / Editors

**Delko Barišić
Željko Grahek
Ines Krajcar Bronić
Saveta Miljanić**

**Zagreb
2008**



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:38



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

***Proceedings of the 7th Symposium of the
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION***

Izdavač / *Published by*
HRVATSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION



Urednici / *Editors*
Delko Barišić
Željko Grahek
Ines Krajcar Bronić
Saveta Miljanić

Tiskara / *Printing House*
Denona d.o.o.

Naklada / *Copies*
220

ISBN 953-96133-6-1

HDZZ – CRPA
Zagreb, 2008



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:38



**VII. SIMPOZIJ
HRVATSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
s međunarodnim sudjelovanjem
Opatija, Hrvatska
29.-31. svibnja 2008.**

**7th SYMPOSIUM OF THE
CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION
with international participation
Opatija, Croatia
May 29-31, 2008**

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

Pokroviteljstvo / Under the Auspices of

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva
Ministry of Economy, Labour and Entrepreneurship

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

Državni zavod za mjeriteljstvo
State Office for Metrology

Državni zavod za nuklearnu sigurnost
State Office for Nuclear Safety

Državni zavod za zaštitu od zračenja
State Office for Radiation Protection

Agencija za posebni otpad
APO Ltd. – Hazardous Waste Management Agency

Znanstveni odbor / *Scientific Committee*

Delko Barišić (predsjednik / *chairman*)

Zdenko Franić

Verica Garaj-Vrhovac

Ines Krajcar Bronić

Stipe Lulić

Gordana Marović

Đurđica Milković

Saveta Miljanić

Mirjana Poropat

Mária Ranogajec-Komor

Janja Vaupotič

Mladen Vrtar

Organizacijski odbor / *Organising Committee*

Željko Grahek (predsjednik / *chairman*)

Tomislav Bituh

Željka Knežević

Jadranka Kovač

Vladimir Lokner

Bogomil Obelić

Jasminka Senčar

Nikša Sviličić

Miljenko Šimpraga

Sponzori / *Sponsors*

Hrvatska pošta d. d.

Komunalac Vrbovec

GALOX, Vrbovec

Izlagači / *Exhibitors*

Canberra Packard Central Europe GmbH, Austrija

LKD Wallac

Radovi objavljeni u ovom Zborniku odražavaju stanovišta autora.
Urednici su ispravili samo očite pogreške u tekstovima, te ujednačili
izgled svih radova



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



SADRŽAJ

CONTENTS



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:38





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:38



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Pozvano predavanje / *Invited lecture*

K. Zahradtka

About the cellar death

3

Opće teme / *General topics*

Z. Franić

Radioaktivnost i nuklearna tematika u znanstvenoj fantastici
Radioactivity and nuclear issues in science fiction

13

N. Novosel, M. Prah, A. Čižmek

Novi pravilnici s područja nuklearne sigurnosti
New nuclear safety regulations

23

A. Čižmek, S. Medaković, M. Prah, N. Novosel

Kontrola nuklearnog materijala u Republici Hrvatskoj
Control of nuclear material in Republic of Croatia

29

M. Surić Mihić, T. Meštrović, I. Prlić

Nužnost provedbe programa osiguranja kvalitete
u klasičnoj dijagnostičkoj radiologiji
*Importance of quality control programme implementation
in conventional diagnostic radiology*

35

**M. Ranogajec-Komor, N. Buls, P. Clerinx, J. Jansen, H. Järvinen,
S. Miljanić, D. Nikodemova, F. d'Errico**

Dvostruka dozimetrija u intervencijskoj radiologiji –
pregled metoda u Evropi
*Double dosimetry in the interventional radiology –
overview of methods in Europe*

40

M. Hus, B. Vekić, G. Mikuličić

Uporaba ionizacijskih javljača dima u Republici Hrvatskoj
The use of ionizing smoke detectors in Republic of Croatia

47

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

A. Portner, B. Obelić, I. Krajcar Bronić

Zagrada – nova baza podataka za ^{14}C uzorke

Zagrada – a new radiocarbon database

52

Dozimetrija zračenja i instrumentacija /
Radiation dosimetry and instrumentation

M. Osvay, M. Ranogajec-Komor

*Overview on solid state dosimetry research in frame
of the Hungarian-Croatian cooperation (1979-2008)*

61

I. Krajcar Bronić

Srednja energija stvaranja ionskog para za različite
ionizirajuće čestice u zraku

*Mean energy required to form an ion pair for various
ionizing particles in air*

67

M. Štuhec, R. Ban, U. Zdešar

Performance test of diagnostic radiology instruments

73

O. Marinković, V. Spasić Jokić

Environmental TLD glow curve analysis

77

Ž. Knežević, M. Ranogajec-Komor, S. Miljanić, B. Vekić

Karakterizacija RPL dozimetara za mjerenje doza u okolini

*Characterisation of radiophotoluminescent dosimeters
for environmental monitoring*

83

A. Sironić, N. Horvatinčić, I. Krajcar Bronić, B. Obelić, J. Barešić

Mjerenje ^{14}C aktivnosti metodom AMS – akceleratorska masena
spektrometrija

*Measurement of ^{14}C activities by the accelerator mass
spectrometry (AMS)*

89

N. Golnik, K. Szczepański, P. Tulik, B. Obryk

Determination of the absorbed doses in shanks of interventional radiologists

96

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Biološki učinci zračenja / *Biological effects of radiation*

**Đ. Milković, V. Garaj-Vrhovac, M. Ranogajec-Komor, S. Miljanić,
N. Beck, G. Gajski, Ž. Knežević**

Mjerenje apsorbirane doze zračenja i oštećenja DNK
pri RTG pregledu pluća kod djece
*Dose determination and DNA damage in X-ray diagnostic
of children*

105

V. Garaj-Vrhovac, G. Gajski

Citogenetski status u osoba profesionalno izloženih
mikrovalnom zračenju GEM radara
*Cytogenetic status of workers occupationally exposed
to microwave radiation of GEM radar*

112

**D. Rukavina, D. Hasanbašić, A. Haverić, S. Haverić, A. Ajanović,
A. Katica**

Utjecaj niskih doza ionizirajućeg zračenja na pojavu hromozomskih
aberracija u limfocitima konja nakon *in vitro* ozračivanja
*Influence of low-dose ionising radiation on the occurrence
of chromosomal aberrations in horse lymphocytes
after in vitro irradiation*

119

**D. Hasanbašić, D. Rukavina, L. Saračević, M. Mihaljević,
A. Ajanović, M. Škandro**

Frekvenca mikronukleusa u limfocitima konja nakon
in vitro ozračivanja niskim dozama X zraka
*Micronuclei frequency in horse lymphocytes after
in vitro irradiation with low X ray dose*

126

P. Kraljević, M. Vilić, S. Miljanić, M. Šimpraga

Učinak ozračivanja kokošjih jaja malom dozom gama zračenja
sedmog dana inkubacije na aktivnost fosfataza u krvnoj plazmi
izleženih pilića
*Effect of low doses gamma radiation upon phosphatase activity
in blood plasma of chickens hatched from eggs irradiated
on the seventh day of incubation*

133

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

M. Vilić, J. Prišljín, B. Beer Ljubić, S. Miljanić, P. Kraljević

Učinak male doze gama-zračenja na antioksidanse
u skeletnim mišićima kokošijih zametaka
*Effect of low dose radiation upon antioxidant parameters
in skeletal muscle of chick embryo*

140

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

T. Viculin, D. Bagović, M. Solarić, V. Garaj-Vrhovac

Uloga radiobioloških parametara tkiva u izradi
radioterapijskog plana za radikalno ozračivanje prostate
*The role of radiobiology tissue parameters in radiotherapy
treatment planning for the radical irradiation of prostate*

149

S. Džubur, T. Viculin

Pretvorba CT brojeva u relativnu elektronsku gustoću za potrebe
radioterapijskog planiranja
*Conversion of hounsfield units to relative electron densities
for commissioning of a radiotherapy treatment planning system*

156

D. Nikodemová, M. Horváthová, Ľ. Gbelcová

*Patients mammographic dose survey in a sample
of Slovak mammography departments*

162

O. Ciraj Bjelac, D. Košutić, D. Aranadić, M. Kovačević

Implementacija protokola za kontrolu kvaliteta u mamografiji:
iskustva iz Srbije
*Implementation of quality control protocol in mamography:
A Serbian experience*

168

**S. Miljanić, N. Buls, P. Clerinx, H. Järvinen, D. Nikodemova,
M. Ranogajec-Komor, F. d'Errico**

Dozimetrija u intervencijskoj radiologiji – procjena efektivne doze
Dosimetry in interventional radiology – effective dose estimation

175

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- I. Mrčela, T. Bokulić, M. Budanec, A. Fröbe, Ž. Soldić, Z. Kusić**
*Diode in-vivo dosimetry for external beam radiotherapy:
patient data analysis* 184
- M. Kasabašić, D. Faj, Đ. Smilović Radojčić, M. Švabić, A. Ivković,
S. Jurković**
*Verification of the patient positioning in the bellyboard
pelvic radiotherapy* 192
- M. Švabić, S. Jurković, D. Faj, M. Kasabašić,
Đ. Smilović Radojčić, A. Ivković**
*Practices of radiotherapy equipment quality control in radiotherapy
centers in Croatia* 201
- Radioekologija / Radioecology**
- B. Petrinc, Z. Franić, T. Bituh, J. Senčar, G. Marović**
*Terenska gamaspektrometrija srednjedalmatinskih otoka
In situ gamaspectrometry of middle dalmatian islands* 209
- B. Obelić, I. Krajcar Bronić, J. Barešić, A. Sironić,
B. Breznik**
¹⁴C aktivnost bioloških uzoraka i atmosferskog CO₂ u neposrednoj
okolici Nuklearne elektrane Krško
*¹⁴C activity of biological samples and atmospheric CO₂
in immediate vicinity of Nuclear Power Plant Krško, Slovenia* 216
- G. Marović, Z. Franić, J. Senčar**
*Mahovina u radiološkom monitoringu
Mosses in radioactive monitoring* 224
- T. Bituh, B. Petrinc, G. Marović, J. Senčar, I. Gospodarić**
²²⁶Ra i ²²⁸Ra u rijekama Hrvatske
²²⁶Ra and ²²⁸Ra in Croatian rivers 230

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

D. Pavičić-Hamer, S. Lulić

- Radioekološko stanje ^{137}Cs u sjevernom Jadranu
tijekom 2006. i 2007. godine
*The radioecological condition of ^{137}Cs in the northern Adriatic sea
(2006-2007)* 236

M. Rožmarić Mačefat, A. Gojmerac Ivšić, Ž. Grahek, D. Barišić

- Određivanje uranija i torija u pitkoj i morskoj vodi
Determination of uranium and thorium in drinking and seawater 242

M. Maračić, Z. Franić, G. Marović

- Koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u životinjskim kostima
u Republici Hrvatskoj
*Investigations of ^{90}Sr activity concentrations in animal bones
in Republic of Croatia* 248

J. Kovač, G. Marović

- Radioaktivnost odlagališta pepela i šljake
Radioactivity at ash and slag deposit site 255

Radon /Radon

J. Vaupotič

- Nanosize aerosols of radon decay products in various environments* 263

B. Zmazek, A. Gregorič, J. Vaupotič, I. Kobal

- Anomalous radon levels in thermal water as an indicator
of seismic activity* 271

V. Radolić, L. Novaković, G. Jerković, B. Vuković

- Radon u kućama u Vukovarsko-srijemskoj županiji
Radon in houses of Vukovar-Srijem county 276

Z. Poletto, M. Varga, V. Radolić, M. Poje, B. Vuković

- Radon u kućama Brodsko-posavske županije
Radon in the houses of Slavonski brod-Posavina county 283

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

V. Radolić, I. Šarić, I. Miklavčić

Radon u vodi gradskih vodovoda u naseljima
Požeško-slavonske županije
*Radon in public waterworks at the cities
of Požega-Slavonia county*

288

V. Radolić, V. Šimatović, I. Miklavčić

Radon u vodi gradskih vodovoda u naseljima
Osječko-baranjske županije
*Radon in public waterworks at the cities
of Osijek-Baranja county*

294

Popis autora / *Author index*



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:38



POZVANO PREDAVANJE

INVITED LECTURE



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:38



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

***DEINOCOCCUS RADIODURANS* – BAKTERIJA OTPORNA NA ZRAČENJE**

Ksenija Zahradka

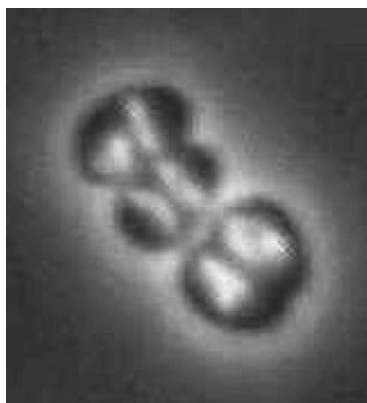
Zavod za molekularnu biologiju, Institut "Ruđer Bošković",
Bijenička 54, HR-10000 Zagreb

UVOD

Bakterija *Deinococcus radiodurans* pripada skupini ekstremofila, organizama koji su se prilagodili životu u ekstremnim uvjetima. Ona može preživjeti ekstremno isušivanje te izuzetno velike doze zračenja po čemu, uz još nekoliko vrsta, predstavlja jedinstveni fenomen u živome svijetu [1,2].

Bakterija *D. radiodurans* otkrivena je 1956. godine u Oregonu (SAD) kao kontaminant u konzervama mesa koje je bilo tretirano velikom dozom (4000 Gy) x-zračenja u svrhu sterilizacije. Prirodna staništa ove bakterije su vrlo različita, od onih siromašnih organskim tvarima i vodom kao što su pustinjski pijesak i gole stijene, do organski-bogatih staništa kao što su zemlja, životinjski izmet ili sušena hrana.

D. radiodurans je gram-pozitivna, crveno-pigmentirana, aerobna bakterija veličine 1 – 2 μm . Nije pokretna, ne sporulira i nije patogena. Stvara okrugle stanice koje tijekom rasta u tekućoj hranjivoj podlozi najčešće stvaraju parove i tetrade (Slika 1).



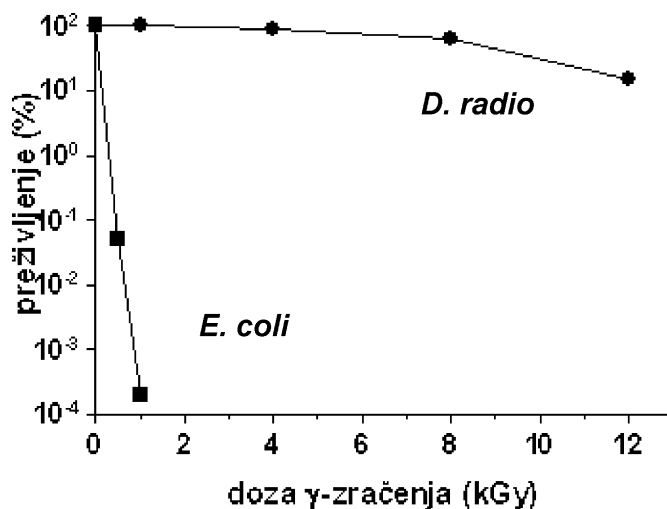
Slika 1. Stanice bakterije *D. radiodurans* (u obliku tetrade i para) obojane fluorescentnom bojom DAPI koja se veže specifično za molekulu DNA i snimljene pod fluorescencijskim mikroskopom

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Genom bakterije *D. radiodurans* je kružna dvolančana molekula DNA veličine 3.28 Mpb, a sastoji se od dva kromosoma (veličine 2.65 i 0.41 Mpb) i dva kružna plazmida (veličine 0.18 i 0.046 Mpb) [3]. Stanice su poliploidne i sadrže četiri do deset kopija genoma. Genom je u potpunosti sekvenciran, a usporedne analize s genomima drugih organizama pokazale su njegovu “mozaičnu” prirodu; velik broj gena ove bakterije najvjerojatnije je stečen horizontalnim prijenosom iz različitih izvora (organizama) [4].

OTPORNOST BAKTERIJE *D. radiodurans* NA ZRAČENJE

Bakterija *D. radiodurans* je izuzetno otporna na različite agense koji oštećuju molekulu DNA: ionizacijsko zračenje, UV zračenje, isušivanje te različite kemijske mutagene spojeve [1,2]. Posebno fascinira otpornost ove bakterije na ionizacijsko zračenje (x-zrake i gama-zrake) (Slika 2); *D. radiodurans* može preživjeti dozu od 20000 Gy – to je 3000 puta veća doza od one koja ubija čovjeka!



Slika 2. Krivulje preživljenja bakterija *D. radiodurans* i *Escherichia coli* nakon gama-zračenja

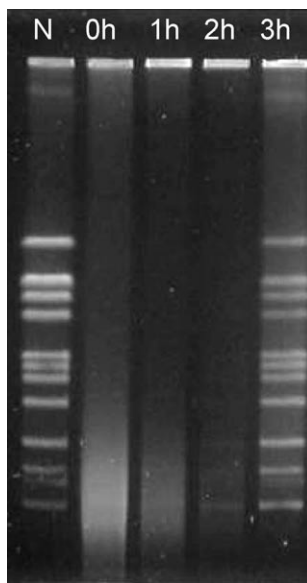
Molekula DNA je nosilac genetičke informacije i njezin integritet je preduvjet za funkcioniranje svake stanice. Ionizacijsko zračenje izaziva najteži tip oštećenja genoma, a to su dvolančani lomovi u molekuli DNA. Većina prokariotskih i eukariotskih stanica može popraviti tek nekoliko dvolančanih lomova u molekuli DNA. Bakterija *D. radiodurans* može popraviti nekoliko stotina

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

takvih lomova u svom genomu. Upravo učinkovit popravak DNA smatra se osnovom radiorezistencije te bakterije.

Slično ionizacijskom zračenju, i ekstremno isušivanje (desikacija) uzrokuje cijepanje staničnog genoma. Sve dosad ispitane bakterije otporne na desikaciju pokazale su i iznimnu otpornost na zračenje [5]. Stoga se smatra da se radiorezistencija razvila kao sporedna pojava rezistencije na isušivanje – stanice su tijekom evolucije razvile veliki kapacitet za popravak svoga genoma koji biva oštećen u ekstremno suhim uvjetima.

Prema dosadašnjim spoznajama, popravak genoma kod bakterije *D. radiodurans* je iznimno učinkovit i vjeran proces; stotine fragmenata DNA koji nastanu nakon zračenja vrlo se brzo i precizno sklope u cjelovite funkcionalne kromosome (Slika 3) [1,2,6]. Molekularni mehanizam tog popravka ostao je, međutim, nepoznat punih 50 godina.



Slika 3. Popravak DNA bakterije *D. radiodurans* nakon izlaganja dozi od 7000 Gy γ -zračenja praćen metodom gel-elektroforeze u promjenjivom električnom polju (PFGE). DNA bakterije *D. radiodurans* razgrađena enzimom NotI prije zračenja (N), neposredno nakon ozračivanja (0h) te 1h, 2h i 3h nakon zračenja.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

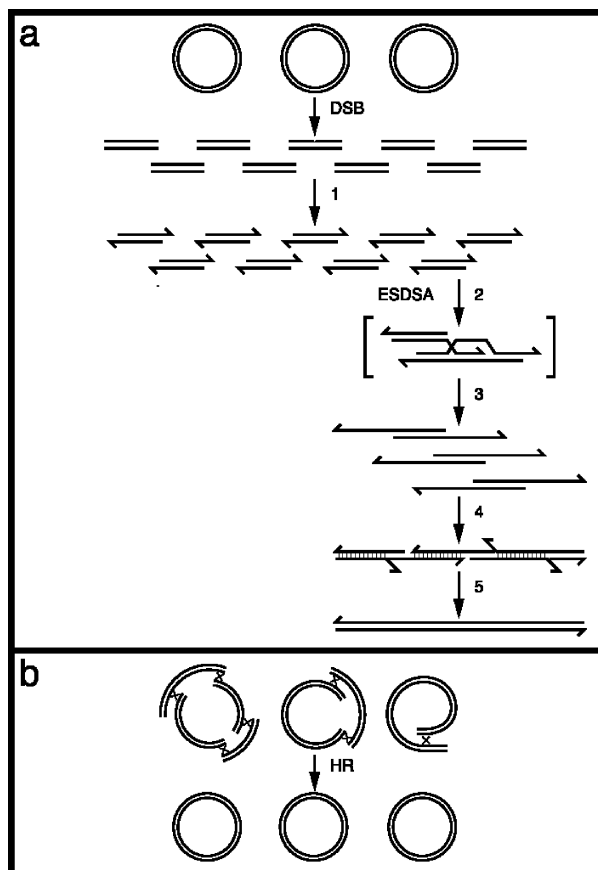
OTKRIĆE MEHANIZMA POPRAVKA KROMOSOMA BAKTERIJE *D. radiodurans* NAKON γ -ZRAČENJA

U suradnji s laboratorijem prof. Miroslava Radmana (Medicinski fakultet Necker, Sveučilište Pariz V, Pariz, Francuska) Laboratorij za molekularnu mikrobiologiju Instituta “Ruđer Bošković” u Zagrebu sudjelovao je u rasvjetljavanju molekularnog mehanizma popravka DNA koji omogućava rekonstituciju kromosoma bakterije *D. radiodurans* nakon izlaganja ekstremnoj dozi γ -zračenja [7].

Istraživanja smo započeli analizirajući postojeće modele popravka DNA koji su opisani kod drugih organizama, a koji se između ostalog razlikuju po udjelu sinteze DNA koji uključuju. U ozračenim stanicama usporedno smo pratili kinetiku popravka DNA (metodom gel-elektroforeze u promjenjivom električnom polju) i kinetiku sinteze DNA (mjerenjem ugradnje ^3H -timidina tijekom postiradijacijskog rasta). Otkrili smo da je popravak DNA nakon zračenja praćen opsežnom sintezom DNA koja ovisi o DNA polimerazi I (produktu gena *polA*) i koja ugrađuje više nukleotida nego normalna replikacija u intaktnim stanicama. Također smo ustanovili da je za rekonstituciju cjelovitih kromosoma potreban glavni rekombinacijski protein RecA. U sljedećoj fazi istraživanja detaljnije smo analizirali popravljenu DNA bakterije *D. radiodurans* i to pomoću dvije metode: ultracentrifugiranjem u gradijentu gustoće cezijeveg klorida te UV-fotolizom. Ovim metodama potvrdili smo postojanje masivne reparatorne sinteze DNA u ozračenim stanicama te pokazali da su popravljene kromosomi bakterije *D. radiodurans* građeni kao mozaik sastavljen od starih i novosintetiziranih dvolančanih blokova DNA. Konačno, razvili smo posebnu metodu imunofluorescencijske mikroskopije kojom smo na razini pojedinačne stanice detektirali i izmjerili količinu novosintetizirane jednolančane DNA koja s vremenom prelazi u dvolančani oblik.

Na temelju dobivenih rezultata predložili smo dvostupanjski mehanizam popravka DNA kod bakterije *D. radiodurans* (Slika 4) [7]. Prvi stupanj uključuje sintezu dugačkih jednolančanih produžetaka na krajevima fragmenata DNA i njihovo sparivanje, a nazvali smo ga “extended synthesis-dependent strand annealing” (ESDSA) (Slika 4, a). U procesu ESDSA, fragmenti kromosoma nastali zračenjem koriste se kao početnice i kao kalupi za masivnu sintezu komplementarnih jednolančanih produžetaka. Ti produžeci postaju “ljepljivi krajevi” koji se sparuju s velikom preciznošću, sklapajući fragmente DNA u dugačke, linearne intermedijere. U drugom stupnju popravka, linearni intermedijeri nastali procesom ESDSA sklapaju se u kružne funkcionalne kromosome homolognom rekombinacijom koja ovisi o proteinu RecA (slika 4, b). Daljnji rad trebao bi rasvjetliti molekularne detalje ovog procesa i otkriti ostale reparatorne proteine koji doprinose njegovoj učinkovitosti i preciznosti.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 4. Dvostupanjski mehanizam rekonstitucije kromosoma bakterije *D. radiodurans* nakon gama-zračenja (preuzeto iz [7])

“PASIVNI” MEHANIZMI KOJI DOPRINOSE RADIOREZISTENCIJI

Iako popravak DNA igra ključnu ulogu u preživljavanju bakterije *D. radiodurans* nakon zračenja, radiorezistenciji ovog mikroorganizma pridonose i neki “pasivni” mehanizmi [8]. Pretpostavlja se da bi posebna kondenzirana građa kromosoma mogla imati ulogu u otpornosti na zračenje tako što sprječava difuziju fragmenata DNA nakon zračenja i time povećava učinkovitost reparatornog procesa. Nadalje, pokazano je da važnu ulogu u radiorezistenciji bakterije *D. radiodurans* ima nakupljanje iona mangana u stanicama; oni djeluju kao “čištači” slobodnih radikala i tako štite proteine, među njima i one reparatorne, od letalnih učinaka zračenja [9].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

LITERATURA

- [1] Minton KW. DNA repair in the extremely radioresistant bacterium *Deinococcus radiodurans*. Mol Microbiol 1994;13:9-15.
- [2] Battista JR. Against all odds: the survival strategies of *Deinococcus radiodurans*. Annu Rev Microbiol 1997;51:203-224.
- [3] White O *et al.* Genome sequence of the radioresistant bacterium *Deinococcus radiodurans* R1. Science 1999;286:1571-1577.
- [4] Makarova KS, Aravind L, Wolf YI, Tatusov RL, Minton KW, Koonin EV, Daly MJ. Genome of the extremely radiation-resistant bacterium *Deinococcus radiodurans* viewed from the perspective of comparative genomics. Microbiol Mol Biol Rev 2001;65:44-97.
- [5] Mattimore V, Battista JR. Radioresistance of *Deinococcus radiodurans*: functions necessary to survive ionizing radiation are also necessary to survive prolonged desiccation. J Bacteriol 1996;178:633-637.
- [6] Battista JR, Earl AM, Park MJ. Why is *Deinococcus radiodurans* so resistant to ionizing radiation? Trends Microbiol 1999;7:362-365.
- [7] Zahradka K, Slade D, Bailone A, Sommer S, Averbeck D, Petranovic M, Lindner AB, Radman M. Reassembly of shattered chromosomes in *Deinococcus radiodurans*. Nature 2006;443:569-573.
- [8] Cox MM, Battista JR. *Deinococcus radiodurans* – the consummate survivor. Nature Rev Microbiol 2005;3:882-892.
- [9] Daly MJ *et al.* Protein oxidation implicated as the primary determinant of bacterial radioresistance. PLOS Biol 2007;4:e92.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

***DEINOCOCCUS RADIODURANS* – A RADIATION RESISTANT BACTERIUM**

Ksenija Zahradka

Division of Molecular Biology, Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54,
HR-10000 Zagreb

Deinococcus radiodurans, an extremophile bacterium, sustains extreme conditions of life, such as excessive desiccation and exposure to high doses of ionizing radiation. Both desiccation and radiation cause DNA double-strand breaks, the most severe form of genomic damage. Whereas most vegetative prokaryotic and eukaryotic cells can survive less than a dozen simultaneous double-strand DNA breaks, *D. radiodurans* survives extreme ionizing radiation breaking its genome into several hundred fragments. Remarkably, in just couple of hours, these fragments are reassembled into functional chromosomes due to an efficient and precise DNA repair process.

In collaboration with prof. Miroslav Radman (Medical Faculty Necker, University Paris V, Paris, France), the Laboratory for Molecular Microbiology at Ruder Boskovic Institute (Zagreb, Croatia) participated in unraveling the molecular mechanism of DNA repair which enables reconstitution of *D. radiodurans* chromosomes shattered by gamma radiation. We have found that genome restoration in *D. radiodurans* takes place as a two-stage process, which involves a novel mechanism called “extended synthesis-dependent strand annealing” (ESDSA), followed and completed by homologous recombination. In ESDSA, chromosomal fragments produced by radiation are used both as primers and templates for a massive synthesis of long single-strand extensions. This synthesis depends on DNA polymerase I and incorporates more nucleotides than does normal replication in intact cells. Newly synthesized single-strand extensions become “sticky ends” that anneal with high precision, joining together contiguous DNA fragments into long linear intermediates. These intermediates are finally matured by RecA-mediated crossovers into functional circular chromosomes, comprising double-stranded patchworks of numerous DNA blocks synthesized before radiation, connected by DNA blocks synthesized after radiation.



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:40





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



OPĆE TEME

GENERAL TOPICS



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:40





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:40



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADIOAKTIVNOST I NUKLEARNA TEMATIKA U ZNANSTVENOJ FANTASTICI

Zdenko Franić

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: franic@imi.hr

UVOD

Znanstvena fantastika (engl.: *science fiction*) je umjetnički žanr koji ima za potku suvremena ili buduća znanstvena-tehnološka dostignuća i njihove utjecaje na društvo ili pojedince. Granice žanra nisu jasno definirane te znanstveno-fantastična djela često sadrže značajke drugih umjetničkih žanrova, posebice fantastike, ali i kriminalističkih romana, romana strave i užasa, povijesnih romana itd. Također, mnoga znanstveno-fantastična djela imaju i značajne elemente psihološke i filozofske književnosti. Pojam znanstvene fantastike se prvenstveno vezuje za književnost, film i televiziju, ali utječe i na likovnu i glazbenu umjetnost te druge medije.

Kako se znanstvena fantastika često bavi i alternativnom poviješću ili realnošću ("što bi bilo da je bilo") bliska je spekulativnoj fikciji, koja uključuje fantastiku, horor i srodne žanrove. Međutim, znanstvena fantastika se od fantastike razlikuje po tome što su, u kontekstu razvoja radnje znanstveno-fantastičnog djela, imaginarni elementi priče donekle mogući ili opravdani unutar prihvaćenih ili znanstveno postuliranih zakona prirode. Znanstvena fantastika se stoga široko zasniva na razradi alternativnih stvarnosti nasuprot poznatoj realnosti. To uključuje:

- Postavljanje radnje u budućnost, u alternativne vremenske skale ili u povijesnu prošlost koja nije sukladna povijesnim činjenicama ili arheološkim nalazima,
- Postavljanje radnje u svemir, druge svjetove i uključivanje vanzemaljaca,
- Priče koje su u kontradikciji s poznatim ili pretpostavljenim prirodnim zakonima,
- Priče koje uključuju otkriće ili uporabu novih i nepoznatih znanstvenih principa kao što su putovanje kroz vrijeme, psionika itd., odnosno novih tehnologija kao što su nanotehnologija, robotika i umjetna inteligencija, transhumanizam i sl.,
- Razradu novih i različitih političkih ili socijalnih sustava.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Istraživanje posljedica takvih pomaka od stvarnosti tradicionalna je bit znanstvene fantastike čineći je “literaturom ideja”.

PRVI SPOMEN RADIOAKTIVNOSTI U PRIPOVJETKAMA

U znanstveno fantastičnoj književnosti, tematika ionizirajućeg zračenja i radioaktivnosti javlja se gotovo odmah nakon otkrića radioaktivnosti. Godine 1895. je njemački fizičar Wilhelm Conrad Röntgen proizveo i detektirao elektromagnetsko zračenje valnih duljina u području u kojem se danas definiraju rendgenske zrake. Svega godinu dana kasnije Henri Becquerel otkriva da uranijeve rude i spojevi isijavaju zrake koje pokazuju slično djelovanje rendgenskim zrakama. Iste 1996. godine Herbert George Wells je u svojoj pripovjetci *Nevidljivi čovjek* (*The Invisible Man*) koristio “rendgenske vibracije” kao logičku podlogu za postizavanje nevidljivosti [1]. Wells je godine 1914., pred sam početak I. Svjetskog rata objavio i novelu *The World Set Free* [2] u kojoj je po prvi put upotrijebljen izraz “atomska bomba”. Naime, konstantna tema Wellsovog književnog opusa jest uloga energije i tehnologijskog razvoja u određivanju napretka čovječanstva.

Tadašnji su znanstvenici dobro upoznati s polaganim radioaktivnim raspadom prirodnih radionuklida kao što je primjerice radij. I dok je brzina kojom se radioaktivnim raspadom energija oslobađa malena, ukupna količina oslobođene energije je izuzetno velika. Wells je u pripovjetci zamislio razvoj tehnologije kojom se inducira radioaktivnost težih elemenata i način korisne uporabe interne energije atoma. No, ta nipošto ponajbolja, Wellsova novela predviđa i razvoj nuklearnog oružja. Štoviše, igrom sudbine, ili pukom koincidencijom, godine 1933., iste one godine u kojoj fikcionalni Wellsov junak, imena Holsten, otkriva tehnologijski postupak induciranja radioaktivnosti, fizičar Leó Szilárd, inspiriran čitanjem te knjige domislio je ideju lančane nuklearne reakcije koju je slijedeće godine (1934.) i patentirao [3].

Valja reći da se u svom predviđanju nuklearnog oružja Wells prevario utoliko što njegove “atomske bombe” nemaju veću snagu od klasičnog eksploziva ali zato kontinuirano danima eksplodiravaju.

KATEGORIJE PRIPOVJEDAKA PREDMETNE TEMATIKE

Nakon što je Wells na tako fascinantan način uveo radioaktivnost i nuklearnost u znanstvenu fantastiku, a znanstvenici nastavili rad na istraživanju osobina ionizirajućeg zračenja šireći saznanja o njegovim zdravstvenim učincima na živi svijet, zračenje je postalo svojevrsni “deus ex machina” kako bi se objasnilo nemoguće. Budući da je ono nevidljivo i uglavnom se osjetilima ne

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

može detektirati, zračenje je, osim ljudima od struke, bilo i ostalo slabo razumljivo, nejasno i misteriozno što je uistinu paradoksalno jer su radioaktivnost i ionizirajuće zračenje zasigurno jedan od najistraživanijih fenomena XX. stoljeća. Ipak, glavina saznanja koja šira javnost ima o zračenju i nuklearnoj problematici može se pripisati holivudskim filmovima¹ B kategorije i televiziji [4]. Tako još i danas u najširoj javnosti vlada percepcija kako je i najmanja količina, odnosno izloženost ionizirajućem zračenju, štetna i opasna te izaziva trenutne mutacije.

S druge strane, nakon što su se Wellsova predviđanja opredmetila krajem II. Svjetskog rata kada je čovječanstvo bilo suočeno sa stravičnim posljedicama nuklearnih bombi bačenih na Hirošimu i Nagasaki te hladnim ratom kao rastućoj prijetnji globalnom miru, radioaktivnost i nuklearna tematika su mnogim autorima znanstvene fantastike poslužili kao metafora zla i holokausta i potka za razne manipulacije i teorije zavjere.

Posljedično, tek nakon II. svjetskog rata su se do kraja uobličile kategorije znanstveno-fantastičnih pripovjedaka koje kao tematiku rabe radioaktivnost i nuklearnost. Takve pripovjetke možemo grubo podijeliti u slijedeće kategorije:

- Pripovjetke nastale prije razvoja i uporabe nuklearnog oružja,
- Post apokaliptični svjetovi i nuklearni holokaust,
- Antinuklearna tematika i arhetipski strahovi,
- Politika i teorije zavjere,
- Monstrumi i superheroji,
- Ludi znanstvenici,
- Pobjeda razuma i tehnologijski optimizam.

Post apokaliptični svjetovi i nuklearni holokaust

Post apokaliptični svjetovi poslije nuklearnog holokausta česta su potka kiberpunka (engl.: *cyberpunk*) kao cijelog podžanra znanstvene fantastike. Kiberpunk je začeo 1970-ih godina, a naziv je dobio po tome što su ga s punk glazbom donekle povezivale anarhističke ideje. Radnje kiberpunka u pravilu se događaju na Zemlji u bliskoj budućnosti, a nastanak podžanra vjerojatno je potaknut i razočarenjem zbog stagnacije svemirskog programa. Budućnost opisana u *cyberpunk* djelima često je distopijska i prepuna ekoloških katastrofa. Iako je naziv *cyberpunk* stvorio američki pisac Bruce Bethke 1980. godine napisavši priču tog imena, naziv je popularizirao i dao mu današnje značenje ame-

¹ Za informacije o filmovima spomenutim u ovom radu uglavnom su korišteni podaci baze *The Internet Movie Database* s Web adrese < <http://www.imdb.com> >

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

rički pisac i urednik Gardner Dozois opisujući rad pisca Williama Gibsona. Naime, nakon što je Gibsonov roman *Neuromancer* postigao neslućeni planearnj uspjeh, njegov se autor počeo smatrati začetnikom žanra.

Ostala, izuzetno značajna djela, koja kao i *Neuromancer* opisuju mračnu budućnost čovječanstva nakon nuklearne apokalipse jesu primjerice *Blade Runner* (*Istrebljivač*), kuljni film Ridleya Scota, snimljen po pripovjetci Philipa K. Dicka *Sanjaju li androidi električne ovce*. U tom djelu Dick, osim što preispituje egzistencijalna pitanja bitka te suživota androida i ljudi, izvanredno realistično obrađuje tematiku nuklearne zime koja prema nekim predviđanjima slijedi nakon globalnog nuklearnog rata.

U ovoj kategoriji svakako treba spomenuti i priču Roberta Heinleina *Solution Unsatisfactory* iz godine 1940., koja realistično predviđa razvoj strahovitog oružja nazvanog “nuklearna prašina” kojim USA pobjeđuju Njemačku u II. svjetskom ratu. Danas “nuklearnu prašinu” prepoznajemo kao tzv. “prljave nuklearne bombe”, neobično realnu terorističku prijetnju. Radi se o radioaktivnom materijalu koji se relativno lagano može nabaviti na ilegalnom tržištu te se uz pomoć klasičnog eksploziva može nadaleko disperzirati pri tome kontaminirajući velika područja.

Walter M. Miller, Jr. u knjizi *Kantikulom za Leibowitza* (1959) sjajno razrađuje rasap društva poslije nuklearnog rata i nastanak novih religija. Izuzetno je dojmljiva atmosfera filma *Na plaži* (*On the Beach*) snimljenog 1959. godine (uz remake 2000. godine) po noveli Nevila Shutea. Svijet je uništen nuklearnim ratom, preostala je samo Australija. No neizbježna radijacija se približava i nikome nema spasa. Kako bi svoje stanovništvo spasila od muka umiranja od radijacijske bolesti, australska vlada dijeli ampule otrova. Radi se o prvom ozbiljnom filmu na temu nuklearnog rata, a poruka je jasna: *u slučaju globalnog nuklearnog sukoba svi umiremo*.

U ovu kategoriju spadaju i kuljni film *Terminator* Jamesa Camerona koji je proslavio glumca Arnolda Schwarzeneggera, film *Planeta majmuna* u kojem se preživjeli nakon nuklearnog rata klanjaju nuklearnoj bombi kao božanstvu, apokaliptični svijet iz filma *Pobješnjeli Max* (*Mad Max*) s Melom Gibsonom u glavnoj ulozi itd.

Antinuklearna tematika i arhetipski strahovi

Kako su u poslijeratnom periodu počele na vidjelo izlaziti informacije o učincima nuklearnog oružja i nuklearnim pokusima pro-nuklearne i pro-tehnološke priče, poput onih Wellsovih, zamijenjene su pričama faustovsko-frankensteinovske potke.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Posljedično, u periodu hladnog rata pojavile su se na stotine filmova (uglavnom B kategorije) s tematikom uslijed radijacije mutiranih bića i monstruma. Spomenimo *The Day the Earth Stood Still* (1951), *Them!* (1954), *The Incredible Shrinking Man* (1957) itd. Nesumnjivo, na simboličkoj razini osim strahom od zračenja ti su filmovi i pripovjetke (u zapadnom svijetu) nadahnute i istinskom panikom od prevlasti komunizma kao i izopačenoj, nakaznoj i zloj društvenoj stvarnosti koju on sa sobom donosi.

Od znanstveno-fantastičnih pripovjedaka iz ove kategorije svakako valja spomenuti *Pakleni oganj* (*Hell-Fire*), kratku novelu Isaaca Asimova svojedobno objavljenu i u zagrebačkom časopisu za znanstvenu fantastiku *Sirius*. Radnja je jednostavna: znanstvenici nekom vrstom ultrabrze stroboskopske kamere snimaju faze detonacije nuklearne bombe. Na fundamentalnoj razini u nuklearnom se ognju ukazuje slika nečastivog. I ovdje se radi o jasnoj poruci: *nuklearne bombe su sama esencija zla*.

Politika i teorije zavjere

Prvi film iz ove skupine jest njemački film *Guld* (*Zlato*) iz 1934. godine. Radnja se gradi oko otkrića dvaju znanstvenika kako uz pomoć radioaktivnosti ostvariti snove svih alkemičara te iz olova proizvesti zlato. Njihove napore sabotira škotski bogataš nastojeći tu tehnologiju prisvojiti sebi. Zanimljivost filma jest to da su jednu kopiju tijekom II. svjetskog rata konfiscirali američki obavještajci kako bi procijenili koliko su zaista njemački znanstvenici daleko odmakli u istraživanjima i uporabi radioaktivnosti.

No, prvi ozbiljni film iz ove kategorije jest *China Sindrom* (1979.) koji predviđa mogućnost da rastaljena jezga nuklearnog reaktora nakon udesa (izostanak hlađenja) zbog svoje mase i temperature tone do središta Zemlje. Stvarne nuklearne nesreće (Otok tri milje, Čornobilj) pokazale su da je takvo što u stvarnosti ipak nemoguće.

Nekoliko filmova kao što su *Chain Reaction* (1996) i *The Saint* (1997) obrađuju globalne zavjere oko prikrivanja tehnologije dobivanja "čiste" energije u vidu hladne fuzije, a zbog sebičnih razloga pojedinih moćnika.

Možda je sumorna atmosfera nemoći pojedinca pred voljom globalnih moćnika da započnu globalni nuklearni rat obrađena u sjajnom filmu *Miracle Mile* (1998).

Valja spomenuti i brojne više ili manje uspješne filmove koji radnju grade oko zataškavanja istine vezane uz nadolazeću katastrofu (*Supernova*, 2005) ili ilegalno odlaganje nuklearnog opada (*Sahara*, 2005).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Monstrumi i superheroji

Superheroji su (u pravilu) kostimirane ili maskirane osobe, najčešće imaju skriveni identitet te nadnaravne tjelesne (često i umne) sposobnosti koje su stečene nekim slučajem ili udesom. Superheroji djeluju u javnom interesu, gotovo su uvijek na rubu sukoba sa zakonom, bore se protiv raznih kriminalaca, antiheroja ili vanzemaljaca koji najčešće imaju slične nadnaravne osobine. Superhoriji se najčešće pojavljuju u stripovima i filmovima, ali i drugim medijima. Moglo bi se reći da se preteče superheroja mogu susresti još od antičkih mitova (Herkules) preko pučke predaje skoro svih naroda (Kraljević Marko, Robin Hood) do literarnih karaktera kao što su Tarzan ili Zorro. Međutim, prototip superheroja u današnjem smislu riječi svakako jest Superman, koji se pojavio još godine 1938. u stripu *Detectice Comics* i ubrzo postao kulturna ikona. Danas se njegov lik gotovo poistovjetio s glumcem Christopherom Reeveom koji je utjelovio Supermana u nekoliko filmova.

Pravi procvat superheroja zbio se zahvaljujući izdavačkoj kući Marvel Publishing, Inc. [5] u doba hladnoga rata kada je američka javnost bila zgrožena sovjetskom premoći u Svemiru nakon lansiranja satelita Sputnjik te je tražila neko uporište koje bi moglo ublažiti zebnju pa i strah od nadiruće komunističke opasnosti.

Interesantno da su mnogi superheroji na neki način povezani sa radioaktivnošću, zračenjem ili nuklearnim udesima, potvrđujući stereotip da se uz pomoć izloženosti zračenju mogu objasniti najčudesnije pojave pa i trenutne mutacije.

Osim superheroja, u znanstveno-fantastičnim djelima često se pojavlju i razna čudovišta, nemani i mutanti nastali kao posljedica nekih nuklearnih djelatnosti ili udesa. U Tablici 1 prikazani su neki od tih superheroja i monstuma. Vidljivo je da su superheroji stekli mnoge pozitivne sposobnosti kao posljedicu izloženosti zračenju. Posebice je interesantan slučaj Ninda kornjača koji su na taj način stekli čak i pozitivna antropomorfna svojstva. Znači li to da se percepcija zračenja i radioaktivnosti u javnosti mijenja i da zračenje prestaje biti stereotip nečega strašnoga i štetnoga?! Mijenja li se i sadržaj katastrofičnih opasnosti koje uzbuđuju čovječanstvo kao globalna prijetnja sigurnoj i mirnoj budućnosti? U prilog tome govori i činjenica da je u novijoj inačici filma *Spider-man* čovjek pauk nadnaravna svojstva dobio uslijed ugriza genetski modificiranog pauka, a ne radioaktivnog kao u izvorniku.

Plejadi superheroja iz Tablice 1, koji svoje nadnaravne sposobnosti i moći duguju izloženosti zračenju, valja pribrojiti i superheroje koji su tijekom svojih avantura "imali posla" s radioaktivnošću i/ili spašavali svijet od nuklearnog uništenja. To su prvenstveno nezaobilazni Superman, Kapetan Amerika i slični. Ipak, iako je Supermen nekoliko puta uspješno spasio svijet od nuklearne opas-

Tablica 1. Pregled nekih superheroja i monstruma koji su svoje moći stekli u kontekstu izloženosti zračenju

Junak – monstrum	Alter ego	Moći	Način stjecanja	Medij	Godina i zemlja pojavljivanja
Gojira / Godzilla	Slični dinosauru	Atomski dah, snaga	Nastao iz nuklearne eksplozije	Film, strip	1954 Japan
Rodan	Slični pteranodonu	Supersonična brzina, spretnost, snaga, radioaktivna toplina iz daha	Probuden nakon vulkanskih aktivnosti	Film, strip	1956 Japan
Fantastic four	Znastvenici i astronauti: Reed Richards, Susan and Johnny Storm, Ben Grimm	Mijenjanje oblika tijela, zapaljivost, snaga, nevidljivost	Izloženost kozmičkim zrakama tijekom svemirskog leta	Strip, film	1961 USA
Hulk	Fizičar Dr. Robert Bruce Banner	Nadnaravna tjelesna snaga	Eksplוזija “gama bombe”	Strip, film	1962 USA
Steel Claw	Znanstveni asistent Louis Crandell	Nevidljivost, kiborg	Nesreća u laboratoriju, izloženost elektro-magnetskom zračenju	Strip	1962 Velika Britanija
Spiderman	Student Peter Parker	Izlučivanje čvrste paučine, spretnost	Ugriz radioaktivnog pauka	Strip, film	1962 USA
Daredevil	Odvjetnik Matt Murdock	Slijep, ali izoštranih radarskih čula	Radioaktivni izotop	Strip, film	1964 USA
Strontium dog	Johnny Alpha	Čitanje misli, gledanje kroz prepreke	Mutacije uzrokovane nuklearnim falloutom	Strip	1978 Velika Britanija
Mutant Turtles	Uzeli imena umjetnika: Leonardo, Michelangelo, Donatello, Raphael	Antropomorfne osobine, borilačke vještine	Izloženost nuklearnom otpadu	Strip, film	1980 USA

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

nosti on sam ima problema s radioaktivnim zračenjem “kriptonita”. Radi se o fiksijskom superteškom radioaktivnom elementu atomskog broja 126 i vremena poluraspada od 250000 godina, koji se svemirom raspršio nakon eksplozije Supermenovog rodnog planeta Krypton [6]. Dakle, (osim po ljubavnim jadima) Supermen je barem po učincima zračenja i strahu od zračenja izjednačen s običnim smrtnicima.

Ludi znanstvenici

Najpoznatije djelo koje spada u ovu kategoriju jest kulturni film *Dr. Strangelove or: How I Learned to Stop Worrying and Love the Bomb* (1964). Radi se o subverzivnoj crnoj komediji Stanleya Kubricka s briljantnim Peter Sellersom u glavnoj ulozi. U filmu je opisana situacija u kojoj je glavni zapovjednik koji pod nadzorom drži američki nuklearni arsenal poludio, ali podređeni to ne primjećuju ili ne žele primijetiti i sve ide prema nuklearnom ratu sa Sovjetskim savezom [7].

Inače u gotovo svim filmovima koji spadaju u ovu kategoriju, primjerice: *The Invisible Ray* (1936), *Dr. Cyclops* (1940), *Bride of the Monster / Atom* (1955), *Creature with the Atom Brain* (1955), *Timeslip / Atomic Man* (1956), *Monstrosity* (1964) itd. ludi znanstvenici su doktori znanosti, uglavnom fizičari. Nesumnjivo se radi o kolektivnoj percepciji najšire javnosti da su znanstvenici, osim za napredak tehnologije i neviđeni napredak kvalitete života odgovorni i za neviđena zlodjela. Na tom tragu citirajmo paradigmatičan dijalog iz već spomenutog filma *Na plaži*. Upitan tko je kriv za fatalni usud i istrebljenje cjelokupnog života na Zemlji zbog posljedica nuklearnog uništenja i radioaktivnog oblaka koji se približava, glavni junak odgovara: *Einstein!*

Pobjeda razuma i tehnološki optimizam

Brojna su i djela koja radioaktivnost i nuklearnu tematiku tretiraju pozitivno te u nuklearnoj tehnologiji vide jedinu mogućnost preživljavanja čovječanstva. Jedan od prvih likova takvih djela jest Flash Gordon (autor Alex Raymond), nekada izuzetno popularni junak iz stripa i filma, čiji svemirski brod ima atomski pogon. Slični tehnološki optimizam nalazimo u kulturnom serijalu *Zadužbina (Foundation)* Isaaca Asimova u kojem se razrađuje pobjeda liberalnog kapitalizma znanostnog na nuklearnoj tehnologiji i razvoju znanosti nad natrižnjačkim feudalizmom galaktičkog carstva. Usporedba s propasti Rimskog carstva i Britanskog imperija širenjem i pobjedom novih znanja i sloboda nameće se sama po sebi.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Spomenimo i pripovjetku *Resurrection* iz godine 1948. Alfreda Eltona van Vogta objavljenu pod naslovom *Novi život* u Kosmoplovu, godine 1969. U toj dojmljivoj pripovjetci nanovo uskrsla ljudska rasa pobjeđuje vanzemaljce uz pomoć mentalne kontrole intenziteta fizijske reakcije i teleportaciji zasnovanoj na nuklearnim fenomenima.

Od novijih filmova iz ove kategorije spomenimo *Independence Day* (1996) u kojem glavni junaci pokušavaju nuklearnim oružjem zaustaviti invaziju vanzemaljaca te *Armageddon* (1998) u kojem hrabri astronauti nuklearnim bombama uništavaju asteroid koji prijeti Zemlji. Tu je i (inače znanstveno vrlo slab film) *The core* (2003) u kojem se nuklearnom bombom ponovno uspostavlja rotacija Zemlje oko svoje osi, a koja je zaustavljena djelovanjem mikrovalnog pozadinskog zračenja (sic!).

Nuklearna tehnologija također pomaže u filmu *10.5* (2004) da se nakon katastrofalnog potresa od 10,5 stupnjeva "zakrpa" nastali rasjed kod Los Angelesa.

Također, brojni su filmovi koji predviđaju nuklearnu fuziju kao neminovni izlaz iz energetske krize u koju čovječanstvo srlja; već smo spomenuli filmove *Chain Reaction* (1996) i *The Saint* (1997).

ZAKLJUČAK

Analizirajući znanstveno fantastična djela koja se bave radioaktivnošću i nuklearnim temama možemo zaključiti da takva djela, posebice u filmskoj industriji, predstavljaju znatan dio cjelokupnog znanstveno-fantastičnog opusa.

U novije vrijeme, tj. nakon sloma komunizma i prestanka hladnog rata filmovi katastrofe sve se manje odnose na nuklearnu tematiku. Katastrofični scenariji koji prijete okončati čovječanstvo danas primjerice jesu klimatske promjene i globalno zatopljanje, udar asteroida, genetska modifikacija, a naročito informatički slom i podivljala umjetna inteligencija.

Dubljim uvidom u djela spomenuta u ovom radu, ali i mnoga druga koja zbog ograničenog prostora nisu obrađena [4], moglo bi se zaključiti da bi mnoga od njih, bilo kao pozitivan bilo kao negativan primjer, mogla dobro poslužiti kao sredstvo za podučavanje učenika i studenata na inovativan i zanimljiv način. Štoviše, ljudima od struke bio bi izazov razviti obrazovni kurikulum kojim bi se uz pomoć znanstvene fantastike podučavala znanost o zračenju ali i mnoge etičke vrijednosti i norme.

U tom kontekstu spomenimo knjigu *Physics of Superheroes* [7] koja na izuzetno zanimljiv način razmatrajući sposobnosti najrazličitijih filmskih i stripovnih superjunaka pruža uvid u fiziku i predstavlja pravi mali biser kursa elementarne, ali i napredne fizike.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

LITERATURA

- [1] H. G. Wells. The Invisible Man. Available at Project Gutenberg na Web adresi: <<http://www.gutenberg.org/etext/5230>>
- [2] R. Rhodes. *The Making of the Atomic Bomb*. 928 pp. New York: Simon & Schuster, 1995. (Reprint Edition).
- [3] J. Nesbitt and M. Nesbitt. The Definitive Science Fiction Television Encyclopaedia. 2027 pp. eBook, 5th edition, Universal Press Ltd., 2007.
- [4] Marvel Comics. <http://en.wikipedia.org/wiki/Marvel_Comics>
- [5] Kryptonite. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Kryptonite>>
- [6] P. D. Smith. Domsday Men: The Real D^r. Strangelove and the Dream of the Superweapon. 576 pp. St. Martin's Press, 2007.
- [7] J. Kakalios. Physics of Superheroes. 384 pp. Gotham, 2006.

RADIOACTIVITY AND NUCLEAR ISSUES IN SCIENCE FICTION

Zdenko Franić

Institute for Medical Research and Occupational Health
Radiation Protection Unit, Ksaverska 2, 10001 Zagreb, Croatia
E-mail: franic@imi.hr

In this work are presented and reviewed science fiction narratives, films and comics that exploit radioactivity and nuclear issues. These topics to some science fiction authors serve as metaphor of evil and holocaust as well as nice instrument for elaborating various manipulations and conspiracy theories.

In that context are of special interest science fiction works depicting apocalyptic post-nuclear worlds and societies, such works being closely connected with cyberpunk genre. However, other more technologically optimistic authors consider nuclear energy and research regarding nuclear technology and radioactivity as eligible and inevitable solution for world peace and prosperity

Nowadays, public interest and global fears are shifted from radioactivity and nuclear issues to other catastrophic scenarios threatening future of the mankind, these for example being climate changes and global warming, asteroid impact, collapse of information infrastructure, nanotechnology, robotics and artificial intelligence etc. Consequently, these issues are as well increasingly reflected in contemporary science fiction stories.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

NOVI PRAVILNICI S PODRUČJA NUKLEARNE SIGURNOSTI

Nevenka Novosel, Matjaž Prah i Ankica Čížmek
Državni zavod za nuklearnu sigurnost,
Ulica grada Vukovara 284, Zagreb
e-mail: nevenka.novosel@dzns.hr

UVOD

Temeljem članka 35. Zakona o nuklearnoj sigurnosti [1] podzakonske propise iz područja nuklearne sigurnosti donosi ravnatelj Državnog zavoda za nuklearnu sigurnost, kao središnjeg tijela državne uprave nadležnog za poslove nuklearne sigurnosti u Republici Hrvatskoj.

U razdoblju od 2006. godine donesena su tri pravilnika:

- Pravilnik o obavljanju nuklearne djelatnosti [2],
- Pravilnik o posebnim uvjetima koje moraju ispunjavati stručne organizacije za obavljanje određenih poslova iz područja nuklearne sigurnosti [3] i
- Pravilnik o kontroli nuklearnog materijala i posebne opreme ("Narodne novine" br. 15/08).

Tijekom 2007. godine dovršen je prijedlog teksta Pravilnika o uvjetima nuklearne sigurnosti i zaštite za smještaj, projektiranje, gradnju, uporabu i razgradnju objekta u kojem se obavlja nuklearna djelatnost. Očekuje se da će navedeni Pravilnik biti donesen čim se prikupe suglasnosti određenih tijela državne uprave.

U ovom radu bit će detaljnije opisane odredbe Pravilnika o obavljanju nuklearne djelatnosti, Pravilnika o posebnim uvjetima koje moraju ispunjavati stručne organizacije za obavljanje određenih poslova iz područja nuklearne sigurnosti i prijedloga Pravilnika o uvjetima nuklearne sigurnosti i zaštite za smještaj, projektiranje, gradnju, uporabu i razgradnju objekta u kojem se obavlja nuklearna djelatnost.

PRAVILNIK O OBAVLJANJU NUKLEARNE DJELATNOSTI

Pravilnikom o obavljanju nuklearne djelatnosti [2] se propisuje postupak najave namjere obavljanja nuklearne djelatnosti, podnošenja zahtjeva za izdavanje dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti i postupak donošenja rješenja o izdavanju dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti. Ovim Pravilnikom se

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

također uređuje sadržaj obrazaca najave namjere obavljanja nuklearne djelatnosti i zahtjeva za izdavanje dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti te način vođenja registra nuklearnih djelatnosti.

Nuklearne djelatnosti u smislu ovoga Pravilnika su:

1. korištenje nuklearnog materijala u energetske svrhe (reaktor snage u nuklearnoj elektrani, nuklearnoj toplani i nuklearnoj propulziji),
2. korištenje nuklearnog materijala u istraživačke svrhe (istraživački reaktor),
3. rudarenje nuklearnog materijala i prerada rude (rudnik uranija i torija s postrojenjem za preradu rude),
4. proizvodnja i obogaćivanje nuklearnog goriva,
5. prerada istrošenog goriva porijeklom iz reaktora,
6. skladištenje nisko i srednje radioaktivnog otpada porijeklom iz reaktora u količinama koje zahtijevaju primjenu mjera nuklearne sigurnosti i zaštite,
7. odlaganje nisko i srednje radioaktivnog otpada porijeklom iz reaktora u količinama koje zahtijevaju primjenu mjera nuklearne sigurnosti i zaštite,
8. skladištenje istrošenog goriva i drugog visoko radioaktivnog otpada porijeklom iz reaktora,
9. odlaganje istrošenog goriva i drugog visoko radioaktivnog otpada porijeklom iz reaktora,
10. skladištenje nuklearnog materijala kategorija I. i II. prema Dodatku II. Konvencije o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala,
11. odlaganje nuklearnog materijala kategorija I, II. i III. prema Dodatku II. Konvencije o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala.

Namjera obavljanja nuklearnih djelatnosti mora se najaviti Državnom zavodu za nuklearnu sigurnost. Zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti podnosi se Državnom zavodu za nuklearnu sigurnost najranije godinu dana nakon najave namjere obavljanja nuklearne djelatnosti. Uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti koji podnosi Državnom zavodu za nuklearnu sigurnost, pravna osoba treba priložiti, ovisno o vrstama nuklearnih djelatnosti, odgovarajuću dokumentaciju. Na temelju pregledane dokumentacije Državni zavod za nuklearnu sigurnost je dužan izvjestiti pravnu osobu o ocjeni dokumentacije u roku od dvije godine od dana podnošenja zahtjeva. U slučaju negativne ocjene dokumentacije, Državni zavod za nuklearnu sigurnost će rješenjem odbiti zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti. Pravna osoba može početi obavljati nuklearnu djelatnost nakon što Državni zavod za nuklearnu

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

sigurnost donese rješenje o izdavanju dozvole za obavljanje nuklearne djelatnosti.

Državni zavod za nuklearnu sigurnost vodi registar nuklearnih djelatnosti u Republici Hrvatskoj kao službenu evidenciju nuklearnih djelatnosti.

PRAVILNIK O POSEBNIM UVJETIMA KOJE MORAJU ISPUNJAVATI STRUČNE ORGANIZACIJE ZA OBAVLJANJE ODREĐENIH POSLOVA IZ PODRUČJA NUKLEARNE SIGURNOSTI

Ovim Pravilnikom [3] propisuju se posebni uvjeti koje mora ispunjavati stručna organizacija za obavljanje određenih poslova iz područja nuklearne sigurnosti. Ispunjavanje posebnih uvjeta utvrđuje rješenjem Državni zavod za nuklearnu sigurnost. Za obavljanje određenih poslova stručna organizacija mora ispunjavati organizacijske, tehničke i tehnološke uvjete te uvjete osiguranja kvalitete.

Stručna organizacija mora obavljati poslove stručno i kvalitetno u skladu s važećim propisima i pravilima struke, a u slučaju ustupanja pojedinih poslova, mora odrediti uvjete i zatražiti od podizvođača odnosno vanjskih suradnika njihovo ispunjavanje.

Stručna organizacija dokazuje ispunjavanje propisanih tehničkih i tehnoloških uvjeta na temelju referentnih projekata ili na temelju drugih radova koje je izvodila iz područja nuklearne sigurnosti, odnosno u kojima je sudjelovala u zadnjih pet godina. Stručna organizacija mora raspolagati tehničkim sredstvima i podacima koji osiguravaju uvjete za kvalitetno izvođenje radova, te mora imati odgovornu stručnu osobu iz područja nuklearne sigurnosti. Također, stručna organizacija mora provoditi program redovnog stručnog usavršavanja svojih zaposlenika te voditi evidenciju o stručnoj spremi, usavršavanju i ispitivanju svojih zaposlenika.

Stručna organizacija mora imati uspostavljen sustav osiguranja kvalitete, koji mora odgovarati jednom od međunarodnih standarda.

Postupak za izdavanje rješenja o obavljanju određenih poslova iz područja nuklearne sigurnosti pokreće se na zahtjev stručne organizacije. Radi ocjenjivanja ispunjavanja uvjeta podnositelja zahtjeva, ravnatelj Državnog zavoda za nuklearnu sigurnost imenuje vodećeg ocjenjivača, stručne ocjenjivače i stručnjake specijaliste iz područja nuklearne sigurnosti za koje je podnositelj zahtjeva zatražio ocjenjivanje. Na temelju mišljenja vodećeg ocjenjivača i činjenica utvrđenih u provedenom postupku, Državni zavod za nuklearnu sigurnost donosi rješenje o obavljanju određenih poslova iz područja nuklearne sigurnosti, koje važi 2 godine.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

PRIJEDLOG PRAVILNIKA O UVJETIMA NUKLEARNE SIGURNOSTI I ZAŠTITE ZA SMJEŠTAJ, PROJEKTIRANJE, GRADNJU, UPORABU I RAZGRADNJU OBJEKTA U KOJEM SE OBAVLJA NUKLEARNA DJELATNOST

Ovim prijedlogom Pravilnika propisuju se uvjeti nuklearne sigurnosti i zaštite za smještaj, projektiranje, gradnju, uporabu i razgradnju objekta u kojem se obavlja nuklearna djelatnost.

U poglavlju II ovog prijedloga Pravilnika propisani su uvjeti nuklearne sigurnosti za smještaj objekata u kojima će se obavljati nuklearna djelatnost. Lokacija za smještaj objekata u kojima će se obavljati nuklearna djelatnost utvrđuje se na temelju općih eliminacijskih kriterija. Dodatno, lokacija za smještaj nuklearnih elektrana utvrđuje se na temelju posebnih eliminacijskih kriterija za nuklearne elektrane i usporedbenih kriterija za nuklearne elektrane. Također, lokacija za smještaj odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada u dijelu u kojem se odlaže radioaktivni otpad porijeklom iz reaktora, utvrđuje se na temelju posebnih eliminacijskih kriterija i usporedbenih kriterija. Vlada Republike Hrvatske je 1992. godine donijela zaključak o utvrđivanju navedenih kriterija.

U poglavlju III ovog prijedloga Pravilnika propisani su uvjeti nuklearne sigurnosti za projektiranje objekata u kojima će se obavljati nuklearna djelatnost. Uz opće uvjete za projektiranje, propisani su i posebni uvjeti za projektiranje objekata u kojima se obavlja nuklearna djelatnost s nuklearnim reaktorima te posebni uvjeti za projektiranje odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada u dijelu u kojem se odlaže radioaktivni otpad porijeklom iz reaktora. Lokacijska i građevinska dozvola za gradnju objekta u kojem se obavlja nuklearna djelatnost, odnosno dozvola za uklanjanje tog objekta, ne može se izdati bez potvrde Državnog zavoda za nuklearnu sigurnost o usklađenosti idejnog odnosno glavnog projekta s propisanim uvjetima.

U poglavlju IV ovog prijedloga Pravilnika propisani su uvjeti nuklearne sigurnosti za gradnju, puštanje u pogon, pogon, razgradnju i zatvaranje objekata u kojima se obavlja nuklearna djelatnost. Uz opće uvjete za gradnju, puštanje u pogon, pogon, razgradnju i zatvaranje, moraju biti ispunjeni i posebni uvjeti za objekte u kojima se obavlja nuklearna djelatnost s nuklearnim reaktorima te načela za zatvaranje lokacije odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada u dijelu u kojem se odlaže radioaktivni otpad porijeklom iz reaktora.

Temeljem članka 8. Zakona o nuklearnoj sigurnosti [1] navedeni Pravilnik može se donijeti samo uz prethodno pribavljenu suglasnost ministra nadležnog za poslove prostornog uređenja i graditeljstva i ministra nadležnog za poslove zdravstva.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ZAKLJUČAK

Opisanim pravilnicima detaljnije se uređuje područje nuklearne sigurnosti u Republici Hrvatskoj i usklađuje s međunarodnom praksom, a posebice s praksom zemalja Europske Unije.

LITERATURA

- [1] Zakon o nuklearnoj sigurnosti, "Narodne novine" br. 173/03
- [2] Pravilnik o obavljanju nuklearne djelatnosti, "Narodne novine" br. 74/06
- [3] Pravilnik o posebnim uvjetima koje moraju ispunjavati stručne organizacije za obavljanje određenih poslova iz područja nuklearne sigurnosti, "Narodne novine" br. 74/06

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

NEW NUCLEAR SAFETY REGULATIONS

Nevenka Novosel, Matjaž Prah and Ankica Čížmek
State Office for Nuclear Safety,
Ulica grada Vukovara 284, Zagreb, Croatia
e-mail: nevenka.novosel@dzns.hr

Beside new Ordinance on the control of nuclear material and special equipment (Official Gazette No. 15/08), from 2006 State Office for Nuclear Safety (SONS) adopted Ordinance on performing nuclear activities (Official Gazette No. 74/06) and Ordinance on special conditions for individual activities to be performed by expert organizations which perform activities in the area of nuclear safety (Official Gazette No. 74/06), based on Nuclear Safety Act (Official Gazette No. 173/03).

The Ordinance on performing nuclear activities regulates the procedure of announcing the intention to perform nuclear activity, submitting an application for the issue of a license to perform nuclear activity, and the procedure for adoption a decision on issuing a nuclear activity license. The Ordinance also regulates the contents of the application form for the announcement of the intention to perform nuclear activity, as well as of the application for the issue of a nuclear activity license and the method of keeping a nuclear activity register.

The Ordinance on special conditions for individual activities to be performed by expert organizations which perform activities in the area of nuclear safety regulates these mentioned conditions, whereas compliance is established by a decision passed by the SONS. Special conditions for individual activities to be performed by expert organizations which perform activities in the area of nuclear safety are organizational, technical, technological conditions and established system of quality assurance.

In 2007, SONS finalized the text of new Ordinance on nuclear safety and protection conditions for location, design, construction, operation and decommissioning of facility in which nuclear activity is performed. This Ordinance regulates nuclear safety and protection conditions for location, design, construction, operation and decommissioning of facility in which nuclear activity is performed. This Ordinance defines facilities in which nuclear activity is performed. Beside general conditions for location, design, construction, operation and decommissioning of facility in which nuclear activity is performed, this Ordinance regulates specific conditions for location, design, construction, operation and decommissioning of nuclear power plants or facilities with nuclear reactors and for radioactive waste disposal facilities.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

KONTROLA NUKLEARNOG MATERIJALA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Ankica Čížmek, Saša Medaković, Matjaž Prah i Nevenka Novosel

Državni zavod za nuklearnu sigurnost

Ulica grada Vukovara 284, 10000 Zagreb

e-mail: ankica.cizmek@dzns.hr; sasa.medakovic@dzns.hr;

matjaz.prah@dzns.hr; nevenka.novosel@dzns.hr

UVOD

Državni Zavod za nuklearnu sigurnost započeo je s radom 1. lipnja 2005. godine (Zakon o nuklearnoj sigurnosti (NN RH br. 173/03). Jedan od temeljnih zakonskih propisa proizašlih iz gore navedenog zakona je Pravilnik o kontroli nuklearnog materijala i posebne opreme (NN RH br. 84/06).

Utvrđivanje točnih količina nuklearnog materijala i uspostavljanje inspekcijuskog nadzora nad njim je jedna od tehničkih pretpostavki koje Republika Hrvatska mora ispuniti kako bi mogla prihvatiti revidirani Protokol (SQP – Small Quantity Protocol) na što nas potiče Europska Unija i Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA).

Sukladno članku 17. Zakona o nuklearnoj sigurnosti (NN RH br. 173/03) Zavod je uspostavio i vodi registar nuklearnih djelatnosti, registar nuklearnog materijala i registar posebne opreme u Republici Hrvatskoj.

U radu će biti riječi i o primjeni Zakona o izvozu robe s dvojnomo namjenom (NN RH br. 173/03), koji je pripremljen u skladu s Uredbom Vijeća (EZ) broj 1334/2000 od 22. lipnja 2000. godine, kojom je uspostavljen učinkovit zajednički sustav nadzora izvoza robe s dvojnomo namjenom u državama članicama Europske unije, s posebnim osvrtom na nuklearni materijal.

MATERIJAL I METODE

Na graničnom prijelazu Bregana su 7. studenog 2006. godine pušteni u rad portalni monitori koji služe za kontrolu nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala. Pilot projekt je izveden u organizaciji Zavoda uz suradnju drugih institucija državne uprave. Instalirana oprema i računalni programi donirani su Republici Hrvatskoj od strane Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) u sklopu programa tehničke suradnje. Ovim činom obnovljeni granični prijelaz Bregana postao je jedan od najbolje opremljenih graničnih prijelaza u ovom dijelu Europe. Instalirana oprema omogućuje detektiranje, a potom i

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

sprječavanje nezakonitog unosa ili provoza i najmanjih količina nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala kroz Republiku Hrvatsku. U sklopu montaže opreme provedena je i obuka djelatnika carine i granične policije za učinkovito korištenje i održavanje opreme.

Forumi o nadzoru izvoza, edukacijski tečajevi, seminari i radionice, sve su to načini "izgradnje partnerstva između svih čimbenika koji sudjeluju u prometu nuklearnog materijala i posebne opreme" u Republici Hrvatskoj.

Provedba inspekcijskog nadzora nad pravnim osobama koje su u posjedu nuklearnog materijala ili obavljaju nuklearne djelatnosti, (sukladno Zakonu o nuklearnoj sigurnosti (NN RH br. 173/03) i Pravilniku o kontroli nuklearnog materijala i posebne opreme (NN RH br. 15/08).

Sukladno članku 17. Zakona o nuklearnoj sigurnosti (NN RH br. 173/03) Zavod je uspostavio i vodi registar nuklearnih djelatnosti, registar nuklearnog materijala i registar posebne opreme u Republici Hrvatskoj.

REZULTATI

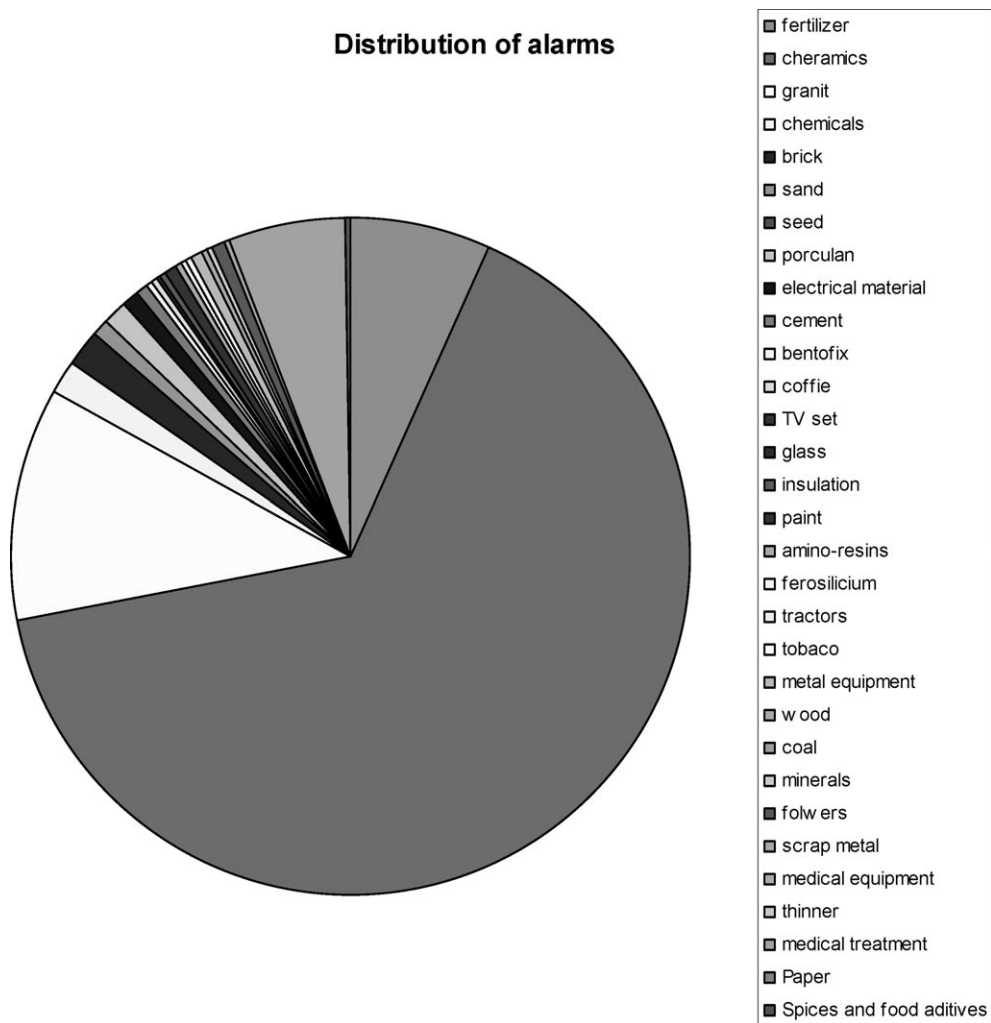
1. Nakon uspješne instalacije portalnih monitora koji služe za kontrolu nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala na graničnom prijelazu Bregana krajem 2006. godine, tijekom 2007. godine nastavljene su aktivnosti vezane uz praćenje i poboljšanje rada portalnih monitora.

2. Nakon višemjesečnog praćenja i analiziranja rada portalnih monitora utvrđena je potreba za premještanjem nadzornih računala na poziciju koja se nalazi u neposrednoj blizini mjesta obavljanja pregleda robe, ljudi i vozila. Također, utvrđena je potreba za uvođenjem daljinskog uvida u rezultate nadzora od strane državnih tijela koja pružaju potrebnu ekspertizu u slučaju otkrivanja nedozvoljenog prometa nuklearnim i drugim radioaktivnim materijalom. Rezultati analize objavljeni su u stručnim člancima na dvije međunarodne konferencije [3, 4].

Do kraja 2007. godine potrebna unaprjeđenja na sustavu kontrole nuklearnog i drugog radioaktivnog materijala su i izvedena. Dodatno, za potrebe operatera portalnih monitora, izrađen je Priručnik za uporabu stacionarnih portalnih monitora "YANTAR-2U" za detekciju i nadzor nuklearnih i drugih radioaktivnih materijala u prometu i upute za uporabu pratećeg računalnog programa "Check Point" na hrvatskom jeziku [1, 2].

Iz slike 1 je vidljivo da je većina alarma uzrokovana keramikama (65,24%), granitima (11,20%) i umjetnim gnojivima (6,65%) na kamionskom prijelazu, dok na prijelazu za automobile to čine alarmi uzrokovani medicinskim tretmanom osoba (5,30%). Svi alarmi su bili lažni alarmi.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Raspored alarma prema vrsti roba

Organizacijom različitih seminara, radionica, edukacijskih skupova i aktivnim sudjelovanjem na njima, te integracijskim pristupom svih državnih tijela postiže se najbolji uspjeh u prevenciji, kao i u sprječavanju nedozvoljenog prometa nuklearnim materijalom.

Uspostavljeni registri (Slika 2) se vode sukladno Pravilniku o kontroli nuklearnog materijala i posebne opreme (NN RH br. 15/08), te Pravilniku o obavljanju nuklearne djelatnosti. (NN RH br. 74/06).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Slika 2. Registar nuklearnog materijala

ZAKLJUČAK

Sustav kontrole nuklearnog materijala i posebne opreme reguliran je Zakonom o nuklearnoj sigurnosti (NN RH br. 173/03) i Pravilnikom o kontroli nuklearnog materijala i posebne opreme (NN RH br. 15/08).

Stalno educiranje svih zaposlenih u državnim tijelima, koji su uključeni u promet nuklearnim materijalom i posebnom opremom, te robom s dvojnomo namjenom te integrirani pristup navedenom dovode do bolje prevencije, kao i do većeg broja otkrivenih nedozvoljenih slučajeva prometa nedozvoljenim materijalom.

Inspekcijske djelatnosti te uspostava i i vođenje registra nuklearnih djelatnosti, registra nuklearnog materijala i registra posebne opreme u Republici Hrvatskoj osim gore navedenog, omogućavaju i ispunjavanje međunarodnih obaveza Republike Hrvatske (preuzetih potpisivanjem međunarodnih sporazuma sa IAEA).

LITERATURA

- [1] DZNS, 2006, Priručnik za uporabu stacionarnih portalnih monitora "YANTAR-2U" za detekciju i nadzor nuklearnih i drugih radioaktivnih materijala u prometu i upute za uporabu pratećeg računalnog programa "Check Point", REV 1

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [2] STATSOFT, 2004, Statistica – The Small Book
- [3] Čižmek A et al. “Border Control of Nuclear and Other Radioactive Material” CBMTS – Industry V, World Congress on Chemical and Biological Terrorism, Dubrovnik 2007, 91-96
- [4] Čižmek A et al. “Border Control of Nuclear and Other Radioactive Material in Croatia”, Conference on Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, Edinburgh, Great Britain 2007.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CONTROL OF NUCLEAR MATERIAL IN REPUBLIC OF CROATIA

Ankica Čížmek, Saša Medaković, Matjaž Prah and Nevenka Novosel
State Office for Nuclear Safety,
Ulica Grada Vukovara 284, 10000 Zagreb

State Office for Nuclear Safety (SONS) is established based on "Nuclear Safety Act" (Official Gazette No. 173/2003) as an independent state organization responsible for all questions in connection with safe use of nuclear energy and technology, for expert matters of preparedness in the case of nuclear emergency, as well as for international co-operation in these fields (regulatory body). In the second half of year 2006, stationary detection systems for nuclear and other radioactive materials were installed on Border Crossing Bregana, Croatia. Yantar 2U, which is the commercial name of the system, is integrated automatic system capable of detection of nuclear and other radioactive materials prepared for fixed-site customs applications (Russian origin). Installed system contains portal monitors, camera, communication lines and communication boxes and server. Two fully functional separate systems has been installed on BC Bregana, one on truck entrance and another one on car entrance. In this article the operational experience of installed system is presented. This includes statistical analysis of recorded alarms, evaluation of procedures for operational stuff and maintenance and typical malfunction experience, as well as some of the recommendation for future use of detection systems. Ordinance on the control of nuclear material and special equipment (Official Gazzette No. 15/08) lays down the list of nuclear materials and special equipment as well as the list of other activities related to the production of special equipment and non-nuclear materials; the contents of the declaration of intent form for export/import of goods, the form for notifying export/import of goods, the form for notifying transport of nuclear material, the form for notifying the activity related to producing of special equipment and non-nuclear material, as well as of the form of the report on nuclear material balance in the user's material balance area. This Ordinance lays down the method of keeping the records concerning nuclear material, the method in which the nuclear material user notifies the state administration body responsible for nuclear safety affairs, as well as the method in which the state administration body responsible for nuclear safety affairs keeps the nuclear materials register and the register of special equipment.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

NUŽNOST PROVEDBE PROGRAMA OSIGURANJA KVALITETE U KLASIČNOJ DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI

Marija Surić Mihić, Tomislav Meštrović i Ivica Prlić
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
Ksaverska 2, Zagreb
e-mail: msuric@imi.hr

UVOD

Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) je definirala osiguranje kvalitete (QA) u medicinskoj radiološkoj dijagnostici kao:

“...organizirani trud djelatnika radiološkog odjela pri osiguranju produkcije dijagnostičkih slika dostatno visoke kvalitete tako da dosljedno pružaju odgovarajuću dijagnostičku informaciju uz najniže moguće troškove i najmanju moguću izloženost pacijenta zračenju.” [1]

Osnovni zadatak medicinske dijagnostičke radiologije je osiguravanje kvalitetne dijagnostičke informacije o nekom procesu ili anatomskom detalju unutar tijela pacijenta. Pružanje najbolje moguće dijagnostičke informacije, a da je pri tome doza koju primi pacijent minimalna – ALARA¹ princip, osnovni je cilj osiguranja kvalitete – optimizacija radiološke prakse.

U današnjoj modernoj medicini izvodi se veliki broj različitih radioloških dijagnostičkih postupaka u kojima pacijenti prime ponekad i značajne doze zračenja pri čemu je trošak same dijagnostike obzirom na opremu i potrebne resurse visok. Imperativ uspostave i provedbe programa osiguranja kvalitete ne uključuje samo zadovoljenje uvjeta na tehničke karakteristike rada uređaja (točnost i ponovljivost napona rendgenske cijevi, mAs, razlučivost....) koje propisuje zakon, već i optimalno korištenje ostale opreme i resursa – prvenstveno nadzor doza koje prime pacijenti pri nekom tipu radiološke dijagnostičke pretrage te analizu odbačenih filmova. Obzirom da je loša kvaliteta radioloških dijagnostičkih slika, koja kao posljedicu često ima ponavljanje snimanja, glavni uzrok nepotrebnog ozračivanja pacijenata, glavne komponente QA programa su ocjena kvalitete slike i nalaženje uzroka loše kvalitete slike te određivanje doza koje prime pacijenti pri određenom dijagnostičkom postupku – korak prema uspostavljanju referentnih nivoa doza². Postojanje takvih lokalnih referentnih

¹ As Low As Reasonably Achievable

² Prema BSS [7] Guidance levels ili DRL – dose reference levels

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

nivoa doza omogućava komparacije sa sličnim radiološkim odjelima u drugim ustanovama te ustanovljenim nacionalnim i internacionalnim referentnim nivoima doza kao ocjenu kvalitete prakse.

USPOSTAVA PROGRAMA OSIGURANJA KVALITETE

Osnovni zahtjevi koje takav sustav svojom provedbom mora osigurati su slijedeći:

- dijagnostičke slike moraju biti zadovoljavajuće kvalitete koja omogućuje razlučivost detalja prema standardu za željeni tip pretrage [2-6]
- doza koju primi pacijent i osoblje pri dijagnostičkoj radiološkoj pretrazi mora biti zadržana na minimumu s obzirom na pretragu te u skladu s preporukama [2-6]
- maksimizacija financijske efikasnosti radiološke prakse minimiziranjem gubitaka ljudskih i materijalnih resursa
- zadovoljenje zakonskih zahtjeva zaštite od zračenja koji se odnose na uporabu zračenja u medicinske svrhe.

Za uspješnu uspostavu i provedbu ovakvog programa neophodno je osigurati dobru suradnju tima stručnjaka – povjerenstva za provedbu (najčešće su to liječnik radiolog, inženjer medicinske radiologije, rendgen tehničar i specijalist medicinske fizike) koji će biti odgovorni za QA program i procedure, implementaciju istih, sakupljanje podataka dobivenih njihovom provedbom, analizu i ocjenu rezultata na osnovu kojih će odlučiti o mjerama koje je potrebno poduzeti kako bi se ispravili nedostaci. Program mora uključivati pisane naputke o zadanim ciljevima koji se žele dostići, radne upute i procedure za provođenje svih radnji uključenih u QA te administrativne postupke kojima će se osigurati kontrola i efikasnost provedbe tj. redovitost i ispravnost izvođenja potrebnih postupaka.

Iznimno je važno da svi djelatnici radiološkog odjela sudjeluju u programu pri čemu cilj programa i uloga svakog djelatnika moraju biti detaljno razjašnjeni.

Sama uspostava QA programa provodi se u dvije faze [7]:

1. Postavljanje programa
2. Održavanje programa

Postavljanje programa – faza koja može različito potrajati ovisno o veličini samog radiološkog odjela, obimu posla koji se provodi, broju uključenih djelatnika, itd., a uključuje:

- formiranje povjerenstva za provedbu programa
- detaljno informiranje svih uključenih djelatnika o samom programu, njihovim dužnostima u okviru provedbe programa

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- snimanje trenutnog stanja provedbom analize odbačenih slika (filmova) te istraživanjem doza koje prime pacijenti u postojećim uvjetima
- provedbu testova kontrole kvalitete sve opreme koja se koristi (RDG cijevi i generatori, tomografski sustavi, sustavi za pojačanje slike, sustavi za kontrolu automatske ekspozicije, automatski procesori, filmovi, zasloni, kazete, tamne komore i uvjeti skladištenja filma, negatoskopi, itd.) [8].

Na osnovu dobivenih rezultata povjerenstvo će procijeniti i odrediti nedostatke u opremi i postupcima koji utječu na kvalitetu slike, dozu koju primi pacijent i nepotrebnii gubitak resursa (ljudskih i materijalnih). Povjerenstvo će odlučiti koje popravne radnje treba provesti da bi se otklonili nedostaci i dosegno željeni standard.

Održavanje programa je predstavlja skup postupaka koje se provode trajno u smislu održavanja kvalitetnog načina rada, a uključuju:

- uspostavu rutinskih provjera one opreme koja se mora češće nadzirati (automatski procesori, skladištenje filmova, RDG cijevi i generatori, pojačala slike, itd.)
- uspostavu rutinskih provjera one opreme koja se ne mora često nadzirati (poravnanje i kolimacija RDG cijevi, tomografski sustavi, zasloni/kazete, negatoskopi, sustavi za kontrolu automatske ekspozicije, itd.).

Pri tome je iznimno bitno da su mjerni uređaji koji se koriste za rutinske kontrole pouzdani i po mogućnosti baždareni.

Stvaka neispravnost opreme koja se utvrdi rutinskom provjerom se mora dodatno ispitati, poduzeti popravne radnje i korekcije te ponovno provesti testiranje. Zapiše o rezultatima takvih rutinskih testova potrebno je pohranjivati i čuvati zbog raspoloživosti informacija o ponašanju opreme te mogućnosti korištenja rezultata u različitim nacionalnim istraživanjima.

Efikasnost QA programa najjednostavnije se provjerava povremenom analizom odbačenih filmova, mjerenjima doza koje pacijenti prime u pojedinim radiološkim dijagnostičkim postupcima, ali i analizama troškova servisa, održavanja i repromaterijala koji se koriste na samom radiološkom odjelu. Također, usporedba lokalnih referentnih nivoa doza sa nacionalnim ili međunarodnim referentnim vrijednostima dobar je pokazatelj kvalitete prakse.

STANJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj program osiguranja kvalitete se sustavno ne provodi u većini medicinskih ustanova koje u svojoj djelatnosti imaju radiološku dijagnostiku. Najčešći uzrok tome je nedostatak odgovarajućeg stručnog kadra potrebnog za provedbu ovakvog kompleksnog procesa, pri čemu su osobito de-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ficitarni specijalisti medicinske fizike, te nepostojanje odgovarajućeg obvezujućeg zakonskog propisa. Kontrola kvalitete rada opreme, u većini radioloških odjela, poštuje se samo unutar zakonski zadanih zahtjeva [9, 10]. Nacionalni referentni nivoi doza još nisu ustanovljeni iako su u tijeku nacionalni projekti čiji je konačan cilj ocjena izlaganja te optimizacija zaštite pacijenata pri dijagnostičkoj uporabi ionizirajućeg zračenja.

ZAKLJUČAK

Implementacija programa osiguranja kvalitete složen je i zahtjevan proces. Efikasan QA program u dijagnostičkoj radiologiji omogućava postizanje i održavanje dobivanja radiološke informacije odgovarajuće kvalitete u svrhu medicinske dijagnostike, minimiziranje doze koju primi pacijent i medicinsko osoblje, a koja odgovara traženoj kvaliteti radiološke informacije, te optimizaciju troškova smanjenjem gubitaka vremena i resursa. Također nije zanemarivo poboljšanje profesionalne i javne reputacije radiološkog odjela kao posljedica edukacije i aktivnog pristupa poslu.

Praćenjem doza koje prime pacijenti moguće je postići optimizaciju prakse, a analizom razloga odbacivanja snimaka te dosljednom primjenom principa opravdanosti izlaganja zračenju omogućilo bi se znatno smanjenje ukupne kolektivne doze stanovništva od medicinskih izvora zračenja.

LITERATURA

- [1] Quality Assurance in Diagnostic Radiology, World Health Organization, Geneva (1982).
- [2] European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. Off. J. Eur. Comm. 16260 EN (1996).
- [3] European Commission. European protocol on dosimetry in mammography. Off. J. Eur. Comm. 16263 EN (1996).
- [4] European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Off. J. Eur. Comm. 16261EN (1996).
- [5] Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom.
http://www.myesr.org/esr2007/esrSurvey2007/EU_Council_Directive.pdf
- [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).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [7] Moores B M, Watkinson S A, Henshaw E T, Pearcy B J. Practical Guide to Quality assurance in Medical Imaging. 2nd edition. UK, John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0 471 91186 0 (1991).
- [8] International Electrotechnical Commission. Evaluation and routine testing in medical imaging departments. Parts 2–11: Constancy tests: equipment for general direct radiography: 1223-2-11. Geneva: IEC (1995).
- [9] Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja. Narodne novine Republike Hrvatske 64/06
- [10] Pravilnik o načinu, opsegu i rokovima mjerenja osobnog ozračenja izloženih radnika i osoba izloženih medicinskom ozračenju, pregledu izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te mjerenja propisanih elemenata i provjere kvalitete, provjeri ispravnosti osobnih zaštitnih sredstava i opreme, provjeri ispravnosti mjernih instrumenata, mjerama osiguranja kvalitete, provjeri radioaktivnog onečišćenja osoba, predmeta, okoliša, prostorija i zraka u prostorijama u kojima se obavljaju djelatnosti ili su smješteni radioaktivni izvori te sadržaju izvješća o nadzoru i mjerenjima, postupku izvješćivanja te obvezi vođenja evidencija, sadržaju, načinu vođenja i rokovima čuvanja. Narodne novine Republike Hrvatske 127/07.

IMPORTANCE OF QUALITY CONTROL PROGRAMME IMPLEMENTATION IN CONVENTIONAL DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Marija Surić Mihić, Tomislav Meštrović and Ivica Prlić
Institute for medical research and occupational health,
Ksaverska 2, Zagreb, Croatia
e-mail: msuric@imi.hr

Diagnostic radiology's basic task is to provide high quality diagnostic images of anatomic details or ongoing processes within patient's body. Ensuring adequate clinical diagnostic information together with the least possible exposure of the patient to radiation (ALARA principle) at the lowest costs, is quality control (QC) programme's main goal – optimization of radiological practice.

Implementation of QC programme in diagnostic radiology includes meeting legal requirements regarding X-ray and associated equipment, ensuring production of quality diagnostic images, keeping doses to patients and staff minimized regarding clinical examination undertaken and optimization cost-effectiveness.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DVOSTRUKA DOZIMETRIJA U INTERVENCIJSKOJ RADIOLOGIJI – PREGLED METODA U EUROPI

*Mária Ranogajec-Komor¹, Nico Buls², Peter Clerinx², Jan Jansen³,
Hannu Järvinen⁴, Saveta Miljanić¹, Denisa Nikodemová⁵ i Francesco d'Errico⁶*

¹Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, Zagreb, Croatia

²University Hospital Brussels (UZ Brussels), Brussels, Belgium

³Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

⁴Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Helsinki, Finland

⁵Slovak Medical University, Bratislava, Slovakia

⁶Università degli Studi di Pisa, Pisa, Italy and Yale University,
New Haven, CT USA
e-mail: marika@irb.hr

UVOD

Organizacija EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) u velikoj mjeri je unaprijedila istraživanja u području dozimetrije u Europi [1]. Eurados je osnovan 1981. godine, a danas ima 54 laboratorija, institucija s pravom glasa te 180 pojedinaca kao pridruženih članova. EURADOS koordinira istraživačke projekte i suradnje kako bi unaprijedili razumijevanje osnovnih dozimetrijskih procesa, poboljšali tehnički razvoj metoda i instrumentacije i njihovu primjenu u rutinskoj dozimetriji te pomogli suradnicima i odgovornima u usklađivanju dozimetrijskih protokola unutar Europe.

EURADOS djeluje preko desetak radnih grupa koje su uglavnom formirane prema dobivenim europskim istraživačkim projektima u okviru programa Europske zajednice. Na taj način je osnovana radna grupa 9 u okviru F6 projekta CONRAD (*A Coordinated Network for Radiation Dosimetry*) sa zadatkom unapređenja procjene profesionalne izloženosti medicinskog osoblja. Unutar te radne grupe jedna od podgrupa obavila je pregled primjene i procjenu točnosti dvostruke dozimetrije u intervencijskoj radiologiji [2].

INTERVENCIJSKA RADIOLOGIJA I EFEKTIVNA DOZA

Intervencijska radiologija je izabrana jer je tijekom tih pregleda profesionalno osoblje (liječnici, asistenti, inženjeri radiologije) izloženo zračenju. Oni se za vrijeme pregleda nalaze u neposrednoj blizini pacijenata i izvora zračenja pa su na taj način izloženi i raspršenom zračenju.

U intervencijskoj radiologiji u svim europskim državama bi trebalo uz pregače nositi i druga zaštitna sredstva; naočale i okovratnik za štitnjaču. U Europi ne postoji podatak za pojedine države i medicinske ustanove u kojoj se

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

mjeri osoblje drži propisa o zaštitnim sredstvima. Prema iskustvu na primjer u Hrvatskoj pregača se koristi, ali zaštita za štitnjaču, kao i naočale ne uvijek nego je to odluka samog liječnika koji obavlja pregled.

Ukoliko pretpostavimo da se koriste sva raspoloživa zaštitna sredstva, još uvijek ostaje dio tijela nezaštićen: noge, ruke te veći dio glave. U svrhu procjenjivanja osobne doze dozu koju mjerimo osobnim dozimetrom moramo pretvoriti u efektivnu dozu (E) [3,4].

USPOREDBA PODATAKA O DOZIMETRIJSKIM SLUŽBAMA

Za pregled dvostruke dozimetrijske prakse u Europi radna grupa odlučila je sakupiti podatke iz nekoliko država. U tu svrhu grupa je pripremila upitnik te ga podijelila između 13 izabranih dozimetrijskih servisa koji rade u zemljama čiji je predstavnik bio član radne grupe.

Prvi dio upitnika tražio je informacije o općenitim dozimetrijskim podacima kao što su nacionalne preporuke, zakoni, legislativa, dozimetrijski sustavi itd. Drugi dio bio je usmjeren na dvostruku dozimetriju. Općeniti dozimetrijski podaci bili su uspoređeni s podacima koje je EURADOS ranije prikupio [5-6]. EURADOS je u zadnjem desetljeću uložio puno truda u prikupljanje podataka o osobnoj dozimetrijskoj praksi u Europi. Cilj tog dugoročnog posla bio je implementacija standardnih postupaka [7] te harmonizacija i osiguranje kvalitete osobne dozimetrije [8]. Pojam "harmonizacija" ne znači jednakost postupaka dozimetrije, primjene standarda ili organizacije posla servisa, ali servisi moraju težiti tome da zadovoljavaju iste opće zahtjeve te da njihovi rezultati budu usporedivi. U svrhu toga jedna od radnih grupa EURADOS-a pripremila je katalog dozimetrijskih servisa u Europskoj uniji (EU) i u Švicarskoj [5]. Taj katalog je 2004. godine obnovila, nadopunila i proširila za nekoliko zemlja izvan EU [6]. Prema njihovoj procjeni broj osobnih dozimetrijskih servisa u Europi je 200 od kojih je 91 servis sudjelovao u pregledu.

Podaci u prvoj anketi [5] pokazali su da su 2000. godine u Europi doze individualnog monitoringa izražene kao osobni dozni ekvivalent $H_p(10)$ u približno 50% slučajeva, a 2004. g. gotovo sve dozimetrijske službe izrazile su dozu kao $H_p(10)$ [6,9]. Kalibracije su pretežno izražene kao "kerma u zraku". Uspoređivanjem pregleda rezultata iz 2000. i 2004. godine [10] može se zaključiti da 104 dozimetrijska servisa iz 29 država kontrolira redovito više od 700 000 zaposlenika u zoni ionizirajućeg zračenja. U 69 dozimetrijskih servisa korišteni su termoluminescentni dozimetri (TLD), u 30 film, a 5 servisa koristilo je različite ostale dozimetrijske metode kao što su optički stimulirana luminescencija (OSL), radiofotoluminescentna (RPL) dozimetrija te elektronička dozimetrija. Usprkos velikom broju TLD servisa, 443 000 radnika kontroliralo se

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

film dozimetrima jer nekoliko velikih nacionalnih dozimetrijskih servisa upotrebljava film dozimetre. Stanje u osobnoj dozimetriji stalno se mijenja što ukazuje na potrebu stalnog obnavljanja podataka. Na primjer od kraja 2007. godine u Francuskoj je uveden RPL sustav za osobnu dozimetriju što će rezultirati smanjenjem 50% radnika s film dozimetrima u Europi.

OPĆI PODACI O DOZIMETRIJSKOJ KALIBRACIJI

Dozimetrijske službe uključene u ovu anketu koriste se pretežno TL dozimetrima, 4 službe upotrebljavaju film dozimetriju od kojih će jedna od ove godine koristiti RPL. Postupci kalibracije također su različiti. U 10 laboratorija kalibriraju dozimetre izvorom ^{60}Co ili ^{137}Cs od kojih 4 dodatno testiraju dozimetre s različitim energijama rentgenskog zračenja. U jednom laboratoriju za kalibraciju se primjenjuje fotonsko zračenje od 250 keV srednje energije, a u drugom različite energije u području srednjih energija od 10 keV do 150 keV. Za jednu državu nemamo podataka o kalibraciji.

PROPISI, UREDBE, ZAKONI

Prema nacionalnim preporukama i propisima u 5 anketiranih država dozimetri se postavljaju iznad olovne pregače, u 7 država ispod, a u 1 dozimetar se nosi iznad i ispod olovne pregače u intervencijskoj radiologiji-kardiologiji. Mjesto postavljanja dozimetara su najčešće prsa, a u nekim slučajevima to su gornji dio ruke ili štitnjača.

Preporuke i zakonski propisi koji se odnose na dvostruku dozimetriju nisu usklađivani unutar Europe. To je veliki nedostatak ukoliko se uzme u obzir da osoblje u intervencijskoj radiologiji osobito kardiologiji može imati veću izloženost od dozne granice koju je preporučila Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) [11]. Osim toga, profesionalno izlaganje nije jednolično zbog male udaljenosti od izvora zračenja (raspršeno zračenje od pacijenta) i zbog atenuacije zračenja u zaštitnom odijelu i ostalim zaštitama. Da bi mogli pouzdano procijeniti efektivnu dozu osoblja u intervencijskoj radiologiji u nehomogenom polju zračenja potrebna je dvostruka dozimetrija i odgovarajući algoritam za računanje efektivne doze.

Propisi – uredbe samo dviju država predviđaju da u *određenim situacijama* kod intervencijskih radioloških pretraga treba nositi dva dozimetra, iznad i ispod zaštitne pregače. U 3 države potrebu za dvostrukom dozimetrijom može odrediti stručnjak mjerodavne institucije ili medicinsko osoblje. Ostalih 8 država iz ove studije nemaju nacionalne preporuke za dvostruku dozimetriju, međutim u nekoliko navrata provedene su pilot studije ili povremeno kraća ili dulja rutinska mje-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

renja. Na primjer, Vekić i suradnici [12] izvijestili su o rezultatima dvostruke dozimetrije tijekom 10 godina. Sukladno propisima zaštite od zračenja u Hrvatskoj za određivanje efektivne doze obavezno je nošenje jednog dozimetra ispod pregače na lijevoj strani prsa. Iz očitavanja dozimetra (kalibriranog kao $H_p(10)$) procjenjuje se efektivna doza. Rezultati dobiveni iz dodatnog dozimetra nošenog iznad pregače na vratu ili ramenu moraju se evidentirati, ali se ne uzimaju u obzir kod procjene efektivne doze.

ZAŠTITNA SREDSTVA

Razlike u korištenju zaštitnih sredstava (pregače, okovratnik za štitnjaču, rukavice, naočale itd.) su značajne. Dozimetrijske službe nemaju kontrolu učestalosti korištenja zaštitnih sredstava. U većini slučajeva kardiolog (ili radiolog) upotrebljava olovnu pregaču (debljina ekvivalentna 0,25 mm/0,35 mm/0,5 mm olova) omotanu oko tijela. Olovni okovratnik za štitnjaču (debljine 0,35 mm) uz pregaču koristi se redovito u 3 države. U 2 države nema nacionalnog konsenzusa glede dodatnih zaštitnih sredstava pa se praksa razlikuje od bolnice do bolnice. U 2 države koriste se samo olovne pregače, a u druge 2 sva zaštitna sredstva su bila označena za rutinsko korištenje. U 4 države uz obavezno nošenje pregača upotrebljavaju se i ostala zaštitna sredstva.

ALGORITMI

Prema opsežnom literaturnom pregledu [2,13] opisani su brojni algoritmi za procjenu E iz mjernih podataka. Rezultati ankete iz ovog rada pokazuju da su osobne doze pretežno evindetirane i javljene korisnicima /nadležnim organima kao $H_p(10)$, naročito ukoliko se koristi samo jedan dozimetar. Efektivna doza nije procjenjena/evindetirana prema uobičajnoj praksi, ali se izračunava prema potrebi, ovisno o situaciji, uzimajući u obzir okolinu i osobna zaštitna sredstva. U većini slučajeva $H_p(10)$ je prihvaćen kao: $E = H_p(10)$, te se to smatra konzervativnom procjenom efektivne doze. Rezultati ankete su sljedeći: jedan dozimetrijski laboratorij nije odgovorio na ovaj upit, jedan drugi uzima u obzir učinak olovne pregače tako da $H_p(10)$ podijeli s faktorom ovisno o situaciji. U dva servisa mjerena doza je $H_p(10)$ i kvalificiran stručnjak je odgovoran za izračunavanje E . U jednom od servisa procjenjivanje E je zadatak odgovorne osobe za zaštitu od zračenja u bolnici prema NCRP 122 [14]. Ta odgovorna osoba mora javiti rezultat dozimetrijskom odjelu.

Samo tri službe primjenjuju redovito algoritme za dvostruku dozimetriju. Dvije od njih računaju efektivnu dozu prema sljedećem algoritmu: $H_{total}(10) = H_{ispod}(10) + aH_{iznad}(10)$, gdje $a=0,1$ odnosno $a=0,05$ ukoliko nije ili je upo-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

trebljavana zaštita za štitnjaču. $H_{total}(10)$ je prihvaćen kao E [15]. Treći servis primjenjuje metodu Niklasona i suradnika [16]. Ova metoda je prihvatljiva za procjenu efektivne doze uz korištenje zaštite za štitnjaču, a neovisna je o debljini olovne pregače.

ZAKLJUČAK

Na području dvostruke dozimetrije nema usklađenosti između europskih država. Niti mjerni postupci dvostruke dozimetrije (mjesto postavljanja dozimetara, zaštita, itd.) niti algoritmi za izračunavanje efektivne doze nisu harmonizirani što vodi do nekompatibilnosti rezultata. Ova tvrdnja vrijedi također za procjenu efektivne doze, posebno u slučajevima kada se koristi dvostruka dozimetrija. Jedan dozimetar ispod olovne pregače podcjenjuje efektivnu dozu dok iznad pregače precjenjuje. Cilj radne grupe EURADOS-a je izrada preporuka za postizanje boljeg usklađivanja izmjerenih vrijednosti kod osobne dozimetrije i u algoritmima za procjenu efektivne doze. Već sada je iskristaliziran stav da bi se za bolju procjenu efektivne doze medicinskog osoblja trebalo koristiti dvostrukom dozimetrijom u intervencijskoj radiologiji.

LITERATURA

- [1] www.eurados.org
- [2] Järvinen H, Buls N, Clerinx P, Jansen J, Miljanić S, Nikodemová D, Ranogajec-Komor M, d'Errico F. Overview of double dosimetry procedures for the determination of effective dose to the interventional radiology staff. Radiat Prot Dosim; in press: 2008.
- [3] EURATOM. Council Directive of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation. Council Directive 96/26, Brussels: EURATOM; 1996.
- [4] 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.
- [5] van Dijk JWE, Bordy JM, Vanhavere TF, Wernli C, Zamani-Valasiadou M. A catalogue of dosimeters and dosimetric services within EU Member States and Switzerland able to estimate external radiation doses as personal dose equivalent. Radiat Prot Dosim 2000;89(1–2):53–105.
- [6] Lopez-Ponte MA, Castellani CM, Currivan L, van Dijk JWE, Falk R, Olko P, Wernli C. A catalogue of dosimeters and dosimetric services within Europe—an update. Radiat Prot Dosim 2004;112(1):45–68.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [7] Fantuzzi E, Alves JG, Ambrosi P, Janzeković H, Vartiainen E. Implementation of standards for individual monitoring in Europe. *Radiat Prot Dosim* 2004;112(1):3-44.
- [8] Bartlett DT, Ambrosi P, Back C, Bordy JM, Christensen P, Colgan PA, Carvalho AF, Delgado A, van Dijk JWE, Fantuzzi E, Hyvönen H, Lindborg L, Stadtmann H, Vanhavere F, Wernli C, Zamani-Valasiadou M. Harmonisation and dosimetric quality assurance in individual monitoring for external radiation. *Radiat Prot Dosim* 2001;96(1-3):27-33.
- [9] Lopez MA, Castellani CM, Currivan L, van Dijk J, Falk R, Olko P., Wernli C. State-of-the-art dosimetric methods for internal and external exposures. Conclusions of a EURADOS action. *Radiat Prot Dosim* 2008; doi:10.1093/rpd/nc1543
- [10] Ranogajec-Komor M. Some aspects of solid state dosimetry in Europe. Proceedings of the 2nd East Asia Workshop on individual monitoring of ionizing radiation. Dec 2-3, 2006; Oarai, Japan: Chiyoda Technol Corporation; 2007. pp. 5-30
- [11] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publications 60. Oxford, New York: Pergamon Press; 1991.
- [12] Vekić B, Miljanić S, Stern-Padovan R, Ban R, Knežević Ž. A survey of radiation exposures received by the staff at the interventional radiology unit (paper: T7-O4:). Proceedings of IRPA Regional Congress for Central and Eastern Europe, Sept 24-28, 2007; Brasov, Romania. Bucurest: Roman Society for Radiation Protection; 2007.
- [13] Miljanić S, Buls N, Clerinx P, Jansen J, Järvinen H, Nikodemová D, Ranogajec-Komor M, d'Errico F. Dozimetrija u intervencijskoj radiologiji – procjena efektivne doze. Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja, ova knjiga.
- [14] National Council for Radiation Protection & Measurements (NCRP). Use of Personal Monitors to Estimate Effective Dose Equivalent and Effective Dose to Workers for External Exposure to Low-LET Radiation. NCRP Report No. 122, Bethesda: NCRP; 1995.
- [15] Baechler S, Gardon M, Bochud F, Sans-Merce M, Trueb Ph, Verdun FR. Personnel dosimetry in fluoroscopy (paper: P-091, 1-10). Proceedings of Second European IRPA Congress, May 15-19, 2006; Paris, Francuska. Paris: Société Française de Radioprotection; 2006.
- [16] Niklason LT, Marx MV, Chan H-P. The estimation of occupational effective dose in diagnostic radiology with two dosimeters. *Health Physics* 1994; 67(6):611-615.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DOUBLE DOSIMETRY IN THE INTERVENTIONAL RADIOLOGY – OVERVIEW OF METHODS IN EUROPE

Mária Ranogajec-Komor¹, Nico Buls², Peter Clerinx², Jan Jansen³, Hannu Järvinen⁴, Saveta Miljanić¹, Denisa Nikodemová⁵ and Francesco d'Errico⁶

¹Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, Zagreb, Croatia

²University Hospital Brussels (UZ Brussels), Brussels, Belgium

³Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

⁴Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Helsinki, Finland

⁵Slovak Medical University, Bratislava, Slovakia

⁶Università degli Studi di Pisa, Pisa, Italy and Yale University,
New Haven, CT USA
e-mail: marika@irb.hr

To have an overview about the double dosimetry practice in interventional radiology the EURADOS working group decided to collect information from several countries. For this purpose a questionnaire was prepared and distributed to 13 selected dosimetry services in the countries which have representatives in the working group.

On the basis of the collected information it can be concluded that there is no harmonisation between the European countries in aspect of double dosimetry. The double dosimetry practice of the services does not meet the same general requirements and the dose results are not comparable. This statement is valid also for estimation of effective dose, especially if double dosimetry is used. The EURADOS working group recently works out recommendations on the use of double dosimeters to achieve better harmonisation of the measured value and the algorithm for assessment of effective dose.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

UPORABA IONIZACIJSKIH JAVLJAČA DIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Mihovil Hus¹, Branko Vekić² i Goran Mikuličić³

¹Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

²Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb

³Odvjetničko Društvo Mikuličić-Lončarić-Bahun-Topić,

Medveščak 54, 10000 Zagreb

e-mail: mihovil.hus@zg.t-com.hr

UVOD

Uvjeti korištenja radioaktivnih izvora u općoj ili javnoj uporabi u Republici Hrvatskoj određeni su zakonskim i podzakonskim aktima. Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja [1] određuje načela i mjere zaštite od ionizirajućeg zračenja, sigurnosne mjere za izvore ionizirajućeg zračenja, postupanje u izvanrednim događanjima, način skladištenja i zbrinjavanja radioaktivnog otpada te nadzor nad provedbom mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja, a sve radi osiguranja i smanjivanja rizika po život i zdravlje ljudi te okoliš za sadašnje i buduće naraštaje. Podzakonski akti [2,3] određuju tehničke i druge uvjete uporabe uređaja koji je predmet razmatranja u ovom radu. Upravne poslove vezane uz pridržavanje propisanih zakonskih normi obavlja Državni zavod za zaštitu od zračenja dok su inspekcijski poslovi u nadležnosti Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi.

U ovom je radu razmatrana sukladnost nabavke i korištenja ionizacijskog javljača dima sa zatvorenim radioaktivnim izvorom, sa zakonskim propisima u Republici Hrvatskoj. Javljač dima inozemne je proizvodnje, kupljen u inozemstvu i unesen u Republiku Hrvatsku. Tema je ovog rada zanimljiva stoga, što se pitanja i eventualne nejasnoće u pridržavanju zakonskih propisa vezanih uz ovaj uređaj, mogu odnositi i na druge male uređaje sa ugrađenima zatvorenim radioaktivnim izvorima.

OPIS UREĐAJA

Uređaj koji se razmatra je ionizacijski javljač dima **First Alert**[®] / Coleman UK / Coleman Benelux, model SA76CEC. Uređaj je kružnog oblika, promjera 13,5 cm, debljine 4,5 cm čije je kućište izrađeno od polimernog materijala (slika 1).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Javljač dima

Izvor električne energije za uređaj je baterija napona 9V. Prema uputama uređaj se instalira u spavaćim sobama, dnevnim boravcima, stepeništima i pred-sobljima, ali ne i u prostorijama u kojima je uobičajeno više para ili dima kao u kuhinji ili garaži.

Ionizacijska komora unutar uređaja sadrži radioizotop ^{241}Am aktivnosti manje od 37 kBq, što je jasno označeno na vanjskoj strani uređaja. U uputama o korištenju, niti na uređaju, nema upozorenja o mogućoj opasnosti uređaja za čovjeka. U tablici 1. prikazane su osobine radionuklida ^{241}Am .

Tablica 1. Osobine ^{241}Am [4]

Otkriće	Seaborg, James, Morgan i Ghiorso; 1944. g, Chicago
Postanak	$^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am} + \beta^-$
Način raspada	$^{241}\text{Am} \rightarrow ^{237}\text{Np} + \alpha$
Energija zračenja	α (5,637 MeV); γ
Poluvrijeme raspada (g)	432,2

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RASPRAVA

Stavkom prvim članka 23. Zakona [1] određeno je da prostor, uređaji i postrojenja u kojima su smješteni izvori ionizirajućeg zračenja ili se obavljaju djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, izvori ionizirajućeg zračenja, zaštitna oprema i osobna zaštitna oprema, moraju ispunjavati uvjete kojima se osiguravaju mjere sigurnosti izvora te zaštita ljudi i okoliša od ionizirajućeg zračenja i od onečišćenja radioaktivnim tvarima.

Davanje odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (opisane u članku 5. Pravilnika [3]), koje izdaje Državni zavod za zaštitu od zračenja, regulirani su člancima 24. i 25. Zakona [1], dok je izuzeće od zahtjeva za ishođenjem odobrenja regulirano člancima 26. i 27. Zakona [1]. Na javljače dima sa zatvorenim radioaktivnim izvorima posebno se odnose članci 130.-133. Pravilnika [2].

Zakon [1] u članku 27. i Pravilnik [3] u članku 4. određuju da odobrenje nije potrebno za uređaje sa zatvorenim radioaktivnim izvorima kod kojih je brzina doze na udaljenosti 10 cm od površine uređaja manja od $1 \mu\text{Gy}$ na sat. Za javljače dima sa zatvorenim radioaktivnim izvorom Pravilnik [2] u članku 131. navodi da ta vrijednost ne smije biti viša od 1 mGy na sat.

Mjerenjem je utvrđeno da ionizacijski javljač dima **First Alert**[®] model SA76CEC pod zadanim uvjetima pokazuje manju brzinu doze od gore navedenih, pa stoga nije potrebno odobrenje za njegovo korištenje.

U tablici 1 Priloga I Pravilnika [2] navode se granične vrijednosti koncentracije aktivnosti i aktivnosti radionuklida ispod kojih se pojedini radionuklid izuzima iz nadzora, a za radionuklid ^{241}Am to je aktivnost 10 kBq. Istim Pravilnikom [2] u članku 130. navodi se da se u javljače dima sa zatvorenim radioaktivnim izvorima smiju ugrađivati i koristiti zatvoreni radioaktivni izvori čija aktivnost po jednom javljaču ne prelazi 100 kBq.

Na ionizacijskom javljaču dima **First Alert**[®] model SA76CEC deklarirana aktivnost ugrađenog radionuklida ^{241}Am manja je od 37 kBq, što je niže od maksimalno dozvoljene aktivnosti koja se smije ugraditi u javljače dima, ali je više od navedene aktivnosti u tablici 1 Priloga I Pravilnika [2], što znači da je za uvoz, uporabu i druge djelatnost opisane u članku 5. Pravilnika [3] u Republici Hrvatskoj potrebno odobrenje Državnog zavoda za zaštitu od zračenja.

ZAKLJUČAK

Raspravom u ovom radu, na primjeru ionizacijskog javljača dima sa zatvorenim radioaktivnim izvorom ^{241}Am , želi se ukazati na problem pridržavanja zakonskih propisa pri nabavci i uporabi takvih i sličnih malih uređaja s ugrađe-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

nim radionuklidom. Pokazano je da ionizacijski javljač dima **First Alert**[®] / Coleman UK / Coleman Benelux, model SA76CEC zadovoljava zakonske uvjete Republike Hrvatske, osim uvjeta granične vrijednosti aktivnosti iz tablice 1 Priloga I Pravilnika [2], ispod koje se radionuklid a time i uređaj izuzima iz nadzora.

Obzirom da zbog aktivnosti iznad granične javljač dima podliježe nadzoru, za ne traženje/dobivanje odobrenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, korištenja bez dozvole za uporabu, te za uvoz bez dozvole, prekršene su odredbe članaka 24., 25. i 34. Zakona [1], za što su člankom 49. istog Zakona za pravne osobe predviđene kazne od 50.000,00 do 80.000,00 kuna, a za odgovorne osobe i fizičke osobe od 5.000,00 do 8.000,00 kuna.

Kako za korištenje i uvoz nisu tražena/dobivena odobrenja i dozvole, može se smatrati da javljač dima izaziva opasnost za život ili tijelo ljudi, te bi fizička osoba zbog izazivanja opasnosti mogla prema člancima 253., 263. i 267. Kaznenog zakona Republike Hrvatske [5] biti kažnjena kaznom zatvora od šest mjeseci do pet godina, a u slučaju izazivanja opasnosti za život ili tijelo ljudi ili za imovinu većeg opsega prema članku 263. istog Zakona kaznom zatvora od jedne do osam godina.

Javljač dima koji je opisan može se u Nizozemskoj slobodno kupiti u prodavaonicama elektronskih uređaja, što znači da se može i upotrebljavati bez zakonom propisanog nadzora, što je u Republici Hrvatskoj nemoguće. Jedini razlog potrebnog odobrenja u Republici Hrvatskoj je granična vrijednost aktivnosti radionuklida ²⁴¹Am od 10 kBq iz tablice. Priloga I Pravilnika [2], prema maksimalno 37 kBq koliko je deklarirano na opisanom javljaču dima.

Konačno je pitanje koje proizlazi iz rasprave, treba li korigirati granične vrijednosti iz tablice 1. Priloga I. Pravilnika [2], kako bi se uklonili administrativni i drugi problemi pri nabavci i uporabi malih uređaja s ugrađenim radioaktivnim izvorom niske aktivnosti u Republici Hrvatskoj, uz reguliranje servisiranja i odlaganja takvih uređaja/radionuklida.

LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja, Narodne novine, 64/2006
- [2] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s radioaktivnim izvorima, Narodne novine, 125/2006
- [3] Pravilnik o popisu djelatnosti, uvjetima i načinu izdavanja te rokovima važenja odobrenja za djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja i za korištenje izvora ionizirajućeg zračenja, Narodne novine, 125/2006
- [4] John Emsley, The Elements, 3th Edition, Oxford University Press, Oxford, New York, 1998.
- [5] Kazneni zakon Republike Hrvatske (pročišćeni tekst), Narodne novine, 110/1997.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

THE USE OF IONIZING SMOKE DETECTORS IN REPUBLIC OF CROATIA

Mihovil Hus¹, Branko Vekić² and Goran Mikuličić³

¹Faculty of Forestry, University of Zagreb, Svetošimunska 25,
10000 Zagreb, Croatia

²Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia

³Law Firm Mikuličić-Lončarić-Bahun-Topić, Medveščak 54,
10000 Zagreb, Croatia

e-mail: mihovil.hus@zg.t-com.hr

The ionizing smoke detector (contains radioactive material ²⁴¹Am, less than 37 kBq) was bought by chance in an electronic shop in Netherlands and brought without any problem to Croatia. Again by chance the buyer recognized that may be some legal requirements for possession of such kind of radioactive devices.

Regularly applied ionizing smoke detectors do not pose major hazards so that no special protection measures are needed even in areas where a big number of detectors operate but spent sources of ²⁴¹Am should be stored at appropriate radioactive waste storage facilities.

In Netherlands this type of ionizing smoke detectors can be bought and probably used without any additional requirements but the use of the same device in Croatia without licence may cause a serious problems. The question that arises from the discussion in this paper is: do we need to perform any kind of changes/corrections in Croatia regulations with the aim to minimize administrative and any other problems during buying or using various devices with radioactive sources of low activity?

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ZAGRADA – NOVA BAZA PODATAKA ZA ^{14}C UZORKE

Antun Portner, Bogomil Obelić i Ines Krajcar Bronić
Institut “Ruđer Bošković”, Bijenička 54, Zagreb
e-mail: aportner@irb.hr

UVOD

U Laboratoriju za mjerenje niskih aktivnosti (LNA) Instituta “Ruđer Bošković” mjeri se starost uzoraka metodom ^{14}C , pri čemu se koristila tehnika mjerenja plinskim proporcionalnim brojačem (GPC) u razdoblju od 1968. do 2007. godine i tekućinskim scintilacijskim brojačem (LSC) od 2001. godine. U tijeku je i uvođenje akceleratorске masene spektrometrije (AMS). Kako bi se sačuvali svi podaci o uzorcima, kemijskoj pripremi uzoraka i dobivenim rezultatima, stvorena je još ranih 1970tih godina baza podataka na računalima UNIVAC 1110 i HP-1000, koja je uključivala i programe za računalnu obradu podataka mjerenja i izračunavanje starosti uzoraka. Ova baza je 1988. godine prebačena na osobno računalo, te je razvijen programski paket CARBO u operacijskom sustavu DOS, uz upotrebu programa dBASE III PLUS i Fortran 77 [1].

Posljednjih nekoliko godina osjetili smo potrebu za razvoj suvremene baze podataka u Windows okruženju, pogotovo zbog uvođenja novih tehnika mjerenja (LSC, AMS) koje zahtijevaju drugačiji način pohrane rezultata, te zastarjelog okruženja (DOS). “Stari” programski paket pokazao se nefleksibilnim pri paralelnoj upotrebi više metoda mjerenja. Projekt EU FP6 AMS-14C omogućio je zapošljavanje stručnjaka sa zadatkom razvoja nove baze podataka za ^{14}C uzorke.

BAZA PODATAKA

Nova baza podataka nazvana je ZAGRADA – Zagreb Radiocarbon Data-base. Postavljeni su zahtjevi da nova baza uključuje sve stare podatke iz postojeće baze CARBO (GPC rezultati od 1968. do 2007.), te da ima sve mogućnosti kao i CARBO baza, kao i neke nove. ZAGRADA je predviđena za obradu podataka dobivenih mjerenjem ^{14}C aktivnosti tekućinskim scintilacijskim brojačem uz pripremu uzoraka metodom apsorpcije CO_2 (kôd D) [2] i pripreme benzena (kôd B) [3], kao i za mjerenja akceleratorskom masenom spektrometrijom (AMS) (kôd A) [4].

Osnovni zahtjev na novu bazu podataka jest integritet svih elektronskih zapisa o pojedinom uzorku, kako starih tako i novih, a u skladu s tehnikom mje-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

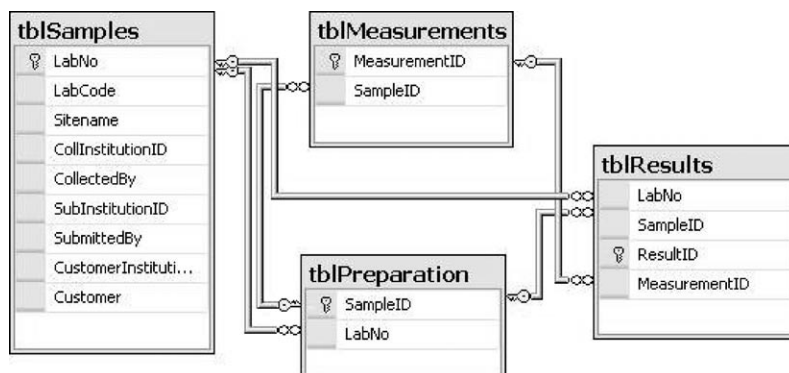
renja. ZAGRADA treba biti orijentirana višekorisnički, tj. pristup podacima u novoj bazi podataka treba biti omogućen s udaljenog računala preko LAN-a unutar laboratorijske grupe. Također je potrebna veća kontrola unosa zapisa u bazu podataka u sintaktičkom i semantičkom smislu radi postizanja jednoznačnosti podataka, kao i funkcija evidentiranja promjena u bazi načinjenih od strane korisnika. ZAGRADA treba omogućiti automatsko sigurnosno kopiranje (*backup*) svog digitalnog sadržaja na druga računala unutar radne grupe laboratorija. U pogledu filtriranja i pretraživanja podataka nova baza podataka treba osigurati bolje i fleksibilnije mogućnosti, tj. pretraživanje i sortiranje po: jedinstvenom laboratorijskom kôdu (Z) pridijeljenom pojedinom uzorku, dodatnim kôdovima ovisno o tehnici korištenoj pri mjerenju (A, B i D), datumu mjerenja, serijama uzoraka, materijalu uzorka, lokacijama sa kojih su uzorci uzimani, institucijama i osobama koji su dostavile uzorke i dr.

Sve navedene zahtjeve zadovoljava relacijski pristup izradi konceptualnog modela baze podataka. Relacijska arhitektura baze podataka je standard za programsku podršku koju koriste svi moderni sustavi baza podataka, a modelira se ER dijagramom (*Entity-Relational diagram*). Stoga je ZAGRADA relacijski orijentirana baza podataka koja se koncepcijski može podijeliti u pet osnovnih modula s podacima (1) o uzorku, (2) o pripremi, (3) o mjerenju, (4) o rezultatima mjerenja, te (5) o standardima. Najznačajniji te ujedno najkritičniji korak u postavljanju i realiziranju laboratorijske baze podataka jest dizajn relacijskog modela podataka, odnosno ostvarivanje maksimalno pojednostavljenog ER-dijagrama radi smanjivanja redundantnosti podataka, kako radi jednostavnijeg čitanja i razumijevanja samog modela, tako i brzine izvršavanja SQL (*Structured Query Language*) upita nad bazom. ZAGRADA koristi najsuvremenije metode koje podstiču integritet podataka na najmanjoj hijerarhijskoj razini koristeći primarne i strane ključeve (*primary and foreign keys*), te ograničenja i pravila u hijerarhijskom segmentu tablica.

Okosnicu modela nove baze podataka čini relacijski scenarij među tablicama prikazan na Slici 1. U tablicama nisu prikazani svi atributi, već radi lakšeg razumijevanja relacija među njima samo polja koja predstavljaju primarne i strane ključeve pojedinih tablica.

Tablica s podacima o uzorcima *tblSamples* (Slika 1) sadrži opće podatke o uzorcima šifriranim jedinstvenim laboratorijskim kôdom Z-x, gdje je Z međunarodno usvojena oznaka za naš Laboratorij, a x je bilo koji prirodni broj, zatim podatke o vrsti uzorka, kulturni/geološki period kojemu uzorak pripada, opis uzorka, komentar donositelja, preporuke za obradu i tehniku mjerenja i sl. Uzorci dostavljeni u LNA podvrgavaju se različitim postupcima pretpripreme definiranim u tablici *tblPreparation*. Detalji vezani uz daljnju obradu uzoraka, specifičnu za pojedinu tehniku mjerenja, nalaze se u tablicama

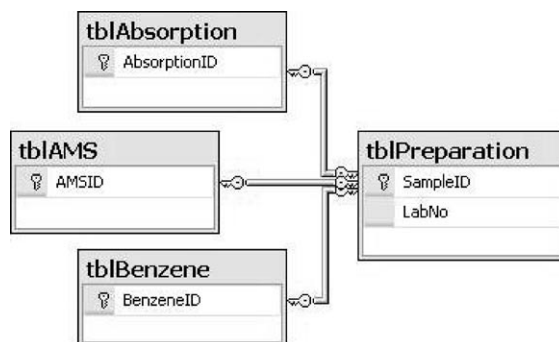
VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Jezgra relacijskog modela ZAGRADA-e s primarnim i stranim ključevima pojedinih tablica.

tblAbsorption, *tblAMS*, *tblBenzene*, koje pripadaju istoj hijerarhijskoj razini, a relacijski su vezane na tablicu *tblPreparation* odgovarajućim kôdovima D, A i B (Slika 2).

U tablici *tblBenzene* (Slika 2) digitalno se pohranjuju podaci vezani uz sintezu benzena sa svim međukoracima potrebnim za njegovo dobivanje. Zapisi u ovoj tablici međusobno se razlikuju po jedinstvenom kôdu B-x, a svaki od njih sadrži podatke o karbonizaciji uzorka, podatke o pripremi CO₂ i acetilena, te na kraju o pripremi benzena [3]. Podaci koji opisuju metodu apsorpcije CO₂ [2] jednoznačno su određeni kôdom D-x i nalaze se u tablici *tblAbsorption*. Tablica *tblAMS* uključuje sve podatke jednoznačno određene kôdom A-x, relevantne u postupku dobivanja grafita iz uzorka kojemu će u obliku tzv. *grafitnih meta* starost biti mjerena AMS tehnikom [4]: datum i način dobivanja CO₂, ko-



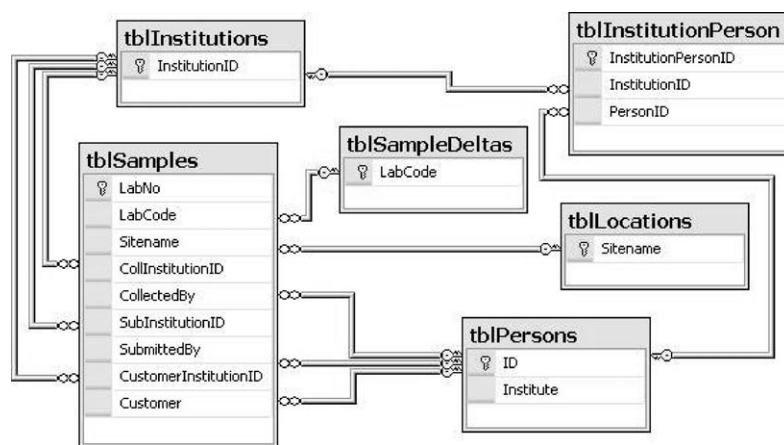
Slika 2. Modul ZAGRADA-e o pripremi uzoraka predstavljen relacijskim dijagramom.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ličinu CO₂, datum grafitizacije, broj mjernog pretvarača (radi *memory effecta*) te iskorištenje grafitizacije.

Svi potrebni podaci o mjerenju za svaki pojedini uzorak sadržani su u tablici *tblMeasurements* (Slika 1). Ciklus postupaka s uzorcima završava rezultatom mjerenja njegove ¹⁴C starosti/aktivnosti. Stoga, *tblResults* pohranjuje izmjerene vrijednosti relativne specifične aktivnosti ¹⁴C, odnosno starost izraženu u godinama, s pripadajućim standardnim odstupanjima.

Modul o uzorcima uz osnovnu tablicu *tblSamples* sadrži dodatne podatke o lokacijama za pojedini uzorak (Slika 3) koji su sadržani u tablici *tblLocations*, a u poljima tablice *tblSampleDeltas* pohranjuju se zapisi o vrsti uzorka (drvo, žito, sedra, sediment i sl.) s pripadajućim vrijednostima δ¹³C. Nadalje, svakom uzorku pridruženi su podaci o osobi koja je uzorak sakupila, osobi koja je isti dostavila u LNA, te naručitelju mjerenja iz tablice *tblPersons*, kao i podaci o njihovim institucijama u tablici *tblInstitutions*. Tablicom *tblInstitutionPerson* (Slika 3) modelirana je veza *many-to-many* između tablica entiteta *tblInstitutions* i *tblPersons* u slučaju da je određena osoba iz tablice *tblPersons* pridružena većem broju institucija iz tablice *tblInstitutions*.



Slika 3. Tablica *tblSamples* s pomoćnim tablicama koje dodatno opisuju njezine pojedine atribute.

Zaseban modul nove baze podataka za ¹⁴C uzorke čine *podaci o standardima*, tj. uzorcima točno poznate ¹⁴C aktivnosti ("aktivni standard") i uzorcima koji ne sadrže ¹⁴C ("background"), što je potrebno radi praćenja stabilnosti mjernog sustava. Standardni uzorci podliježu istim laboratorijskim procesima (pret)pripreme kao i svi drugi uzorci uz korištenje istih kemikalija i preparacijskih linija.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

GRAFIČKO KORISNIČKO SUČELJE

U nastojanju da se korištenje i rukovanje ZAGRADA-om što više pojednostavi, razvijeno je korisničko sučelje koje omogućuje brz unos podataka i pretraživanje zapisa u bazi. Prilikom korištenja baze podataka svaki korisnik prolazi autentifikaciju kroz prijavu (*log-in*) korisničkog imena i lozinke. Iz glavnog izbornika (*menu*) omogućen je ulaz u pojedine module opisane u prethodnom poglavlju. Navigiranjem kroz podatke pojedinog modula vrši se ispravak, brisanje, ispis i dodavanje novih zapisa. Kroz sve prozore (*windows*) implementirana je podrška za evidentiranje promjena načinjenih u bazi podataka koje se registriraju imenom korisnika, te datumom upisa. Korisnika se upozorava na pogreške učinjene prilikom upisa podataka putem tekstualnih poruka u dijaloškim okvirima na zaslonu računala. Uobičajeni postupak upisivanja podataka započinje unosom podataka o uzorku, zatim podataka o pripremi i podataka o mjerenju (ovisno o tehnici), te rezultata mjerenja. Slijed navedenih koraka pri unosu podataka u ZAGRADA-u ne treba nužno shvatiti “sekvencijalno”, već “uvjetno-orijentirano”. Drugim riječima, unos podataka može započeti u bilo kojem koraku ukoliko prethodno postoje podaci nužni za dotičan segment upisivanja, budući da relacijska arhitektura baze podataka definira uvjete i ograničenja između podataka. Ovakav pristup implementaciji na razini korisničkog sučelja čini ZAGRADA-u modernom, ekonomičnom i fleksibilnom bazom podataka.

ZAKLJUČAK

U Laboratoriju za mjerenje niskih aktivnosti Instituta “Ruđer Bošković” u Zagrebu razvijena je relacijska baza podataka za ^{14}C uzorke ZAGRADA s korisničkim sučeljem kojim je omogućeno lakše rukovanje njezinim sadržajem. Pri razvoju su korištene najsuvremenije metode koje podstiču integritet podataka na najmanjoj hijerarhijskoj razini koristeći primarne i strane ključeve te proceduralnost SQL jezika osiguravajući veće mogućnosti pretraživanja i filtriranja podataka. Funkcionalnost višekorisničkog pristupa bazi podataka i moderan dizajn korisničkog sučelja, s implementiranom kontrolom evidentiranja učinjenih promjena, čini ZAGRADA-u fleksibilnom i ekonomičnom bazom podataka koja zadovoljava sve zahtjeve potrebne za učinkovitu obradu i arhiviranje podataka uzimajući u obzir različite tehnike mjerenja ^{14}C aktivnosti u LNA. Razvoj nove baze podataka za ^{14}C uzorke predstavlja značajan doprinos znanstvenom radu Laboratorija za mjerenje niskih aktivnosti, te omogućuje lakšu komunikaciju s naručiteljima njegovih usluga.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ZAHVALA

Rad je financiran sredstvima MZOS projekta 098-0982709-2741 i EU FP6 projekta 043584 AMS-14C.

LITERATURA

- [1] Obelić B. The Radiocarbon Database at Rudjer Bošković Institute Radiocarbon Laboratory. Radiocarbon 1989;31:1057-1062.
- [2] 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.
- [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] Sironić A, Horvatinčić N, Krajcar Bronić I, Obelić B, Barešić J. Mjerenje ^{14}C aktivnosti metodom AMS – Akceleratorska Masena Spektrometrija. Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; ova knjiga

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ZAGRADA – A NEW RADIOCARBON DATABASE

Antun Portner, Bogomil Obelić and Ines Krajcar Bronić
Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, Zagreb, Croatia
e-mail: aportner@irb.hr

In the Radiocarbon and Tritium Laboratory at the Rudjer Bošković Institute three different techniques for ^{14}C dating have been used: Gas Proportional Counting (GPC), Liquid Scintillation Counting (LSC) and preparation of milligram-sized samples for AMS dating (Accelerator Mass Spectrometry). The use of several measurement techniques has initiated a need for development of a new relational database ZAGRADA (Zagreb Radiocarbon Database) since the existing software package CARBO could not satisfy the requirements for parallel processing/using of several techniques. Using the SQL procedures, and constraints defined by primary and foreign keys, ZAGRADA enforces high data integrity and provides better performances in data filtering and sorting. Additionally, the new database for ^{14}C samples is a multi-user oriented application that can be accessed from remote computers in the workgroup providing thus better efficiency of laboratory activities. In order to facilitate data handling and processing in ZAGRADA, the graphical user interface is designed to be user-friendly and to perform various actions on data like input, corrections, searching, sorting and output to printer. All invalid actions performed in user interface are registered with short textual description of an error occurred and appearing on screen in message boxes. Unauthorized access is also prevented by login control and each application window has implemented support to track last changes made by the user. The implementation of a new database for ^{14}C samples has significant contribution to scientific research performed in the Radiocarbon and Tritium Laboratory and will provide better and easier communication with customers.

DOZIMETRIJA ZRAČENJA I INSTRUMENTACIJA

RADIATION DOSIMETRY AND INSTRUMENTATION



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:58:48



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

OVERVIEW ON SOLID STATE DOSIMETRY RESEARCH IN FRAME OF THE HUNGARIAN-CROATIAN COOPERATION (1979 – 2008)

Margit Osvay¹ and Mária Ranogajec-Komor²

¹Institute of Isotopes of the Hungarian Academy of Sciences,
1525 Budapest, Hungary

²Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: osvay@iki.kfki.hu

INTRODUCTION

The thermoluminescence (TL) method for various dosimetry purposes was introduced in the Institute of Isotopes (IoI) and in the Ruđer Bošković Institute (IRB) in the 70's, i.e. at about the same time as in well developed countries. In both institutes much effort were devoted to coordinating research activities on solid state dosimetry and on radiation protection.

The history of our collaboration and the exchange visits (2-2 weeks/year) started 28 years ago within the scope of the scientific cooperation project between the Croatian Academy of Sciences and Arts and the Hungarian Academy of Sciences. It has to be mentioned that IRB had many years cooperation with the Central Research Institute for Physics, Budapest as well as with the Institute of Nuclear Research, Debrecen also in the field of solid state dosimetry. However, in this paper the survey of the scientific cooperation between IoI and IRB will be given.

The main field of our scientific research work was the solid state thermoluminescent dosimetry and its applications. The most interesting research fields during our “working together” were as follows:

- The study of the dosimetric characteristics of different TL phosphors for general **personal dosimetry** purposes using **different dosimetry systems**;
- To develop new TL systems for **mixed neutron-gamma field dosimetry**;
- To assess the **self-induced TL properties** of aluminium oxide TL dosimeters and to propose this **new method** to measure the gamma and the neutron dose of mixed fields separately by the same dosimeter;
- To examine the **photo induced and phototransfer properties** of various TL dosimeters to explain the connection of this properties and the

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

crystal structure and defects in TL materials and to perform the **re-evaluation of TL dosimeters** by phototransfer effect;

- To investigate the **TL sensitivity of dosimeters to low LET (gamma) and to high LET (alpha, neutron, proton) radiations;**
- Comparative investigations on the **newly developed TL dosimeters** available on the world market, regularly.

Our collaboration has been productive, having about **25 scientific publications** related to our activities, publishing a **book chapter** [1], delivering about **30 lectures** on International Solid State Dosimetry (SSD) Conferences (Oxford, Vienna, Washington, Budapest, Burgos, Athens, New Haven) and on Regional and Central European IRPA Conferences (Vienna, Pula, Dresden, Kupari, Győr, Oberurgl, Plitvice, Portorož, Praha, Budapest, Dubrovnik, Bratislava, Brasow) as well as on national meetings of the radiation protection societies of our countries.

Selecting from our activities and results, this report focus on the special interests of our investigations:

1. Dosimetric characteristics of different TL phosphors [2],
2. Fast neutron detection with Al_2O_3 thermoluminescence dosimeters [3-4],
3. Comparative PITL and PTTL investigations on TL detectors [5-6],
4. LET dependence of high sensitivity TL dosimeters [7-8].

DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF DIFFERENT TL PHOSPHORS

The dosimetric characteristics of various TL phosphors widely used in our countries have been investigated under the same conditions. The relative TL sensitivity, linearity, fading and UV light induced TL signal were investigated in the dose range from several mGy to several Gy [2]. The results of LiF:Mg,Ti , $\text{MgB}_4\text{O}_7\text{:Dy}$, $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Mg,Y}$ ceramic dosimeter (developed in the Institute of Isotopes [9]) are summarised in Table 1.

The photon energy dependence of the four investigated TL phosphors was measured using X-ray radiation (48 – 205 keV) and ^{60}Co sources. The dosimeters were read out by Harshaw 2000 and by Toledo 654 (Vinten) readers.

One of the most interesting results worth to mention is related to the relative TL sensitivities: the same type of dosimeter doesn't show the same relative sensitivity using different TL readers. It can be stated, that the TL sensitivity of a dosimeter and the used TL reader belong together, i.e. the characterisation has to be carried out always for the complete TL system, not only for the detector.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Table 1. Characteristics of the TL detectors investigated

Dosimeter	LiF:Mg,Ti	CaF ₂ :Mn	MgB ₄ O ₇ :Dy	Al ₂ O ₃ :Mg,Y
Rel. sensitivity				
Toledo	1	6	4	1.7
Harshaw	1	7.2	7.7	1
Linearity*	1.000	1.000	0.099	0.098
Energy response at 83 keV	1.2	5.3	1.5	2.5
Fading (%)				
24 h	10	7	22	15
21 d	12	10	30	24
Light sensitivity	negligible	low	high	high

*expressed as the correlation coefficient by the method of the least squares

This method of characterisation served as a basis for investigations of new TL systems in both laboratories.

FAST NEUTRON DETECTION WITH AL₂O₃ TL DOSIMETERS

A new method was developed for mixed neutron-gamma fields dosimetry, measuring the gamma and the neutron dose separately by the same Al₂O₃ dosimeter.

The technique of TL dosimeter activation can be used to detect any radiation making the TL dosimeters radioactive. In TL dosimeters containing alumina the major neutron induced reaction is $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ leading to an end nucleus with 15.5 h half life. This reaction has threshold energy of 7.1 MeV. Because of the low thermal and fast neutron sensitivity of aluminium oxide, the gamma dose could be determined by the first TL reading, while the ^{24}Na isotope provides a self-induced TL and a possibility of fast neutron detection by a subsequent reading after about 60 h.

From the first reading after the neutron irradiation the relative neutron responses of 0.069 ± 0.015 and 0.48 ± 0.07 were obtained for Al₂O₃:C and Al₂O₃:Mg,Y, respectively. TL responses due to the induced radioactivity in Al₂O₃:C and Al₂O₃:Mg,Y TL dosimeters via the $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ reaction were

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

used to measure the neutron part in a mixed 14.5 MeV neutron and gamma irradiation field. The lowest detectable neutron dose was found to be about 300 mGy for $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Mg,Y}$ and about 1 mGy for $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ [4]. The radioactivity of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Mg,Y}$ was measured by a well-type scintillation detector as well as the gamma spectrum of ^{24}Na was analysed by multichannel analyser [3].

COMPARATIVE PITL AND PTTL INVESTIGATIONS ON TL DETECTORS

The photo induced (PITL) and phototransfer (PTTL) properties of TLD-100 (Harshaw), LiF:Mg,Ti (Poland), $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ (Slovenia) and various types of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Mg,Y}$ (Hungary) were examined to determine the possibility of their re-estimation.

The procedure of PITL, TL and PTTL was as follows:

PITL: annealing – UV exposure – readout

TL: annealing – irradiation – readout

PTTL: annealing – irradiation – readout – UV exposure – readout

The UV source was a Swiss Camag type low pressure mercury lamp with filters to give 254 nm monochromatic light. The UV exposure was determined by actinometry using a ferric oxalate system. Figure 1 shows the PTTL, TL and PITL glow curves of $\text{CaF}_2:\text{Mn}$.

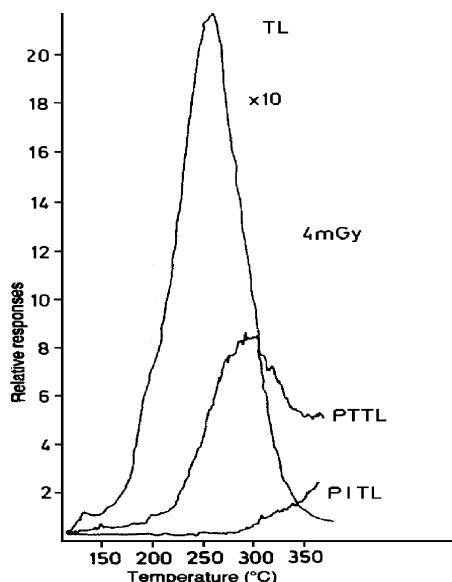


Figure 1. PTTL, TL and PITL glow curves of $\text{CaF}_2:\text{Mn}$

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

The re-estimation limit by PTTL was found to be 1.5 mGy, 2 mGy, 4 mGy and 12 mGy gamma-equivalent for $\text{CaF}_2\text{:Mn}$, LiF(P) , TLD-100 and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Mg,Y}$, respectively. Among the dosimeters investigated the $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ has the lowest UV sensitivity [5].

LET DEPENDENCE OF HIGH SENSITIVITY TL DOSIMETERS

LET dependence of highly sensitive $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (Russia) and $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ (Slovenia) thermoluminescence (TL) dosimeters was investigated using glow curve analysis to determine the efficiencies of TL light production for alpha particle and neutron irradiation relative to gamma exposure. The experiments were performed using ^{241}Am alpha source and $^{238}\text{Pu-Be}$ neutron source with a 20 cm diameter Bonner sphere. The irradiation dose was in the range of 1 to 40 mGy.

Neither high temperature peak, nor significant change of glow curve shape was found after irradiation by high LET (alpha and thermal neutron) radiation.

Gamma sensitivity of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ as compared to $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ was 6.1. However the relative TL efficiency for 5 MeV alpha particle irradiation of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ was a factor of ten lower as compared to that of $\text{CaF}_2\text{:Mn}$. The thermal neutron sensitivity was found to be similar for the two materials [7].

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ and $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ TL dosimeters are used for environmental monitoring in our institutes. Both materials possess high gamma sensitivity compared to TLD-100 TL dosimeters.

CONCLUSION

Both, the Institute of Isotopes (IoI) and the Ruđer Bošković Institute (IRB) were engaged in TL dosimetry in the 70's, practically parallel with laboratories and institutes from well developed countries. Bilateral cooperation between the Croatian and Hungarian Academy of Sciences (started in 1979) promoted solid state research in both countries in spite that the cooperation agreement had not foreseen any financial support from the Croatian Academy of Sciences and Arts while the Hungarian Academy of Sciences supported the cooperation. The consequences of the cooperation were the intensive exchange of information and the use of different experimental possibilities in the institutes. The cooperation resulted with more than 25 scientific publications, more than 30 presentations at international congresses and conferences. The cooperation helped both institutes to become well-known in the international solid state dosimetry community.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

REFERENCES

- [1] Uchrin Gy, Ranogajec-Komor M. Thermoluminescence Dosimetry, in Ionizing Radiation: Protection and Dosimetry, ed. G. Paić, Boca Raton, FL, CRC Press, 1988. ISBN 0-8493-6713-1, pp. 123-156.
- [2] Ranogajec-Komor M, Osvay M. Dosimetric characteristics of different TL phosphors. Radiat Prot Dosim 1986;17:379-384.
- [3] Ranogajec-Komor M, Osvay M, Dvornik I, Biró T. Fast neutron detection with Al_2O_3 thermoluminescence dosimeter. Nuclear Instr and Methods 1983;212:383-386.
- [4] Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Blagus S, Knežević Ž, Osvay M. Selective assessment of the fast neutron component in mixed neutron-gamma field using TLD activation. Radiat Phys Chem 2003;67(3-4):581-585.
- [5] Osvay M, Ranogajec-Komor M, Golder F. Comparative PITL and PTTL investigations on TL detectors. Radiat Prot Dosim 1990;33(1-4):135-139.
- [6] Osvay M, Ranogajec-Komor M, Golder F. Light sensitivity of LiF:Mg,Ti , $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Mg,Y}$ TL detectors. Kernenergie 1991;34 (3):116-118.
- [7] Osvay M, Ranogajec-Komor M: LET dependence of high sensitivity TL doseimeters. Radiat Prot Dosim 1999;84(1-4):219-222.
- [8] Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Blagus S, Miljanić D, Osvay M. TLD-700 for proton dosimetry in the presence of low-energy X-rays. Nucl Instr and Meth in Phys Res 2004;A519:667-673.
- [9] Osvay M, Biró T. Aluminium oxide in TL dosimetry. Nuclear Instr and Methods 1980;175:60-61.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

SREDNJA ENERGIJA STVARANJA IONSKOG PARA ZA RAZLIČITE IONIZIRAJUĆE ČESTICE U ZRAKU

Ines Krajcar Bronić

Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb

e-mail: krajcar@irb.hr

UVOD

Srednja energija stvaranja ionskog para (W) definirana je kao prosječna energija utrošena na stvaranje jednog para elektron – pozitivni ion nakon što je upadna ionizirajuća čestica energije E potpuno zaustavljena u nekom sredstvu, stvorivši pri tome u prosjeku N parova elektron – ion:

$$W(E) = E/N \quad (1)$$

Budući da upadna čestica osim u ionizirajućim sudarima s molekulama tvari gubi energiju i u drugim sudarnim procesima, W vrijednost je uvijek veća od energije ionizacije dane tvari. W ovisi o vrsti i energiji upadne čestice, te o tvari u kojoj se odvijaju sudarni procesi. Na dovoljno visokim energijama (>10 keV za elektrone, >20 MeV za protone, >10 MeV/amu za teže ione, amu = atomska jedinica mase) W je gotovo konstantna (ne ovisi o energiji), dok se na nižim energijama W povećava kako energija upadne čestice opada [1, 2].

Ukoliko ionizirajuća čestica prođe kroz apsorber u kojem izgubi samo manji dio energije, umjesto veličine W koristi se diferencijalna srednja energija w , definirana kao srednja energija utrošena na stvaranje jednog elektron-ion para nakon djelomičnog gubitka energije čestice (dE):

$$w = dE/dN \quad (2)$$

Za dovoljno visoke energije upadnih čestica W ne ovisi o energiji, te je $w = W$ dobra aproksimacija [1, 2].

Poznavanje W je potrebno pri preračunavanju količine naboja sakupljenog u detektoru zračenja u deponiranu energiju, odnosno dozu. Dozimetrijska mjerenja pri radioterapijskim postupcima provode se u ionizacijskim komorama punjenima zrakom, te se izmjerena doza u zraku nakon toga pretvara/preračunava u dozu apsorbiranu u tkivu ili vodi. Detaljan opis postupka može se pronaći u preporukama za terapiju protonima i teškim ionima [3, 4]. Poznavanje doze apsorbirane u tkivu/materijalu ima veliku važnost u proučavanju fizikalnih, kemijskih i bioloških učinaka zračenja.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Nepouzdanost poznavanja W (ili w) izravno utječe na ukupnu nepouzdanost određivanja apsorbirane doze. U radioterapijskim primjenama zračenja poželjno je poznavati dozu u tkivu s ukupnom nepouzdanošću od 5% [2, 3]. To znači da je potrebno pojedine doprinose ukupnoj dozi (W ili w vrijednosti, moć zaustavljanja, i dr.) poznavati s točnošću od 2-3%.

Podaci o W u literaturi su često raspršeni u časopisima različitih znanstvenih područja (fizika, dozimetrija, medicinska primjena), a najčešće su vrlo fragmentirani, tj. mjereni su za određenu vrstu upadnih ionizirajućih čestica, za vrlo usko područje energija i za pojedinačne plinove. U nekoliko preglednih radova pokušalo se skupiti na jednom mjestu poznate podatke za W (i w) za razne ionizirajuće čestice u različitim vrstama materijala [1, 2], međusobno usporediti različite izvore podataka, te ustanoviti sustavnost podataka. Takve kompilacije predstavljaju osnovu za daljnje proučavanje W . U ovom radu dat će se pregled srednjih ili preporučenih W vrijednosti za elektrone, protone i teške ione u zraku, i to za energije koje se koriste u radioterapijskim postupcima.

W ZA ELEKTRONE

U znanstvenoj literaturi se najviše eksperimentalnih podataka za W može naći za elektrone različitih energija u mnogobrojnim plinovima i plinskim smjesama. Stoga je i vrijednost W za elektrone dovoljno visokih energija (>10 keV) u zraku dobro definirana i iznosi $33,97 \pm 0,05$ eV [5] za suhi zrak, a ovisnost W o vlažnosti zraka prikazana je u [1, 6].

W ZA PROTONE

Energije protona koji se koriste u radioterapiji protonima su iznad 20 MeV i u tom području energija odgovarajuća veličina bila bi w , jer protoni gube samo dio energije prolaskom kroz tkivo. Međutim, na tim energijama vrijedi aproksimacija $W = w$. Dostupne W i w za protone energija >20 MeV analizirane su u radu [7]. Pokazano je da se W mjerene različitim metodama međusobno dobro slažu te je preporučena vrijednost 34,23 eV, $\pm 0,4\%$, za protone energija iznad 20 MeV u suhom zraku.

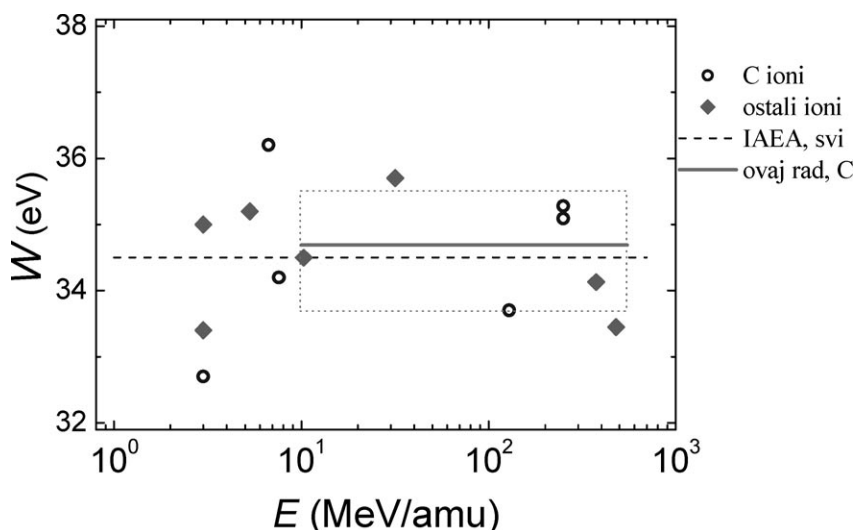
W ZA IONE

U radioterapiji teškim ionima koriste se He ioni (tipične energije ionskih snopova 250 MeV/amu), C (200 – 400 MeV/amu), Ne (620 MeV/amu), Si (800 MeV/amu) i Ar ioni (860 MeV/amu). Vrlo se malo podataka za W (ili w)

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

može naći u literaturi za te energije, jer je većina mjerenja provedena na relativno niskim energijama iona (<1 MeV/amu) gdje se opažaju najveće promjene W s energijom iona [1, 2], a broj podataka na energijama >10 MeV/amu je ograničen. Razvojem novih centara za terapiju teškim ionima, najčešće ugljikovim ionima, ponovno se počela mjeriti W za ugljikove i druge ione visokih energija [8].

Za ugljikove ione u različitim plinovima postoji nekoliko serija podataka na relativno niskim energijama [1, 2, 8], a nedavno su proširene novim podacima na visokim energijama [9, 10]. Na Slici 1 prikazani su podaci za W za ugljikove ione energija $1 - 10^3$ MeV/amu u zraku, te za nekoliko drugih iona (He, N, Ne, Ar ioni). IAEA protokol [3] preporučuje korištenje iste W za sve vrste iona energija iznad 1 MeV/amu, $34,5 \pm 0,5$ eV. Uključenjem novijih eksperimentalnih podataka ne mijenja se srednja vrijednost W za sve ione energija >1 MeV/amu (Tablica 1).



Slika 1. Srednja energija stvaranja ionskog para (W) za ugljikove ione (○) i ostale teške ione (◆) koji se koriste u radioterapiji. Preporučena srednja vrijednost (---) prema [3] izračunata je za sve ione energija >1 MeV/amu i uspoređena je sa srednjom vrijednošću za ugljikove ione energija >10 MeV/amu (—).

Ograničimo se sad samo na ugljikove ione. Vrijednosti W za C ione u zraku u području energija $3 - 10$ MeV/amu pokazuju raspon od 3,5 eV između najniže i najviše vrijednosti, što je znatno više od objavljenih nepouzdanosti pojedinih mjerenja (između 0,6 i 1,3 eV), a tako niske energije ugljikovih iona ne koriste se u radioterapiji. U području energija C iona iznad 10 MeV/amu

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Srednja vrijednost W za sve teške ione i posebno za ugljikove ione u području energija >1 MeV/amu i >10 MeV/amu; n je broj eksperimentalnih podataka dostupnih u literaturi.

	W (eV)	n	W (eV)	n
	>1 MeV/amu		>10 MeV/amu	
svi ioni	$34,50 \pm 1,00$	13	$34,55 \pm 0,84$	7
C ioni	$34,53 \pm 1,25$	6	$34,69 \pm 0,86$	3
svi ioni [3]	$34,5 \pm 0,5$			

dostupna su samo 3 eksperimentalna podatka, i njihova srednja W vrijednost, $34,7 \pm 0,9$ eV, je nešto viša od one preporučene za sve ione (Tablica 1, Slika 1).

ZAKLJUČAK

Srednja energija stvaranja ionskog para, W , za elektrone i protone visokih energija u zraku poznata je s dovoljnom preciznošću kako bi se odredila doza koju primi tkivo u radioterapijskim postupcima unutar zadanih nepouzdanosti. U slučaju primjene visokoenergijskih teških iona, W nije dovoljno dobro poznata. Rast broja terapijskih centara s primjenom teških iona, najčešće ugljikovih, u budućnosti će sigurno zahtijevati i nova istraživanja interakcije teških iona i tkiva, a to uključuje i mjerenje W na visokim energijama.

ZAHVALA

Rad je financiran sredstvima MZOS projekta 098-0982709-2741.

LITERATURA

- [1] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Average Energy Required to Produce an Ion Pair. ICRU Report 31. Washington, DC: ICRU; 1979.
- [2] Srdoč D, Inokuti M, Krajcar Bronić I. Yields of ionization and excitation in irradiated matter (Chapter 8); In: Atomic and Molecular Data for Radiotherapy and Radiation Research, Ed. M. Inokuti, TECDOC-799, IAEA, Vienna, 1995, pp.547-631

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [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. Technical Reports Series TRS 398. Vienna: IAEA; 2000.
- [4] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Clinical Proton Dosimetry – Part I: Beam Production, Beam Delivery and Measurement of Absorbed Dose. ICRU Report 59. Washington, DC: ICRU; 1998.
- [5] Boutillon M, Perroche-Roux AM. Re-evaluation of the W value for electrons in dry air. *Phys Med Biol* 1987;32:213-219.
- [6] Niatel MT. Influence de la vapeur d'eau sur l'ionisation de l'air dans le cas d'une chambre à cavité. *C.R. Acad.Sci. Paris* 1975;B281:361.
- [7] Jones DTL. The w-value in air for proton therapy beams. *Radiat Phys Chem* 2006;75:541-550.
- [8] Krajcar Bronić I, Kimura M. Radiation physics and chemistry in heavy-ion cancer therapy. *Kem Ind* 2007;56:643-654.
- [9] Rodriguez-Cossio J, Schardt D, Brusasco C, Voss B, Weber U. W-value measurements for carbon ions. GSI Scientific Report 2000, http://www.gsi.de/informationen/wti/library/scientificreport2000/Bio_Ph/27/prueba.pdf
- [10] Sasaki S, Sanami T, Saito K, Iijima K, Tawara H, Fukumura A, Murakami T. Average energy to produce an ion pair for heavy charged particles in gases measured as a function of particle energy. *IAEE Nuclear Science Symposium Conference Record* 2005;3:1267-1270.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MEAN ENERGY REQUIRED TO FORM AN ION PAIR FOR VARIOUS IONIZING PARTICLES IN AIR

Ines Krajcar Bronić

Ruder Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: krajcar@irb.hr

The mean energy required to form an ion pair (W value) is defined as the mean energy (expressed in eV) spent by the incident particle of energy E for the formation of a pair of an electron and a positive ion after complete dissipation of the initial energy, $W = E/N$, where N is the total number of produced electron-ion pairs. For high-energy particles in thin media, when only a fraction of the particle energy (dE) is deposited in a medium, it is necessary to consider the differential w value, $w = dE/dN$. For sufficiently high incident energy, W value is approximately constant, and $w = W$ is a good approximation.

Available data on W or w are often fragmented, dispersed, and missing systematic, but several compilations and reviews, such as ICRU Report 31 and IAEA TECDOC 799, provide a basis for assessing the present knowledge of W values for different charged particles in various gases.

Most available data exist for electrons, and therefore the W value for high-energy electrons (>10 keV) in dry air is well defined, 33.97 ± 0.05 eV, and also a dependence on air humidity has been studied. W and w values for high-energy protons (>20 MeV) have been recently carefully analyzed and the value of 34.23 eV, with $\pm 0.4\%$, has been recommended.

The existing W or w data for heavy ions used in radiotherapy (He, C, Ne, Si, Ar) are fragmentary and most of them are measured for relatively low energies below 1 MeV/amu where major variations in energy dependence are observed. There is a lack of experimental data in the energy range above 1 MeV/amu, which is of interest for radiotherapy. For carbon ions as incident particles a few sets of experimental data on W exist at low energies and have been recently extended to higher energies. The average W value for carbon ions at energies >10 MeV/amu is 34.7 ± 0.9 eV, which is somewhat higher than the recommended value (34.5 ± 0.5 eV) for all ions at energies >1 MeV/amu. There is a need for new W value measurements for heavy-ions in air at energies >10 keV/amu, and especially for C ions of several hundreds of MeV/amu that are of interest in carbon-ion therapy.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

PERFORMANCE TEST OF DIAGNOSTIC RADIOLOGY INSTRUMENTS

Matjaž Štuhec¹, Renata Ban² and Urban Zdešar³

¹Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia

³Institute of Occupational Safety, Chengdujska 25, 1000 Ljubljana, Slovenia
e-mail: matjaz.stuhec@ijs.si

INTRODUCTION

Secondary standards dosimetry laboratory has been in operation at Jožef Stefan Institute in Ljubljana for more than 10 years. Most of calibrations performed are regular performance tests of radiation protection instruments and quality control of dosimetry services in the field of ^{137}Cs source. Within the IAEA Technical cooperation program PANTAC X-ray irradiation facility was set up with the energies covering 40-150 kV narrow spectra dedicated to radiation protection calibrations. The facility has been used for testing of energy dependence of many types of dosimeters from electronic instruments to different TLD materials [1]. Recent demands for calibration of instruments used in diagnostic quality control, initiated the study of possibility to extend the calibration capabilities of the X-ray facility. In diagnostic radiology instruments are used to measure two basic parameters: peak voltage kVp and air kerma K_a . Independent reference values of these parameters for the standard energy spectra qualities [2] should therefore be realized to meet the requirements.

RESULTS

Peak voltage usually does not exactly equal the tube voltage set on the X-ray control panel, the difference may be several kV [3]. To establish the reference values of the kVp, energy spectra were measured with high purity germanium detector (HPGe). The detector was covered with 4 mm lead shield with 1 mm opening on cylinder axis, which was aligned with the irradiation field at 3 m distance from the focus. Filtration of the X-rays was set to 2.5 mm Al and current to the lowest possible value (1mA) to suppress the detector pile-up. Measured spectra for different tube voltage settings are displayed in Figure 1. Peak voltage values were determined by extrapolating a line fitted to the end of the spectra. The measured voltages are 1–3 keV lower than set values, as shown in Table 1.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

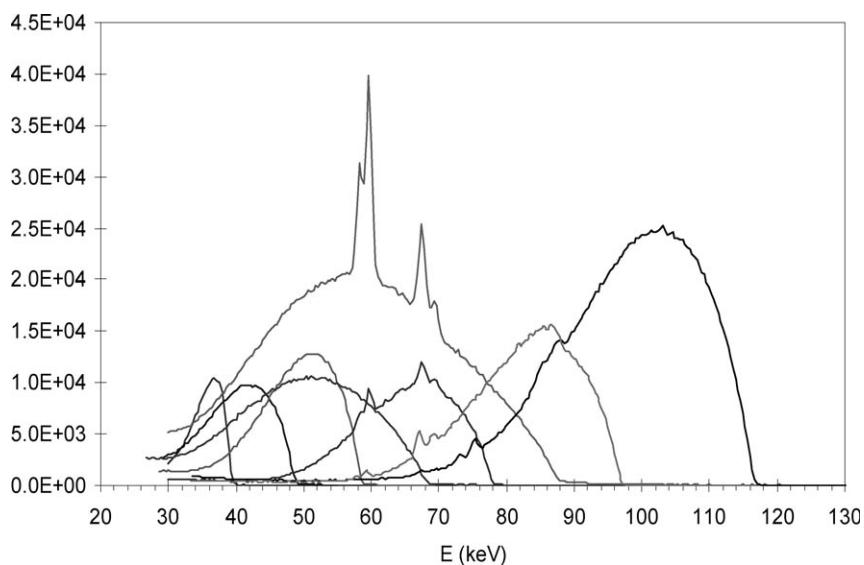


Figure 1. X-ray spectra measured with the HPGe detector

Two types of diagnostic instruments provided by different producers were used for the comparison measurements, Barracuda produced by RTI Electronics and Mult-O-Meter 519 produced by Unfors. Both instruments have been calibrated by the producer within 2 years period. Uncertainty of kVp calibration was 1% for Barracuda and 2% of Mult-O-Meter. Comparison of kVp measurements with the reference values is in Table 1. Variations of response as compared to the spectrometry defined values are within expected values.

Table 1. Comparison of the kVp reference and measured values.

U tube [kV]	HPGe kVp	Barracuda kVp	Variation [%]	Unfors kVp	Variation [%]
40	39.1	38.6	-1.4	/	/
60	58.7	58.8	0.2	59.3	1.0
70	68.6	68.8	0.3	68.0	-0.8
90	88.0	88.7	0.8	85.5	-2.8
100	97.5	99.4	1.9	96.1	-1.5
120	116.8	119.7	2.5	116.3	-0.4

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Results of investigation of air kerma rate $\dot{K}_a$ responses are in Table 2. Uncertainties of the $\dot{K}_a$ measurements according to calibration certificates provided by the producers are 3% for Barracuda and 5% of Mult-O-Meter. In the first step Unfors and Barracuda readings were compared with irradiation conditions set to 2.5 mm Al filtration and at two voltages 50 and 70 kV. Because responses at 70 kV differ by more than 5%, irradiation conditions were optimized according to the IEC 61267 standard [2]. Parallel plate ionization chamber PTW 77337 with calibration traceable to primary standards was used for measurements of half value layers (HVL) and reference $\dot{K}_a$ values. HVL values were found to differ from prescribed values 1.78 and 2.58 for 50 and 70 kV respectively. Filtration and voltage settings were then optimized to meet the standard requirements. In the standardized qualities Unfors readings showed satisfying agreement with the PTW reference $\dot{K}_a$ values.

Table 2. Comparison of air kerma responses.

Radiation conditions			Reference	Test instrument	
filter	HVL	U/I	$\dot{K}_a$	$\dot{K}_a$	Var.
[mm]	[mm]	[kV/mA]	[$\mu\text{Gy/s}$]	[$\mu\text{Gy/s}$]	[%]
			Barracuda	Unfors	
2.5	1.64	50/10	353	356	0.8
2.5	2.13	70/10	683	719	5.3
			PTW		
2.75	1.77	51/30	873	854	-2.2
2.75	2.55	75/30	1954	1965	0.6

CONCLUSION

Irradiation conditions were prepared for performance testing of diagnostic radiology instruments. Peak voltage measurements can be tested in the region from 40 to 120 kV in simplified irradiation conditions with 2.5 mm Al filtration. However, for traceable calibrations of air kerma measurements, X-ray parameters should be optimized according to the IEC 61267 standard, which was done for two qualities with maximum energies of 50 and 70 keV. Compari-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

son of two instruments Barracuda and Mult-O-Meter showed agreement within specifications for peak energy and air kerma rate measurements.

REFERENCES

- [1] Miljanić S, Ranogajec-Komor M, Knežević Ž, Štuhec M, Prokić M. Comparative study of LiF:Mg,Cu,Na,Si and Li₂B₄O₇:Cu,Ag,P TL detectors. Radiat Prot Dosim 2006;119:191-196.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC). Medical Diagnostic X-ray Equipment – Radiation conditions for use in the determination on characteristics. IEC 61267 Geneve: IEC; 2005.
- [3] Green S, Palethorpe JE, Peach DE and Bradley DA. Development of a Calibration Facility for Test Instrumentation in Diagnostic Radiology. Radiat Prot Dosim 1996;1:41-46.

ABSTRACT

In this feasibility study, a constant potential X-ray irradiation facility was optimized for performance tests of diagnostic radiology instruments. Responses of two different diagnostic instruments were compared in measuring of peak voltage kVp and air kerma rate $\dot{K}_a$, the results being within the technical characteristics of the producers. In order to use the facility for traceable calibrations in future, the qualities of the required spectra should be refined and air kerma measured in accordance to the international standards.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ENVIRONMENTAL TLD GLOW CURVE ANALYSIS

Olivera Marinković¹ and Vesna Spasić Jokić²

¹IORH "Dr Dragomir Karajović", Deligradska 29, Belgrade, Serbia

²Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad,

Fruškogorska 11, Novi Sad, Serbia

e-mail: o.marinkovic@ptt.yu

ABSTRACT

Environmental radioactive monitoring in Serbia is performed according the Law of Radiation Protection against Ionizing Radiation. Comparing to GM counter network, environmental TLDs are used for control more points. Some other measuring methods are also used (gamma, alpha-beta samples analyzing; continuously ambient dose equivalent screening etc.).

Environmental TLD badge has four crystals: (a) two CaSO_4 and (b) two LiF. As relative measurement method TLD requires careful calibration of reader and dosimeter itself. Different causes could damage TLD crystal placed at site. Each glow curve has to be checked for regularity and irregular one has to be eliminated. The main (the fifth) peak of (b) crystals has to be at read-out temperature (300°C). Also, the shape of (b) glow curve depends on irradiation modality. Using HARSHAW CGCD Programme it is possible to estimate time of one-shot exposure as well as to differ continuously exposing crystal from one irradiated in few portions. The method applied in the LPD (Laboratory for personal dosimetry of IORH "Dr Dragomir Karajović", Belgrade), is represented in the paper.

MATERIAL AND METHODS

TLD type 100 (LiF:Mg,Ti) has five peaks below 300°C. First one has too short half-life that is of negligible importance to speak about. Peaks 2 and 3 have half-lives of the order of several hours and a few months, respectively. Related to other peaks, peak 5 has very long half-life and could be used as stable [1, 2].

TLD (250 crystals) were irradiated and read out after different elapsed time. DOS version of CGCD Programme has been applied to determine the peaks deconvolution.

Calculating peaks area programme gives also important result: FOM (figure of merit) in percents. The area ratios peak2/peak5 and peak3/peak5 depend

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

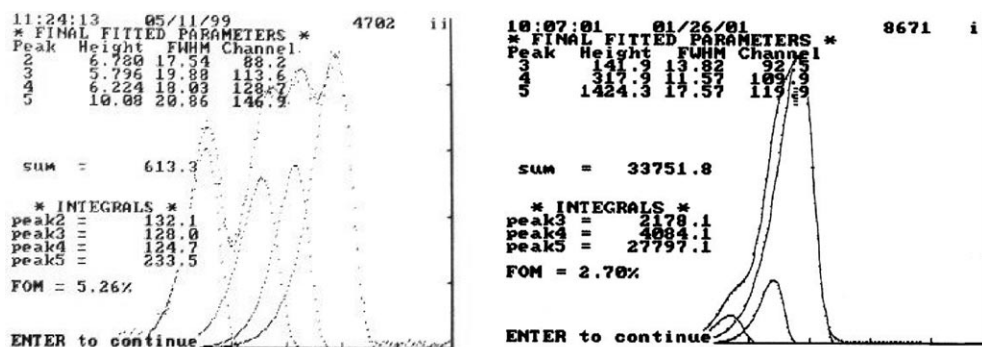


Figure 1. CGCD results for various exposed crystals [2]

linearly on $\text{Log } T$, where T is elapsed time. Equation (1) and (2) given in [3] and [4] are calibration graphs for time depending analysis.

$$\text{peak2/peak5} = 0.22 - 0.075 \times \text{Log } T \quad (1)$$

$$\text{peak3/peak5} = 0.88 - 0.26 \times \text{Log } T \quad (2)$$

Time depending analysis help in personal dosimetry (PD) to recognize one-shot exposure, to estimate time of accident etc.

Experience from PD was used in analysing environmental dosimetry after an occasion when was interesting to check suspicion event in the vicinity of nuclear facility.

RESULTS AND DISCUSION

Environmental TLD are placed at 21 points in Serbia according to the regulation [5]. A set of dosimeters is used for monitoring thermal power plant landfills as well. Besides that, LPD provides dosimeters for a new facility preoperational monitoring. Usually, dosimeters were exposed six months at sites. Time depending analysis is applicable inside period less then two months. Previously prior to dose assessment glow curve is checked only for regularity (Figure 2 and 3). LiF crystal read-out few hours after irradiation has glow curve like one at Figure 2(a). PMT current intensity has one peak in the case of long exposure in background or if irradiation happened more then two months before treatment (Figure 2(b)).

After 19 years using the TLDs in personal dosimetry about 1% was refused due to irregularity and replaced with new ones. Among environmental dosimeters number of refused due to above mentioned reason was less than 0.5%. Figure 3 shows irregular glow curves.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

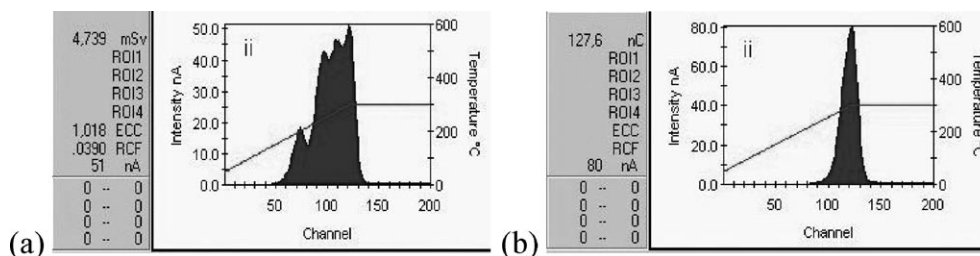


Figure 2. Regular glow curves

It is not possible to separate “false” signal from ionizing radiation contribution using TLD reader with only by displayed number. Current intensity during heating cycle is first indication of irradiation cycle.

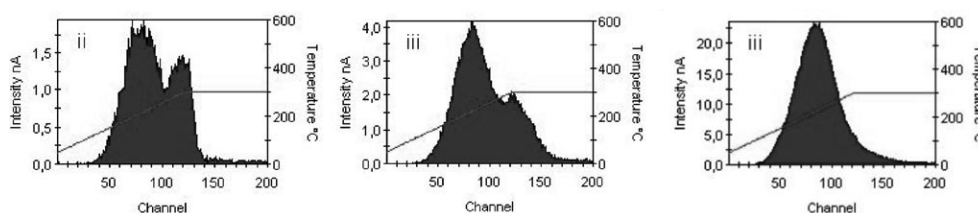


Figure 3. Irregular glow curves

Taking part in new facility preoperational monitoring, inside nuclear facility site, LPD provided dosimeters for environmental monitoring at selected points around the new object. Time depending analysis results for TLD exposed in surrounding of the new facility are given in this paper.

Group of dosimeters (Group O) exposed from the end of 2005 to beginning of 2006 allowed conclusion that short higher ambient dose rate had happened (300 ± 50) h before read-out moment. Average dose rate was higher 15-30% then usual and integral dose was $100 \mu\text{Sv}$ higher then expected once according previous results.

CGCD software gives peak separation. Ratios II (peak2/peak5) and III (peak3/peak5) for three groups of dosimeters are given in Table 1. Besides described **Group O** (one short exposure) here are results for three groups of environmental dosimeters also exposed around the new facility: **Group R** (repeated short exposures) and **Group C** (continuously exposed dosimeters).

Table 1 gives estimated period from irradiation to read-out moment. Here are arguments which lead to conclusions of irradiation profile.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Table 1. Accuracy of time for groups O, R and C

TLD groups	$(T_2 \pm \Delta T_2)$ (h)	$(T_3 \pm \Delta T_3)$ (h)
One shot exposure (O)	316 – 501	269 – 354
Continuous exposure (C)	631 – 1000	1738 – 2512
Repeated exposures (R)	63 – 631	158 – 1000

Environmental dosimeters for the preoperational monitoring are replaced in two months after beginning of 2006.

Estimation of time takes into account FOM, peak 2, 3 and 5 areas and adequacy of T_2 and T_3 intervals.

Group O – one shot exposure: Average FOM from 4% to 8%. Due to short half-life of peak 2 it is better estimation relates time with T_3 .

Table 2. Group O – dosimeters exposed at new facility site

TLD	Group O				
	FOM (%)	II	III	Log T_2	Log T_3
1	4.78	0.0381	0.2490	2.4253	2.4269
2	4.69	0.0212	0.2407	2.6507	2.4588
3	4.80	0.0320	0.2173	2.5067	2.5488
4	5.56	0.0160	0.2206	2.7200	2.5362
5	5.26	0.0221	0.2115	2.6387	2.5712
6	5.08	0.0322	0.2539	2.5040	2.4081
7	10.85	0.0361	0.2330	2.4520	2.4885
Avg.	5.86	0.0282	0.2323	2.5568	2.4912
σ	2	0.008	0.02	0.1	0.06

Group C – continuously exposure TLD: Average FOM from 3% to 7% if bad result (TLD 9) is excluded. Intervals T_2 and T_3 have no joint points. This is example of continuously exposed dosimeter based on experience from PD analysis in LPD.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Table 3. Group C – continuously exposed dosimeters at new facility site

TLD	Group C				
	FOM (%)	II	III	Log T_2	Log T_3
8	5.87	0.0067	0.0319	2.8440	3.2619
9	26.43	0.0000	0.0000	2.9333	3.3846
10	7.20	0.0030	0.0521	2.8933	3.1842
11	2.98	0.0000	0.0000	2.9333	3.3846
12	5.14	0.0000	0.0000	2.9333	3.3846
13	5.19	0.0208	0.0000	2.6560	3.3846
14	6.02	0.0069	0.0366	2.8413	3.2438
Avg.	8.40	0.0053	0.0172	2.8621	3.3183
σ	8	0.008	0.02	0.1	0.08

Group R – repeated exposures: Average FOM is from 8% to 14%. T_2 and T_3 intervals union overlaps – from 0 h to 1000 h – whole region of interest. So, peak 2 points at more then one transient exposure.

Table 4. Group R – dosimeters exposed at new facility site to repeated exposures

TLD	Group R				
	FOM (%)	II	III	Log T_2	Log T_3
15	12.00	0.0811	0.3022	1.8525	2.2223
16	12.66	0.1077	0.2936	1.4974	2.2552
17	16.98	0.0125	0.1615	2.7661	2.7634
18	10.08	0.0310	0.3132	2.5196	2.1799
19	9.72	0.0079	0.0419	2.8281	3.2233
20	9.06	0.0458	0.2243	2.3230	2.5217
21	9.49	0.0622	0.1565	2.1037	2.7827
Avg.	11.43	0.0497	0.2133	2.2701	2.5641
σ	3	0.04	0.1	0.5	0.4

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CONCLUSION

TL dosimetry is power tool for exposure reconstruction in personal or environmental dosimetry. Related to TLD performance it is important to replace them monthly. Fading of LiF has importance role in result assessment. Also, dose accuracy in the circumstance without preheating temperature is open for discussion. Regarding to some references [6,7] there is no unique method for effective dose calculation in terms of $H_p(10)$. LPD gives advantage to providing more crucial information with acceptable small overdose estimation generated without preheating temperature. The new software has possibility to skip this problem utilizing more working time for analysing.

LITERATURE

- [1] Harshaw/Filtrol CGCD User's Manual, Harshaw/Filtrol Partnership, Crystal and Electronic Products, Solon, Ohio, 1988.
- [2] Horowitz YS, Yossian D. Computerised Glow Curve Deconvolution: Application to Thermoluminescence Dosimetry. Radiat Prot Dosim 1995;60 No. 1.
- [3] Marinković O, Mirkov Z. Glow curve deconvolution application in personal dosimetry. Proceedings of the XXI Yugoslav Radiation Protection Society Conference; October 10-12, 2001; Kladovo, Yugoslavia; pp. 189-192.
- [4] Marinković O. Time dependence analysis of glow curve for TLD type LBG-0110. Proceedings of the XVIII Yugoslav Radiation Protection Society Conference; May 24-26, 1995; Becici, Yugoslavia; pp. 99-102.
- [5] Decree on the systematic testing of the radionuclide content in the environment; Official Gazette of the FRY, No. 45/97.
- [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] International Atomic Energy Agency (IAEA). Assessment of Occupational Exposure due to External Sources of Radiation. Safety Standards Series No. RS-G-1.3. Vienna: IAEA; 1999.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

KARAKTERIZACIJA RPL DOZIMETARA ZA MJERENJA DOZA U OKOLINI

Željka Knežević, Maria Ranogajec-Komor, Saveta Miljanić i Branko Vekić
Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb
e-mail: zknez@irb.hr

UVOD

Zabrinutost stanovništva za kvalitetu okoline, uključujući i doprinos čovjeka povišenju doza u okolini potaknulo je korištenje termoluminescentnih (TL) i radiofotoluminescentnih (RPL) dozimetara za mjerenja doza u okolini. Zahtjevi koji se postavljaju na dozimetrijske sustave kojima bi se mjerile, od strane čovjeka uzrokovani doprinosi dozama, a u prisustvu i do desetak puta viših prirodnih doza, vrlo su visoki. Razlog više za tako visoke zahtjeve su vrlo nepovoljni uvjeti mjerenja u okolini, počevši od utjecaja UV svjetla, vlage, kiše, temperature itd.

Uz postojeće međunarodne i nacionalne standarde, stalno se razvijaju i novi, poboljšani standardi te testiraju dozimetrijski sustavi koji mogu pouzdano mjeriti doze u okolini.

U sklopu japansko-hrvatske suradnje Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju dobio je dozimetrijski sustav: radiofotoluminescentne dozimetre tip SC-1 i radiofotoluminescentni čitač tipa FGD-202 prvi takve vrste u Hrvatskoj, koji se koristi prvenstveno za mjerenja doza u okolini [1].

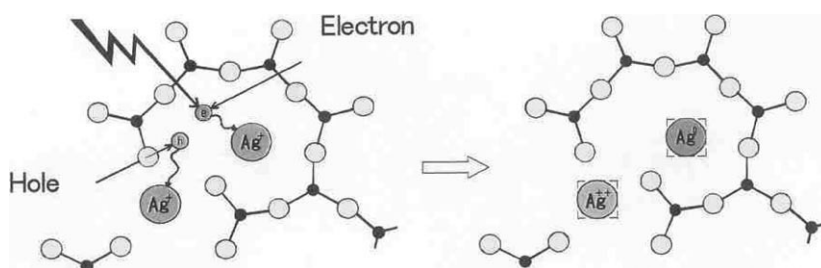
Radiofotoluminescentni (RPL) stakleni dozimetri spadaju u grupu akumulacijskih dozimetara u čvrstom stanju, a mogu se koristiti za osobnu dozimetriju, dozimetriju u okolini te medicinsku dozimetriju. RPL dozimetri se sastoje od srebrom aktiviranog fosfatnog stakla koje kod izlaganja ionizirajućem zračenju stvara obojene centre te nakon pobuđenja UV zračenjem emitira narančasto fluorescentno svjetlo. Intenzitet emitiranog svjetla proporcionalan je apsorbiranoj dozi. Kao izvor pobuđenja u ovom čitaču koristi se dušikov pulsni laser. Obzirom da se svjetlo emitira svaki put kad laserski puls pobudi staklo, stakleni dozimetar može se očitavati i više puta jer zračenjem stvoreni RPL centar ostaje i nakon očitavanja odnosno sve dok se dozimetar ne podvrgne postupku aniliranja.

U radu je testiran RPL dozimetrijski sustav prema zahtjevima IEC standarda (IEC 1991 i IEC 2006) [2,3] za mjerenje doza u okolini. Obzirom da je novi standard (IEC 2006) izašao nakon početka ispitivanja korištena su oba standarda. Ispitana su sljedeća svojstva: ujednačenost, ponovljivost, linearnost, najmanja mjerljiva doza i energijska ovisnost.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MATERIJAL I METODE

Princip rada RPL dozimetara prikazan je na Slici 1. Parametri evaluacije RPL sustava prikazani su u Tablici 1.



Slika 1. Princip rada RPL dozimetara

Tablica 1. Parametri evaluacije RPL dozimetara

Dozimetar	RPL
Materijal	srebrom aktivirano fosfatno staklo
Zemlja proizvodnje	Japan [1]
Veličina (mm)	16×16×1,5
Regeneracija	
Temperatura (°C)	400
Vrijeme (min)	60
Predgrijavanje	
Temperatura (°C)	70
Vrijeme (min)	60
Očitavanje	UV ekscitacija

Kada se fosfatno staklo tj. (PO_4) skupina unutar stakla izloži zračenju, ona gubi svoj elektron i zarobljava pozitivnu rupu (hPO_4). U isto vrijeme Ag^+ ion u staklu zarobljava elektron i nastaje Ag^0 ion. (hPO_4) i Ag^+ ion stvaraju Ag^{++} ion. Ag^0 i Ag^{++} ioni su stabilni luminescentni centri.

RPL dozimetrijski sustav korišten u ovom radu je čitač tipa FGD-202 i stakleni dozimetri tipa SC-1 smješteni u plastični držač koji sadrži filter za

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

kompensaciju energijske ovisnosti. Prema specifikacijama koje su dobivene od proizvođača, ovaj sustav je primjenjiv u području fotona energija iznad 10 keV i u području doza $10 \mu\text{Sv} - 10 \text{ Sv}$ odnosno pogodan je za mjerenja doza u okolini sa visokom razinom pouzdanosti.

RPL dozimetri zračeni su u Sekundarnom standardnom dozimetrijskom laboratoriju (SSDL) u Institutu "Ruđer Bošković" [4]. Kod određivanja ujednačenosti, reproducibilnosti, najmanje mjerljive doze i linearnosti RPL dozimetri su zračeni na izvoru gamma zračenja ^{137}Cs i ^{60}Co , dok su kod određivanja energijske ovisnosti dozimetri zračeni na kalibracijskom rentgenu ISOVOLT 420. Energijska ovisnost je mjerena u zraku i na ISO vodenom fantomu u poljima fotona srednjih energija 33-1250 keV.

REZULTATI

1. Ujednačenost i ponovljivost

Za određivanje ujednačenosti i ponovljivosti 36 RPL dozimetara ozračeno je kroz 10 krugova dozom od 1 mGy (izražena kao K_a) i nakon toga očitano.

Ujednačenost RPL dozimetara izražava se kao koeficijent varijacije (ν) n dozimetara u odnosu na srednju vrijednost mjerene doze $\bar{E}$

$$\nu = \frac{s_{\bar{E}}}{\bar{E}} \quad (1)$$

gdje je $s_{\bar{E}}$ standardno odstupanje srednje vrijednosti mjerene doze $\bar{E}$.

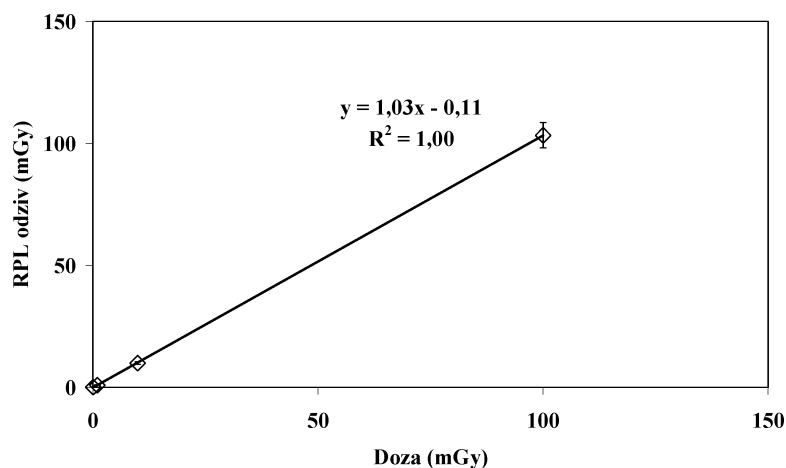
Dobiveni koeficijent varijacije izražen u postotku bio je u rasponu od 1 do 3,7 kroz 10 krugova mjerenja.

Koeficijent varijacije srednjih vrijednosti n dozimetara kroz 10 mjernih krugova kod ispitivanja *ponovljivosti* izražen je prema formuli (1) Vrijednosti u postotku bile su u rasponu od 1,3 do 2,7 što je također unutar zahtjeva standarda. Standard propisuje koeficijent varijacije u rasponu od 5% do 15% ovisno o zadanoj dozi.

2. Linearnost

Linearnost RPL dozimetara ispitana je u području doza od 0,1 do 100 mGy na izvoru ^{137}Cs i prikazana je na Slici 2. Standardno odstupanje mjerenih vrijednosti bilo je unutar 1%. Koeficijent varijacije (ν) izražen u postotku (%) za ispitivano područje doza iznosio je 0,52 do 1,38 što je unutar zahtjeva standarda [3].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 2. Linearnost RPL detektora u području doza od 0,1 mGy do 100 mGy

3. Granica detekcije

Granica detekcije povezana je sa vrijednosti najmanje mjerljive doze, D_{LDL} i definira se kao 3 standardne devijacije ($s_{\bar{E}}$) n neozračenih dozimetara. Najmanja mjerljiva doza, D_{LDL} za RPL dozimetre iznosila je $2,22 \mu\text{Gy}$.

Prema IEC standardu [2] granica detekcije definira se kao:

$$t_n \times s_{\bar{E}} \leq H \quad (2)$$

gdje je t_n Studentov faktor za n dozimetara, a $s_{\bar{E}}$ standardna devijacija za svih n neozračenih dozimetara. $H=10 \mu\text{Gy}$ za dozimetre koji se koriste za mjerenja doza u okolini. Vrijednost dobivena za RPL dozimetre (30 neozračenih dozimetara) iznosila je $1,52 \mu\text{Gy}$ što je zadovoljavajuća vrijednost u odnosu na zahtjeve standarda.

4. Energijska ovisnost

Energijska ovisnost RPL dozimetara mjerena je u zraku, na ISO vodenom fantomu (dimenzija 30 cm x 30 cm x 5 cm) u poljima fotonskog zračenja srednjih energija između 33 keV i 1250 keV. Dobivene vrijednosti normirane prema ^{137}Cs prikazane su na Slici 3. Iz slike je vidljivo da eksperimentalno dobivene krivulje imaju isti oblik. Standardno odstupanje svih mjerenja bilo je unutar 2 %. Prema IEC standardu iz 1991. godine [2] odstupanja relativnog odziva računaju se prema sljedećem izrazu:

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

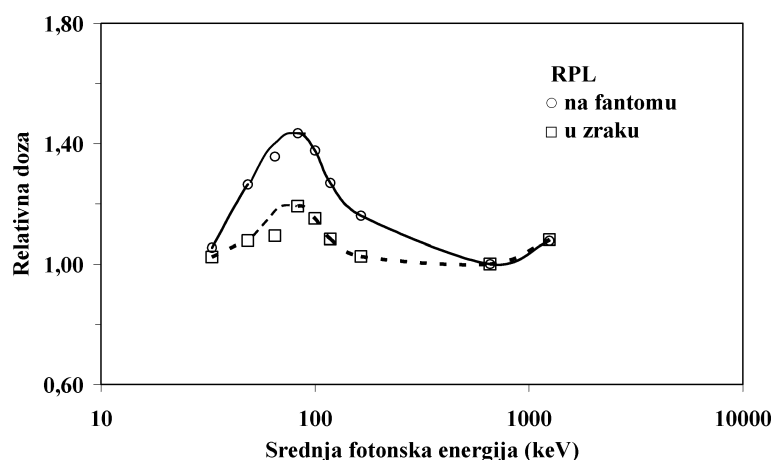
$$0,70 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I_i}{C_i} \leq 1,30 \quad (3)$$

gdje je I pola širine intervala pouzdanosti srednje vrijednosti i -tog broja mjerenja (standardna pogreška mjerenja), a izražava se:

$$I_i = \frac{t_{ni} \times s_i}{\sqrt{n_i}} \quad (4)$$

a C_i je nominalna vrijednost doze.

Dobivene vrijednosti kod mjerenja u zraku bile su između 1,00 do 1,19 što je zadovoljavajuće u odnosu na zahtjeve standarda. Iako standard za mjerenja doza u okolini ne propisuje testiranje na fantomu ispitana je energijska ovisnost na fantomu kao karakteristika samog dozimetrijskog sustava. Kod mjerenja na fantomu mjerene vrijednosti bile su veće nego kod mjerenja u zraku. Razlog tomu je raspršeno zračenje od fantoma koje ima niže energije u odnosu na ulazno zračenje. Vrijednosti prema izrazu (3) kod mjerenja na fantomu su bile između 1,00 i 1,43.



Slika 3. Eksperimentalno dobivene vrijednosti energijske ovisnosti RPL dozimetara mjerene u zraku i na fantomu

ZAKLJUČAK

Ispitane karakteristike RPL dozimetara su u skladu sa postavljenim zahtjevima standarda. RPL dozimetrijski sustav pokazao je vrlo dobre karakteristike za mjerenja doza u okolini.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

LITERATURA

- [1] Chiyoda Technol Corporation,
- [2] http://www.c-technol.co.jp/technol_eng/. 2008.
- [3] International Electrotechnical Commission (IEC). Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring. CEI/IEC International Standard 1066:1991.
- [4] International Electrotechnical Commission (IEC). Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring. CEI/IEC International Standard 61066:2006.
- [5] Vekić B, Ban R, Miljanić S. Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij Instituta "Ruđer Bošković" Zagreb, Arh Hig Rada Toksikol 2006;57:189-194.

CHARACTERISATION OF RADIOPHOTOLUMINESCENT DOSIMETERS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

Željka Knežević, Maria Ranogajec-Komor, Saveta Miljanić and Branko Vekić
Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: zknez@irb.hr

Radiophotoluminescent (RPL) glass dosimetry system is applicable for measurement of radiation dose of X-rays and gamma rays, using a flat silver activated phosphate glass RPL detectors. They are under permanent development, so the aim of this work was to investigate RPL glass dosimeters for application in environmental monitoring according to the IEC Standards. The following dosimetric characteristics of the recently developed SC-1 flat RPL glass dosimeters with FGD-202 reader for environmental dosimetry were investigated: uniformity/batch homogeneity, reproducibility, linearity, detection threshold and energy dependence in air, and on phantom. The characteristics of RPL dosimeters investigated in this work match the requirements of the international standards for environmental monitoring.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MJERENJE ^{14}C AKTIVNOSTI METODOM AMS – AKCELERATORSKA MASENA SPEKTROMETRIJA

*Andreja Sironić, Nada Horvatinčić, Ines Krajcar Bronić, Bogomil Obelić
i Jadranka Barešić*

Institut “Ruđer Bošković”, Bijenička 54, 10000 Zagreb
e-mail: asironic@irb.hr, krajcar@irb.hr

UVOD

U Laboratoriju za mjerenja niskih aktivnosti (LNA) Instituta “Ruđer Bošković” koriste se dvije radiometrijske tehnike mjerenja koncentracije izotopa ^{14}C : mjerenje plinskim proporcionalnim brojačem (GPC) od 1968. godine i tekućinskim scintilacijskim brojačem (LSC) od 2001. godine. Za navedene tehnike mjerenja razvijene su i odgovarajuće metode obrade uzoraka, kako bi se dobio uzorak u kemijskom obliku pogodnom za mjerenje [1-4]. Zajednička karakteristika radiometrijskih tehnika mjerenja je mjerenje brzina raspada ^{14}C u određenoj količini uzorka. Za obje tehnike potrebno je 2-5 g ugljika, odnosno odgovarajuća količina originalnog uzorka: najmanje 30 g karbonata, 15 g drva, ili 300 – 500 g kosti.

Posljednjih dvadesetak godina u svijetu sve više prevladava tehnika mjerenja koncentracije ^{14}C pomoću akceleratora – akceleratora masena spektrometrija (AMS). AMS mjeri ukupan broj atoma ^{14}C u nekom uzorku u odnosu na broj atoma ^{12}C , a potrebna količina ugljika za mjerenje iznosi samo nekoliko mg, dakle i potrebna količina uzorka je oko 1000 puta manja. Korištenje AMS tehnike otvara brojne nove primjene ^{14}C metode u arheologiji, geologiji, paleoklimatologiji, sedimentologiji, ekologiji i dr.

Budući da su akceleratori skupe mašine, te da je mjerenje jednog uzorka relativno kratko (nekoliko minuta, dok je radiometrijskim tehnikama potrebno oko 24 sata), a priprema uzorka za AMS traje nekoliko dana, uobičajeno je da postoji veći broj laboratorija koji pripremaju uzorke za jedan akcelerator. LNA se također priključio sve većem broju takvih laboratorija. U ovom radu opisan je proces obrade uzoraka i aparatura za pripremu uzoraka za AMS mjerenje, te prvi rezultati testova. Aparatura je nabavljena i konstruirana uz financijsku pomoć projekata IAEA, MZOS i EU. Tijekom 2007. godine pripremljeni su prvi uzorci poznate ^{14}C aktivnosti, koji su izmjereni na akceleratoru u Scottish Universities Environmental Research Center (SUERC) u Škotskoj.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

OBRADA UZORAKA

Iz uzorka u kojem se želi mjeriti koncentracija ^{14}C AMS tehnikom, mora se kemijskim postupcima izolirati čisti ugljik u obliku grafita. U procesu tzv. pretpripreme uzoraka za AMS koriste se iste metode obrade kao i za radiometrijske tehnike, ali prilagođene malim količinama uzoraka. Pri tome posebnu pozornost upravo zbog male količine uzorka treba posvetiti odstranjivanju stranog materijala, pogotovo onog suvremenog podrijetla, koji može onečistiti uzorak i tako dati pogrešnu ^{14}C starost. Uzorci se stoga pregledavaju pod mikroskopom. Sav metalni pribor i stakleno posuđe koje se koristi kod obrade uzorka mora se termički obraditi na temperaturi $\sim 600^\circ\text{C}$.

Spaljivanje organskih uzoraka u zataljenim vakuumiranim kvarcnim cjevčicama vrši se na temperaturi 850°C . U cjevčicu se uz uzorak dodaju srebrna vuna i bakrov(II) oksid. Ag služi za uklanjanje sumpornih spojeva iz uzorka koji inhibiraju reakcije u daljnjim koracima. Bakrov(II) oksid je izvor kisika potrebnog za nastajanje CO_2 iz organskog materijala. Iz karbonatnih uzoraka se CO_2 dobiva reakcijom hidrolize s kiselinom u posebnoj ampuli koja se priključuje na vakuumsku liniju.

Dobiveni CO_2 se postupkom grafitizacije reducira u elementarni ugljik reakcijom sa cinkom uz željezo kao katalizator na temperaturi 550°C .



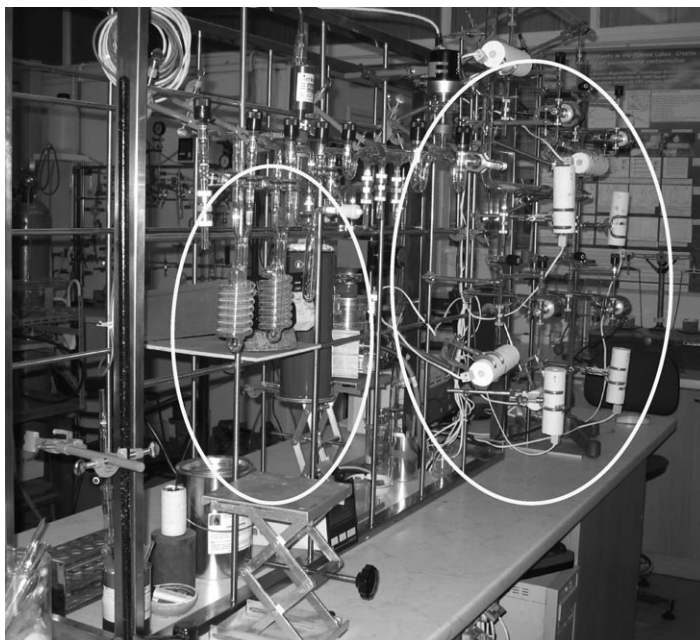
Nastali grafit hvata se na željezu, a dobivena smjesa Fe i ugljika predstavlja "grafitnu" metu koja se preša na nosače meta za mjerenje akceleratorom. Cijeli postupak grafitizacije se provodi u posebno konstruiranoj vakuumskoj liniji.

VAKUUMSKA LINIJA ZA GRAFITIZACIJU

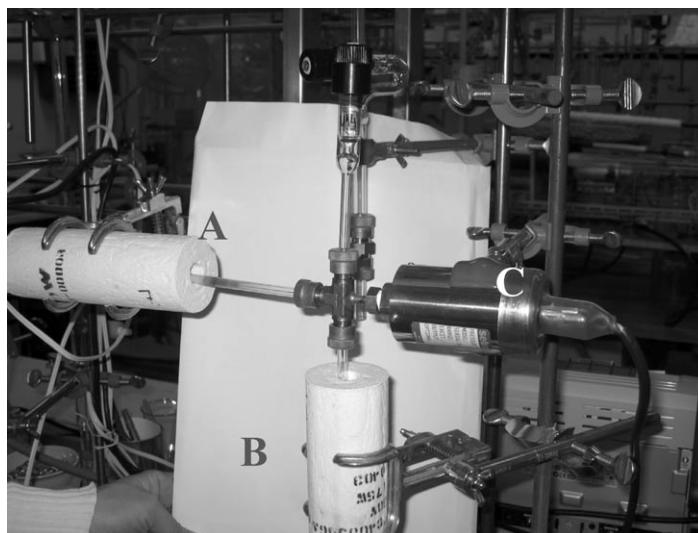
Aparatura za grafitizaciju uzoraka u LNA prikazana je na Slici 1. Sastoji se od sljedećih glavnih dijelova:

- 1) Rotacijska pumpa (za predvakuum do 10^{-2} mbar), turbomolekularna pumpa (vakuum do 10^{-5} mbar) i vakuummetri;
- 2) Linija za rukovanje sa CO_2 (lomljenje kvarcnih cjevčica nakon spaljivanja, hidroliza karbonata, odjeljivanje CO_2 za $\delta^{13}\text{C}$ analize, pročišćavanje CO_2) (lijevo na Slici 1);
- 3) Linija za grafitizaciju koja se sastoji od 4 jedinice, čime je omogućena istovremena priprema 4 uzorka grafita (desno na Slici 1). Jedinica za grafitizaciju prikazana je detaljnije na Slici 2.
- 4) Napajanje s kontrolom temperature za svaku pojedinu peć na sustavu za grafitizaciju;
- 5) Računalo kojim se prati tijek reakcije u svakoj jedinici, očitava se tlak CO_2 na sva 4 mjerna pretvarača (transducera) u 5-min intervalima, crta se graf na ekranu, te spremaju podatci.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



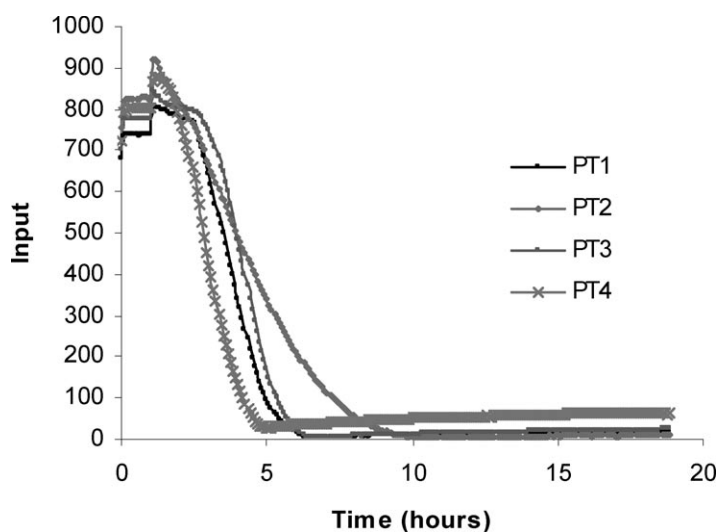
Slika 1. Aparatura za pripremu grafita iz CO_2 za mjerenje koncentracije ^{14}C tehnikom AMS. Lijevo – rukovanje sa CO_2 , desno – 4 jedinice za grafitizaciju.



Slika 2. Jedinica za grafitizaciju. A – cjevčica sa Zn u grijaču, B – cjevčica sa Fe u grijaču, C - mjerni pretvarač (transducer) spojen s računalom.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Na Slici 3 prikazan je graf praćenja tlaka CO_2 na sva četiri mjerna pretvarača na četiri jedinice za grafitizaciju. Vidljivo je da tlak plina u jedinici za grafitizaciju pada s vremenom uslijed reakcije redukcije (jednadžba 1) (osim početnog laganog povišenja tlaka zbog zagrijavanja cjevčice sa Zn prije nego reakcija započne). Na osnovi toga prati se tijek reakcije, te izračunava iskorištenje reakcije.



Slika 3. Primjer praćenja tlaka CO_2 tijekom redukcije u elementarni ugljik na sve 4 jedinice za grafitizaciju.

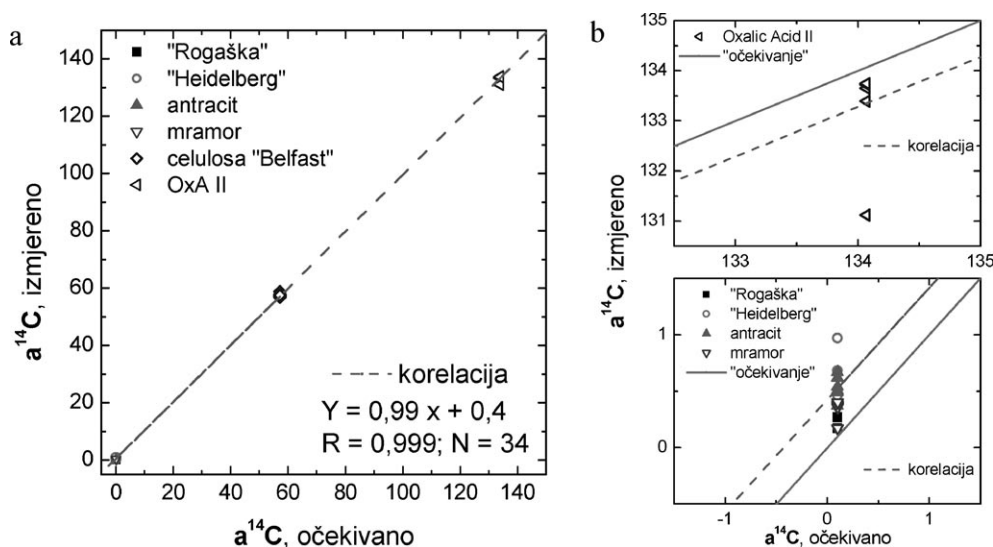
REZULTATI

Sve četiri jedinice za grafitizaciju pokazale su iskorištenje reakcije veće od 95%. Grafit iz uzorka CO_2 koji ne sadrži ^{14}C (tzv. background) – zemni plin “Rogaška” – dao je očekivanu ^{14}C starost blizu granice metode, čime je pokazano da nema kontaminacije u dijelu linije za grafitizaciju. Uzorci drva “Heidelberg”, također bez ^{14}C , pokazali su ipak neku mjerljivu koncentraciju ^{14}C ukazujući na određeno onečišćenje kvarcnih cjevčica za spaljivanje uzoraka, koje pri tim prvim pripremama nisu bile prethodno termički obrađene. Uzorci poznate starosti pripremljeni kemikalijama (Fe, Zn, CuO) različitih proizvođača također pokazuju da je potrebno provjeriti eventualnu prisutnost ugljika u željezu korištenom u reakciji grafitizacije.

Na Slici 4 prikazana je usporedba očekivane relativne specifične aktivnosti ^{14}C u mjerenim uzorcima, a ^{14}C , koja je izražena u postocima suvremenog

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ugljika pMC, gdje $a^{14}\text{C} = 100$ pMC odgovara specifičnoj aktivnosti 226 Bq/kg ugljika). Neaktivni uzorci ("background") ne sadrže ^{14}C i očekuje se $a^{14}\text{C} = 0$. Linearna korelacija između očekivanih i izmjerenih $a^{14}\text{C}$ pokazuje dobro slaganje (Slika 4a).



Slika 4. Usporedba očekivane i izmjerene relativne specifične aktivnosti ^{14}C , $a^{14}\text{C}$; a – svi uzorci, b – detalji (referentni standard Oxalic Acid II NIST SRM4990C i različiti "background" uzorci).

Međutim, pažljivija analiza (Slika 4b) pokazuje da većina "background" uzoraka ima mjerljivu $a^{14}\text{C}$, te da su izmjerene ^{14}C aktivnosti referentnog standarda niže od poznate vrijednosti (134,07 pMC). Ovakvi rezultati prvih priprema grafita u LNA ukazuje na manje onečišćenje suvremenim ^{14}C iz atmosfere. Stoga se zaključuje da je kod pripreme grafita nužno posvetiti veliku pozornost izbjegavanju bilo kakvog onečišćenja u procesu pripreme grafita.

ZAKLJUČAK

Konstrukcijom vakuumske linije za grafitizaciju uzoraka za AMS ^{14}C datiranje omogućit će se na Institutu "Ruđer Bošković" ^{14}C datiranje znatno manje količine uzorka (nekoliko miligrama) nego dosadašnjim klasičnim radio-metrijskim metodama (GPC i LSC). Time se znatno proširuju mogućnosti primjene ^{14}C datiranja u arheologiji, geologiji, geokemiji, paleoklimatologiji, ekologiji i drugim područjima.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Zbog vrlo male količine uzorka potrebne za pripremu grafitne mete, AMS tehnika je vrlo osjetljiva na onečišćenja, te se svakoj fazi pripreme uzorka mora pristupiti s nužnom pozornošću.

ZAHVALA

Rad je financiran sredstvima MZOS projekta 098-0982709-2741, IAEA projekta CRO/8/006 i EU FP6 projekta 043584 AMS-14C. G. Cook, P. Naysmith i G. Muir (SUERC, East Kilbride, Škotska) pomogli su pri testiranju linije i izvršili mjerenja aktivnosti ^{14}C u grafitnim metama na akceleratoru.

LITERATURA

- [1] Srdoč D, Sliepčević A, Breyer B. Datiranje arheoloških nalaza biološkog porijekla metodom radioaktivnog ugljika ^{14}C . Rad JAZU 1971;349:109-157.
- [2] Horvatinčić N, Barešić J, Krajcar Bronić I, Obelić B. Measurements of low ^{14}C activities in a liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory. Radiocarbon 2004;46/1:105-116.
- [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. 158-63.
- [4] 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. 267-72.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MEASUREMENT OF ^{14}C ACTIVITIES BY THE ACCELERATOR MASS SPECTROMETRY (AMS)

*Andreja Sironić, Nada Horvatinčić, Ines Krajcar Bronić, Bogomil Obelić
and Jadranka Barešić*

Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: asironic@irb.hr, krajcar@irb.hr

In the Laboratory for Low-level Radioactivity at the Ruđer Bošković Institute various types of samples have been dated by the ^{14}C method. In addition to the gas proportional counting and liquid scintillation counting measurement techniques, we have recently developed a technique of sample preparation for the Accelerator Mass Spectrometry (AMS) measurement technique. The main advantage of the AMS technique is a small amount of a sample (2 mg of carbon).

A vacuum line for preparation of graphite samples has been constructed and tested. A line consists of: 1) two vacuum pumps and vacuum gauges, 2) line for CO_2 handling (cracking of quartz combustion tubes, hydrolysis of carbonates), 3) line for graphitisation consisting of 4 units, enabling thus preparation of four graphites simultaneously, 4) power supply unit for temperature control of furnaces, and 5) PC for process monitoring with interfaces and software that enables continuous monitoring of the pressure in each graphitization unit and saves data for further analysis.

All four graphitisation units showed good performances with the yield higher than 95%. Various samples of known ^{14}C activity, from "background" samples containing no ^{14}C to active reference materials, showed good correlation with the expected activities. However, detailed analysis indicated a small contamination by modern atmospheric ^{14}C activity. To obtain better results and lower background, it is necessary to carefully clean and pre-combust all quartz tubes before combusting samples to avoid contamination with modern carbon. Care should be taken also on chemicals used in each stage of graphite preparation.

Graphite samples for ^{14}C dating prepared at the Ruđer Bošković Institute were measured at the accelerator facility of the Scottish Universities Environmental Research Centre (SUERC) in Eask Kilbride, Scotland, UK, within the EU FP6 project 043584 AMS-14C.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DETERMINATION OF THE ABSORBED DOSES IN SHANKS OF INTERVENTIONAL RADIOLOGISTS

Natalia Golnik¹, Krzysztof Szczepański¹, Piotr Tulik¹ and Barbara Obryk²

¹Institute of Precision and Biomedical Engineering, Warsaw University
of Technology, Sw. A. Boboli 8, PL 02-525 Warsaw, Poland

²Institute of Nuclear Physics, Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland
e-mail: golnik@mchtr.pw.edu.pl

INTRODUCTION

Complicated procedures of interventional radiology require usually a much longer investigation time, comparing to the conventional radiography. Moreover, interventional radiology procedures require the presence of the medical staff next to the patient in order to perform the procedure. This results in higher risk for health professionals. Even though these persons reasonably keep away from the primary X ray beam, they are under the effects of scatter radiation due to the interaction of the primary beam with the patient. The protection aprons, thyroid protectors and shielding glasses are used in order to minimize the doses for the staff, but lower parts of legs remain usually unprotected and the absorbed doses in shanks are not recorded. The paper presents the measured values of the absorbed dose in lower extremities of medical staff, involved in the procedures of interventional radiology, completed with the measurements of air kerma under the patient table.

Measurements were performed in one of big hospitals in Warsaw during all the procedures performed in six weeks. Majority of the procedures constituted angioplasty or angioplasty with vascular stenting, uterine fibroid embolization and cholangiography.

In the angioplasty procedure, imaging techniques are used to guide a balloon-tipped catheter into an artery and advance it to where the vessel is narrow or blocked. The balloon is then inflated to open the vessel, deflated and removed. In vascular stenting, which is often performed with angioplasty, a small wire mesh tube (a stent) is permanently placed in the newly opened artery to help it remain open.

In a uterine fibroid embolization procedure, the image guidance is used in order to place an embolic agent (synthetic material) inside one or more of the blood vessels that supply the fibroid tumors with blood. As a result, these vessels become occluded, or closed off, and the fibroid tissue shrinks.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Percutaneous transhepatic cholangiography is a way of examining the bile duct system in the liver. During the exam, a thin needle is inserted through the skin (percutaneous) and through the liver (transhepatic) into a bile duct. Then dye is injected, and the bile duct system is outlined on x-rays.

Our measurements consist of three parts:

- Measurements of kerma in air, under the patient table, in dependence on the dose rate and the distance from the X-ray tube, along the table.
- Measurements of kerma in air under the table during real interventions and comparison with the DAP values.
- Measurements of the individual doses in shanks of medical personnel, using TLD dosimeters.

MATERIAL AND METHODS

All the measurements were performed at PHILIPS INTEGRIS XTV-16 machine. Air kerma was measured using an air-equivalent ionization chamber with VAJ-15 dosimeter, placed under the patient table, 20 cm over the floor in the line of the physician's foot. Anthropomorphic phantoms of human trunk and head were placed on the table during the measurements (Figure 1).

The measurements were performed along the patient table, at several distances from the X-ray tube axis, for different operating modes of the machine. The readings were recorded every second.

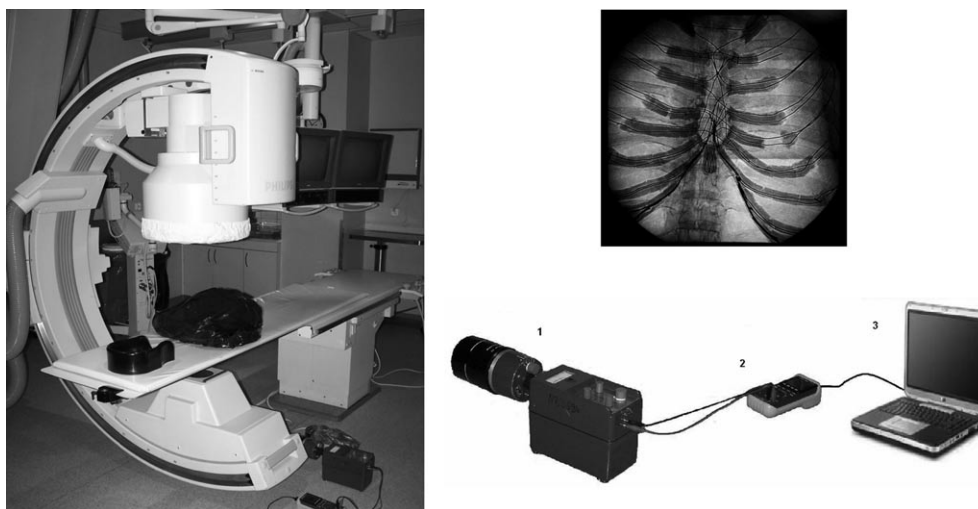


Figure 1. Human chest and head phantoms on the patient table, radiograph of the phantom and measuring equipment with VAJ-15 dosimeter.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

The absorbed dose at the surface of the shanks was measured during real interventions, using MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) thermoluminescence detectors (TLD), packed in the black, 0.1 mm thick polyethylene foil and attached to the socks of medical personnel (physicians, nurses and technicians) involved in interventional radiology procedures. The detectors were initially calibrated free-in air in reference field of ^{137}Cs source and then irradiated free in air and on the anatomic phantom of human leg in X-ray beams of several energies in the range from 40 kV to 100 kV (Figure 2).

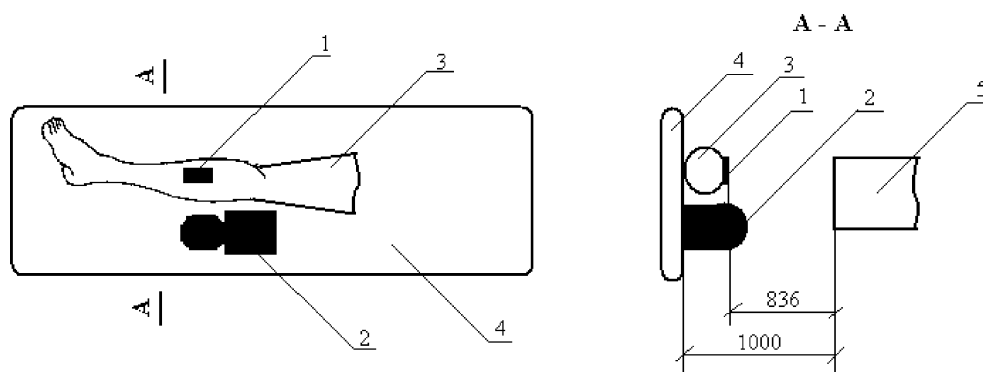


Figure 2. Calibration of the TLD detectors on the leg phantom. 1 TLD detectors, 2 VAJ-15 dosimeter, 3 Anatomic phantom, 4 Table, 5 X-ray tube. The phantom and the dosimeter were placed consecutively in the measuring point.

The scatter coefficients were calculated from the detectors' reading and used for evaluation of the doses recorded in the hospital.

RESULTS

Air kerma measurements

The X-ray machine can be used in one of three operating modes: High, Norm and Low. Values of air kerma measured under the table at the position of the physician's feet (when the angioplasty procedure is performed) are shown in Figure 3. The ratio of the air kerma rate is approximately 1:1.5:2.5 for the Low, Norm and High operating modes.

It is generally known, that the dose of scattered radiation decreases as the square of the distance from the table, in the direction perpendicular to the table. Our measurements showed that in the direction along the table, the air kerma decreased in a linear manner with the increase of the distance from the X-ray tube axis.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

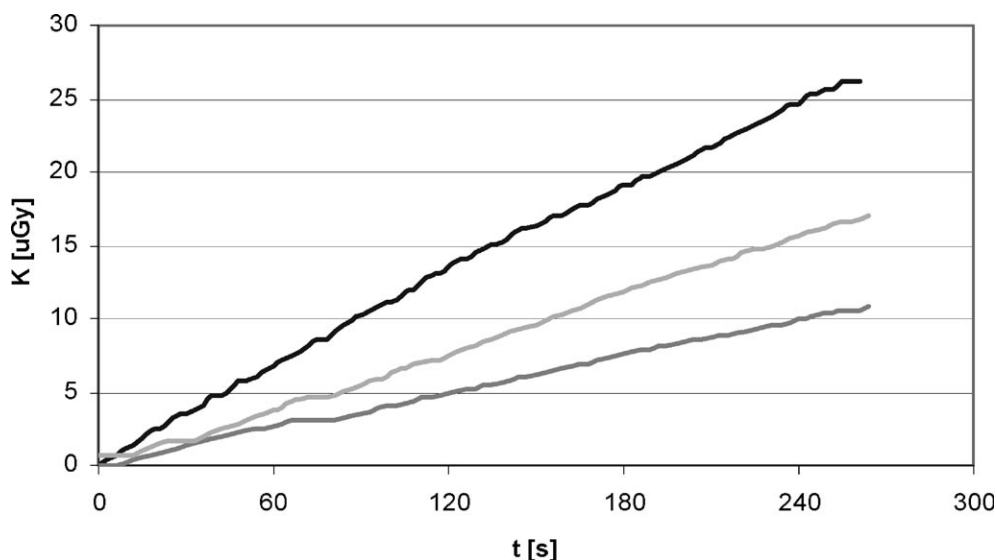


Figure 3. Air kerma under the patient table recorded for three modes of X-ray machine operation – High (upper line), Norm (middle line) and Low (lower line).

Examples of the air kerma values recorded during uterine fibroid embolization and cholangiography are shown in Figure 4.

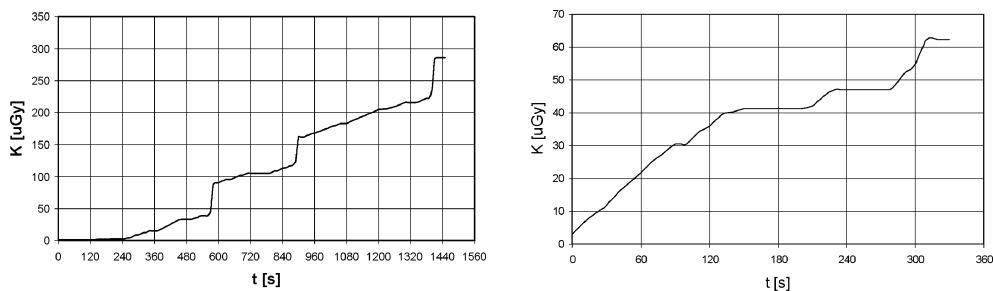


Figure 4. Air kerma under the patient table recorded during uterine fibroid embolization (left) and cholangiography (right).

Air kerma measurements, performed under the patient table during real interventions showed a good correlation between the obtained kerma values and dose area product (DAP) values recorded in protocols of particular interventions ($R^2 \geq 0.99$ for 32 different procedures).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Measurements of the individual doses

Using TLD as detectors for the estimation of the doses to the lower extremities is very convenient, so practically no other method is used. However, the results are reported in the literature using several different quantities – $H_p(0.07)$, “dose equivalent” or simply “dose”. In this paper we decided to calculate the averaged dose equivalent to the left leg, from 10 cm up to 30 cm above the floor. The energy of the scattered radiation was assumed to be 40 keV (the lowest energy at which we could determine the scatter factor $k=1.37$, from the phantom of the leg).

The readings of TLD were corrected for scattering and then the entrance doses to the soft tissue and bones were calculated as:

$$D_t = S \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_a^t = 1.052 S \quad (1)$$

$$D_b = D_t \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_t^b = 4.63 S \quad (2)$$

where S is the TLD reading corrected for scattering, and D_t and D_b are the entrance doses in soft tissue and bone, respectively.

Then, the average value H_T was calculated, using a simple anatomic model and taking into account attenuation of the radiation in the leg. Finally, the relation $H_T \approx 2S$ was found. The results are shown in Figure 5.

The recorded values of the equivalent doses comprised in the range from 1.5 mGy to 44 mGy per six weeks of work. The doses received by physicians were about 20 times higher than the doses of nurses and technicians.

CONCLUSIONS

The measurements of the individual doses to lower extremities were performed for small group of health personnel, therefore they have no statistical value. Recorded H_T values were in agreement with the data published in the literature [1-3]. High extremity doses can be expected in interventional radiology suites, especially at large workload and in the hospitals where complicated procedures are performed. From the three monitored types of workers, the physicians received the highest dose. The doses to the assisting technicians and nurses were significantly lower due to their larger distance from the X-ray tube and patient region. The results confirm that the routine use of a protective lead

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

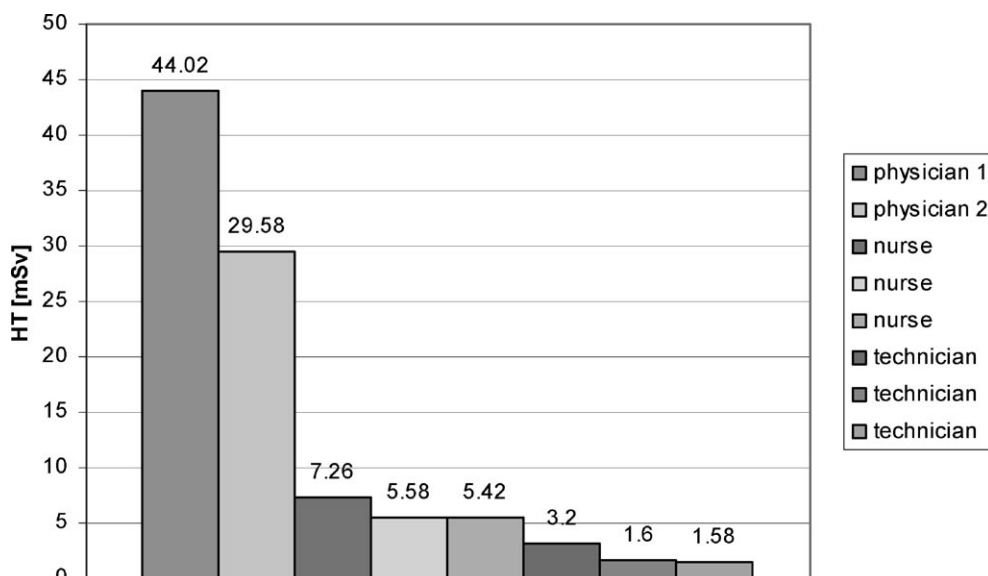


Figure 5. Distribution of the absorbed doses in shanks of the health professionals, recorded during a six-week period.

curtain should be recommended on all C-arm interventional radiologic equipment.

The main point of the work was to prove correlation between air kerma measured under the table and DAP. It was found that both quantities are strongly correlated, so the DAP values can be used for the first estimation of the doses to low extremities of physicians. Much better accuracy can be obtained if the kind of procedure is taken into account, so the expected position of the physician at the table can be estimated and the linear decrease of the air kerma along the table can be taken into account.

REFERENCES

- [1] Ramsdale MJ, Walker WJ, Horton PW. Extremity doses during interventional radiology. Clin Radiol 1990;41:34-36.
- [2] Whitby M, Martin CJ. Radiation doses to the legs of radiologists performing interventional procedures: Are they a cause for concern? Br J Radiol 2003;76(905):321-327.
- [3] Shortt CP, Al-Hashimi H, Malone L, Lee1 MJ. Staff radiation doses to the lower extremities in interventional radiology. Cardiovasc Intervent Radiology 2007;30(6):1206-1209.



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:00



BIOLOŠKI UČINCI ZRAČENJA

BIOLOGICAL EFFECTS OF RADIATION



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:00



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MJERENJE APSORBIRANE DOZE ZRAČENJA I OŠTEĆENJA DNK PRI RTG PREGLEDU PLUĆA KOD DJECE

*Durđica Milković¹, Vera Garaj-Vrhovac², Maria Ranogajec-Komor³,
Saveta Miljanić³, Natko Beck¹, Goran Gajski² i Željka Knežević³*

¹Dječja bolnica Srebrnjak, Srebrnjak 100, 10000 Zagreb

²Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Ksaverska 2, 10000 Zagreb

³Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb

e-mail: djurdjica.milkovic@zg.htnet.hr

UVOD

Dijagnostika pluća i srca čini većinu pedijatrijskih radioloških pretraga što uzrokuje izloženost ionizirajućem zračenju [1]. Ova standardna i nezamjenjiva pretraga koja se primjenjuje u dijagnostici djece iziskuje dodatni monitoring takve populacije zbog njezine izrazite osjetljivosti. Ta činjenica pridonosi odgovornosti radiologa u njihovom nastojanju da učine što kvalitetniji radiogram uzimajući u obzir svakog pojedinog ispitanika. Podaci objavljeni u dokumentu UNSCEAR ukazuju da potencijalni štetni učinci ionizirajućeg zračenja ovise o životnoj dobi u kojoj dolazi do izlaganja zračenju što populaciju mlađe životne dobi stavlja u kategoriju onih koji su osjetljiviji na takav tip zračenja [2].

Uzimajući u obzir dosadašnja epidemiološka istraživanja te činjenicu da je dječja populacija ona koja je najosjetljivija, nužna su saznanja o primljenoj dozi zračenja tijekom radioloških dijagnostičkih pregleda. Te podatke moguće je dobiti uporabom dozimetara da bi se sustavno kontrolirala primljena doza zračenja u određenom vremenskom periodu. Stoga je cilj ovog istraživanja uz mjerenje apsorbirane doze zračenja prilikom RTG pregleda pluća kod skupine ispitanika mlađe životne dobi bio procijeniti i stupanj oštećenja molekule DNK primjenom komet testa.

ISPITANICI I METODE

Ispitanici

U istraživanje je uključeno deset ispitanika (7 djevojčica i 3 dječaka) životne dobi u rasponu od 4 do 14 godina. Sva djeca su pulmološki bolesnici sa stanjima poput moguće upale pluća sa krepitacijama (1), produženog kašlja sa febrilitetom (1), ponavljajućim epizodama bronhoopstrukcije (3), bronhitisom

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

(4) i TBC kontaktom (1). Radiogram srca i pluća kao i vađenje venske krvi kod svih je ispitanika bio medicinski indiciran. Niti jedan od ispitanika u vremenskom periodu od mjesec dana prije pretrage nije uzimao antibiotike i kortikosteroide, niti je učinjena bilo kakva radiološka pretraga u posljednjih 6 mjeseci.

Dozimetrijski sustavi

U istraživanju su korištena dva dozimetrijska sustava, radiofotoluminscentni stakleni dozimetar (RPL) i termoluminiscentni (TL) dozimetar [3,4]. Obje vrste dozimetara pozicionirane su na područje štitnjače, čela te na gonade. Na sternumu i leđima korišteni su samo TL dozimetri, zbog očuvanja kvalitete slike, tj. dijagnostičke vrijednosti radiograma. Neka svojstva upotrebljenih dozimetara kao i parametri njihove evaluacije prikazani su u Tablici 1.

Korišteni RPL dozimetri tip SC-1, smješteni su u plastični držač koji sadrži filter za kompenzaciju energijske zavisnosti. Zračenjem stvoreni obojeni centri UV ekscitacijom u čitaču (tip FGD-202) emitiraju narančasto fluorescentno svjetlo čiji intenzitet je proporcionalan apsorbiranoj dozi.

Tablica 1. Parametri evaluacije korištenih dozimetara

Dozimetar	Radiofotoluminescentni stakleni dozimetar	Termoluminescentni dozimetar
Materijal	srebrom aktivirano fosfatno staklo	LiF:Mg,Cu,P
Zemlja proizvodnje	Japan	Kina
Veličina (mm)	15×15	ϕ 4.5×0.8
Regeneriranje		
Temperatura (°C)	400	240
Vrijeme (min)	60	10 min
Predgrijanje		
Temperatura (°C)	70	100
Vrijeme (min)	60	20
Očitavanje		
Temperatura (°C)	UV ekscitacija	220
Vrijeme (s)		30

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

TL detektori LiF:Mg,Cu,P (GR-200A) za vrijeme zračenja bili su u gumenim (tkivu ekvivalentnim) držačima. Nakon zračenja stajali su na sobnoj temperaturi najmanje jedan dan i zatim očitavani na čitaču tip TOLEDO 654 (Vinten).

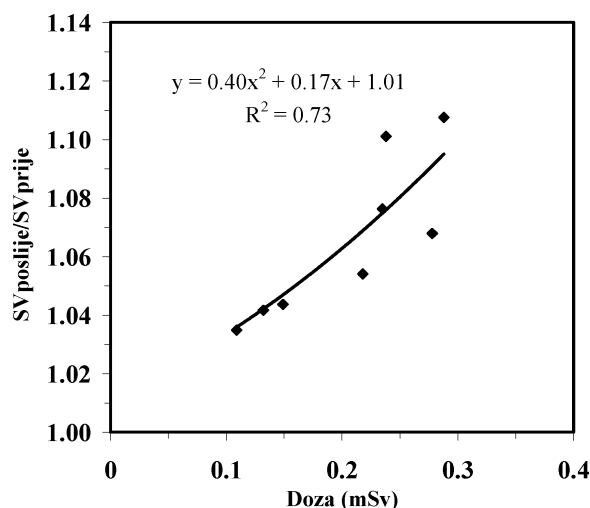
Svi ispitanici snimani su na 150 kV Shimadzu CH-200M uređaju (Shimadzu Corporation, Japan). Parametri snimanja za PA geometriju su bili sljedeći: 95 – 105 kV, 1.6 – 3.6 mAs na udaljenosti od 150 cm.

Komet test

Stupanj oštećenja molekule DNK ispitan je primjenom standardne izvedbe komet testa u alkalnim uvjetima koju su predložili Singh i sur. [5]. U tu svrhu analizirane su vrijednosti dužine repa komet testa koje pokazuju razinu oštećenja DNK. Analiza preparata izvršena je epifluorescencijskim mikroskopom i programom za analizu slike Comet assay II (Perspective Instruments, Ltd, UK). Za svakog ispitanika analizirano je 100 kometa, određujući pri tom duljinu repa za svaki pojedni komet. Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost ($\pm$ standardna devijacija) dužine repa izražene u mikrometrima (μm).

REZULTATI

Rezultati srednjih vrijednosti dužine repa komet testa prije i poslije zračenja prikazani su u Tablici 2, a doze mjerene na različim položajima tijela u Tablici 3. Slika 1 prikazuje omjer dužine repa prije i poslije zračenja u odnosu na ulaznu dozu.



Slika 1. Omjer dužine repa prije i poslije zračenja u odnosu na ulaznu dozu

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 2. Srednje vrijednosti za dužinu repa (μm) komet testa prije i poslije zračenja ispitanika

n	Prije zračenja			Poslije zračenja			Doze $H_p(10)$ (mSv)
	min	Srednja vrijednost	max	min	Srednja vri- jednost	max	
1	10,90	13,19 $\pm$ 1,19	16,67	11,54	13,65 $\pm$ 1,72*	19,87	0,109
2	11,54	13,43 $\pm$ 0,98	16,67	11,54	13,99 $\pm$ 1,14*	16,67	0,132
3	10,90	13,40 $\pm$ 1,12	15,38	11,54	13,93 $\pm$ 1,14*	17,95	N
4	11,54	14,19 $\pm$ 1,40	17,31	12,18	14,81 $\pm$ 1,83*	20,51	0,149
5	10,90	13,25 $\pm$ 1,12	16,03	11,54	14,15 $\pm$ 1,42*	19,23	0,278
6	11,54	13,78 $\pm$ 1,18	16,03	12,18	13,95 $\pm$ 1,52	19,87	0,288
7	10,90	14,54 $\pm$ 2,17	19,23	11,54	15,65 $\pm$ 2,98*	23,08	0,235
8	12,18	14,65 $\pm$ 1,30	17,95	12,18	16,13 $\pm$ 1,92*	20,51	0,238
9	11,54	13,87 $\pm$ 1,28	16,03	12,18	14,62 $\pm$ 1,72*	19,87	0,218
10	10,90	12,83 $\pm$ 1,16	15,38	11,54	14,21 $\pm$ 1,53*	19,23	0,288
SV	12,83	13,71$\pm$0,66	14,65	13,65	14,51$\pm$0,81*	16,13	0,194

* statistički signifikantno ($p < 0,05$)

n – redni broj ispitanika; SV – srednja vrijednost grupe ispitanika

RASPRAVA

Ionizirajuće zračenje kao jedan od najbolje proučavanih tipova zračenja i danas predstavlja razlog za zabrinutost vezano uz djelovanje malih doza toga zračenja u rentgenskoj dijagnostici populacije mlađe životne dobi. Razlika u dužini repa prije i nakon zračenja govori u prilog tome, da kod snimanja radiograma srca i pluća može doći do oštećenja molekule DNK u stanicama limfocita periferne krvi. Rezultati dobiveni u ovom istraživanju ukazuju na korelaciju između doza u primarnom snopu i oštećenja DNK.

U radiološkoj obradi TL i RPL dozimetrijski sustavi pokazali su se pogodnima u dozimetrijskom mjerenju malih doza zračenja, te je zbog rezultata dobivenih komet testom koji ukazuju na oštećenje DNK molekule potrebno po-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 3. Doze mjerene na različitim položajima izražene kao $H_p(10)$

n	Tip doz.	Izmjerene doze (mSv)				
		Leđa	Prsa	Štitnjača	Čelo	Gonade
1	RPL			0,021	0,001	0,000
	TLD	0,109	0,012	0,021	0,005	0,001
2	RPL			0,021	0,000	0,000
	TLD	0,132	0,015	0,025	0,008	0,005
3	RPL			0,035	0,000	0,000
	TLD			0,040	0,001	0,007
4	RPL			0,018	0,001	0,001
	TLD	0,149	0,033	0,025	0,005	0,010
5	RPL			0,035	0,000	0,000
	TLD	0,278	0,024	0,038	0,000	0,001
6	RPL			0,031	0,000	0,000
	TLD	0,288	0,027	0,062	0,006	0,007
7	RPL			0,036	0,000	0,000
	TLD	0,235	0,024	0,033	0,000	0,002
8	RPL			0,041	0,001	0,000
	TLD	0,238	0,039	0,046	0,005	0,007
9	RPL			0,036	0,001	0,002
	TLD	0,218	0,024	0,039	0,002	0,004
10	RPL			0,035	0,000	0,001
	TLD	0,288	0,024	0,040	0,002	0,001

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

duzeti sve moguće mjere zaštite, ne bi li se djeca što manje izlagala kumulativnom riziku ionizirajućeg zračenja.

Iako je rentgen kao dijagnostička metoda do danas nezamjenjiv, njegovo potencijalno štetno djelovanje mora se uzeti u obzir. U istraživanju djelovanja zračenja precizna i točna dozimetrija je prvi i neophodan korak. Istraživanja genetskog oštećenja i kumulativnog rizika kod malih doza zračenja predstavljaju izuzetno važan doprinos istraživanju na tom polju. Iako je rizik kod tako malih doza zračenja smanjen na minimum, mora se uzeti u obzir velik broj pojedinaca koji su tom riziku izloženi. Stoga je preporuka nastavak istraživanja na multidisciplinarnoj razini pridržavajući se što više zakona moderne radiologije: zračiti što je razumno manje moguće.

LITERATURA

- [1] Cook JV, Kyriou JC, Pettet A, Fitzgerald MC, Shah K, Pablot SM. Key factors in the optimization of paediatric X-ray practice. Br J Radiol 2001;74:1032-1040.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report II.-Effects. Vienna:UNSCEAR 2000; p.15.
- [3] <http://www.agc.co.jp/english/company/agc.html>
- [4] Zha Z, Wang S, Shen W, Zhu J, Cai G. Preparation and characteristics of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent material. Radiat Prot Dosim 1993;47:111-118.
- [5] 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.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DOSE DETERMINATION AND DNA DAMAGE IN X-RAY DIAGNOSTIC OF CHILDREN

*Durđica Milković¹, Vera Garaj-Vrhovac², Maria Ranogajec-Komor³, Saveta
Miljanić³, Natko Beck¹, Goran Gajski² and Željka Knežević³*

¹Childrens Hospital Srebrnjak, Srebrnjak 100, 10000 Zagreb, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health,
Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Croatia

³Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: djurdjica.milkovic@zg.htnet.hr

In this paper comet assay was chosen as suitable technique for assessment of DNA damage induced by ionising radiation of chest radiogram. The aim of this study was to correlate the data on the cytogenetic status of children caused by X-ray examinations of chest with the exposure dose. To compare these data to the dose of exposure determined with thermoluminescence (TL) dosimetry and the radiophotoluminescent (RPL) glass dosimetry system, ten children with pulmonary diseases, ages between 4 and 14 years were assessed. Samples of peripheral blood were collected from patients before and after X-ray examination and Comet Assay were carried out under alkaline conditions using tail length as a measure of DNA damage. The differences between the mean values of tail length for Comet assay before (13.71 ± 0.60) and after (14.51 ± 0.81) exposure were statistically significant ($P < 0.05$, ANOVA). The correlation between doses in the primary beam (measured on the back of children patients) and the ratio of tail lengths (DNA damage) after and before irradiation was found. TL and RPL dosimeters show an agreement satisfactory for X-ray diagnostics and are suitable for dosimetric measurements in X-ray diagnostic.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CITOGENETSKI STATUS U OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH MIKROVALNOM ZRAČENJU GEM RADARA

Vera Garaj-Vrhovac i Goran Gajski
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
Ksaverska 2, 10000 Zagreb
e-mail: vgaraj@imi.hr; ggajski@imi.hr

UVOD

Zbog nezaustavnog napretka telekomunikacijske tehnologije te zbog široke primjene izvora u području neionizirajućeg dijela spektra od izuzetno velikog interesa je radiofrekvencijski i mikrovalni pojas. Mikrovalno područje koje se nalazi u frekvencijskom pojasu koji seže u rasponu od 300 MHz – 300 GHz uobičajeno se naziva mikrovalnim poljima te je jedno od najčešće prisutnih fizikalnih čimbenika u okolišu [1]. Najrašireniji izvori u tom frekvencijskom pojasu su odašiljači radiodifuzije zvuka i televizije, bazne postaje sustava mobilne telefonije te mobilni telefoni i uređaji bežičnih telefona. Zbog milijarde korisnika uključenih u sustav mobilne komunikacijske mreže sve je veća zabrinutost znanstvene i stručne javnosti zbog potencijalnih i nepredvidivih posljedica po ljudsko zdravlje u svakodnevnom životu kako u odraslih tako i u dječjoj populaciji [2].

U literaturi postoji vrlo malo podataka osobito o citogenetičkom statusu osoba profesionalno izloženih mikrovalnom zračenju, stoga su od izrazite važnosti upravo takva istraživanja na razini stanice i molekule DNA primjenom različitih molekularno-bioloških tehnika [3,4]. Upravo zbog nedostatka takvih podataka, cilj ovog istraživanja bio je komet testom te primjenom novih kriterija u brojanju parametara mikronukleus testa procijeniti oštećenje genoma grupe ispitanika koja je profesionalno izložena potencijalno štetnom učinku mikrovalnog zračenja GEM radara.

ISPITANICI I METODE

Ispitanici

Istraživanjem su obuhvaćene dvije skupine ispitanika. Prvu skupinu sačinjavalo je 14 dobrovoljaca izloženih djelovanju mikrovalnog zračenja. Svih 14 ispitanika zaposleno je na navigacijskim radarskim sustavima (GEM Elettronica, Italy) te je na taj način izlagano mikrovalnom zračenju unutar mikrovalnog

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

polja od $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ do $10 \text{mW}/\text{cm}^2$ i u području frekvencije od 1,5 GHz do 10,9 GHz. Na osnovu upitnika koje su ispunili, utvrđeno je da nitko od ispitanika godinu dana prije uzorkovanja nije bio izložen djelovanju fizikalnih niti kemijskih agenasa koji bi mogli inducirati oštećenje genoma, izuzevši profesionalnu izloženost mikrovalnom zračenju. Kontrolnu skupinu sačinjavao je isti broj ispitanika iz opće populacije Republike Hrvatske slične životne dobi, koji tijekom života nisu bili profesionalno, niti na bilo koji drugi način izloženi djelovanju fizikalnih niti kemijskih agenasa. Prilikom uzorkovanja svakom ispitaniku kontrolne i izložene skupine sakupljeni su uzorci periferne krvi za analizu mikronukleus i komet testom.

Mikronukleus test

Prilikom izrade preparata za potrebe mikronukleus testa korištena je konvencionalna metoda prema Fenech i Morley [5]. Korištena je kultura limfocita periferne krvi uz dodatka fitohemaglutinina na 37°C u trajanju od 72 sata. Nakon 44. sata od početka kultivacije, svakoj kulturi dodana je otopina citohalazina-B u koncentraciji od $6 \mu\text{g}/\text{ml}$. U svrhu utvrđivanja učestalosti pojave mikronukleusa, nukleoplazmatskih mostova i pupova pregledano je 1000 binuklearnih limfocita te su rezultati prikazani kao ukupan broj mikronukleusa, nukleoplazmatskih mostova i pupova po svakom ispitaniku.

Komet test

U istraživanju je primjenjena i standardna izvedba komet testa u alkalnim uvjetima koju su predložili Singh i sur. [6] te su analizirane vrijednosti dužine repa komet testa koje pokazuju razinu oštećenja DNA. Analiza preparata izvršena je epifluorescencijskim mikroskopom i programom za analizu slike Comet assay II (Perspective Instruments, Ltd, UK). Za svakog ispitanika analizirano je 100 kometa, određujući pri tom duljinu repa za svaki pojedni komet. Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost ($\pm$ standardna devijacija) dužine repa izražene u mikrometrima (μm).

REZULTATI

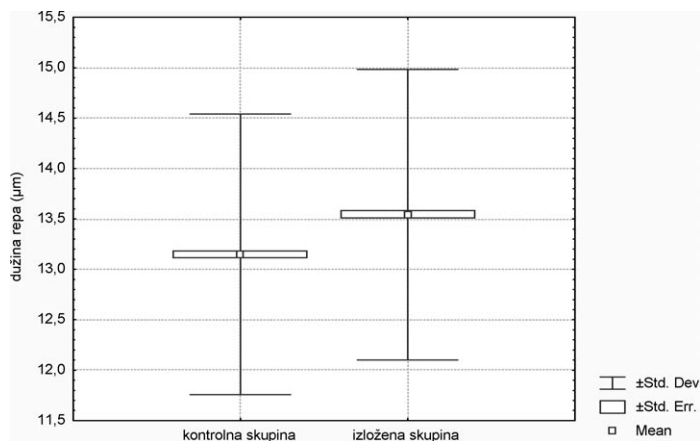
Rezultati mikronukleus testa za svakog pojedinog ispitanika kontrolne i izložene skupine prikazani su u Tablicama 1 i 2. U uzorcima krvi ispitanika izloženih mikrovalnom zračenju uočen je značajno povećan ukupan broj i raspodjela mikronukleusa, nukleoplazmatskih mostova te pupova u odnosu na

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Rezultati mikronukleus testa za kontrolnu skupinu ispitanika.

Broj ispitanika	Dob/Spol	Broj binuklearnih limfocita				Broj nukleoplazmatskih mostova	Broj pupova	Ukupan broj mikro-nukleusa
		0MN	1MN	2MN	3MN			
1	33/M	997	3	-	-	-	-	3
2	34/M	993	6	1	-	-	-	8
3	36/M	997	3	-	-	-	-	3
4	37/M	993	5	2	-	-	-	9
5	39/M	995	5	-	-	-	-	5
6	40/M	998	2	-	-	-	-	2
7	41/M	998	2	-	-	-	-	2
8	43/M	996	3	1	-	-	-	5
9	45/M	995	5	-	-	-	-	5
10	47/M	995	4	1	-	-	-	6
11	48/M	992	8	-	-	-	-	8
12	50/M	999	1	-	-	-	-	1
13	56/F	996	4	-	-	-	-	4
14	58/M	995	5	-	-	1	1	5

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Grafički prikaz dužine repa kometa u kontrolne skupine ispitanika i ispitanika izloženih mikrovalnom zračenju GEM radara.

kontrolnu skupinu. Rezultati komet testa izraženi kao srednja vrijednost dužine repa za kontrolnu skupinu i izloženu skupinu prikazani su na Slici 1. Za ispitanike izložene skupine uočen je veći stupanj migracije DNA izražene kao srednja vrijednost dužine repa $13,15 \pm 1,39 \mu\text{m}$ ($9,62 \mu\text{m} - 17,95 \mu\text{m}$) dok je u skupini ispitanika izloženih navigacijskom radaru ta vrijednost iznosila $13,54 \pm 1,44 \mu\text{m}$ ($10,90 \mu\text{m} - 21,79 \mu\text{m}$).

RASPRAVA

Dosadašnji rezultati istraživanja učinka mikrovalnog zračenja na staničnom i animalnom modelu u uvjetima *in vitro* i *in vivo* još uvijek ukazuju na neslaganje u osnovnom pristupu objašnjenja mehanizama djelovanja mikrovalnog zračenja [1,3]. Tako su neka od istraživanja pokazala da mikrovalno područje elektromagnetskog spektra može izazvati oštećenja genetičkog materijala u stanicama [3,4], dok rezultati nekih autora nisu pokazali vezu između razine oštećenja DNA i mikrovalnog zračenja [7,8]. U ovom istraživanju mjera ukupnog oštećenja genoma stanice utvrđena je porastom duljine repa kometa, te porastom broja mikronukleusa, nukleoplazmatskih mostova i pupova. Novi parametri u mjerenju mikronukleus testa ukazuju na veću razinu oštećenja u odnosu na razinu oštećenja utvrđenu samo porastom broja mikronukleusa. Rezultati komet testa također ukazuju na prisutnost oštećenja genoma stanice utvrđenih dužinom repa kometa. Iz prikazanih rezultata i istraživanja drugih autora naglašava se potreba provođenja daljnjih citogenetskih analiza nad osobama profesionalno izloženih mikrovalnom zračenju.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 2. Rezultati mikronukleus testa za skupinu ispitanika izloženih mikrovalnom zračenju GEM radara.

Broj ispitanika	Dob/Spol/ Staz	Broj binuklearnih limfocita				Broj nukleoplazmatskih mostova	Broj pupova	Ukupan broj mikro-nukleusa
		0MN	1MN	2MN	3MN			
1	35/M/10	981	17	2	-	6	10	21
2	35/M/9	980	19	1	-	8	6	21
3	35/M/11	978	22	-	-	9	5	22
4	36/M/4	970	28	2	-	5	8	32
5	38/M/16	973	27	-	-	6	11	27
6	40/M/4	979	21	-	-	7	12	21
7	40/M/13	968	27	5	-	15	13	37
8	43/M/10	977	20	3	-	13	8	26
9	45/M/13	980	18	2	-	2	11	22
10	50/M/14	975	24	1	-	5	13	26
11	51/M/15	976	20	3	1	5	13	29
12	51/M/13	974	26	-	-	8	11	26
13	53/M/15	982	17	1	-	3	8	19
14	57/F/16	984	13	3	-	2	7	19

MN-broj mikronukleusa

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

LITERATURA

- [1] Breckenkamp J, Berg G, Blettner M. Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: a synopsis of cohort studies. *Radiat Environ Biophys* 2003;42(3):141-154.
- [2] World Health Organization (WHO). Electromagnetic Fields and public health: mobile telephones and their base stations. Geneva: WHO; 2000.
- [3] Fenech M, Chang WP, Kirsch-Volders M, Holland N, Bonassi S, Zeiger E. HUMN project: detailed description of scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. *Mutat Res* 2003;534:65-75.
- [4] Garaj-Vrhovac V. Micronucleus assay and lymphocytes mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation. *Chemosphere* 1990;39:2301-2312.
- [5] Maes A, Van Gorup U, Verschaeve L. Cytogenetic investigation of subjects professionally exposed to radiofrequency radiation. *Mutagenesis* 2006;21(2):139-142.
- [6] Meltz ML, Eagan P, Erwin DN. Absence of mutagenic interaction between microwaves and mitomycin C in mammalian cells. *Environ Molec Mutagen* 1989;13:294-303.
- [7] Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider LL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988;175:184-191.
- [8] Vijayalaxmi and Obe G. Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radio frequency radiation. *Radiat Res* 2004;162:481-496.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CYTOGENETIC STATUS OF WORKERS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO MICROVAVE RADIATION OF GEM RADAR

Vera Garaj Vrhovac and Goran Gajski

Institute for Medical Research and Occupational Health,
Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: vgaraj@imi.hr; ggajski@imi.hr

Aim of the present study was to analyzed cytogenetic status of workers occupationally exposed to damaging effects of microwave radiation of GEM radar. Microwave radiation of GEM radar acts within microwave field of $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ to $10 \text{mW}/\text{cm}^2$ and frequency range of 1.5 GHz to 10.9 GHz that has contradictory cytogenetic effect on human genome. For that reason we used two methods commonly used in this type of monitoring research: comet assay and micronucleus test. We measured the baseline comet assay effect in whole blood samples and in corresponding unexposed control subjects. It was found that in the subjects who were occupationally exposed to microwave radiation, the levels of DNA damage increased compare to control group and showed interindividual variations. In addition we studied parameters of the micronucleus test were the levels of micronuclei also increased and showed interindividual variations. In addition, new parameters that were measured; nucleoplasmic bridges and nuclear buds, were detected in exposed group in compare to control group that did not shown this type of damage. All differences between mean group values were statistically significant ($P < 0.05$) in compare to control unexposed group. Results of our study indicate that individuals occupationally exposed to microwave frequency of GEM radar equipment may experience an increased genotoxic risk, emphasizing the importance of individual biomonitoring to prevent any hazard to their health.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

UTJECAJ NISKIH DOZA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA POJAVU HROMOSOMSKIH ABERACIJA U LIMFOCITIMA KONJA NAKON *IN VITRO* OZRAČIVANJA

*Dunja Rukavina¹, Danica Hasanbašić¹, Anja Haverić², Sanin Haverić²,
Atifa Ajanović¹ i Amela Katica¹*

¹Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu,
Zmaja od Bosne 90, 71 000 Sarajevo, BiH

²Institut za genetičko inženjerstvo i biotehnologiju (INGEB),
Gajev trg 4, 71 000 Sarajevo, BiH
e-mail: dunjarb@gmail.com

UVOD

Efekti ionizirajućeg zračenja na genetički materijal su odavno poznati. Ionizirajuće zračenje, prvi poznat i jedan od najopasnijih fizičkih mutagena, uzrokuje hromosomsku nestabilnost koja se manifestira kao povećana frekvencija hromosomskih aberacija, a javlja se nakon izlaganja kako niskim, tako i visokim dozama zračenja [1]. Djelovanjem ionizirajućeg zračenja sve vrste molekula unutar stanice mogu biti oštećene, a za stanicu su najvažnija oštećenja molekule DNK. Dvostruki lomovi lanaca DNK pojavljuju se kao primarne lezije u formiranju hromosomskih aberacija koje su lako vidljive na metafaznim hromosomima [2]. Zato su sa genetičkog stanovišta posebno interesantni hromosomski mutageni efekti pošto se mogu citološki posmatrati. Brojni eksperimenti su pokazali da je broj mutacija dobiven zračenjem proporcionalan upotrebnoj dozi, te da i najmanje doze zračenja mogu izazvati mutacije [3].

Hromosomske aberacije predstavljaju promjene u količini i rasporedu genetičkog materijala, tj. odstupanje od normalne strukture ili normalnog broja hromosoma [4]. U citogenetičkim istraživanjima hromosomske aberacije se dijele na hromatidne i hromosomske aberacije. Hromatidne aberacije se najčešće javljaju kao rezultat oštećenja u S i G₂ periodu staničnog ciklusa i zahvataju jednu hromatidu, dok hromosomski tip aberacija nastaje kao rezultat oštećenja u G₁ periodu staničnog ciklusa i obuhvata obje hromatide. U ovaj tip aberacija, između ostalih, spadaju acentrični fragmenti, dicentrični hromosomi i prstenasti hromosomi, a koji su veoma pouzdani biomarkeri oštećenja genetičkog materijala izazvanog zračenjem [2]. Hromosomski tipovi aberacija su superiorniji u odnosu na druge tipove kod ozračenih jedinki, jer je dokazano da su aberacije koje nastaju u limfocitima periferne krvi nakon izlaganja zračenju hromosomskog tipa. Posebna pažnja je usmjerena na pojavu dicentričnih hromosoma i

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

acentričnih fragmenata [5]. Dicentrični i prstenasti hromosomi, uz prateće acen-trične fragmente, važni su podaci u biološkoj dozimetriji.

U ovom radu je analiziran utjecaj niskih doza ionizirajućeg zračenja na pojavu hromosomskih aberacija u limfocitima periferne krvi konja nakon in vi-tro ozračivanja X zrakama. Za dobivanje metafaznih hromosoma korištena je metoda kultivacije limfocita.

MATERIJAL I METODE

U radu je korištena krv 12 konja, različitih pasmina, starosne dobi od 18 mjeseci do 20 godina, oba spola, težine od 200 do 650 kilograma.

Krv konja je vađena venepunkcijom iz *vene jugularis* u sterilne heparini-zirane vakutajnere. Zračenje je vršeno na dva terapijska aparata: Tele-kobalt, Tehatron 780 i linearni akcelerator Primus, firme Siemens.

Kultivacija limfocita periferne krvi konja rađena je prema metodi koju je opisao Moorhead i sur. [6], nešto modificiranoj i prilagođenoj našim laborato-rijskim uvjetima, a koja je preporučena od strane IAEA [7]

U sterilne flakone stavlja se 7 ml hranjive podloge (RPMI 1640 ili MEM), 2 ml fetalnog telećeg seruma, 0,2 ml fitohemaglutinina (PHA) i 0,5 ml krvi. Za svaku životinju i svaku dozu, kultivacija je rađena u dva paralelna uzorka. Kultiva-cija limfocita je obavljena na 38°C (što odgovara tjelesnoj temperaturi konja), to-kom 48 sati. Nakon 45 sati kultivacije, svim uzorcima je dodano 0,2 ml 0,05% kol-hicina. U toku slijedeća tri sata, sve ćelije koje uđu u diobu su zaustavljene u meta-fazi. Tri sata nakon dodavanja kolhicina, odnosno 48 sati nakon kultivacije limfoci-ta, sve kulture su prebačene iz flakona u kivete za centrifugiranje i centrifugirane 10 minuta na 1000 obrtaja. Zatim je odvojen supernatant od taloga i na talog je do-dana svježa hipotonična otopina 0,075 M KCl. Hipotonični tretman je trajao 20 mi-nuta na temperaturi od 38°C. U hipotoničnoj otopini se povećava volumen ćelija i hromosomi se bolje rasporede. Zagrijavanje hipotonične otopine na 38°C povećava efikasnost, ubrzavajući transport vode kroz ćelijsku membranu i smekšavajući cito-plazmatsku membranu, što joj povećava sposobnost rastezanja. Nakon hipotonič-nog tretmana suspenzija je ponovo centrifugirana, a zatim je bjeličastom talogu do-dan već pripremljen fiksativ, koji je mješavina etilnog alkohola i ledene sirćetne ki-seline u omjeru 3:1, napravljen sat ranije i ohlađen na +4°C. Tokom fiksacije uk-lanja se višak vode iz ćelije i one se fiksiraju. Hladan fiksativ poboljšava vidljivost kontura hromosoma. Višekratnim uzastopnim ispiranjem u fiksativu uz centrifugi-ranje (10 minuta na 1000 obrtaja) dobijen je bijeli talog (suspenzija ćelija). Bijelom talogu je dodano 0,5 ml fiksativa, pipetom je promiješan i nakapavan sa određene visine na koso postavljena predmetna stakla, prethodno ohlađena na -20°C. Nakon što su se preparati osušili na sobnoj temperaturi, bojeni su sa 5% otopinom Gimze

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

u trajaju od 10 minuta. Nakon bojenja, preparati su ispirani prvo tekućom, a potom destilovanom vodom, osušeni i numerirani.

Mikroskopska citogenetička analiza preparata obavljena je na Olympus BX 41 svjetlosnom istraživačkom mikroskopu koji sadrži digitalnu kameru, kojom su, pod imerzionim uvećanjem (x1000) snimljene sve uočene promjene. Analiza hromosomskih aberacija rađena je u 48-satnim kulturama. Za kontrolu i testirane doze (0,1 Gy i 0,2 Gy) ukupno je analizirano po 2400 jasno vidljivih metafaza. Uočene aberacije su klasificirane prema Međunarodnom sistemu citogenetičke nomenklature (ISCN) [8].

REZULTATI

Na temelju provedenih istraživanja efekata niskih doza zračenja na stanice limfocita periferne krvi ispitivanih životinja, dobiveni su različiti podaci o strukturnim hromosomskim aberacijama. Radi preglednosti, efekti zračenja su prikazani prema korištenim dozama, a podaci o efektima zračenja dati su u Tablici 1.

Tablica 1. Zbirne vrijednosti hromosomskih aberacija nakon *in vitro* ozračivanja limfocita konja

Doza (Gy)	Broj metafaznih figura	Hromatidne aberracije		Hromosomske aberracije			%
		Gap	Lom	Ac.f.	Dic.h.	Ring	
Kontrola	2400	8	6	4	1	-	0,79
0,1 Gy	2400	11	8	6	6	-	1,29
0,2 Gy	2400	15	8	16	12	1	2,17

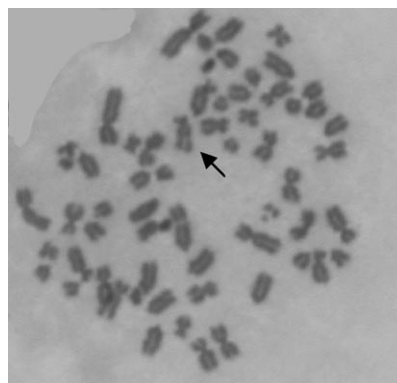
Naša ispitivanja neozračenih uzoraka obavljena na 2400 metafaznih figura dobivenih iz limfocita periferne krvi konja, potvrdila su mišljenje velikog broja autora o postojanju izvjesnog procenta spontano nastalih hromosomskih aberacija [9-12]. Procentat spontano nastalih hromosomskih aberacija, u našim istraživanjima iznosio je 0,79

U kulturama limfocita *in vitro* ozračene periferne krvi potvrdili smo da ionizirajuće zračenje povećava broj aberantnih metafaza, tj. broj hromosomskih oštećenja po metafazi, te da hromosomske aberacije pokazuju jasnu ovisnost o dozi.

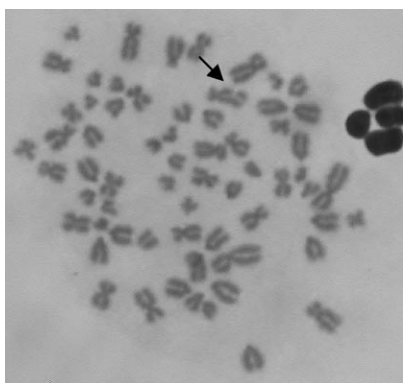
Nakon *in vitro* ozračivanja krvi konja različitim dozama, evidentan je porast aberacija hromosomskog tipa (dicentrični i acentrični fragmenti) što je i ra-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

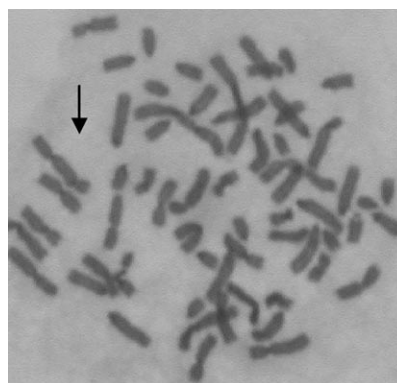
zumljivo kada se zna da su limfociti ćelije koje se nalaze u G-0 fazi ćelijskog ciklusa. Aberacije hromatidnog tipa (*gap* ili lom) nisu se značajno mijenjale u odnosu na neozračene limfocite (Slike 1 i 2), što je u skladu sa literaturnim podacima [13-15]. Broj acentričnih fragmenata (Slika 3) uvijek je bio viši od broja dicentričnih hromosoma (Slika 4), što se podudara sa rezultatima rađenim na svinjama, kozama i govedima [13,14,16], te ljudima [17]. Pojava prstenastih hromosoma (Slika 5) zabilježena je već pri dozi od 0,2 Gy. U dostupnoj literaturi ni-



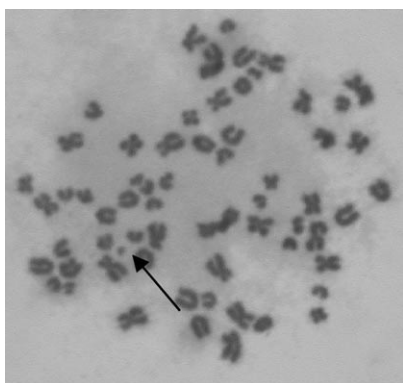
Slika 1. Gap



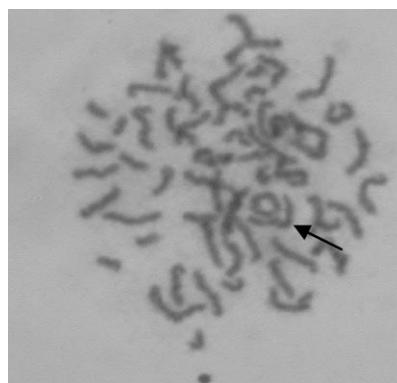
Slika 2. Lom



Slika 3. Dicentrični hromosom



Slika 4. Acentrični fragment



Slika 5. Prstenasti hromosom

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

smo našli ovakvo rano javljanje prstenastih hromosoma. Naše rezultate možemo tumačiti činjenicom da je pomenuta hromosomska aberacija nađena kod životinje stare 20 godina, a poznato je da starost može utjecati na nivo hromosomskih aberacija, budući da je metaboličko stanje životinje, a samim tim i stanje enzimatskih reparacionih procesa diktirano starošću.

Dobiveni rezultati jasno govore da je analiza limfocita periferne krvi veoma pogodna metoda u proučavanju oštećenja genetičkog materijala u dozimetrijskoj kontroli stepena ozračivanja domaćih životinja. U situacijama kada nakon ozračivanja nedostaju izraženi klinički simptomi ili su hematološki parametri uglavnom u normalnim granicama, jedino metodom analize hromosomskih oštećenja u kultiviranim limfocitima periferne krvi može se sa sigurnošću utvrditi da li je jedinka ozračena.

Sve izraženija upotreba nuklearne energije, brzi tehnološki razvoj, te ponekad nekontrolirana upotreba X zraka u medicinskoj dijagnostici i terapiji, dovode do stvarne opasnosti da ljudi i životinje budu izloženi ionizirajućem zračenju, te globalnog trenda zagađenja životne sredine. Ove činjenice potenciraju značaj izučavanja oštećenja hromosomskog materijala, te neophodnost praćenja genotoksičnih oštećenja ljudi i životinja.

ZAKLJUČAK

S obzirom na dobivene rezultate provedenih istraživanja oštećenja hromosomskog materijala konja nakon *in vitro* ozračivanja X zrakama, primjenom testa u kulturi limfocita periferne krvi, mogu se izvesti sljedeći opći zaključci.

U neozračenim limfocitima periferne krvi konja prisutan je izvjestan procenat spontano nastalih hromosomskih aberacija.

U *in vitro* ozračenim limfocitima konja javljaju se različiti tipovi strukturalnih aberacija hromosoma, a učestalost tih aberacija je u zavisnosti od primljene doze zračenja. Sa povećanjem doze zračenja raste broj acentričnih fragmenata, dicentričnih hromosoma, te broj prstenastih hromosoma.

Pojava dicentričnih hromosoma i acentričnih fragmenata registriranih u ovom istraživanju je bitan pokazatelj u procjeni veličine primljene doze zračenja i stepena radijacionog oštećenja konja.

LITERATURA

- [1] Krishnaja AP, Sharma NK. Transmission of γ – ray induced unstable chromosomal aberrations through successive mitotic divisions in human lymphocytes *in vitro*. *Mutagenesis* 2004;19,(4):295-305.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [2] Rozgaj R, Kašuba V, Šimić D. The frequency of dicentrics and acentrics and the incidence of rogue cells in radiation workers. *Mutagenesis* 2002;17,(2):135-139.
- [3] Emery AEH. Osnovi medicinske genetike. Šesto englesko izdanje Savremena administracija, Beograd 1986.
- [4] Berberović Lj, Hadžiselimović R. Rječnik genetike. Svjetlost, Sarajevo 1986.
- [5] Galloway SM. Chromosome aberrations induced in vitro. Mechanisms, delayed, expression and intriguing question. *Env Mol Mutagen* 1994;23 (Suppl. 24):44-53.
- [6] Moorhead PS, Nawell PC, Mallman WJ, Battips DM, Hungerford DA. Chromosome preparations of leucocytes cultured from human peripheral blood. *Experimental Cell Research* 1960;20:613-616.
- [7] International Atomic Energy Agency (IAEA). Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment. A Manual. Technical Reports Series No. 405. Vienna: IAEA; 2001.
- [8] Haverić S. Komparativna genotoksikološka istraživanja BH stanovništva izloženog mutagenima životne sredine u ratnom i poratnom periodu. Magistarski rad, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo 2005.
- [9] Lloyd DC, Edwards AA, Prosser JS, Barjaktarević N, Brown JK, Horvat D, Ismail SR, Koteles GJ, Almassy Z, Krepinsky AT, Sasaki MS. A collaborative exercise on cytogenetic dosimetry for simulated whole and partial body accidental irradiation. *Mutat Res* 1987;179:197-208.
- [10] Kubelka D. Odnos doze zračenja i hromozomskih aberacija u ljudskim limfocitima. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1985.
- [11] Dolphin GW. A review of in vitro dose-effect relationship. In: *Mutagen induced chromosome damage in man*, Eds. by Evans HJ and. Lloyd DC, Edinburgh University Press 1978.
- [12] Pertti A, vonKoskull H. Distribution of spontaneous chromosome breaks in human chromosomes. *Hum Genet* 1976;32:143-148.
- [13] Hasanbašić D. Citogenetska dozimetrija na modelu domaće koze nakon in vitro i in vivo ozračivanja visokoenergetskim X zračenjem. Doktorska disertacija, Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Zavod za radiologiju, Sarajevo 1991.
- [14] Slijepčević P. Citogenetska dozimetrija x-zračenja na modelu *Sus scrofa domestica*. Doktorska disertacija, Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Zavod za radiologiju, Sarajevo 1991.
- [15] Bender MA, Rory JM, Kale RP. G₀ chromosomal radiosensitivity in ataxia telangiectasia lymphocytes. *Mutat Res* 1985;150:277-282.
- [16] Hasanbašić D, Milošević H, Čustović H, Čutuk R. Frekvencija hromosomskih aberacija nakon X i γ ozračivanja krvi goveda. *Veterinaria* 1998;47(1-2):183-188.
- [17] Kašuba V. Genotoksični učinak ¹³¹I na ljudske limfocite. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb 1995.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

INFLUENCE OF LOW-DOSE IONISING RADIATION ON THE OCCURENCE OF CHROMOSOMAL ABERRATIONS IN HORSE LYMPHOCYTES AFTER *IN VITRO* IRRADIATION

*Dunja Rukavina¹, Danica Hasanbašić², Anja Haverić², Sanin Haverić²,
Atifa Ajanović¹ and Amela Katica¹*

¹Faculty of Veterinary Medicine University of Sarajevo,
Zmaja od Bosne 90, 71 000 Sarajevo, B&H

²Institute for Genetic Engineering and Biotechnology,
Gajev trg 4, 71 000 Sarajevo, B&H
e-mail: dunjarb@gmail.com

It is well known that ionising radiation affect the chromosomal aberrations that have been used as a reliable criteria in biological dosimetry. Many studies confirm that the increase of radiation doses is related to the increase of mutation number and that even low doses could induce the mutations. Thus in this study we analysed the influence of low-dose ionising radiation to the occurrence of chromosomal aberrations in lymphocytes of peripheral blood of 12 horses after *in vitro* X-irradiation.

To gain metaphase plates the method of cultivation periphere blood lymphocytes was employed. The observed aberrations were recorded and classified according to the International System of Cytogenetic Nomenclature (ISCN).

The results showed that the percentage of chromosomal aberrations in irradiated blood (0.1 Gy and 0.2 Gy) was higher relative to the controlled samples of nonirradiated blood.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

FREKVENCA MIKRONUKLEUSA U LIMFOCITIMA KONJA NAKON *IN VITRO* OZRAČIVANJA NISKIM DOZAMA X ZRAKA

*Danica Hasanbašić, Dunja Rukavina, Lejla Saračević, Milena Mihaljević,
Atifa Ajanović i Mevla Škandro*

Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu,
Zmaja od Bosne 90, 71 000 Sarajevo, BiH
e-mail: d.hasanbasic@gmail.com

UVOD

Problem zaštite od zračenja, kao i od drugih genotoksičnih agenasa, predstavlja veoma značajan biološki aspekt. Veliki je broj fizičkih, hemijskih i bioloških agenasa koji direktno ili indirektno narušavaju integritet molekule DNK, što za rezultat ima širok raspon strukturnih i funkcionalnih promjena, te staničnu smrt. Ionizirajuće zračenje nesumnjivo ima snažno mutageno i kancerogeno dejstvo, zapaženo već nekoliko godina nakon otkrića X zraka. Mnoge studije rađene na osobama profesionalno, terapijski ili akcidentalno izloženim djelovanju X zraka, te eksperimenti *in vitro* maligne transformacije stanica korištenjem ionizirajućeg zračenja, potvrdili su da ovo zračenje može uzrokovati genomsku nestabilnost [1,2].

Hromosomske aberacije su prihvaćene kao pouzdani parametri u evaluaciji oštećenja induciranih ionizirajućim zračenjem. Biološka dozimetrija se najvećim dijelom bazira na citogenetičkoj analizi dicentričnih hromosoma i, mnogo rjeđe, na procjeni hromosomskih translokacija. Međutim, biomonitoring većih grupa ispitivanih jedinki je dosta težak i zahtjevan kada se primjenjuje test u kulturi limfocita. Iz tog razloga, u studijama sa većim brojem uzoraka, kao validna i manje komplicirana alternativa u analizi hromosomskih oštećenja, predložena je analiza mikronukleusa (MN) u limfocitima periferne krvi primjenom mikronukleus (MN) testa [3]. MN su pouzdani biomarkeri kod izlaganja klastogenim i aneugenim hazardima [4]. Brojnim radovima je dokazano da su MN pouzdani biomarkeri u biološkoj dozimetriji u humanim postakutnim radijacionim izlaganjima [3]. Osim toga, MN test je korišten i za procjenu citogenetičkih oštećenja u populacijama koje su živjele na područjima sa visokim nivoom radioaktivnosti [5-7], te grupama profesionalno izloženim ionizirajućem zračenju [8]. MN testom hromosomske aberacije se detektuju indirektno preko hromatinskih gubitaka nukleusa koji dovode do stvaranja MN u citoplazmi stanice. MN se definiraju kao mala, okrugla citoplazmatska tijela koja sadrže DNK i formi-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

raju se za vrijeme stanične diobe od ostataka acentričnih hromosomskih fragmenata ili cijelih hromosoma zaostalih u anafazi staničnog ciklusa. *In viro* MN test je postao brz i pouzdan test u detekciji mutagenih činilaca [9]. Dobar je indikator genotoksičnosti, relevantan je u procjeni rizika od nastanka tumora, identificira i hromosomske i genomske mutacije, aplikativan je na mnogo staničnih tipova [10].

U ovom radu je analizirana učestalost pojave MN u limfocitima periferne krvi konja nakon *in vitro* ozračivanja niskim dozama X zraka. Kao biomarker genetičkog oštećenja korišten je MN test.

MATERIJAL I METODE

Konji, čija je krv korištena u ovom eksperimentu pripadali su različitim pasminama, starosne dobi od 18 mjeseci do 20 godina, oba spola, težine od 200 do 650 kg.

Krv konja vađena je venepunkcijom iz *vene jugularis* u sterilne heparinizirane vakutajnere. Zračenje je vršeno na dva terapijska aparata: Tele-kobalt aparatu, Tehatron 780 i na linearnom akceleratoru Primus, firme Siemens. Uzorci su ozračeni pojedinačnim dozama od 0,1 Gy i 0,2 Gy.

Primjenjena je metoda mikronukleus testa koju su predložili Fenech i Morley [11]. Po 0,5 ml heparinizirane, ranije ozračene krvi konja dodano je u flakone sa hranjivom podlogom: 7 ml RPMI 1640, 2 ml goveđeg seruma i 0,2 ml fitohemaglutinina (PHA). Kultiviranje, na 38°C, trajalo je 72 sata, a u 44. satu inkubacije dodano je po 6 µg/ml citohalazina B blokatora citokineze u drugoj diobi, prethodno otopljenog u dimetilsulfoksidu (DMSO) u koncentraciji od 0,5 mg/ml, a zatim razblaživan u destilovanoj vodi. Na taj način stanice postaju binuklearne unutar "roditeljske" stanične membrane. Po isteku vremena inkubacije, kulture su prebačene u epruvete i centrifugirane 10 minuta na 1000 obrtaja. Supernatant je otpipetiran i na talog je dodano po 5 ml hipotonične otopine (0,075 M KCl), te je sadržaj odmah centrifugiran. Na talog, nakon odvajanja supernatanta, dodano je po 5 ml ohlađenog fiksativa (3:1, apsolutni etanol: ledena sirćetna kiselina). Fiksacija je trajala 30 minuta na +4°C. Po isteku vremena fiksacije, epruvete su ponovo centrifugirane, zatim je supernatant odvojen, te je dodan svježi fiksativ. Uzastopno fiksiranje i centrifugiranje je ponavljano sve dok talog nije postao bijel. Tada je sadržaj svake epruvete suspendiran sa 0,5 ml svježeg fiksativa i suspenzija je nakapavana na ohlađena predmetna stakla, koja su potom osušena na sobnoj temperaturi. Preparati su obojeni 5% otopinom Gimze u trajanju od 10 minuta, potom su isprani i osušeni na zraku. Mikroskopska citogenetička analiza preparata za primjenjenu metodu, obavljena je na Olympus BX 41 svjetlosnom istraživačkom mikroskopu,

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

koji sadrži digitalnu kameru, kojom su, pod imerzionim objektivom ($\times 1000$), snimljene sve uočene promjene. Učestalost pojave binuklearnih limfocita sa mikronukleusom je utvrđena na temelju broja binuklearnih stanica i binuklearnih stanica sa mikronukleusom. Analiza binuklearnih stanica sa MN rađena je u 72-satnim kulturama u koje je u 44-om satu dodan citohalazin B. Za kontrolu je analizirano ukupno 22 binuklearne stanice, za dozu od 0,1 Gy 4482, a za dozu od 0,2 Gy 4178 binuklearnih stanica. Identifikacija mikronukleusa je vršena na osnovu karakteristika koje su definirali Fenech i sur. [10].

REZULTATI

Mikroskopskom analizom oštećenja hromosomskog materijala u *in vitro* MN testu, uočeno je da ispitivane doze zračenja (0,1 Gy i 0,2 Gy) induciraju pojavu MNK. Od primjenjenih doza zračenja raste i broj binuklearnih stanica koje sadrže više MN. Najčešće su binuklearne stanice sa jednim MN (Slika 1), a evidentirane su i stanice sa više MN (Slika 2).

Povećanjem doze rastao je i broj polinuklearnih stanica u kojima je, također, evidentirano prisustvo MN (Slika 3.), ali njihovo prisustvo, kao ni prisustvo mononuklearnih stanica sa MN (Slika 4.), nije posebno istraživano. Zbirne vrijednosti prinosa MN date su u Tablici 1.

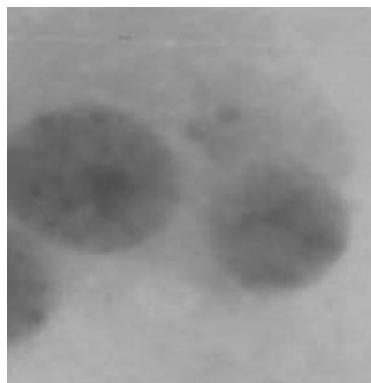
Tablica 1. Učestalost pojave binuklearnih (BN) limfocita konja sa mikronukleusima (MN) u 72-satnim kulturama nakon ozračivanja (zbirni prikaz)

Doza (Gy)	Broj BN stanica	BN stanice sa:			Ukupno BN stanica sa MN	MN po stanici (%)
		1MN	2MN	3MN		
Kontrola	22	-	-	-	-	-
0,1	4482	54	1	-	55	1,23
0,2	4178	76	1	-	77	1,84

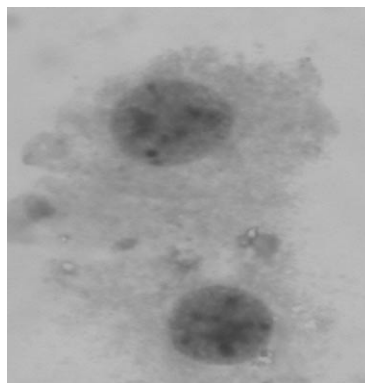
Analizom neozračenih limfocita periferne krvi konja nije evidentirano prisustvo binuklearnih stanica sa MN (Slika 5).

In vitro mikronukleus testom potvrdili smo naša očekivanja da frekvencija pojave MN pokazuje jasnu zavisnost od doze zračenja. U neozračenim limfocitima periferne krvi konja nismo evidentirali prisustvo binuklearnih ćelija sa MN. Mikroskopskom analizom je zapažen porast broja MN na ispitivanim dozama. Sa

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



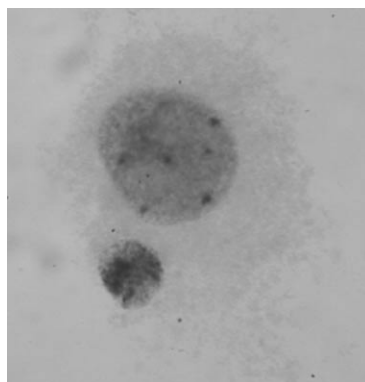
Slika 1. Binuklearna stanica sa MN



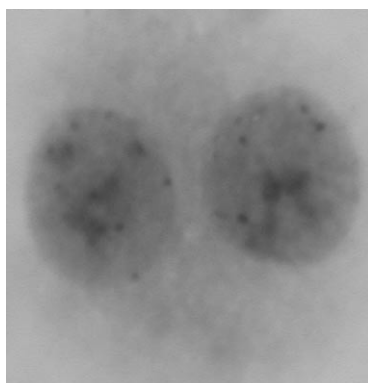
Slika 2. Binuklearna stanica sa više MN



Slika 3. Polinuklearne stanice sa MN



Slika 4. Mononuklearna stanica sa MN



Slika 5. Tipična binuklearna stanica

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

povećanjem doze povećavao se i broj binuklearnih stanica sa mikronukleusom, što je u skladu sa podacima Slijepčevića [12] dobivenim na svinjama. Uočeno je i prisustvo većeg broja mononuklearnih stanica sa MN, te polinuklearnih stanica sa ili bez prisustva MN. Mnogobrojni eksperimenti ukazuju da MN uglavnom potječu od acentričnih fragmenata, iako je generalno prihvaćeno da se u formiranju MN uključuju i aberacije nastale genozom asimetričnih izmjenjivačkih aberacija, hromosomskog ili hromatidnog tipa [13]. Kada uporedimo naše rezultate sa rezultatima rađenim na svinjama [12] možemo zaključiti da je procenat binuklearnih stanica sa MN nešto viši u našim istraživanjima, ali se mora uzeti u obzir manji broj pregledanih binuklearnih stanica, te dobna heterogenost naše skupine ispitivanih životinja (od 18 mjeseci do 20 godina). Dobiveni rezultati jasno govore da je mikronukleus test veoma pogodna metoda u proučavanju oštećenja genetičkog materijala u dozimetrijskoj kontroli stepena ozračivanja domaćih životinja. U situacijama kada nakon ozračivanja nedostaju izraženi klinički simptomi ili su hematološki parametri uglavnom u normalnim granicama, jedino metodom analize hromosomskih oštećenja u kultiviranim limfocitima periferne krvi primjenom MN testa može se sa sigurnošću utvrditi da li je jedinka ozračena.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata provedenih istraživanja oštećenja hromosomskog materijala konja nakon *in vitro* ozračivanja niskim dozama X zraka, primjenom MN testa može se zaključiti da je učestalost pojave MN u limfocitima periferne krvi konja nakon *in vitro* ozračivanja krvi u zavisnosti od primljene doze zračenja, te da X zrake remete kinetiku i separaciju genetičkog materijala, a evidentirano je prisustvo MN različite veličine, broja i organizacije. Broj binuklearnih stanica sa MN, kao i broj binuklearnih stanica sa više MN, povećava se sa porastom doze zračenja.

LITERATURA

- [1] Krishnaja AP, Sharma NK. Transmission of γ – ray induced unstable chromosomal aberrations through successive mitotic divisions in human lymphocytes in vitro. *Mutagenesis* 2004;19:295-305.
- [2] Balcer EK, Harrison GH. Effect of X-ray dose protraction and a tumor promoter on transformation induction in vitro. *Int J Radiat Biol* 1988;54:81-89.
- [3] Maffei F, Angelini S, Cantelli Forti G, Lodi V, Saverio V, Mattioli S, Hrelia P. Micronuclei frequencies in hospital workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation: influence of smoking status and other factors. *Mutagenesis* 2002;17:405-409.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [4] Fenech M. Important variables that influence base-line micronucleus frequency in cytokinesis – blocked lymphocytes as biomarker for DNA damage in human populations. *Mutat Res* 1998;404:155-165.
- [5] Chang WP, Hwang B, Wang D, Wang J. Cytogenetic effect of chronic low-level, low-dose-rate gamma radiation in residents of irradiated buildings, *Lancet* 1997;350:330-333.
- [6] Chang W, Tsai M, Hwang J, Lin Y, Hsieh W, Shao-YiH. Follow-up in the micronucleus frequencies and its subsets in human population with chronic low-dose gamma irradiation exposure, *Mutat Res* 1999;428:99-105.
- [7] Tsai MH, Hwang JS, Chen KC, Lin YP, Hsieh WA, Chang WP. Dynamics of changes in micronucleus frequencies in subjects post cessation of chronic low-dose radiation exposure, *Mutagenesis* 2001;16:251-255.
- [8] Pastor S, Gutierrez S, Creus A, Xamena N, Piperakis S, Marcos R. Cytogenetic analysis of Greek farmers using the micronucleus assay in peripheral lymphocytes and buccal cells. *Mutagenesis* 2001;16:539-545.
- [9] Rosefort C, Fauth E, Zankl H. Micronuclei induced by aneugens and clastogens in mononucleate and binucleate cells using the cytokinesis block assay. *Mutagenesis* 2004;19:277-284.
- [10] Fenech M, Cgang WP, Kirsch-Volders M, Holland N, Bonassi S, Zeiger E. Human Micronucleus project, "HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures". *Mutat Res* 2003;534:65-75.
- [11] Fenech M, Morley AA. Measurement of micronuclei in lymphocytes. *Mutat Res* 1985;147(1-2):29-36.
- [12] Slijepčević P. Citogenetska dozimetrija x-zračenja na modelu *Sus scrofa domestica*. Doktorska disertacija, Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Zavod za radiologiju, Sarajevo 1991.
- [13] Hasanbašić D, Rukavina D, Sofradžija A, Obralić N, Saračević L. Utjecaj ionizirajućeg zračenja na pojavu mikronukleusa u limfocitima konja. U: Garaj-Vrhovac V, Kopjar N, Miljanić S, ur. Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 18-20. travnja 2005; Zagreb, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2005. str. 227-32.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MICRONUCLEI FREQUENCY IN HORSE LYMPHOCYTES AFTER *IN VITRO* IRRADIATION WITH LOW X RAY DOSE

*Danica Hasanbašić, Dunja Rukavina, Lejla Saračević, Milena Mihaljević,
Atifa Ajanović and Mevla Škandro*

Faculty of Veterinary Medicine University of Sarajevo,
Zmaja od Bosne 90, 71 000 Sarajevo, B&H
e-mail: d.hasanbasic@gmail.com

In this study we carried out an analysis of micronuclei frequency in lymphocytes of horse after in vitro irradiation using low X rays dose. As a biomarker of genetic damage the micronucleus (MN) assay was used. The micronuclei are formed from genetic material that have not been incorporated into cell nuclei and lost for the cell.

The results of MN assay were displayed as a number of micronuclei per cell. Microscopic analysis of chromosome material disorders in *in vitro* MN assay revealed that irradiation doses (0.1 Gy and 0.2 Gy) induced the occurrence of micronuclei. On the other side the occurrence of binuclear cells with micronuclei were not registered in nonirradiated lymphocytes of peripheral blood.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

UČINAK OZRAČIVANJA KOKOŠJIH JAJA MALOM DOZOM GAMA ZRAČENJA SEDMOGA DANA INKUBACIJE NA AKTIVNOST FOSFATAZA U KRVNOJ PLAZMI IZLEŽENIH PILIĆA

Petar Kraljević¹, Marinko Vilić¹, Saveta Miljanić² i Miljenko Šimpraga¹

¹Zavod za fiziologiju i radiobiologiju, Veterinarski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu, Heinzelova 55, 10000 Zagreb

²Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb
e-mail: kraljev@vef.hr

UVOD

Naši raniji rezultati [1,2] pokazali su da je rast pilića izleženih iz jaja ozračenih gama zračenjem dozom od 0,15 Gy prije inkubacije značajno veći tijekom tova nego u pilića koji su izleženi iz neozračenih jaja. Osim toga, aktivnost aspartat-aminotransferaze (AST), alanin-aminotransferaze (ALT), kisele fosfataze (ACP) i glukoze u krvnoj plazmi tih pilića bila je veća nego u kontrolne skupine pilića. Ovi su rezultati, prema tome, potvrdili rezultate Todorova i Dijanovskog [3] da male doze gama zračenja mogu stimulirati neke metaboličke procese u peradi izleženih iz jaja ozračenih prije inkubacije. Istražujući ozračivanje pilećih embrija dozom od 0,15 Gy gama-zračenja sedmoga dana inkubacije, tj. u vrijeme kada je organogeneza dovršena, na aktivnost transferaza u krvnoj plazmi pilića izleženih iz tih jaja, zabilježili smo porast aktivnosti AST i ALT 10. dana pokusa (tova), a pad njihove aktivnosti 20. dana pokusa [4]. U ovome radu istražili smo učinak male doze gama zračenja na aktivnost fosfataza u krvnoj plazmi pilića izleženih iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije.

MATERIJAL I METODE

Pokuse smo načinili na pilićima hibridima tovnje pasmine Avian (linija 34), oba spola, koji su se izlegli iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije dozom od 0,15 Gy gama zračenja iz radioaktivnog ⁶⁰Co panoramskoga tipa (pokusna skupina). Zajedno s pokusnom skupinom imali smo i kontrolnu skupinu pilića izleženu iz neozračenih jaja. Svi ostali uvjeti bili su isti za obje skupine pilića. Tijekom tova pilići su hranu i vodu uzimali *ad libitum*. Piliće obje skupine odabrali smo nasumce, pa odnos spolova u pojedinoj skupini nismo točno utvrdili.

Krv za analizu uzimali smo iz srca, odnosno krilne vene u epruvete s heparinom kao antikoagulansom 1, 3, 5, 7, 10, 20, 30. i 42. dana pokusa.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Aktivnost obiju fosfataza, ACP i alkalne fosfataze (ALP), određivali smo spektrofotometrijski koristeći gotove komplete reagensija proizvođača Boehringer Mannheim GmbH.

Rezultate smo statistički obradili i prikazali kao aritmetičku sredinu skupine (M) zajedno sa srednjom greškom srednje vrijednosti (SE), a značajnost među razlikama provjerili smo t-testom po Studentu [5].

REZULTATI

Rezultati aktivnosti ACP u krvnoj plazmi pilića izleženih iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije zajedno s rezultatima aktivnosti ACP u krvnoj plazmi pilića izleženih iz neozračenih jaja prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Aktivnost ACP (U/L) u krvnoj plazmi pilića izleženih iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije dozom od 0,15 Gy gama-zračenja (pokusna skupina) i u krvnoj plazmi pilića izleženih iz neozračenih jaja (kontrolna skupina).

Starost pilića (dani)	Skupina pilića	Uzorak (n)	SV $\pm \sigma$
1.	Pokusna skupina	10	2,74 $\pm$ 0,49
	Kontrolna skupina	10	1,46 $\pm$ 0,30
3.	Pokusna skupina	10	1,83 $\pm$ 0,23**
	Kontrolna skupina	10	3,06 $\pm$ 0,28
5.	Pokusna skupina	10	1,74 $\pm$ 0,28**
	Kontrolna skupina	10	3,80 $\pm$ 0,63
7.	Pokusna skupina	10	1,73 $\pm$ 0,36
	Kontrolna skupina	10	3,05 $\pm$ 0,68
10.	Pokusna skupina	10	1,44 $\pm$ 0,30*
	Kontrolna skupina	10	3,73 $\pm$ 0,92
20.	Pokusna skupina	10	3,05 $\pm$ 0,52
	Kontrolna skupina	10	3,77 $\pm$ 0,88
30.	Pokusna skupina	10	9,08 $\pm$ 4,08
	Kontrolna skupina	10	4,52 $\pm$ 1,17
42.	Pokusna skupina	10	11,67 $\pm$ 2,37
	Kontrolna skupina	10	11,22 $\pm$ 3,75

*P<0,05; ** P<0,01

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Aktivnost ACP u krvnoj plazmi pokusnih pilića bila je statistički značajno smanjena 3, 5. i 10. dana pokusa. Tako je 3. dana pokusa aktivnost ACP u krvnoj plazmi pokusnih pilića bila $1,83 \pm 0,23$ U/L, dok je u kontrolnoj skupini pilića iznosila $3,06 \pm 0,28$ U/L ($P < 0,01$). Petoga dana pokusa aktivnost ACP u krvnoj plazmi pokusnih pilića bila je $1,74 \pm 0,28$ U/L, a u kontrolnoj skupini pilića iznosila je $3,80 \pm 0,63$ U/L. Razlika je također značajna na razini 0.01. I, konačno, aktivnost ACP u krvnoj plazmi pokusnih pilića 10. dana pokusa bila je $1,44 \pm 0,30$ U/L, dok je kontrolnoj skupini pilića iznosila $3,73 \pm 0,92$ U/L ($P < 0,05$).

Rezultati aktivnosti ALP u krvnoj plazmi pilića izleženih iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije zajedno s rezultatima aktivnosti ALP u krvnoj plazmi pilića izleženih iz neozračenih jaja prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Aktivnost ALP (U/L) u krvnoj plazmi pilića izleženih iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije dozom od 0,15 Gy gama zračenja (pokusna skupina) i u krvnoj plazmi pilića izleženih iz neozračenih jaja (kontrolna skupina).

Starost pilića (dani)	Skupina pilića	Uzorak (n)	SV $\pm \sigma$
1.	Pokusna skupina	10	4421,50 $\pm$ 332,78
	Kontrolna skupina	10	4102,50 $\pm$ 596,79
3.	Pokusna skupina	10	7874,10 $\pm$ 833,68
	Kontrolna skupina	10	8498,80 $\pm$ 810,87
5.	Pokusna skupina	10	12730,00 $\pm$ 847,16
	Kontrolna skupina	10	12403,30 $\pm$ 1417,75
7.	Pokusna skupina	10	5692,20 $\pm$ 462,69
	Kontrolna skupina	10	7685,00 $\pm$ 1229,83
10.	Pokusna skupina	10	8196,90 $\pm$ 763,20
	Kontrolna skupina	10	9741,00 $\pm$ 865,74
20.	Pokusna skupina	10	2543,70 $\pm$ 236,60
	Kontrolna skupina	10	2880,90 $\pm$ 196,03
30.	Pokusna skupina	10	5021,17 $\pm$ 750,54
	Kontrolna skupina	10	5011,40 $\pm$ 462,37
42.	Pokusna skupina	10	1254,50 $\pm$ 98,95
	Kontrolna skupina	10	1268,75 $\pm$ 123,12

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Aktivnost ALP u krvnoj plazmi pilića koji su bili izleženi iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije nije bila statistički promijenjena tijekom cijeloga pokusnoga razdoblja.

RASPRAVA

Rezultati pokusa pokazali su da je aktivnost ACP u krvnoj plazmi pilića koji su izleženi iz jaja ozračenih sedmoga dana inkubacije dozom od 0,15 Gy gama zračenja bila statistički značajno smanjena 3, 5, i 10. dana pokusa, dok se aktivnost ALP u krvnoj plazmi istih pilića nije mijenjala tijekom cijeloga pokusnoga razdoblja. Ovi se rezultati razlikuju od rezultata dobivenih u pokusima na pilićima koji su bili izleženi iz jaja ozračenih prije inkubacije istom dozom zračenja. U tim je pokusima, naime, aktivnost ACP u krvnoj plazmi pilića bila statistički značajno povećana 42. dana pokusa. Koji je pravi razlog ovim razlikama, za sada je teško reći. No, čini se da je ionizirajuće zračenje – kada su jaja bila ozračena gama zračenjem prije inkubacije, dakle prije negoli je započeta intenzivna proliferacija stanica i diferencijacija organa – djelovalo poticajno na ukupan embrionalni ciklus. To se u konačnici očitovalo većom aktivnosti kako enzima tako i drugih parametara, pa čak i bržeg rasta pilića [6]. U ovom, pak, pokusu kada su jaja ozračena 7. dana embrionalnoga razvoja pilića, dakle u vrijeme intenzivne proliferacije i diferencijacije organa, nije isključeno da je doza gama zračenja od 0,15 Gy djelovala štetno na embrionalne stanice zbog smanjenog praga osjetljivosti, i to se nije moglo popraviti tijekom embrionalnoga razvoja, pa se to očitovalo smanjenjem aktivnosti ACP (i aktivnosti još nekih enzima [6]) tijekom cijelog pokusnog razdoblja.

Ovu pretpostavku temeljimo na istraživanjima Eidusa [7] koji kao najvažnije čimbenike za nastanak učinaka malih doza ionizirajućeg zračenja navodi nespecifičnu regulaciju enzimskih reakcija putem komponenti male molekularne mase [*engl. low molecular weight compounds*] (LMWC), njihov način djelovanja unutar stanice, te staničnu membranu kao alternativnu metu. U smislu ove pretpostavke, autor kaže, da se LMWC mogu nespecifično vezati slabim vezama na molekulu enzima te time sprečavati konformacijski raspored potreban za izvršenje enzimske funkcije. To znači da povećanje LMWC uzrokuje smanjenje aktivnosti enzima i obrnuto, smanjenje LMWC uzrokuje povećanje aktivnosti enzima. Osim toga, poznato je da stanična membrana neposredno nakon ozračivanja ionizacijskim zračenjem, dozama označenim kao male doze, pokazuje morfološke i funkcionalne promjene [8]. Tako nastale promjene uzrok su gubitka jednog dijela LMWC iz stanice. Posljedica toga je da se enzimske reakcije unutar stanice povećavaju. Međutim, osim povećanja enzimske reakcije, može doći i do smanjenja enzimske reakcije zbog, kako navodi Eidus [7] po-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

remećaja membrana unutar stanice. Naime, taj poremećaj membrana uzrokuje poremećaj transporta tvari unutar stanice. To za posljedicu ima raspršivanje LMWC unutar stanice i inhibiciju enzimskih reakcija. Upravo na osnovi opisanog, autor [7] je naglasio da male doze ionizirajućeg zračenja mogu istodobno inicirati dva suprotna procesa, tj. aktivaciju enzimskih reakcija i njihovu inhibiciju. Također dodaje kako se razumije samo po sebi da se u različitim objektima (stanica, tkivo, organizam) zbog različitih okolnosti mogu razlikovati i učinci ionizacijskoga zračenja, prag doza i vrijeme nastanka učinka. U ovome pokusu ozračeni su embriji na završetku organogeneze i diferencijacije tkiva, dok u pokusu u kojemu su bila ozračena jaja prije inkubacije, organogeneza i diferencijacija tkiva nisu bili ni započeli. Prema tome, u ovim dvama pokusima razlikovali su se i objekt i okolnosti, pa odatle i razlike u dobivenim rezultatima.

ZAKLJUČAK

Ozračivanje pilećih jaja dozom od 0,15 Gy gama zračenja sedmoga dana inkubacije, dakle u vrijeme kada je organogeneza završila, uzrokuje pad aktivnosti ACP u krvnoj plazmi pilića izležanih iz tih jaja 3, 5, i 10. dana pokusa dok se aktivnost ALP nije mijenjala tijekom cijeloga pokusnog razdoblja. Dobiveni rezultati razlikuju se od rezultata dobivenih u pilića izležanim iz jaja ozračenim istom dozom zračenja prije inkubacije; aktivnost ACP bila je tada statistički značajno povećana u krvnoj plazmi pilića 42. dana pokusa. Uzrok nađenim razlikama je, pretpostavljamo, različito vrijeme ozračivanja jaja.

LITERATURA

- [1] Kraljević P, Vilić M, Miljanić S, Šimpraga M. Body weight, growth and enzymes activities in blood plasma of chickens hatched from eggs irradiated with low level gamma rays before incubation. (u tisku).
- [2] Kraljević P, Šimpraga M, Miljanić S, Vilić M. Effect of low doses gamma radiation upon some biochemical indicators in blood plasma of chickens (paper no. 3p-12). 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.
- [3] Todorov B, Dijanovski P. Enzyme activity in blood plasma of turkey and pheasant received from irradiated with small doses gamma rays eggs. Final Programme and Book of Abstracts of XVth Annual meeting of European Society of Nuclear Methods in Agriculture. European Society of Nuclear methods in Agriculture, Piacenza, 1984.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [4] Kraljević P, Vilić M, Miljanić S, Šimpraga M. Aktivnost transferaza u krvnoj plazmi pilića izležanih iz jaja ozračenih malom dozom gama-zračenja tijekom inkubacije. U: Garaj-Vrhovac, 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. 173-7.
- [5] Renner E. Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung. Verlag Paul Perey, Berlin-Hamburg, 1970. 34-36.
- [6] Vilić M. Učinak male doze gama-zračenja na aktivnost nekih enzima i koncentraciju bjelancevina u krvnoj plazmi tovnih pilića. Disertacija. Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [7] Eidus LK. Hypothesis regarding a membrane-associated mechanism of biological action due to low-dose ionizing radiation. Radiat Environ Biophys 2000;39:189-197.
- [8] Burlakova EB, Goloshchapov AN, Gorbunova NV, Gurevich SM, Zhizhina GP, Kozachenko AI, Konradov AA, Korman DB, Molochkina EM, Nagler LG, Ozerova IB, Skalatskaia SI, Smotriaeva MA, Tarasenko OA, Treshchenkova IA, Shevchenko VA. The characteristics of the biological action of low doses of irradiation. Radiat Biol Radioecol 1996;36:610-631.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

EFFECT OF LOW DOSES GAMMA RADIATION UPON PHOSPHATASE ACTIVITY IN BLOOD PLASMA OF CHICKENS HATCHED FROM EGGS IRRADIATED ON THE SEVENTH DAY OF INCUBATION

Petar Kraljević¹, Marinko Vilić¹, Saveta Miljanić² and Miljenko Šimpraga¹

¹Department of Physiology and Radiobiology, Faculty of Veterinary Medicine,
University of Zagreb, Heinzelova 55, HR-10000 Zagreb, Croatia

²Ruder Bošković Institute, Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Croatia
e-mail: kraljev@vef.hr

In our earlier studies chickens hatched from eggs irradiated with 0.15 Gy gamma rays before incubation showed a significantly higher growth than controls during the fattening period (1-42 days). The activity of aspartate-aminotransferase (AST), alanine-aminotransferase (ALT), acid phosphatase (ACP) and plasma glucose in the same chickens were also significantly higher. These results suggested that low-dose gamma-radiation stimulated certain metabolic processes in chickens hatched from eggs irradiated before incubation. Investigating the effect of low dose gamma radiation upon transferases activity in blood plasma of chickens hatched from eggs irradiated on the 7th day of incubation, i.e. in the time when organogenesis is completely finished, we found that on day 10, AST and ALT activity was significantly higher in the blood plasma of those chickens, whereas it significantly dropped for both enzymes on day 20. This time the goal of study was to determine the effect of low-dose gamma radiation on ACP and alkaline phosphatase (ALP) activity in the blood plasma of chickens hatched from eggs irradiated on the 7th day of incubation. The eggs of heavy breeding chickens (Avian, line 34) were exposed to 0.15 Gy of gamma radiation (⁶⁰Co) on the seventh day of incubation. The control group included chickens hatched from non-irradiated eggs. All other conditions were the same for both groups. After hatching, blood samples were taken from the wing vein on days 1, 3, 5, 7, 10, 20, 32 and 42. The activity of both enzymes was determined spectrophotometrically using Boehringer Mannheim GmbH optimised kits. ACP activity was significantly lower in the blood plasma of chickens hatched from irradiated eggs on day 3 ($P<0,01$), 5 ($P<0,05$) and 10 ($P<0,05$). Throughout the experimental period ALP activity did not statistically significantly change. Our results indicate that exposure of eggs to low-dose gamma radiation on the seventh day of incubation reduces ACP activity in the blood plasma of chickens hatched from irradiated eggs. Namely, this effect is somewhat different from the effect of egg exposure to low-dose gamma radiation before incubation. This difference is probably caused by the difference in the time of eggs radiation.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

UČINAK MALE DOZE GAMA ZRAČENJA NA ANTIOKSIDANSE U SKELETNIM MIŠIĆIMA KOKOŠIJH ZAMETAKA

*Marinko Vilić¹, Jasna Piršljin¹, Blanka Beer Ljubić¹, Saveta Miljanić²
i Petar Kraljević¹*

¹Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zavod za fiziologiju i
radiobiologiju, Heinzelova 55, 10000 Zagreb

²Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb
e-mail: marinko.vilic@vef.hr

UVOD

Male doze ionizirajućeg zračenja mogu uzrokovati različite poticajne učinke primjerice, produženje životnog vijeka [1], stimulaciju rasta i razvoja [2], stimulaciju imunološkog sustava [3,4] te stimulaciju antioksidativne obrane [5,6]. Istraživanja čiji rezultati pokazuju stimulaciju antioksidativne obrane nakon ozračivanja malom dozom ionizirajućeg zračenja načinjena su ponajprije na miševima, štakorima ili staničnim kulturama. Do danas su, međutim, podaci o učincima malih doza ionizirajućeg zračenja na antioksidativne pokazatelje u peradi vrlo oskudni. Rezultati naših ranijih istraživanja [7] pokazali su da ozračivanje kokošijih zametaka dozom od 0,3 Gy gama-zračenja 19. dana inkubacije ne djeluje stimulirajuće na antioksidativne enzime u jetri ozračenih kokošijih zametaka. U ovom radu htjeli smo istražiti učinak male doze gama zračenja na koncentraciju glutationa (GSH), lipidnu peroksidaciju te aktivnost glutation peroksidaze (GSH-Px) i katalaze (CAT) u dva različita tipa mišića kokošijih zametaka.

MATERIJAL I METODE

Rasplodna jaja teške pasmine linija COBB 500 ozračili smo 19. dana inkubacije dozom od 0,3 Gy gama zračenja iz radioaktivnog izvora ⁶⁰Co panoramskog tipa aktivnosti oko 3 PBq pri brzini doze od 23,84 mGy/s. Zajedno s pokusnom skupinom imali smo i kontrolnu skupinu kokošijih zametaka koja nisu bila ozračenja. Svi ostali uvjeti bili su isti za obje skupine pilića.

Analizu koncentracije lipidnih peroksida i GSH odnosno aktivnost GSH-Px i CAT u pokusnoj i kontrolnoj skupini kokošijih zametaka i jednodnevnih pilića načinili smo u tkivu bedrenog mišića (*m. biceps femoris*) i prsnog mišića (*m. pectoralis superficialis*) 1, 3, 6, 24. i 72. sata nakon ozrači-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

vanja kokošijih zametaka. Mišiće smo, nakon žrtvovanja zametaka (n=10) metodom dekapitacije, izvagali te pohranili u tekući dušik na -196°C tijekom 24 sata, a zatim na -76°C. Koncentraciju GSH i lipidnih peroksida, te aktivnost GSH-Px i CAT odredili smo spektrofotometrijski u supernatantu. Koncentraciju bjelančevina odredili smo metodom po Lowry i sur. [8] te smo koncentracije odnosno aktivnosti navedenih parametara izrazili po gramu bjelančevina tkiva.

Dobivene rezultate prikazali smo kao srednju vrijednost i pogrešku srednje vrijednost ($\bar{X} \pm SE$), a značajnost razlika provjerili smo t-testom po Studentu koristeći računalni program STATISTICA [9].

REZULTATI

Rezultati koncentracije TBARS i GSH te aktivnosti GSH-Px i CAT prikazani u Tablici 1.

Koncentracija TBARS prvog je sata nakon ozračivanja bila statistički značajno smanjena u bedrenom ($P<0,01$) i prsnom mišiću ($P<0,05$) kokošijih zametaka. Sedamdeset drugog sata nakon ozračivanja kokošijih zametaka zabilježen je značajan pad koncentracije TBARS samo u bedrenom mišiću ($P<0,001$). Koncentracija GSH u oba mišića ozračenih kokošijih zametaka bila je prvog sata nakon ozračivanja statistički značajno smanjena ($P<0,05$) dok je 72. sata nakon ozračivanja kokošijih zametaka koncentracija GSH bila statistički značajno povećana u bedrenom ($P<0,01$) i prsnom mišiću ($P<0,05$). Aktivnost GSH-Px bila je prvog sata nakon ozračivanja kokošijih zametaka statistički značajno povećana u bedrenom mišiću ($P<0,05$), a 72. sata u prsnom mišiću ($P<0,05$). Aktivnost katalaze bila je statistički značajno smanjena u bedrenom ($P<0,05$) i prsnom ($P<0,001$) mišiću ozračenih kokošijih zametaka prvog sata nakon ozračivanja kokošijih zametaka. U prsnom mišiću ozračenih kokošijih zametaka aktivnost je katalaze bila još statistički značajno smanjena 24. sata ($P<0,05$) i 72. sata ($P<0,001$) nakon ozračivanja.

RASPRAVA

Rezultati načinjenih pokusa pokazali su da je koncentracija TBARS i GSH te aktivnost CAT u bedrenom i prsnom mišiću kokošijih zametaka ozračenih 19. dana inkubacije dozom od 0,3 Gy gama zračenja bila značajno smanjena prvog sata nakon ozračivanja, dok je istovremeno aktivnost GSH-Px u bedrenom mišiću bila značajno povećana. S druge pak strane, 72. sata nakon ozračivanja kokošijih zametaka značajno je povećana bila koncentracija GSH u obje vrste mišića te aktivnost GSH-Px u prsnom mišiću. Istog sata pokusa aktivnost CAT bila je smanjena u prsnom mišiću, a koncentracija TBARS u

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Koncentracija TBARS i GSH te aktivnost GSH-Px i CAT u bedrenom i prsnom mišiću kokošijih zametaka ozračenih 19. dana inkubacije dozom od 0,3 Gy gama zračenja te u bedrenom i prsnom mišiću kontrolne skupine kokošijih zametaka ($\bar{X} \pm SE$).

	Sati nakon ozračivanja jaja	BEDRENI MIŠIĆ		PRSNI MIŠIĆ	
		Pokusna skupina (n=10)	Kontrolna skupina (n=10)	Pokusna skupina (n=10)	Kontrolna skupina (n=10)
TBARS	1	133,99±6,17**	223,81±26,53	228,35±23,50*	359,74±42,84
	3	222,33±36,35	172,20±24,43	282,17±29,88	217,53±20,24
	6	350,00±30,77	363,18±40,39	193,09±48,31	169,75±34,84
	24	343,35±44,65	289,84±32,57	91,66±23,60	132,05±13,69
	72	141,86±19,02***	299,03±23,14	246,24±22,19	297,10±36,73
GSH	1	46,52±3,19*	61,03±4,79	37,91±2,90*	47,64±2,83
	3	44,11±3,05	42,36±2,46	52,63±2,51	46,43±3,71
	6	28,96±1,44	32,47±1,68	37,73±1,96	39,40±3,89
	24	30,68±0,92	30,80±1,94	49,47±3,47	49,67±3,84
	72	31,52±1,34**	25,62±1,54	53,12±3,35*	41,89±4,98
GSH-Px	1	141,95±11,74*	107,10±7,67	136,00±8,45	158,27±11,08
	3	106,90±4,28	94,37±5,36	167,23±6,40	148,48±11,06
	6	63,87±4,04	61,17±4,83	114,49±7,58	116,30±9,89
	24	66,37±5,64	55,46±3,30	138,24±9,23	148,90±10,57
	72	78,67±4,07	78,09±2,54	94,69±6,59*	69,67±7,76
CATA	1	7,12±0,94*	11,94±1,64	7,77±0,68***	14,34±0,78
	3	7,39±0,41	5,68±0,68	8,09±0,98	9,76±0,87
	6	2,69±0,39	3,22±0,63	12,47±0,64	13,99±1,59
	24	2,53±0,24	3,06±0,38	8,94±1,25*	15,75±2,38
	72	5,33±0,54	6,83±1,25	10,22±0,91***	23,53±3,09

TBARS (nmol/g bjelančevina); GSH (μ mol/g bjelančevina); GSH-Px i CAT (U/g bjelančevina)

* (P<0,05), ** (P<0,01), *** (P<0,001)

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

bedrenom mišiću. Koji je pravi uzrok smanjenju koncentracije glutaciona i aktivnosti katalaze u obje vrste mišića pokusnih kokošijih zametaka prvog sata nakon ozračivanja teško je pouzdano reći. Pad koncentracije GSH može nastati zbog inhibicije sinteze [10] smanjene redukcije pomoću glutation reduktaze, deficita esencijalne aminokiseline cisteina [11] i njegove povećane oksidacije u reakcijama sa slobodnim radikalima. Ipak mišljenja smo da je u našem slučaju pad koncentracije GSH i aktivnosti katalaze prvog sata nakon ozračivanja u oba tipa mišića nastao ponajprije zbog potrebe uklanjanja slobodnih radikala nastalih kao posljedica ozračivanja kokošijih zametaka. Naime, poznato je da ionizirajuće zračenje bez obzira na dozu zračenja uzrokuje nastanak reaktivnih kisikovih spojeva (hidroksilni radikal, superoksidni anion i organski hidroperoksidi) i reaktivnih dušikovih spojeva koji imaju važnu ulogu u oštećenju stanica [12]. No, tijekom evolucije stanice su razvile različite antioksidativne sustave za zaštitu od reaktivnih kisikovih spojeva, primjerice GSH redoks sustav te enzimski sustav (SOD, CAT, GSH-Px) [13]. Budući da GSH djeluje izravno s reaktivnim kisikovim spojevima te da je jedna od najkoncentriranijih neenzimskih molekula u stanici, pretpostavlja se da je upravo on "prva crta obrane" u antioksidativnoj zaštiti stanice od oksidativnog stresa uzrokovanog ionizirajućim zračenjem [14]. Pad koncentracije TBARS u oba tipa mišića prvog sata nakon ozračivanja kokošijih zametaka moguće je također objasniti povećanjem oksidacije GSH koji je koenzim u reakcijama uklanjanja lipidnih peroksida pomoću GSH-Px. Poznato je, naime, da GSH štiti stanicu od oksidativnog oštećenja vrlo brzo. No, koji je razlog porastu GSH-Px u bedrenom mišiću prvog sata nakon ozračivanja u ovom trenutku teško je objasniti. Ipak smatramo da bi mogao biti uzrokovan razlikama u kemijskom sastavu, enzimskoj aktivnosti i metaboličkim procesima promatranih mišića.

S druge, pak, strane povećana koncentracija GSH u oba mišića 72. sata nakon ozračivanja odnosno povećana aktivnost GSH-Px i pad katalaze u prsnom mišiću mogli su također biti uzrokovani morfološkim i fiziološkim razlikama u promatranim mišićima te zbog određenih fizioloških procesa na kraju embrionalnog razvoja kokošijih zametaka. Poznato je, naime, da su mišići građeni od mišićnih vlakana različite veličine biokemijskih i fizioloških karakteristika te da se prema koncentraciji mioglobina mogu prepoznati kao crveni i bijeli mišići. No prema Peteru i sur. [15] mišići se klasificiraju prema brzini kontrakcije, oksidacijskom kapacitetu i glikolitičkom procesu u tip 1 te tip IIA i IIB. Tako, npr., bedreni mišić (crveni) se može okarakterizirati kao oksidativni i slabo kontrahirajući dok prsni mišić (bijeli) kao glikolitički i brzo-kontrahirajući. Brzo kontrahirajuća vlakna imaju manje antioksidativnih enzima nego sporo kontrahirajuća vlakna te veći postotak višestrukonezasićenih masnih kiselina sklonijih oksidativnim oštećenjima reaktivnim kisikovim spojevima [16]. Osim

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

toga, valjenje je dugotrajan i energetski zahtjevan proces [17] te razdoblje početka plućne ventilacije s povećanjem oksidativnog metabolizma i utroška kisika [18]. Sve navedene činjenice, a uz predhodno ozračivanje zametaka 19. dana inkubacije, mogle su poticajno utjecati na koncentraciju GSH u oba mišića te na aktivnost GSH-Px u prsnom mišiću pri oksidativnom stresu nastalom izlaganjem atmosferskom kisiku, visokoj temperaturi i vlazi nakon valjenja.

ZAKLJUČAK

Rezultati su pokazali da ozračivanje jaja 19. dana inkubacije dozom od 0,30 Gy gama zračenja uzrokuje u bedrenome i prsnome mišiću oksidacijski stres neposredno nakon ozračivanja. U jednodnevnih pilića, tj. 72 sata nakon ozračivanja, to ozračivanje potiče sintezu GSH u oba tipa mišića.

LITERATURA

- [1] Caratero A, Courtade M, Bonnet L, Planel H, Caratero C. Effect of a continuous gamma irradiation at a very low dose on the life span of mice. *Gerontology* 1998;44:272-276.
- [2] Luckey TD. Physiological benefits from low levels of ionizing radiation. *Health Phys* 1982;43:771-789.
- [3] Kojima S, Nakayama K, Ishida H. Low dose gamma-rays activate immune functions via induction of glutathione and delay tumor growth. *Journal of Radiation Research* 2004;45:33-39.
- [4] Liu SZ, Liu WH, Sun JB. Radiation hormesis: its expression in the immune system. *Health Phys* 1987;52:579-583.
- [5] Yamaoka K, Edamatsu R, Mori A. Increased SOD activities and decreased lipid peroxide levels induced by low dose X irradiation in rat organs. *Free Radical Biology and Medicine* 1991;11:299-306.
- [6] Kojima S, Matsuki O, Kinoshita I, Gonzalez TV, Shimura N, Kubodera A. Does small-dose gamma-ray radiation induce endogenous antioxidant potential in vivo? *Biol Pharm Bull* 1997;20:601-604.
- [7] Vilić M, Piršljina J, Beer Ljubić B, Miljanić S, Kraljević P. Učinak male doze gama-zračenja na antioksidanse u jetri kokošjeg zametka. U: Balenović M ur. Zbornik radova VII. Simpozija "Peradarski dani 2007."; 7.-10. svibnja 2007; Poreč, Hrvatska. Zagreb: Centar za peradarstvo; 2007. str. 168-171.
- [8] Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Rendal RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem* 1951;193:265-267.
- [9] StatSoft, Inc. Statistica (data analysis software system). 2005; Version 7.1.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [10] Meister A. New aspects of glutathione biochemistry and transport: selective alteration of glutathione metabolism. *Fed. Proc* 1984;43:3031-3042.
- [11] Tateishi N, Higashi T, Naruse A, Narashima K, Shiozaki H, Skamoto Y. Rat liver glutathione: possible role as a reservoir of cysteine. *J Nutr* 1977;107:51-60.
- [12] Coggle JE. *Biological Effects of Radiation*. 2nd edition. International Publications Service Taylor and Francis Inc., New York. 1983.
- [13] Michiels C, Raes M, Toussaint O, Remacle J. Importance of Se-glutathione peroxidase, catalase, and Cu₂Zn-SOD for cell survival against oxidative stress. *Free Radic Biol Med* 1994;17:235-248.
- [14] Meister A, Anderson ME. Glutathione. *Ann Rev Biochem* 1983;52:611-660.
- [15] Peter JB, Barnard RJ, Edgerton VR, Gillespie CA, Stempel KE. Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. *Biochem* 1972;11:2627.
- [16] Murphy ME, Kehrer JP. Free radicals: a potential pathogenic mechanism in inherited muscular dystrophy. *Life Sci* 1986;39:2271-2278.
- [17] Johnston SD, Daniels CB. Development of the pulmonary surfactant system in non-mammalian amniotes. *Comp Biochem Physiol* 2001;129A:49-63.
- [18] Menna TM, Mortola JP. Metabolic control of pulmonary ventilation in the developing chick embryo. *Respir Physiol Neurobiol* 2002;130:43-55.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

EFFECT OF LOW DOSE RADIATION UPON ANTIOXIDANT PARAMETERS IN SKELETAL MUSCLE OF CHICK EMBRYO

*Marinko Vilić¹, Jasna Piršljin¹, Blanka Beer Ljubić¹, Saveta Miljanić²
and Petar Kraljević¹*

¹Department of Physiology and Radiobiology, Faculty of Veterinary
Medicine, University of Zagreb, Heinzelova 55, 10000 Zagreb, Croatia

²Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: marinko.vilic@vef.hr

In this paper an attempt was made to determine the effect of irradiation of eggs with low dose ionizing radiation upon lipid peroxide (TBARS) level, glutathione (GSH) level, activity of glutathione peroxidase (GSH-Px), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in skeletal muscle of chick embryo and newly hatched chicks. The eggs of a heavy breeding chickens were irradiated with a dose of 0.3 Gy gamma radiation (⁶⁰Co source) on the 19th day of incubation. Along with the irradiated chick embryos, there was a control group of non-irradiated chick embryos. The antioxidant parameters were measured in breast muscle (*m. pectoralis superficialis*) and thigh muscle (*m. biceps femoris*) of chick embryos on 1, 3, 6, 24 and 72 h after egg irradiation. All parameters were determined spectrophotometrically. Lipid peroxidation, GSH level and CAT activity decreased in the breast and thigh muscle of chick embryos on the first hour after irradiation, while the activity of GSH-Px increased in the thigh muscle on the 1st hour after irradiation. CAT activity decreased in the breast muscle of chick embryos on the hour 24 after irradiation. The GSH level increased in the breast and thigh muscle of chick embryos on the hour 72 after irradiation while the activity of GSH-Px increased in the breast muscle. At the same time CAT activity decreased in breast muscle while lipid peroxidation decreased in thigh muscle. The obtained results showed that acute irradiation of chicken eggs on the 19th day of incubation with the dose of 0.3 Gy gamma radiation could be an oxidative stress in both types of muscles immediately after irradiation. However, at the one-day old chicks (72 hours after irradiation) this dose could have a stimulating effect upon GSH level in both breast and thigh muscle.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI

RADIATION PROTECTION IN MEDICINE



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:08



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ULOGA RADIOBIOLOŠKIH PARAMETARA TKIVA U IZRADI RADIOTERAPIJSKOG PLANA ZA RADIKALNO OZRAČIVANJE PROSTATE

*Tomislav Viculin¹, Davorin Bagović¹, Mladen Solarić¹
i Verica Garaj-Vrhovac²*

¹Klinika za tumore, Ilica 197, 10000 Zagreb

²Institut za medicinska istraživanja HAZU, Ksaverska c. 2, 10000 Zagreb
e-mail: tomislav.viculin@kzt.hr

UVOD

Radioterapijskim planiranjem određuje se apsorbirana doza u tkivu. Potrebni anatomske i geometrijske podatke dobiju se CT simulatorom. Na svakome presjeku, debljine 2 mm obilježavaju se organi i tkiva od interesa. Cilj planiranja je postizanje terapijske doze na tjelesne strukture s tumorskim tkivom i tolerantne doze na zdrava tkiva. Posebno se obilježavaju organi čiju funkciju zračenje može poremetiti – rizični organi.

Vrijednost doze se izračuna za svaki element volumena tkiva, kockicu brida 2 mm. Ako pripada tumorskom tkivu, provjerava se je li postignuta zadana tumorska doza. TCP (Tumor Control Probability) model “kontrole” tumora omogućuje usporedbu planova na osnovu radiobioloških parametara. Ako kockica pripada zdravom tkivu, može se NTCP (Normal Tissue Complication Probability) modelom provjeriti je li premašena granica tolerancije. Ukoliko se nađe velika vjerojatnost pojave štetnih posljedica (komplikacija), korigiraju se elementi plana zračenja.

MATERIJAL I METODE

U radu se koriste TCP i NTCP modeli koji su ugrađeni u program za radioterapijsko planiranje XiO, ver. 4.3.1., proizvod tvrtke CMS [1, 2].

TCP model izveden je iz LQ modela odziva tkiva na frakcionirano zračenje (2 Gy/dan, 10 Gy/tjedno) [3]. Parametri modela su određeni na osnovu kliničkog iskustva: α_m (1/Gy) – srednja vrijednost, σ_α (1/Gy) – standardna devijacija, ρ (10⁶/cm³) – gustoća tumorskih stanica, T_{eff} (dana) – vrijeme udvostručenja mase tumora, T (dana) – vrijeme trajanja terapije i T_k (dana) – “kick-of time” vrijeme od početka zračenja do nastavka proliferacije (Tablica 1). TCP vjerojatnost se izračunava formulama (1) i (2) gdje su: D – ukupna doza, D_i – doza u i -toj kockici, a $N_{0,i}$ početni broj tumorskih stanica. Raspodjela parametra α je normalna, a podijeljena je u K diskretnih intervala.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Parametri TCP modela korišteni u radu [4]

tumor	α (srednji) [1/Gy]	σ_α (st. d.) [1/Gy]	ρ (g. tum. stanica) [10 ⁶ /cm ³]	T_{eff} [dana]	T [dana]	T_k [dana]
Ca. prostate [4]	0,44	0,05	0,8	90	47-54	5
Ca. prostate	0,30	0,05	0,8	90	47-54	5

$$TCP(D) = \sum_{j=1}^K f_{\alpha_j} \cdot e^{-\sum_{i=1}^n N_{0,i} \cdot e^{\left[-\alpha_j \cdot D_i + \frac{\ln 2}{T_{\text{eff}}} (T - T_k)\right]}} \quad (1)$$

$$f_{\alpha_j} = \frac{e^{-\frac{(\alpha_j - \alpha_m)^2}{2\sigma_\alpha^2}}}{\sum_{j=1}^K e^{-\frac{(\alpha_j - \alpha_m)^2}{2\sigma_\alpha^2}}} \quad (2)$$

NTCP model predviđa komplikacije zdravoga tkiva, ovisno o ukupnoj primljenoj dozi (frakcionirano 2 Gy/dan) i svojstvima tkiva. Razvili su ga Lyman, Kutcher i Burman (LKB model) [4]. Važnu ulogu u modelu ima omjer volumena (V_i) dijela organa ozračenog dozom D_i i volumena cijelog organa (V_{ref}) koji se obilježava s $v = V/V_{\text{ref}}$.

Za mali iznos v , krivulja modela se pomiče udesno što odražava činjenicu da je vjerojatnost manja ako određenu dozu primi dio organa.

Parametar n ($0 \leq n \leq 1$) opisuje “serijsko” ili “paralelno” svojstvo organa. Serijski organ je osjetljiviji na lokalno povećanje doze. $TD_{50}(1)$ i $TD_{50}(v)$ su doze koje daju 50% vjerojatnosti pojave komplikacija pri ozračivanu cijelog organa ili njegova dijela. Povezane su izrazom

$$TD_{50}(v) = TD_{50}(1) \cdot v^{-n} \quad (3)$$

Uz oznaku $t = \frac{D - TD_{50}(v)}{m \cdot TD_{50}(v)}$, NTCP model se preglednije zapisuje

$$NTCP(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (4)$$

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 2. Parametri NTCP modela korišteni u radu [5]

Anatomska struktura	TD50 [Gy]	n	m	Moguća oštećenje (End Point)	Referentni volumen
Mokraćni mjehur	80	0,50	0,11	Kontrakcija	Cijeli organ
Rektum	80	0,12	0,15	Fistula, nekroza	Cijeli organ

LKB model uvodi efektivni volumen V_{ef} čije homogeno ozračivanje dozom D_{max} daje jednake komplikacije kao i nehomogeno ozračivanje organa. Na osnovu volumnih podataka o dozi, položaju i vrstama tkiva dobije se V_{ef} (5). NTCP se izračuna za $v = V_{ef}/V_{ref}$ jednadžbama (3) i (4).

$$V_{ef} = \sum_i \Delta V_i \cdot \left(\frac{D_i}{D_{max}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

REZULTATI

Uvjeti koje treba ispuniti plan zračenja zadaju se u obliku najveće dopuštene doze na određeni dio organa. Naprimjer, dozu od 50 Gy smije primiti 60% rektuma, ali i 50% mjehura. Dozu od 74 Gy smije primiti 3% rektuma, ali i 5% mjehura. Planiranjem se, uz nešto truda, uspiju približno ostvariti ti zahtjevi. Dodatna usporedba se može načiniti po radiobiološkim svojstvima. Plan koji daje veću TCP vjerojatnost je bolji. Plan u kojem su NTCP vjerojatnosti za pojedina tkiva manja je također bolji.

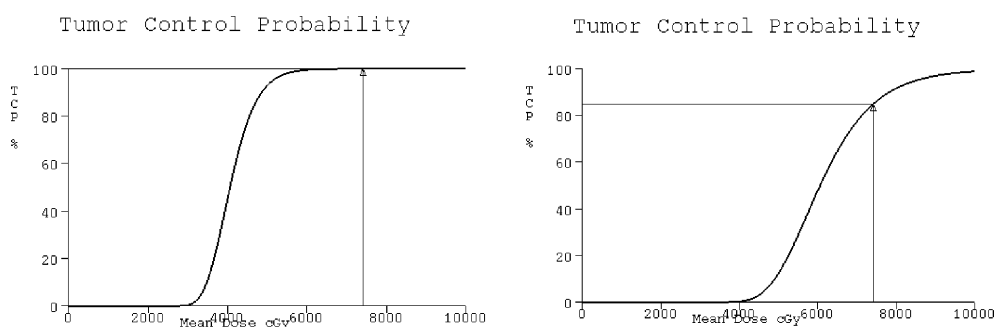
Primjer 1. Fiksni snopovi, promjena doze (70 – 80 Gy)

Tablica 3. Usporedba planova – 4 snopa (box), različit broj frakcija

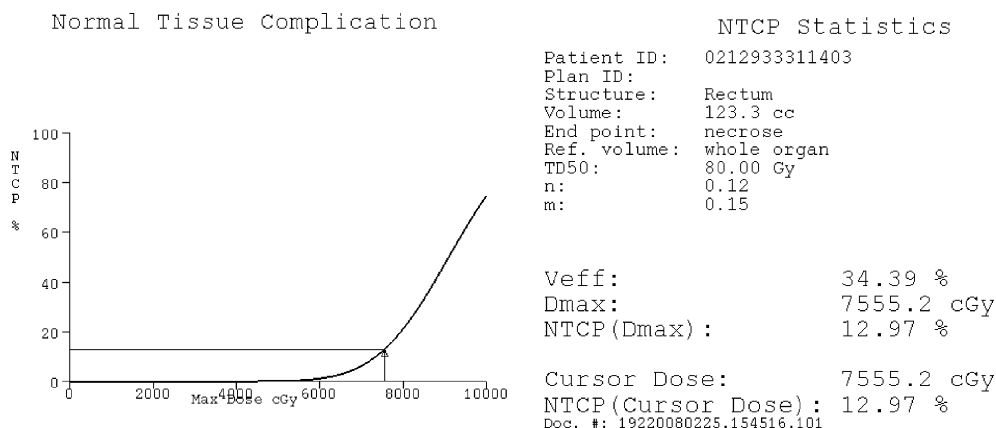
br	Doza [Gy]	Frakcija po 2Gy	TCP [%]		NTCP [%] rektum	NTCP [%] mjehur
			$\alpha = 0,44$	$\alpha = 0,30$		
1	70	35	99,95	78,52	4,26	0,06
2	72	36	99,97	82,14	5,55	0,09
3	74	37	99,98	84,58	7,17	0,13
4	76	38	99,99	87,94	9,08	0,19
5	78	39	99,99	90,14	11,38	0,28
6	80	40	100,00	91,90	14,15	0,40

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Na osnovu istih kontura načinjeno je više planova. Vjerojatnost oštećenja mjehura je zanemariva dok oštećenja rektuma za doze veće od 76 Gy postaju neprihvatljiva (Tablica 3). Za usporedbu planova je praktično koristiti $\alpha = 0,30$ jer se male razlike u planovima lakše uoče (Slika 1).



Slika 1. Prikaz ispisa TCP proračuna za $\alpha = 0,44$ i $\alpha = 0,30$



Slika 2. Prikaz ispisa NTCP proračuna za rektum

U praksi se margina (sigurnosno područje) dodana oko ciljnog organa naziva PTV (Planning Target Volume). Marginom se kompenzira pomak organa i pogreška kod postavljanja pacijenta. Standardni zahtjev je da se unutar PTV-a postigne 95% planirane doze.

Vrijeme udvostručenja mase tumora u tijelu, T_{ef} , znatno je dulje od T_{pot} , vremena udvostručenja broja stanica dobivenog in vitro. Kod najčešćeg tumora prostate, adenokarcinoma, T_{ef} je dulje od trajanja terapije [6]. U radu su uzete vrijednosti: $T_{ef} = 90$ dana, $T = 47$ do 54 dana, $T_k = 5$ dana.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Primjer 2. Različite tehnike zračenja, doza 76 Gy

Tablica 4. Usporedba planova – 4, 5 i 7 snopova, više margina

Br	Tehnika zračenja, tež. snopova i margina	TCP [%] $\alpha=0,30$	NTCP [%]		Doza u prostati [cGy]		
			rektum	mjehur	min.	srednja	maks.
1	4 snopa, box 4 · 1900 cGy, 1,5 cm	87,43	6,75	0,00	7464 98,2%	7609 100,1%	7707 101,4%
2	5 snopova, ekvidist, 5 · 1520 cGy, 1,5 cm	87,17	9,20	0,00	7385 97,2%	7589 99,8%	7669 100,9%
3	7 snopova, ekvidist, 7 · 1086 cGy, 1,0 cm	85,20	2,67	0,00	6970 91,7%	7457 98,1%	7570 99,6%
4	7 snopova, ekvidist, 7 · 1086 cGy, 1,5 cm	86,45	7,49	0,00	7324 96,4%	7533 99,1%	7606 100,1%
5	7 snopova, ekvidist, 7 · 1086 cGy, 2,0 cm	86,61	10,57	0,04	7376 97,0%	7544 99,3%	7624 100,3%

Standardna box tehnika s 4 snopa je povoljnija od tehnika s 5 i 7 snopova. Poboljšanje plana se može postići ručnom optimizacijom ili IMRT tehnikom. Ovisnost o gustoći tumorskih stanica je veoma slaba. Iznos TCP se mijenja od TCP ($\rho = 0,4 \cdot 10^6$) = 99,99% do TCP ($\rho = 15 \cdot 10^6$) = 99,78%.

ZAKLJUČAK

TCP i NTCP modeli daju mogućnost nepristranog uspoređivanja planova za radikalno ozračivanje prostate. Korisna bi bila suradnja klinike s radiobiologima koji bi mogli određivati individualne parametre tkiva.

LITERATURA

- [1] CMS, Inc. XiO Training Guide, 2004. Part Num. 98911
- [2] CMS, Inc. Tumor Control Probability (TCP) and Normal Tissue Complication Probability (NTCP), 2002. technical reference

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [3] Webb S, Nahum A E. A model for calculating tumour control probability in radiotherapy including the effects of inhomogeneous distributions of dose and clonogenic cell density. *Phys Med Biol* 1993;38:652-666
- [4] Wigg R D. *Applied Radiobiology and Bioeffect Planning*. Madison, WI, Medical Physics Publishing, 2001. ISBN 1-930524-05-6
- [5] Burman C, Kutcher G J, Emami B, Goitein M. Fitting of Normal Tissue Tolerance Data to an Analytic Function. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1991;21:123-135
- [6] Brenner J D, Hall J E. Fractionation and Protraction for Radiotherapy of Prostate Carcinoma. *Int J Rad Oncol Biol Phys* 1999;43:1095-101

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

THE ROLE OF RADIOBIOLOGY TISSUE PARAMETERS IN RADIOTHERAPY TREATMENT PLANNING FOR THE RADICAL IRRADIATION OF PROSTATE

*Tomislav Viculin¹, Davorin Bagović¹, Mladen Solarić¹
and Verica Garaj-Vrhovac²*

¹University Hospital for Tumors, Ilica 197, 10000 Zagreb, Croatia

²Institute for Medical Research and Occupational Health,
Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: tomislav.viculin@kzt.hr

The purpose of radiotherapy treatment planning is to deliver therapeutically dose on tumor and tolerant dose to surrounding health tissue. A relevant data about geometry and a kind of tissues are acquired by CT simulator. A treatment planning program XiO calculates absorbed dose in small part of tissue as 0.2 ccm. The dose limits, based on clinical experience are published in terms of maximal permitted dose on part of the organ. A special tools based on radiobiological parameters of tissue are implemented in XiO to facilitate the reviewing of plans.

TCP (Tumor Control Probability) model uses alpha parameter from LQ dose response model and predicts the behaviour of tumor mass after the treatment. The proposed value is $\alpha = 0.44$ but it is found that the results of comparing different plans are better visible if a value $\alpha = 0.30$ is used. For adenocarcinoma, the most frequently prostate tumor, TCP model is not sensitive for time parameters (T_{eff} , T , T_k) and density of tumor cells as well.

NTCP (Normal Tissue Complication Probability) model gives a probability of complication or injury in dependence of total absorbed dose. A model proposed by Lyman, Kutcher and Burman is used. The parameters are selected as the best fit to clinical data [5].

Two examples are discussed. For the fixed beams positions and shapes the total dose was changed from 70 Gy to 80 Gy in steps of 2 Gy (Table 3). NTCP values for bladder are negligible but for rectum are increasing and become unacceptable. Compared are the plans for fixed dose value of 76 Gy and different numbers of beams (4, 5 and 7) and shapes of fields (Table 4). The simple four fields technique named box, demonstrate the very well score both for TCP and NTCP comparing.

The collaboration with radiobiological department could be useful.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

PRETVORBA CT BROJEVA U RELATIVNU ELEKTRONSKU GUSTOĆU ZA POTREBE RADIOTERAPIJSKOG PLANIRANJA

Sead Džubur i Tomislav Viculin

Klinika za tumore, Ilica 197, Zagreb, Hrvatska
e-mail: dzubur@gmail.com

UVOD

Algoritmi za proračun apsorbirane doze u radioterapiji koriste volumen rekonstruiran iz CT slojeva kao ulaznu informaciju o anatomiji pacijenta. Osim za vizualizaciju i lokalizaciju pojedinih anatomskih struktura (tumorski volumen, rizični organi), informacije iz CT slike koriste se i za proračun utjecaja nehomogenosti pacijenta na distribuciju doze [1].

Slika iz CT uređaja dolazi u DICOM formatu, gdje je svaki piksel predstavljen sa 12 bita, te poprima vrijednosti od 0 do 4095. Uvriježeno je da se svakom pikselu pridružuje tzv. Hounsfieldova jedinica (eng. *Hounsfield Unit*, HU), koja se definira kao [2]:

$$HU = \frac{\mu - \mu_{voda}}{\mu_{voda}} \times 1000 \quad (1)$$

HU u tom slučaju poprima vrijednosti od -1000 do 3095. Dakle, CT slika predstavlja distribuciju linearnog atenuacijskog koeficijenta u ravni rekonstrukcije. Poznavanjem debljine rekonstruiranog sloja, dobiva se volumna distribucija atenuacijskog koeficijenta.

Atenuacijski koeficijent ovisi o spektru upadnog zračenja, a kako se u CT snimanju i radioterapiji koriste X-zrake različitih spektara, očito je da ovi podaci nisu izravno primjenjivi u proračunu apsorbirane doze iz snopa linearnog akceleratora. Konvolucijski/superpozicijski algoritam, onako kako je implementiran u sustavu za planiranje XiO 4.3.1, tvrtke CMS, koji je u uporabi u Klinici za tumore, koristi distribuciju elektronske gustoće kao ulazni podatak za proračun doze u pacijentu [3].

Kako u praksi postoje razlike između CT uređaja (spektar zračenja rendgenske cijevi, osjetljivost detektora, rekonstrukcijski algoritmi...), potrebno je odrediti odnos između HU za dani mod rada CT uređaja i elektronskih gustoća. Na CT uređaju koji se koristi u Klinici za tumore (Somatom Sensation Open, tvrtke Siemens), korisnik može birati parametre napona cijevi, struje kroz cijev i konvolucijskog kernela. Kako posljednja dva parametra utječu isključivo na

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

razinu šuma i MTF, potrebno je izmjeriti konverziju HU u elektronske gustoće samo za raspoložive vrijednosti napona RTG cijevi.

MATERIJAL I METODE

Mjerenja su vršena pomoću Mini CT QC fantoma tvrtke Fluke (slika 1). Fantom se sastoji od kućišta od pleksiglasa sa raspoloživih šest rupa za umetke različitih elektronskih gustoća [5]. Dostupno je bilo ukupno 11 umetaka. Fantom je debljine 2,5 cm (1 inč), a kako je debljina polja detektora u z-smjeru 28,8 mm, korišten je samo sekvencijski mod CT snimanja, kako bi se izbjegli artefakti od djelomičnog prikaza volumena. Parametri snimanja dani su u tablici 1.



Slika 1. CT QA fantom, postavljen na stolu CT-a prilikom mjerenja

Tablica 1. Parametri snimanja fantoma na CT uređaju

Mod	Sekvencijski, 12 slojeva, 2,4 mm debljina sloja
Napon cijevi	80 kV, 100 kV, 120 kV, 140 kV
Struja	Dinamičko moduliranje struje, srednja vrijednost 113 mA
Konvolucijski kernel	B10s

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Analiza slika provedena je pomoću programa ImageJ [4].

Značaj ovih podataka provjeren je na sustavu za proračun doze, te su uspoređene volumne distribucije doze za tipičan radioterapijski plan za područje prostate.

REZULTATI

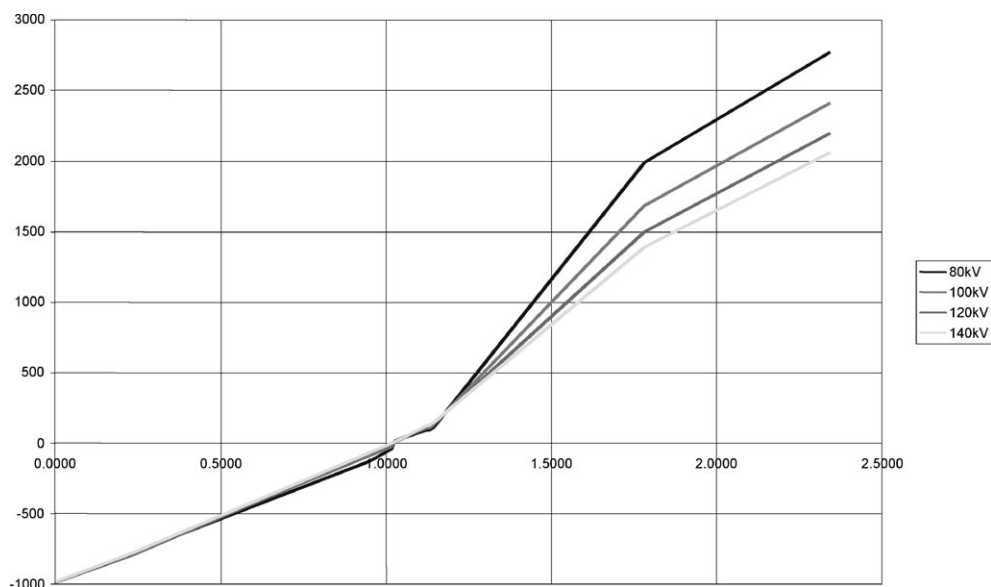
Dobivena veza HU i elektronskih gustoća za četiri vrijednosti napona RTG cijevi dana je u tablici 2 i grafički je prikazana na slici 2.

Tablica 2. Ovisnost HU o elektronskoj gustoći za četiri dostupne vrijednosti napona RTG cijevi na CT uređaju.

	Rel ED	80 kV	100 kV	120 kV	140 kV
Zrak	0,0009	-979	-978	-978	-978
Pluća Ekv.	0,2359	-777	-778	-784	-776
Polietilen	0,9491	-125	-86	-73	-66
Polistiren	1,0179	-42	-21	-9	-1
Plastic Water	1,0272	16	15	14	14
Najlon	1,1273	92	111	122	129
Polikarbonat	1,1308	96	114	124	130
Pleksiglas	1,1464	118	136	143	150
Kosti Ekv.	1,7808	1990	1685	1504	1390
Aluminij	2,3427	2772	2415	2199	2062

Dobivene vrijednosti upisane su u sustav za planiranje, te je izvršen proračun tipičnog radioterapijskog plana uz korištenje dobivenih CT-ED ovisnosti i uspoređen s proračunom gdje je cijeli volumen pacijenta ekvivalentan vodi. Za primjer, korišten je radioterapijski plan zračenja prostate. Usporedba broja monitorskih jedinica (MU) na akceleratoru za oba slučaja dana je u tablici 3.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 2. Grafički prikaz ovisnosti HU o elektronskoj gustoći za četiri dostupne vrijednosti napona RTG cijevi.

Tablica 3. Usporedba vrijednosti MU dobivenih proračunom doze bez i s uporabom korekcije na elektronske gustoće za radioterapijski plan prostate.

	AP	PA	LL	LD
Bez ED korekcije	53	54	67	68
S ED korekcijom	54	53	70	72

Na ovom primjeru radioterapijskog plana prostate vidi se da kod AP i PA polja koja prolaze uglavnom kroz meko tkivo nema značajne razlike u dobivenim MU vrijednostima. Međutim, na lateralnim poljima koja prolaze kroz kosti kukova, razlika je značajna.

ZAKLJUČAK

Primjena korekcije na elektronske gustoće prisutna je već dugi niz godina u komercijalno dostupnim sustavima za radioterapijsko planiranje. Međutim, zbog razlika između CT uređaja dostupnih na tržištu, potrebno je odrediti ovisnost HU o elektronskoj gustoći. Kao što se vidi iz gornjih primjera, razlike u

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

brojevima monitorskih jedinica dobivenih proračunom mogu iznositi i do 3%, što se smatra značajnim odstupanjem.

Stoga, mjerenje ove ovisnosti za CT uređaj koji će se koristiti dnevnoj rutini planiranje obavezno je prije puštanja sustava za planiranje u pogon. Nadalje, stabilnost ove ovisnosti potrebno je provjeravati pri redovitim kontrolama cijelog sustava planiranja.

LITERATURA

- [1] Ahnesjö A, Aspradakis M. Dose calculations for external photon beams in radiotherapy, *Phys Med Biol* 1999; 44: R99-R155.
- [2] Hsieh J. *Computer Tomography: Principles, Design, Artifacts and Recent Advances*, SPIE, 2003
- [3] CMS XiO Beam modeling guide (CD dokumentacija isporučena uz sustav za planiranje).
- [4] ImageJ internet stranice na adresi <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- [5] Nuclear Associates 76-430 Mini CT QC Phantom User's Manual, Fluke Biomedical, 2005

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CONVERSION OF HOUNSFIELD UNITS TO RELATIVE ELECTRON DENSITIES FOR COMMISSIONING OF A RADIOTHERAPY TREATMENT PLANNING SYSTEM

Sead Džubur and Tomislav Viculin

University Hospital for Tumors, Ilica 197, Zagreb, Croatia
e-mail: dzubur@gmail.com

Radiotherapy dose calculation algorithms use a series of CT images as input information on patient anatomy and geometry. Information contained in CT images is used to calculate the inhomogeneity of the patient and its influence on absorbed dose distribution. As CT scanner provides data on distribution of attenuation coefficient for the X-ray spectrum used during scanning, it is necessary to convert these values to electron densities for use in dose calculation algorithm.

To measure the conversion curve, a Fluke Biomedical CT QA phantom was used, with overall 11 available samples of known electron densities. Phantom was scanned with four available X-ray tube voltages and HU was measured on available samples. Obtained look-up tables were entered in the treatment planning system.

A set of sample treatment plans was generated, one with the look-up table applied and one without inhomogeneity correction. Significant difference (3%) was observed on beams passing through the high-density structures.

Generation of HU to electron density conversion table is an important part of commissioning of modern radiotherapy treatment planning system, and its constancy should form a part of standard QA procedures for treatment planning process.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

PATIENTS MAMMOGRAPHIC DOSE SURVEY IN A SAMPLE OF SLOVAK MAMMOGRAPHY DEPARTMENTS

Denisa Nikodemová¹, Martina Horváthová² and Ľubomíra Gbelcová²

¹Slovak Medical University, Limbova 12, 833 03 Bratislava, Slovakia

²Trnava University, Faculty of Health and Social Care,
Hornopotočná 23, Trnava, Slovakia
e-mail: denisa.nikodemova@szu.sk

INTRODUCTION

Breast cancer is the most frequent cancer and the most frequent cause of cancer induced deaths in Europe [3]. Demographic trends indicate a continuing increase in this substantial public health problem (Figure 1) [5].

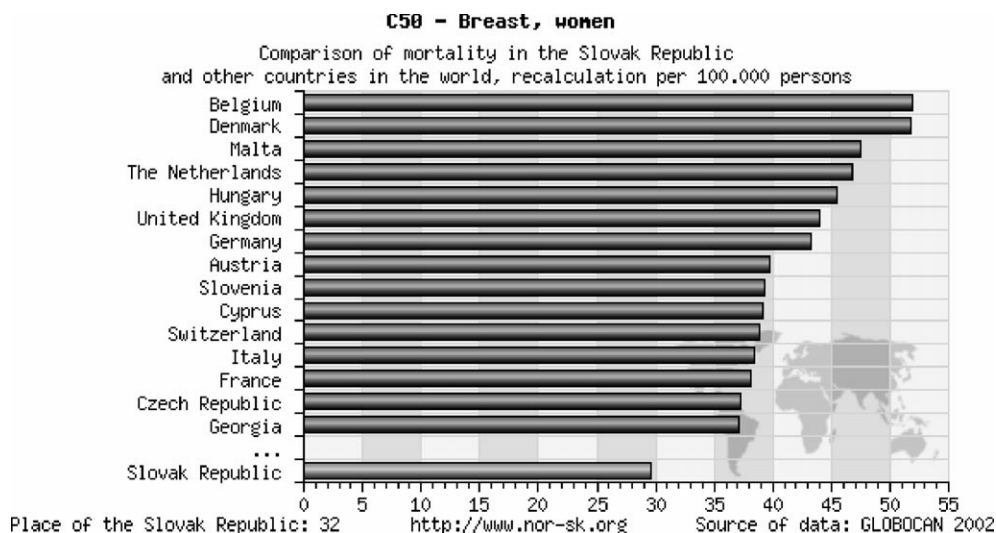


Figure 1. Comparison of breast cancer induced mortalities in various countries
(calculation for 100 000 person)

Systematic early detection, effective diagnostic pathways and high quality services have the ability for lowering the breast cancer mortality rates and for reducing the burden of this disease in the population [1]. The widespread use of mammography for early breast cancer detection is highly

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

accepted all over the world. For achievement of a successful national mammography programme in Slovakia, a national QA/QC mammography system was introduced. Coming from alarming values of increase of malignant neoplasm of breast in Slovakia (Figure 2) [6] a national mammography audit has been initiated, performed in three runs (Figure 3) and working in three phases [6]:

- assessment of existing status of practice and equipment performance, as well as education and training of radiologists and radiographers of 42 mammography departments;
- implementation of technical quality programme and patient dose evaluation;
- clinical image evaluation.

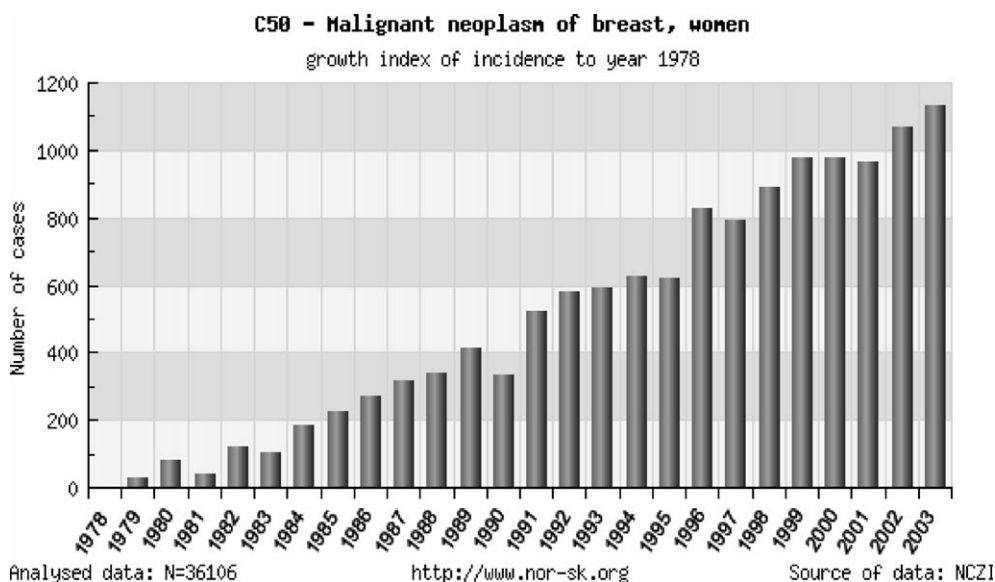


Figure 2. Incidence of breast cancer of Slovak women in the years 1978-2003

Preventive mammography in spite of being a reasonable examination, which represents health benefit for patient, exceed also the health risk [9].

In 1991-1996 mammographic examination created 1.3% from all medical radiodiagnostic expositions made in Slovakia [7].

In 2005 there were realized 241 208 mammographic examinations, 140 798 of them were noticed like preventive examinations. In 2006 the number of all mamographic examinations in Slovakia increased to 271 755 and of them 156 199 were preventive mammographic examinations [5].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

In our presentation we tried to establish the average absorbed glandular doses of patients undergoing mammography examinations in 10 selected departments and to compare the obtained results with European diagnostic reference values. The obtained values were used for the proposal of a new national diagnostic reference value for mammography examinations.

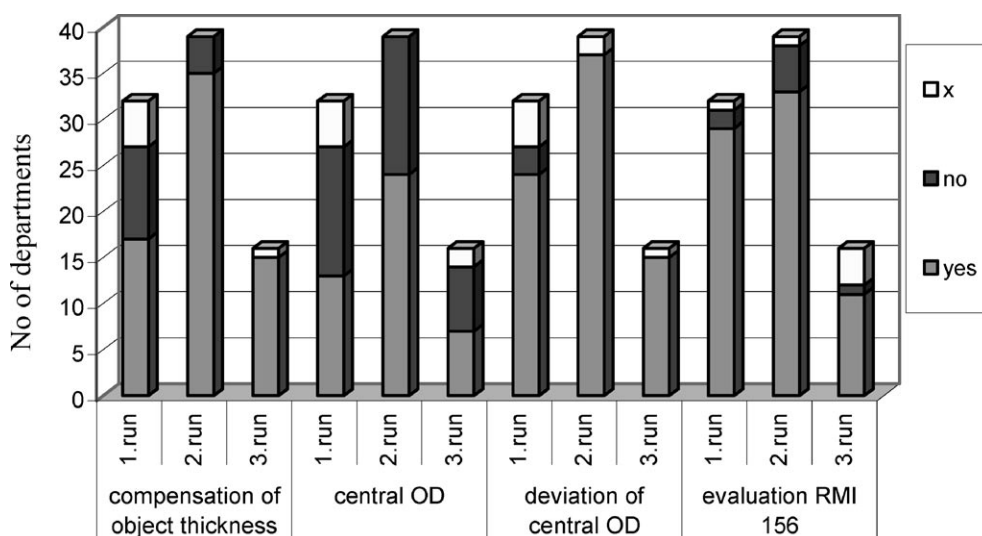


Figure 3. Results collected during 6 month period of every run of the quality audit

MATERIAL AND METHODS

Our study continued from July 2007 to February 2008 in 10 mammographic departments in SR. The chosen group of patients consisted from 563 women in the age of 24-97 years with average age 53 years. Largest age group has been in the range 50-59 years. The number of expositions was 2087, summarizing all MLO and CC expositions of left and right breasts. Biggest number of images created the expositions to patients in the age 50-59 years.

Average value of compression power was from 7N (SD = 0.14) to 18N (SD = 1.19). Values of exposition time recorded 5 from 10 departments and average values were from 0.3 s (SD = 0.12) to 1.8 s (SD = 0.08).

Mostly used combination of filters has been Mo/Mo with 1418 examinations (68%), combination Mo/Rh with 615 examinations (29%), combination W/Rh with 51 examinations (2%) and in 3 examinations was used combination Rh/Rh (less than 1%).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RESULTS

Average compression thickness of breast for all chosen groups is 50.4 cm. In MLO expositions is average compression thickness equal to 50 cm and in CC expositions the average compression thickness is 48.5 cm (Figure 4).

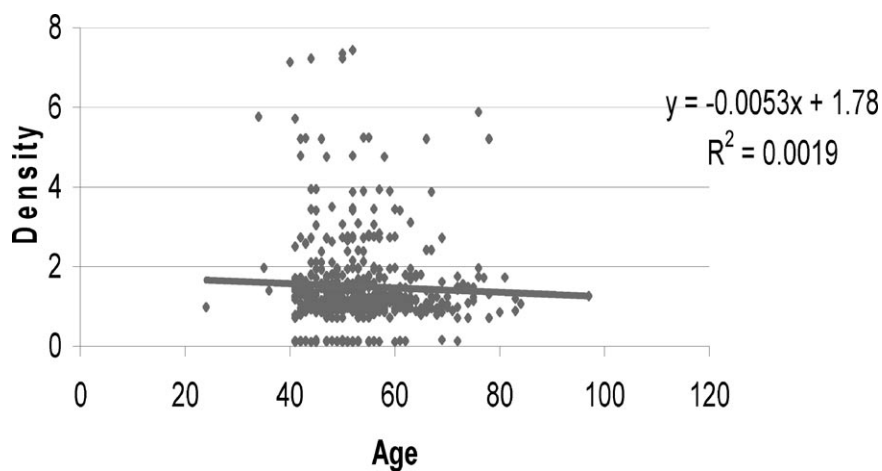


Figure 4. Dependence of age and glandularity for all departments

Average values of mAs were from 27 mAs (SD = 9.7) to 141 mAs (SD = 48.8). Dependence of thickness of the breast to the mAs (Figure 5) shows an increase of breast thickness with increasing of the mAs, with the deviation R^2 , which is different between departments ($R^2 = 0.06$ for department 8, $R^2 = 0.85$ for department 3).

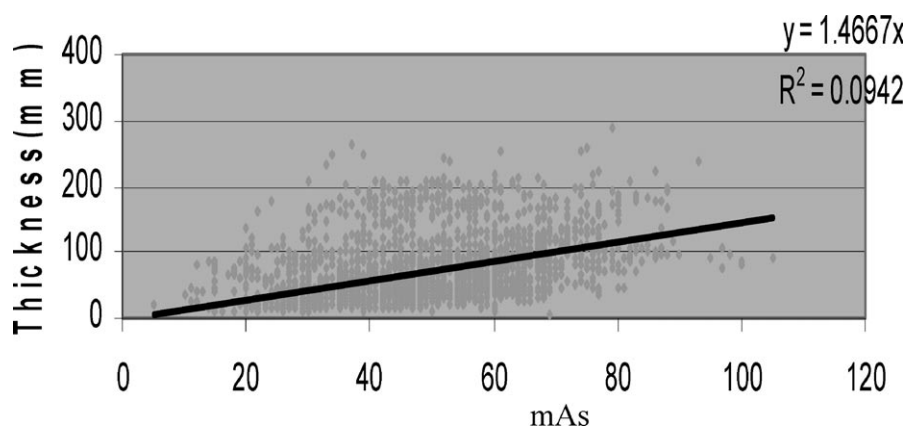


Figure 5. Thickness of the breast as the function of mAs

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CONCLUSION

Average glandular dose in breast of investigated women was in the range from 0.85 mGy (SD = 0.9) to 3.57 mGy (SD = 2.3). Averaging the values of glandular doses in different departments and using the third quartil of the obtained results (Figure 6), we could propose a national diagnostic reference level equal to 2.5 mGy, instead of until now used value of 3 mGy, by the average thickness of the breast ~6 cm. This conclusion is in agreement with the advice of the new European guidelines for QA in breast Ca screening and diagnosis (Table 1) [2].

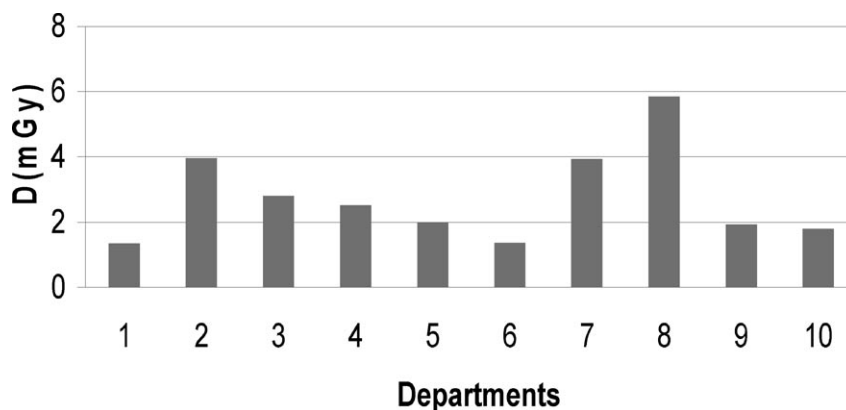


Figure 6. 3rd quartil of absorbed doses

Table 1. Changes in reference levels proposed by new EU guidelines 2006

PMMA thickness (cm)	Equival. thickness of breast (cm)	Diagnostic reference value (mGy)	
		acceptable	achievable
2	21	<1	<0.6
3	32	<1.5	<1
4	45	<2	<1.6
4.5	53	<2.5	<2
5	60	<3	<2.4
6	75	<4.5	<3.6
7	90	<6.5	<5.1

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

REFERENCES

- [1] EUROPEAN COMMISSION: European guidelines for quality assurance in mam-mography screening, 1996, 2nd edition, Belgium, 1996, s.II-D-19 – II-D-20, ISBN 92-827-7430-9
- [2] EUROPEAN COMMISSION: European guidelines for quality assurance in bre-ast cancer screening and diagnosis, 2006, 4nd edition, Belgium, 2006, s.158-159, ISBN 92-79-01258-4
- [3] IAEA: Dosimetry in diagnostic Radiology. An international code of practice. 2005, Vienna, 2005, s.101-130, ISBN: 92-0-115406-2
- [4] Lehotská V, Príkazská M. 2006. Mamografia – jej význam, možnosti, technické trendy, súčasný stav a perspektíva. Onkológia 2006;1: 19-21.
- [5] Národný onkologický register SR (on line). Dostupné na <http://www.nor-sk.org> (citované dňa 12.3.2008)
- [6] Nikodemová D, Horváthová M, Príkazská M. et al. Implementácia programu za-bezpečenia kvality do praxe mamografických pracovísk v SR – Výsledky auditu. Lekársky obzor 2006;55/7 – 8: 289-294
- [7] UNITED NATIONS. Sources and effects of ionizing radiation. 2000, Volume1, United Nation Publication, 2000, p.360, ISBN 92-1-142238-8
- [8] Young K C. Radiation doses in the UK trial of breast screening in woman aged 40-48 years. The British Journal of Radiology 2002; 75: 362-370
- [9] Vestník MZ SR, ročník 53 zo dňa 24. novembra 2005 (26494/2005) o odbornom usmernení pre vykonávanie preventívnych mamografických vyšetrení

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

IMPLEMENTACIJA PROTOKOLA ZA KONTROLU KVALITETA U MAMOGRAFIJI: ISKUSTVA IZ SRBIJE

Olivera Ciraj Bjelac, Duško Košutić, Danijela Aranađić i Miloško Kovačević
Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja
i zaštitu životne sredine, M. P. Alasa 12-14, Vinča, Beograd, Srbija
e-mail: ociraj@vin.bg.ac.yu

UVOD

Mamografija je metoda izbora za rano otkrivanje karcinoma dojke. U Srbiji, mamografija se za sada sprovodi isključivo klinički iako postoje ozbiljne namere za uvođenje mamografije kao skrining metode. Trenutno je u upotrebi preko 60 mamografskih rendgen-aparata, pomoću kojih se proizvede preko 70000 mamografija godišnje. Broj mamografskih rendgen-aparata u Srbiji uvišestručen je u proteklih deset godina.

Iako je primena izvora zračenja u medicini u Srbiji regulisana Zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja i nekolicinom pratećih pravilnika [1], regulatorni okvir još uvek ne obuhvata oblast Osiguranja i Kontrole kvaliteta (QA/QC) u dijagnostičkoj radiologiji uključujući kliničku i skrining mamografiju. Karakteristike mamografskih rendgen-aparata proveravaju se na godišnjem nivou od strane ovlašćenih tehničkih servisa. Ovakve kontrole su do sada obuhvatale nekoliko osnovnih parametara rendgenske cevi i generatora, dok proces obrade filma, pacijentne doze, uslovi posmatranja i kvalitet slike nije evaluiran [2]. Jedina do sada sprovedena studija, na uzorku od šest bolnica, ukazala je na brojne tehničke i organizacione probleme u funkcionisanju mamografskih jedinica i njihovu neadekvatnost za skrining i kliničku mamografiju u Srbiji [3].

Mamografija je, u tehničkom smislu, jedan od najzahtevnijih pregleda, a kvalitet slike i doza za pacijenta direktno zavise od karakteristika dijagnostičke opreme i veštine operatera. Cilj svakog mamografskog pregleda a posebno skrininga, jeste rano otkrivanje karcinoma dojke, odnosno efikasna detekcija malih lezija [4,5,6,7]. Neto korist od ovog pregleda je pozitivna isključivo ukoliko je kvalitet slike konstantan i dovoljan da omogući vizuelizaciju malih detalja. Sistematična i rigorozna Kontrola kvaliteta (QC) je način da se obezbedi visok kvalitet dijagnostičke informacije uz minimalan mogući rizik za pacijenta.

Cilj ovog rada je preliminarne evaluacija mamografske prakse u Srbiji, imajući u vidu ukupan broj pregleda na godišnjem nivou, strukturu postojeće mamografske opreme kao i činjenicu da se određen broj pregleda sprovodi kod žena bez kliničkih simptoma.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MATERIJAL I METODE

Kontrola kvaliteta fizičkih i tehničkih aspekata mamografskog dijagnostičkog lanca garantuje proizvodnju dijagnostičkih slika zadovoljavajućeg kvaliteta pomoću kojih je efikasno moguće detektovati male lezije, stabilnost dijagnostičke informacije, kao i doze za dojk u skladu sa ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principom [4].

Praktična realizacija QA/QC programa mora uzeti u obzir sve medicinske, organizacione i tehničke aspekte mamografije. Detaljne preporuke vezane za implementaciju QA/QC u mamografiji date su u dokumentu *“European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis”* [6]. Koristeći ovaj dokument kao osnovu i uzimajući u obzir specifičnosti mamografske prakse u Srbiji kao i raspoložive resurse, razvijen je Protokol za QC u mamografiji i testiran u pet reprezentativnih mamografskih jedinica različitih generacija i radnih opterećenja.

U cilju uspešne implementacije QA/QC programa neophodno je kontrolisati niz parametara koji utiču na funkcionisanje mamografske jedinice. Skup ovih parametara sa metodama, frekvencijom testiranja i kriterijumima prihvatljivosti sačinjava QC protokol. Jednostavnije testove realizuje lokalno bolničko osoblje, dok složenije testove sprovodi medicinski fizičar sa odgovarajućim iskustvom i obukom za QC u mamografiji. Generička lista parametara sadrži sledeće kategorije testova:

- Vizuelna inspekcija, mehanička stabilnost i ambijentalni uslovi (prisustvo oštih ivica, temperatura, vlažnost vazduha, položaj kaseta i filmova, uređaj za kompresiju);
- Proces obrade filma (ambijentalna temperatura, vlažnost vazduha, prisustvo bele svetlosti, temperatura razvijaa, vreme razvijanja, senzimetrija, prisustvo artefakata, ambijentalna doza);
- Automatska kontrola ekspozicije – AEC (dugoročna stabilnost, kompenzacija za različite debljine absorbera, vreme ekspozicije, kontrola optičke gustine (OD));
- Rendgenska cev i generator (cureće zračenje, veličina fokusa, tačnost i repetabilnost visokog napona, debljina poluslabljenja, tačnost i repetabilnost radijacionog izlaza, i vremena ekspozicije);
- Sistem za kolimaciju snopa;
- Rešetka za sprečavanje rasejanog zračenja;
- Prijemnik slike (osetljivost kaseta, kontakt film-pojačivačka folija, zaprivenost kaseta);
- Kvalitet slike (na osnovu slike test objekta, analiza odbačenih snimaka);

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- Uslovi posmatranja filma (ambijentalno svetlo, sjajnost i homogenost negatoskopa);
- Doza (srednja glandularna doza).

Za određivanje karakteristika rendgenske cevi i generatora korišćen je multimetar Barracuda sa poluprovodničkim detektorom MPD i jonizacionom komorom Magna 1 cm³ (RTI Electronics, Molndal, Sweden). Kvalitet slike ocenjen je pomoću test objekta TOR MAS (Leeds Test Object Ltd, Leeds, UK). Ovaj test objekat predstavlja ploča od perspeksa u obliku slova D sa ugrađenim strukturama za kvantifikaciju rezolucije visokog i niskog kontrasta, vizuelizacije malih detalja (mikrokalcifikacije), detektabilnosti detalja niskog kontrasta karakteristične krive prijemnika slike [7]. OD u referentnim tačkama izmerena je denzitometrom Lullus 1.21 D (Wellhofer, Scanditronix, Germany), dok je za određivanje stabilnosti uređaja za obradu filma korišćen senzitometar Lullus 1.21 S (Wellhofer, Scanditronix, Germany). Intenzitet ambijentalnog svetla i sjajnost uređaja za posmatranje filma proverena je vizuelno, s obzirom da odgovarajuće merilo nije bilo na raspolaganju.

Protokol se odnosi isključivo na analogne mamografske rendgen-aparate koji kao prijemnik slike koriste kombinaciju film-pojačivačka folija. U Srbiji trenutno ne postoji ni jedan digitalni mamograf u tehnologiji stimulisane fotofosforescencije (CR) ili direktne digitalizacije (DDR). S obzirom da se planira instalacija digitalnih mamografskih rendgen-aparata za potrebe budućeg skrining programa, a imajući u vidu specifičnosti i značajne razlike u odnosu na analogne dijagnostičke sisteme, u toku je razvoj posebnog QC protokola za digitalnu mamografiju.

REZULTATI

Rezultati su ukazali na značajne devijacije parametara mamografskih rendgen-aparata u odnosu na zahteve iz QC protokola. Iako je u svim bolnicama korišćena namenska kombinacija film-pojačivačka folija, u četiri od pet bolnica fimovi su razvijani na uređajima opšte namene bez adekvatne kontrole stabilnosti. AEC je korišćena u tri slučaja, dok su u preostala dva parametari ekspozicije ručno birani (AEC je neispravan/ne postoji). Izmerena vrednost OD u referentnoj tački kretala se od 1.2 do 2.8 iako je preporučena vrednost 1.4-1.9 [7]. Niska vrednost OD može rezultovati suboptimalnom vizualizacijom klinički relevantnih detalja, što je potvrđeno slikama test objekta TOR MAS.

Pokazano je da su rendgenska cev i generator najstabilniji elementi mamografskog dijagnostičkog lanca, s obzirom da su u većini slučajeva zahtevi iz QC protokola bili ispunjeni. Osnovni problem predstavlja sistem za obradu i posmatranje filma. Samo u jednom se redovno primenjuje senzitometrijski test,

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tabela 1. Odabrani QC parametri u pet mamografskih jedinica

Mamografska jedinica	Mamograf	Folija Film	Trazvijača [oC]	U* [kV]	I-t* [mAs]	MGD [mGy]	Referentna OD*	HCR** [lp/mm]
A	Hologic Lorad M-IV	Agfa Kodak	34	28	89	2.8	1.4	11
B	Hologic Lorad M-IV	Kodak Kodak	36	28	61	1.8	1.8	8.9
C	Planmed Sophie	Agfa Fuji	36	27	105	2.2	1.2	10
D	Siemens Mammomat 1000	CAWO Kodak	34	28	89	1.5	2.8	7.1
E	Siemens	Agfa Agfa	30	28	25	0.12	1.4	8.0

*odnosi se na fantom of perspeksa debljine 45 mm

**rezolucija visokog kontrasta

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

dok je u dve od pet bolnica uređaj za posmatranje filmova prilagođen specifičnostima mamografske dijagnostike u pogledu sjajnosti ($3000-6000 \text{ cd/m}^2$). Takođe, primećeno je da u većini slučajeva pojačivačke folije i filmovi nisu spektralno usaglašeni, da broj kaseti nije dovoljan za funkcionisanje mamografske jedinice, da se pojačivačke folije ne menjaju redovno i da su evidentna oštećenja na njima. Analiza broja odbačenih filmova sprovedena u tri bolnice sa najvećim radnim opterećenjem tokom dve radne nedelje, pokazala je da je procenat odbačenih filmova manji od 2%, što ukazuje na visok nivo tolerancije u pogledu kvaliteta slike od strane radiologa. U nekoliko bolnica utvrđeno je prisustvo nečistoća na kasetama i radnim površinama. Osim u jednom, izolovanom, slučaju QC nije zastupljena u bolnicama ni u jednom elementu. Rezultati odabranih testova iz QC programa prikazani su u Tabeli 1.

Većinu fizičkih parametara je moguće korigovati angažovanjem i efikasnom saradnjom radiologa, radioloških tehničara, medicinskih fizičara i servisnih inženjera. Primer jedne mamografske jedinice (E u Tabeli 1) ukazao je da određen broj rendgen-aparata ne ispunjava uslove ni za kliničku ni za skrining mamografiju, usled ograničenih tehničkih kapaciteta (nedostatak AEC, ručna kompresija). Redovna implementacija testova u definisanim vremenskim intervalima je ključna.

ZAKLJUČAK

Rezultati preliminarne analize mamografske prakse u Srbiji ukazali su na potrebu za optimizacijom i edukacijom svih članova multidisciplinarnog tima koji učestvuje u dijagnostičkom lancu. Sama implementacija QC protokola bila je instruktivna za sve učesnike a njegova sistematična implementacija na nacionalnoj skali obezbedila bi pouzdano i kvalitetno funkcionisanje mamografskih jedinica, visok kvalitet dijagnostičke informacije i minimalan rizik za pacijente. Na ovaj način moguće je utvrditi i mesta varijacija i nestabilnosti u mamografskoj praksi. Na osnovu rezultata pilot istraživanja, utvrđeno je da se protokol baziran na dokumentu "European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis" može uspešno primeniti u Srbiji.

LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, Službeni list SRJ 46/96.
- [2] Ciraj O, Kosutic D, Kovacevic M, Markovic S. A survey of patient doses from conventional diagnostic radiology examinations: first results from Serbia and Montenegro, Physica Medica 2005; 21: 159-163.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [3] Tomašević M, Spasić Jokić V. Rendgensko zračenje i zaštita u mamografiji. Srpsko lekarsko društvo, Beograd, 2002. ISBN-86-81679-64-3
- [4] European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. EUR 16260 EN, European Communities, Luxembourg, 1996.
- [5] Vassileva J, Avramova-Cholakova S, Dimov A, Lichev A. Implementation of the European Protocol for Quality Control of the Technical Aspects of Mammography Screening in Bulgaria. Rad Prot Dosim 2005;114: 403-405.
- [6] European Commission. European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis. Fourth edition, European Communities, Luxembourg, 2006.
- [7] Institute for Physics and Engineering in Medicine, The commissioning and routine testing of mammographic x-ray systems, IPEM Report 89, IPEM, York, UK, 2005, ISBN-1903613213

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

IMPLEMENTATION OF QUALITY CONTROL PROTOCOL IN MAMMOGRAPHY: A SERBIAN EXPERIENCE

*Olivera Ciraj Bjelac, Duško Košutić, Danije Aranadić
and Miloško Kovačević*

Vinca Institute for Nuclear Sciences, Radiation and Environmental Protection
Laboratory, M. P. Alasa 12-14, Vinca, Belgrade, Serbia
e-mail: ociraj@vin.bg.ac.yu

Mammography is method of choice for early detection of breast cancer. In Serbia, mammography is performed only clinically, although there is a long term plan to introduce mammography as screening method. Currently there are 60 mammography units in practice in Serbia, resulting with 70 000 mammographies annually.

The purpose of this paper is preliminary evaluation of the mammography practice in Serbia, having in mind the annual number of examinations and fact that part of examination is performed on women without any clinical signs. For pilot implementation of Quality Control (QC) protocol in mammography, five hospitals with highest workload have been selected, representing the typical mammography practice in Serbia. Developed QC protocol, based on *European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis*, actual practice and resources, includes equipment testing and maintenance, staff training and QC management and allocation of responsibilities. Subsequently, it should be applied on the national scale. The survey demonstrated considerable variations in technical parameters that affect image quality and patients doses. Mean glandular doses ranged from 0.12 to 2.8 mGy, while reference optical density ranged from 1.2 to 2.8. Main problems were associated with film processing, viewing conditions and optical density control.

The preliminary survey of mammography practice highlighted the need for optimization of radiation protection and training of operating staff, although the survey itself was very valuable learning process for all participants. Furthermore, systematic implementation of QC protocol should provide reliable performance of mammography units and maintain satisfactory image quality and keep patient doses as low as reasonably practical.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DOZIMETRIJA U INTERVENCIJSKOJ RADIOLOGIJI – PROCJENA EFEKTIVNE DOZE

*Saveta Miljanić¹, Nico Buls², Peter Clerinx², Hannu Jarvinen³,
Denisa Nikodemová⁴, Maria Ranogajec-Komor¹ i Francesco d'Errico⁵*

¹Institut "Ruđer Bošković", Bijenička c. 54, 10000 Zagreb, Hrvatska

²UZ Brussels, Department of Radiology, Laarbeeklaan 101,
B-1090 Brussels, Belgium

³Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), P.O.Box 14,
FIN-00881 Helsinki, Finland

⁴Slovak Medical University, Limbová 14, Bratislava, Slovakia, 83303

⁵Università degli Studi di Pisa, Pisa, Italy and Yale University,
New Haven, CT USA
e-mail: saveta@irb.hr

UVOD

U postupcima intervencijske radiologije pacijenti i osoblje mogu primiti značajne doze. Doze koje prima osoblje mjere se osobnim dozimetrima i treba ih iskazati kao efektivne doze [1,2].

Mjerenje osobnog doznog ekvivalenta $H_p(10)$ jednim dozimetrom koji se nalazi nepokriven iznad olovne pregače može dovesti do znatnog precjenjivanja efektivne doze, dok mjerenje s dozimetrom ispod pregače može voditi podcjenjivanju. U cilju postizavanja veće točnosti preporučuje se mjerenje doza s dva dozimetra, jednim iznad, a drugim ispod pregače ("double dosimetry" odnosno "dvostruka dozimetrija"). Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (International Commission on Radiological Protection, ICRP) preporučuje da odjeli intervencijske radiologije uvedu praksu nošenja dva dozimetra [3].

U okviru EURADOS-a osnovana je Radna grupa 9 ("Radiation protection dosimetry of medical staff" – zaštita od zračenja medicinskog osoblja) projekta CONRAD koji je koordinirana aktivnost koju podržava Europska komisija unutar svojeg 6. okvirnog programa [4]. Cilj radne grupe je analizirati i testirati eksperimentalno i računski algoritme koji se upotrebljavaju za određivanje efektivne doze u postupcima u intervencijskoj radiologiji. Rezultati će se upotrijebiti za donošenje općih smjernica za osobnu dozimetriju u tim postupcima.

Dosadašnji rezultati publicirani su u radu u kojem je dan pregled prakse dozimetrije u intervencijskoj radiologiji zemalja koje su sudjelovale na ovom projektu, te rezultati širokog literaturnog pregleda o algoritmima koji se koriste

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

za određivanje efektivne doze. Točnost odabranih najnovijih algoritama ispitana je računom koji se osniva na do sada objavljenim studijama [5]. U ovom radu daje se literaturni pregled algoritama za određivanje efektivne doze kao i računsko testiranje odabranih novijih algoritama.

ALGORITMI ZA RAČUNANJE EFEKTIVNE DOZE

Pregled literature obuhvatio je oko 140 publikacija s ukupno 14 različitih algoritama koji su sumirani u Tablici 1.

Rani algoritmi koji su uzimali u obzir dvostruku dozimetriju [6-8], osnivaju se na određivanju "ekvivalenta efektivne doze" (*EDE*) definiranim u ICRP Publikaciji 26 [9]. Zaštita štitnjače nije razmatrana.

Instruktivan primjer kako je određen utjecaj nošenja pregače na *EDE* i postupak određivanja algoritma dan je u referenci [6]. Autori su pretpostavili jednolično polje zračenja, te da pregača štiti trup ostavljajući izloženima glavu, vrat, ruke i noge. Dalje su pretpostavili da je dozni ekvivalent u zaštićenim organima H_u (doza mjerena ispod pregače), a za nezaštićene organe H_o (doza mjerena iznad pregače). Težinske faktore za određene organe, w_T , uzeli su iz ICRP Publikaciji 26 [9]. U opisanoj situaciji gonade, prsa i pluća su zaštićeni dok je štitnjača nezaštićena. Analizirali su zaštićene i nezaštićene organe zajedno s njihovim težinskim faktorima i iz tih razmatranja proizašao je izraz u prvom retku Tablice 1.

1991. g. ICRP Publikacija 60 [10] izdaje novi set težinskih faktora, a naziv "ekvivalenta efektivne doze" zamijenjen je nazivom "efektivna doza" (*E*). (Najnoviji težinski faktori dani su u ref. [11].) Nakon 1991. slijede algoritmi: Wambersie i Delhove, 1993. [12] uvode konzervativan algoritam osnovan na mjerenju doza sa dva dozimetra. Rosenstein i Webster, 1994 [13] za svoj algoritam koriste eksperimentalne podatke dane u radu Faulknera i Marshalla, 1993. [14]. Huyskens i suradnici, 1994 [15]. definiraju dva korekcijska faktora, djeljitelj (*D*) i množitelj (*M*). Djeljitelj je broj s kojim se očitavanje dozimetra iznad pregače treba dijeliti da bi se dobila efektivna doza, a množitelj je broj kojim se očitavanje dozimetra ispod pregače treba množiti da bi se dobila efektivna doza. Za fluoroskopsku intervencijsku praksu, oni predlažu $D=5$ i $M=3$ (Tablica 1). Na osnovi radova publiciranih do 1993, NCRP Report No. 122 [16] za izračunavanje *E* preporučuje $D=21$ u slučaju da se jedan dozimetar nosi na okovratniku iznad pregače, a za dvostruku dozimetriju izraz koji su dali Rosenstein i Webster, 1994 [13].

Niklason i suradnici, 1994. [17] predlažu novi algoritam koji je neovisan o debljini olovne pregače i uzima u obzir zaštitu štitnjače. Padovani i suradnici 2001. [18] zaključuju da Niklasonov algoritam zadovoljava unutar eksperimen-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

talnih nesigurnosti danih u NCRP Report 122 [16], koji prihvaća precjenjivanje E za faktor 3 kada se nosi jedan dozimetar, odnosno 2 kada se nose dva dozimetra.

Švicarski pravilnik o osobnoj dozimetriji, 1999. [19] zahtijeva dvostruku dozimetriju za postupke koji dovode do izlaganja visokim dozama i uvodi svoj algoritam za računanje efektivne doze. McEwan, 2000 [20] računa algoritme za dva dozimetra koji se nose na ovratniku i na trupu (ispod pregače), a također i za samo jedan dozimetar. On nije pretpostavio zaštitu štitnjače, a također je pretpostavio da je $H_{ovratnik}$ dobra procjena doze u štitnjači. Franken i Huyskens, 2002. [21] napravili su modelno računanje za različite praktične situacije, sa i bez olovne pregače i za različite modele pregača (različito podešavanje i debljine). Zaključili su da je model pregače i njeno podešavanje često mnogo važnije od debljine olova. Njihovi jednostavni izrazi dani u Tablici 1 konstruirani su na takav način da je efektivna doza procijenjena što je točnije moguće ali nikad podcijenjena.

Za procjenu efektivne doze Sherbini i DeCicco, 2002. [22] koriste računanje doze u antropomorfnom matematičkom fantomu za različite uvjete zračenja metodom Monte Carlo (MC). Algoritam Von Boetticher i suradnici 2003. [23] i Lachmund, 2005. [24] osniva se na mjerenjima profesionalnih izlaganja zračenju u dijagnostičkoj radiografiji. Clerinx i suradnici, 2008. [25] izveli su MC simulacije za tipične geometrije raspršenih polja u postupcima intervencijske radiologije. Njihov rezultat je pokazao da očitavanje dozimetra na okovratniku i ispod pregače na prsima daje najbolju korelaciju s efektivnom dozom, te da algoritmi sa samo jednim dozimetrom u nekim slučajevima mogu rezultirati neprihvatljivim podcjenjivanjem E .

Usporedba algoritama

Siiskonen i suradnici, 2007. [26] napravili su MC simulacije za osam kardioloških i dva cerebralna postupka. Njihovi rezultati su pokazali da E značajno varira s uvjetima zračenja i s položajem dozimetra. Također zaključuju da dobiveni podaci nisu dovoljni za utvrđivanje opće prihvatljivog odnosa između očitavanja jednog ili dva dozimetra i efektivne doze.

U ovom radu neki od najnovijih algoritama su testirani korištenjem podataka MC računa iz reference [26]. Efektivna doza E_1 računata je pomoću određenog algoritma uz vrijednosti očitanih doza iz MC računa (H_u i H_o) te je rezultat uspoređen s efektivnom dozom E_2 koja je dobivena MC računom za slične uvjete ozračivanja. Ako je $E_1 > E_2$ tada omjer E_1/E_2 predstavlja faktor precjenjivanja. Ako je $E_1 < E_2$ tada algoritam podcjenjuje efektivnu dozu. Rezultati za algoritme dvostruke dozimetrije prikazani su na

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Algoritmi za računanje efektivnog doznog ekvivalenta (*EDE*) i efektivne doze (*E*)

	Autori	Algoritam	Položaj dozimetara
1	Gill et al., 1980 [6]	$EDE = 0.6 H_u + 0.4 H_o$	H_u : torzo H_o : ovratnik
2	Webster, 1989 [7]	$EDE = 1.5 H_u + 0.04 H_o$	H_u : pojas H_o : ovratnik
3	Balter et al., 1993 [8]	Jedan dozimetar: $EDE = 0.3 H_o$ Dva dozimetra: isto kao 2	H_o : ovratnik
4	Wambersie and Delhove, 1993 [12]	$E = H_u + 0.1 H_o$	H_u : prsa H_o : ovratnik ili ramena
5	Rosenstein and Webster, 1994 [13]	$E = 0.5 H_u + 0.025 H_o$	H_u : pojas H_o : ovratnik
6	NCRP Report No. 122, 1995 [16]	Jedan dozimetar: $E = H_o/21$ Dva dozimetra: isto kao 5	H_o : ovratnik
7	Huyskens et al., 1994) [15]	Jedan dozimetar: $E = H_o / D$ ili $E = H_u \cdot M$	
8	Niklason et al., 1994 [17]	(a) bez TS: jedan doz.*: $E = 0.07 H_{os}$ Dva doz.: $E = 0.06(H_{os} - H_u) + H_u$ (b) sa TS: jedan doz.*: $E = 0.03 H_{os}$ Dva doz.: $E = 0.02(H_{os} - H_u) + H_u$	H_u : pojas H_{os} : ovratnik
9	Swiss ordinance, 1999 [19]	$H_p(10) = H_u + \alpha H_o$ $\alpha = 0.1$ bez TS $\alpha = 0.05$ sa TS $H_p(0.07) = H_u + H_o$	Nije određen
10	McEwan, 2000 [20]	Dva dozimetra: $E = 0.71 H_u + 0.05 H_o$ Jedan dozimetar: (a) $E = 0.08 H_o$ (b) $E = 2 \cdot H_u$	H_u : torzo H_o : ovratnik

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

	Autori	Algoritam	Položaj dozimeta
11	Franken and Huyskens, 2002 [21]	Jedan dozimetar: $E \leq H_o/5$ (a) dva dozimetra bez TS: $E \leq H_u + H_o/10$ (b) dva dozimetra sa TS: $E \leq H_u + H_o/30$	H_o : sredina (ovratnik ili prsa) H_u : sredina (pojas) H_o : sredina (ovratnik)
12	Sherbini and DeCicco, 2002 [22]	$E = 1.0 H_u + 0.07 H_o$	H_u : pojas H_o : ovratnik
13	von Boetticher at al., 2003 [23] Lachmund, 2005 [24]	(a) dva dozimetra bez TS: $E = 0.65 H_u + 0.074 H_o$ (b) dva dozimetra sa TS: $E = 0.65 H_u + 0.017 H_o$	H_u : prsa H_o : ovratnik
14	Clerinx et al., 2008 [25]	$E = 1.64 H_u + 0.075 H_o$	H_u : prsa H_o : ovratnik

Simboli: H_u : doza ispod pregače, H_o : doza iznad pregače,

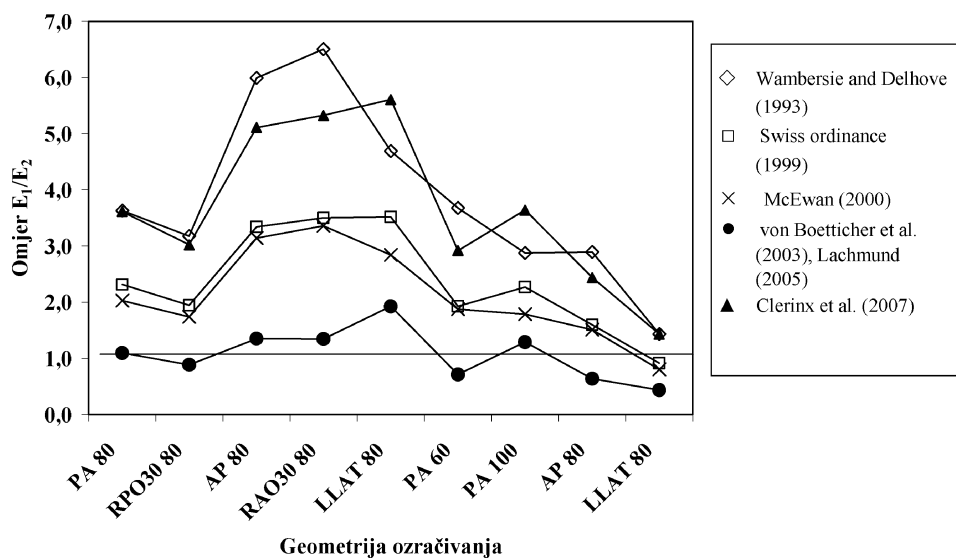
H_{os} : površinska doza iznad ovratnika tj. $H_p(0.07)$,

TS: zaštita štitnjače ("thyroid shield")

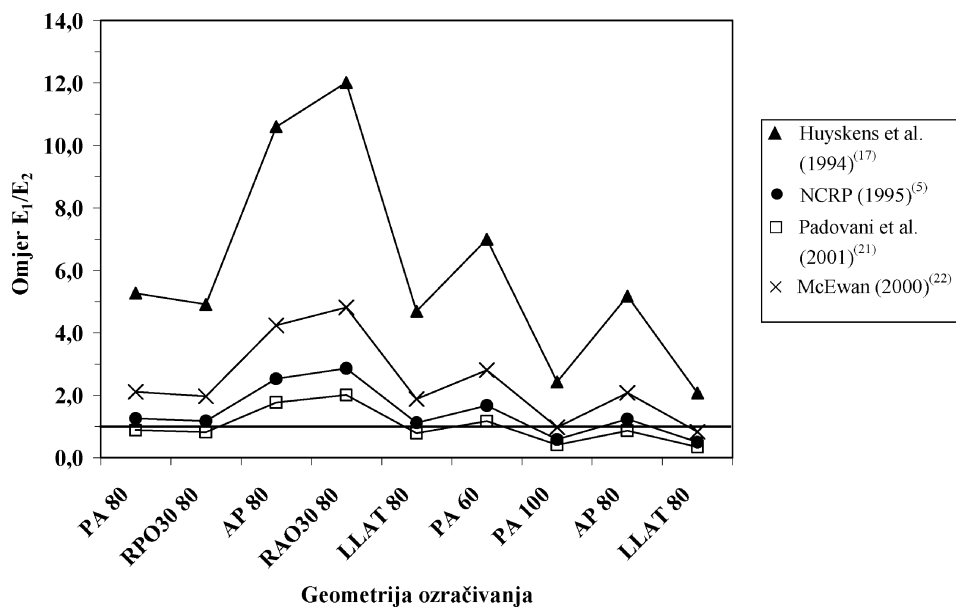
* Preporučeno od Padovani et al., 2001 [18] uz pretpostavku $H_u \sim 0.01 H_{os}$

Slici 1, a za jednostruke na Slici 2. Oni pokazuju da procjenjivanje E ovisi u velikoj mjeri o geometriji ozračivanja. Također, postoje značajne razlike ovisno o korištenom algoritmu, maksimalne su za faktor 2 do 7 za algoritme dvostruke dozimetrije (odnosno 2 do 12 za algoritme jednostruke dozimetrije). Međutim, treba istaknuti da geometrije kod kojih su procjenjivanja najveća (AP i RAO tj. "anteroposterior" i "right anterior oblique") nisu česte u intervencijskoj radiologiji.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Omjer E_1/E_2 , tj. efektivna doza računata pomoću algoritma podijeljena s efektivnom dozom dobivenom iz MC računa za različite algoritme **dvostruke** dozimetrije u kliničkim slučajevima razmatranima i računatim u ref. [26].



Slika 2. Omjer E_1/E_2 , tj. efektivna doza računata pomoću algoritma podijeljena s efektivnom dozom dobivenom iz MC računa za različite algoritme **jednostruke** dozimetrije u kliničkim slučajevima razmatranima i računatim u ref. [26].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ZAKLJUČAK

Pregled literature pokazuje da je razvijen značajan broj algoritama za računanje efektivne doze ali da ne postoji opće slaganje o najpogodnijem algoritmu. Većina algoritama značajno precjenjuje efektivnu dozu, tipično za faktor 2 do 4, a maksimalno i više od deset puta. Razlike u točnosti dvostruke i jednostruke dozimetrije nisu značajne, ali algoritmi osnovani na jednostrukoj dozimetriji češće u praksi mogu podcijeniti efektivnu dozu. Radi toga se općenito preporučuje dvostruka dozimetrija. Najnovije studije pokazuju da ne postoji jedan algoritam koji je optimalan za sve postupke u intervencijskoj radiologiji.

Za evaluaciju primjenjivosti algoritama dvostruke dozimetrije potrebne su daljnje eksperimentalne i numeričke interkomparacije u nekoliko kritičnih konfiguracija. Sljedeći zadaci radne grupe 9 EURADOS-a su davanje preporuka za praksu dvostruke dozimetrije i predlaganje algoritama za procjenu efektivne doze.

LITERATURA

- [1] EURATOM. Council Directive of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation. Council Directive 96/26 EURATOM, 1996.
- [2] 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.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures, ICRP Publication 85, Annals of the ICRP; Vol. 30 No. 2, 2000.
- [4] Vidjeti www.eurados.org
- [5] Järvinen H, Buls N, Clerinx P, Jansen J, Miljanić S, Nikodemová D, Ranogajec-Komor M, d'Errico F. Overview of double dosimetry procedures for the determination of the effective dose to the interventional radiology staff. Radiat Prot Dosim (u tisku) 2008.
- [6] Gill JR, Beaver PF, Denis JA. The practical application of ICRP recommendations regarding dose equivalent limits for workers to staff in diagnostic X-ray departments. 5th International Congress of the International Radiation Protection Association. Book of Papers 1:15-18, 1980.
- [7] Webster EW. EDE for exposure with protective aprons. Health Phys 1989;56: 568-569.
- [8] Balter S. et al. Guidelines for personnel radiation monitoring in the cardiac catheterization laboratory. Cath Cardiovasc Diagn 1993;30(4): 277-279.
- [9] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Annals of the ICRP, 1(3). New York: Pergamon Press; 1977.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [10] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, 21(1-3). Oxford: Pergamon Press; 1991.
- [11] Streffer C. The ICRP 2007 recommendations. Radiat Prot Dosim, Advance Access published October 12, 2007. doi:10.1093/rpd/ncm246.
- [12] Wambersie A, Delhove J. Radiation protection in diagnostic radiology, a debated practice: how to wear the individual dosimeters? J Belge Radiol 1993;76(6):382-385.
- [13] Rosenstein M, Webster EW. Effective dose to personnel wearing protective aprons during fluoroscopy and interventional radiology. Health Phys 1994;67:88-89.
- [14] Faulkner K, Marshall NW. The relationship of effective dose to personnel and monitor reading for simulated fluoroscopic irradiation conditions. Health Phys 1993;64(5):502-508.
- [15] Huyskens CJ, Franken Y, Hummel WA. Guidance on personal dosimetry for occupational exposure in interventional radiology. J Radiol Prot 1994;14(3):229-234.
- [16] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent to workers for external exposure to low-LET radiation. NCRP Report No. 122 Bethesda, Maryland:NCRP; 1995.
- [17] Niklason LT, Marx MV, Chan HP. The estimation of occupational effective dose in diagnostic radiology with two dosimeters. Health Phys 1994;67(6):611-615.
- [18] Padovani R, Foti C, Malison MR. Staff dosimetry protocols in interventional radiology. Radiat Prot Dosim 2001;94(1-2):193-196.
- [19] Swiss Ordinance for personal dosimetry, edited by the Federal Chancellery, Bern, 1999.
- [20] McEwan AC. Assessment of occupational exposure in New Zealand from personal monitoring records. Radiation Protection in Australasia 2000;17(2):60-66.
- [21] Franken Y, Huyskens C. Guidance on the use of protective lead aprons in medical radiology: protection efficiency and correction factors for personal dosimetry. Paper 17, 6th European ALARA Network Workshop, Madrid, Spain, 2002. Available at <http://ean.cepn.asso.fr/program6.html>.
- [22] Sherbini S, DeCicco J. Estimation of the effective dose when protective aprons are used in medical procedures: A theoretical evaluation of several methods. Health Phys 2002;83(6):861-870.
- [23] von Boetticher H, Lachmund J, Hoffmann W, Luska G. Strahlenexposition des Personals in der Röntgendiagnostik: Bestimmung der Effektiven Dosis mit dem 2-Dosimeter-Verfahren. Proc. of Jahrestagung Dortmund, 12-15. 10. 2003, "Strahlenschutz bei medizinischen Anwendungen, pp.109-113, ISBN 3-00-012084-X, 2003.
- [24] Lachmund J. Zur Quantifizierung der biologisch relevanten Strahlenexposition von Beschäftigten in Radiologie und Kardiologie. Ph. D. Thesis. Bremen Univ. 2005.
- [25] Clerinx P, Buls N deMey J. Double dosimetry algorithm for workers in interventional radiology. Radiat Prot Dos 2008 (u tisku).
- [26] Siiskonen T, Tapiovaara M, Kosunen A, Lehtinen M, Vartianen E. Monte Carlo simulations of occupational radiation doses in interventional radiology. Br J Radiol 2007;80:460-468.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DOSIMETRY IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY – EFFECTIVE DOSE ESTIMATION

*Saveta Miljanić¹, Nico Buls², Peter Clerinx², Hannu Jarvinen³,
Denisa Nikodemová⁴, Maria Ranogajec-Komor¹ and Francesco d'Errico⁵*

¹Ruđer Bošković Institute, Bijenička c. 54, 10000 Zagreb, Croatia

²UZ Brussels, Department of Radiology, Laarbeeklaan 101,
B-1090 Brussels, Belgium

³Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), P.O.Box 14,
FIN-00881 Helsinki, Finland

⁴Slovak Medical University, Limbová 14, Bratislava, Slovakia, 83303

⁵Università degli Studi di Pisa, Pisa, Italy and Yale University,
New Haven, CT USA
e-mail: saveta@irb.hr

Interventional radiological procedures can lead to significant radiation doses to patients and to staff members. In order to evaluate the personal doses with respect to the regulatory dose limits, doses measured by dosimeters have to be converted to effective doses (E).

Measurement of personal dose equivalent $H_p(10)$ using a single unshielded dosimeter above the lead apron can lead to significant overestimation of the effective dose, while the measurement with dosimeter under the apron can lead to underestimation. To improve the accuracy, measurements with two dosimeters, one above and the other under the apron have been suggested ("double dosimetry"). The ICRP has recommended that interventional radiology departments develop a policy that staff should wear two dosimeters.

The aim of this study was to review the double dosimetry algorithms for the calculation of effective dose in high dose interventional radiology procedures. The results will be used to develop general guidelines for personal dosimetry in interventional radiology procedures. This work has been carried out by Working Group 9 (Radiation protection dosimetry of medical staff) of the CONRAD project, which is a Coordination Action supported by the European Commission within its 6th Framework Program.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DIODE IN-VIVO DOSIMETRY FOR EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY: PATIENT DATA ANALYSIS

*Iva Mrčela, Tomislav Bokulić, Mirjana Budanec, Ana Fröbe, Željko Soldić
and Zvonko Kusić*

University Hospital "Sestre milosrdnice", Department of Oncology and
Nuclear Medicine, Vinogradska cesta 29, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: imrcela@kbsm.hr

INTRODUCTION

In-vivo dosimetry is known as simple and reliable method for checking the final accuracy of the dose delivered in external radiotherapy making a supplement to the regular quality control. Entrance dose measurements in the beginning of the treatment assure detection of major errors that can affect the therapy outcome. Silicon diodes are often the detectors of choice for their ability of real time dose measurements and the simplicity of use. There are many publications describing the procedures for the implementation of in-vivo dosimetry [1,2].

Routine in vivo dosimetry has been introduced in our department after initial procedures including physical characterization, calibration and determination of correction factors for the detectors in use [3]. This work presents patient data analysis with more than 700 field measurements taken in last 2 years period.

MATERIALS AND METHODS

All measurements were made with three Scanditronix EDE-5 p-type silicon diodes connected to the DPD-3 electrometer. Patients were treated with ^{60}Co beams and the treatment machine was Cirrus Cis BioInternational unit without a record and verify system. Measured entrance dose was compared to the dose calculated with MDS Nordion Theraplan Plus 1000 computer treatment planning system (TPS).

Diodes were individually calibrated against the ionization chamber, and different correction factors were determined following the established procedures [1,2]. Regular recalibration shows a decrease in calibration factor up to 3.6% within one year. Correction factors were measured for possible non-linearity k_{lin} , different field sizes k_{field} , source to surface distances (SSD) k_{SSD} , angles of beam incidence k_{ang} and beam modifiers such as wedges k_{wedge} .

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

blocks and trays k_{block} . Entrance dose is defined as dose at the depth of maximum dose d_{max} , at the beam axis. Measured entrance dose D is obtained from the diode reading M corrected for calibration factor N_{cal} , appropriate correction factors and the distance correction that accounts for the distance d_s between the phantom surface and the diode active volume, according to the following relation:

$$D = M \cdot N_{cal} \cdot \left(\frac{SSD - d_s}{SSD + d_{max}} \right) \cdot k_{lin} \cdot k_{field} \cdot k_{SSD} \cdot k_{ang} \cdot k_{wedge} \cdot k_{block} \quad (1).$$

Corrections less than 1% were neglected, leaving in use only k_{ang} (up to 3.7% for 60°) and k_{wedge} factors (up to 3.2%).

Patient measurements were taken mostly in first three fractions of the treatment, usually by a physicist. Patient data are recorded in a form which includes all relevant information such as: patient personal data, date of measurement, anatomical location, field type and size, SSD, modifiers, depth of prescribed dose, TPS calculated dose, detector ID and finally a diode reading. Measured dose is then calculated with respect to all corrections applying the relation (1). Deviation from expected dose is evaluated as a percentage difference between measured entrance dose D and expected TPS dose at d_{max} , denoted as D_{TPS} :

$$\Delta\% = \frac{D - D_{TPS}}{D_{TPS}} \cdot 100\% \quad (2).$$

Prior to commencing with patient study, the in-vivo procedure was tested on Alderson phantom. Entrance dose measurement for typical head and neck, pelvis and breast treatments resulted in maximum discrepancies of -1%, 1.8% and -5.3%, respectively. This phantom study was used to set values for tolerance or action levels at 5% for all localization except breast where deviations up to 7% were allowed. Higher tolerance levels for breast treatments are determined by TPS limitations [4].

If tolerance levels are exceeded all treatment parameters are inspected for discrepancy and in-vivo measurement is repeated at the next treatment session.

RESULTS

Total number of 727 fields was examined giving the mean deviation of 0.5% and standard deviation (SD) of 3.2%. About 5% of all measurements fall outside the tolerance level and only 0.8% have deviations larger than 10%. This is generally quite good and in agreement with similar studies in literature [4-7]. Overall results are displayed in Table 1 showing mean deviations, SDs, percent

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Table 1. Summary of in-vivo patient measurements

	Fields	N	Mean Δ %	SD (Δ %)	(5% $<\Delta<10\%$) %	($\Delta\geq 10\%$) %
	all data	727	0.5	3.2	4.1	0.8
anatomical location	abdomen	48	1.8	5.6	2.1	2.1
	brain	26	-0.1	1.8	0.0	0.0
	breast	118	-1.1	3.9	9.3	0.8
	head/neck	138	0.8	3.1	7.2	0.7
	pelvis	202	1.1	1.9	1.5	0.0
	spine palliation	30	1.4	1.5	0.0	0.0
	supraclavicular	64	0.1	2.3	1.6	0.0
	thorax (AP-PA)	86	0.4	3.2	2.3	2.3
	rest	15	2.3	4.6	13.3	6.7
wedges	yes	125	-0.5	5.5	11.2	2.4
	no	602	0.8	2.4	2.7	0.5
blocks	yes	383	1.1	3.1	3.9	0.5
	no	344	0.0	3.2	4.4	1.2

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

	Fields	N	Mean Δ %	SD (Δ %)	(5% $\leq\Delta<10\%$) %	($\Delta\geq10\%$) %
mask for head/ neck & brain treatments	yes	52	0.4	3.8	9.6	1.9
	no	112	0.8	2.5	4.5	0.0
technique	isocentric	149	1.0	3.2	6.7	1.3
	fixed SSD	578	0.4	3.2	3.5	0.7
angle of incidence	0o	548	1.0	3.0	3.1	0.9
	other	179	-0.9	3.5	7.3	0.6
field type	AP	167	0.4	3.9	1.8	1.2
	PA	167	1.2	2.1	1.8	0.6
	RL	132	1.0	2.6	6.1	0.0
	LL	129	0.9	2.6	3.1	0.8
	medial	60	-1.9	2.8	11.7	0.0
	lateral	58	-0.2	4.6	6.9	1.7

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

of errors between 5 and 10% and larger than 10% for different anatomical location and fields grouped by the accessories used, irradiation technique, field type or angle of incidence.

Largest mean deviation of 2.3% with standard deviation of 4.6% was found for fields designated to the “rest” group that includes special treatments, particularly craniospinal, with very elongated fields which result in larger deviations on small number of total fields measured (only 15). Measurements for patients treated in the abdomen region showed somewhat larger mean deviation of 1.8% mainly affected by one major error of 38% caused by a missing wedge. Breast treatments, expectedly show negative difference between planned and delivered dose (-1.1%) as a result of a lack of scatter not accounted for in a TPS. There was no significant difference between a set of wedged and a set of unwedged fields, same as for fields with and without blocks. For head/neck and brain treatments the distinction between patients with immobilization thermoplastic mask and without one is also in the range of one standard deviation. Same situation exists for different irradiation techniques where isocentric setup resulted in the mean deviation of 1.0% and fixed SSD technique with 0.4% with same standard deviation of 3.2%.

Diode measurements have detected 36 cases of deviation from expected dose larger than 5%. In 7 situations it was actually a deviation between 5 and 7% for breast treatments which is considered to be acceptable. Deviations over 10% were found in 6 patients. Overview of these errors is presented in Table 2. There were some problems with diodes felling off the patient during the measurements and this was not taken into account. In the large number of cases the cause of errors was not discovered even after double checking of all relevant parameters. It is suspected for patient movements and bad patient positioning resulting in wrong SSD. Reason for major errors was a missing wedge in one patient, and really bad positioning in others. This is characteristic for situations where beam is incident on a very oblique skin surface, as in breast treatments, where small misplacements may result in a SSD difference of even few centimeters.

In-vivo measurement results are also presented as a frequency distribution for different treatment categories in Figure 1. Data are grouped according to the anatomical site, first histogram showing all measured fields, second pelvic treatments consisted mostly of rectum cancer (three field technique) and gynecological malignancies (box technique). There is also a histogram for all breast treatments and one for a group of fields named spine/supraclavicular which is a representative of one field treatments. Head/neck and brain group consists of opposed lateral fields in that region and finally abdomen/thorax stands for anterior-posterior opposed field treatments.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Table 2. Summary of errors and their causes

Deviation	Number	Cause of error
5-10%	4	wrong SSD
	1	wrong irradiation time entered at the machine control
	1	block drawn on patient but not planned
	2	mask not fitted to skin – air gap beneath the diode
	12	unknown, possible patient movements
	2	problem with TPS calculation for very elongated fields
	1	angle of incidence more than 70°
	23	total
5-7% breast treatments	7	inside tolerance levels
>10%	1	missing wedge
	3	wrong SSD
	2	unknown, next fraction inside tolerance levels
	6	total

CONCLUSION

Implementation of in-vivo dosimetry in routine use has proven to be very useful in detection of possible errors and also in prevention of errors due to more careful positioning of patients. There were no significant systematic deviations in any particular group of investigated fields. Majority of errors were caused by bad patient positioning and a value of this error is very assuring in a sense of giving more attention to the patient setup. The whole procedure of diode in-vivo dosimetry is a reliable instrument of quality control that in the end leads to the improvement of the radiotherapy treatment accuracy.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

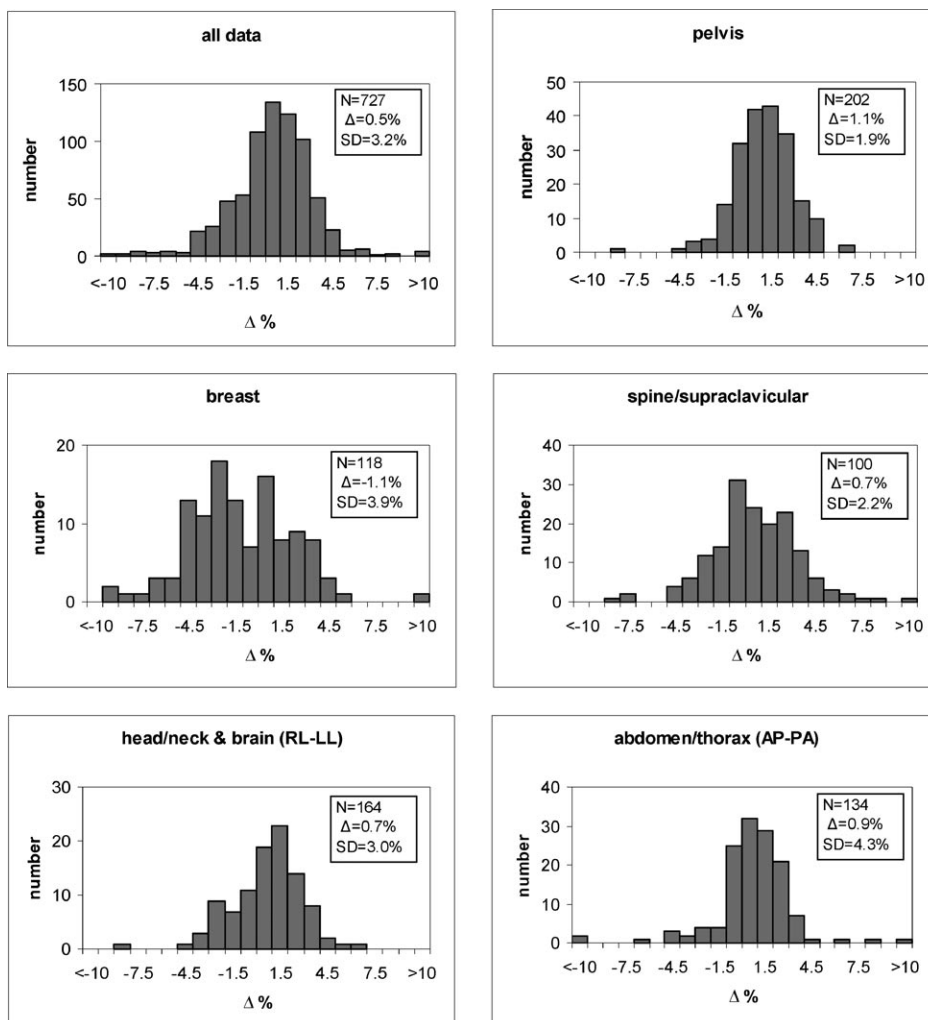


Figure 1. Distribution of deviations $\Delta\%$ for different treatment sites with corresponding number of measurements N , mean deviation Δ , and standard deviation SD of the measured Δ . Small group of fields ($N=15$), denoted as rest in Table 1, is left out of this presentation because it consists of treatments that can not be assigned into any of the groups above.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the research contract funds within the IAEA CRP E2.40.14 "Development of procedures for in-vivo dosimetry in radiotherapy"

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

REFERENCES

- [1] Huyskens D, Bogaerts R, Verstraete J, Lööf M, Nyström H, Fiorino C, Broggi C, Jornet N, Ribas M, Thwaites D. I. Practical guidelines for the implementation of in vivo dosimetry with diodes in external radiotherapy with photon beams (entrance dose). Physics for clinical radiotherapy, ESTRO Booklet No.5; 2001. ISBN 90-804532-3.
- [2] AAPM Report No.87. Diode in vivo dosimetry for patients receiving external beam radiation therapy. Report of Task Group 62 of the Radiation Therapy committee. Medical Physics Publishing, 2005.
- [3] Mrčela I, Bokulić T, Budanec M, Kusić Z. Calibration of p-type silicon diodes for in-vivo dosimetry in ^{60}Co beams. Proceedings of the sixth symposium of the Croatian Radiation Protection Association, HDZZ-CRPA Zagreb 2005 pp 300-305.
- [4] Shakeshaft JT, Morgan HM, Simpson PD. In vivo dosimetry using diodes as a quality control tool – experience of 2 years and 2000 patients. Br J Radiol 1999;72:891-895.
- [5] Fiorino C, Corletto D, Mangili P, Broggi S, Bonini A, Cattaneo GM, Parisi R, Signorotto P, Villa E, Calandrino R. Quality assurance by systematic in vivo dosimetry: results on a large cohort of patients. Radiother Oncol 2000;56:85-95.
- [6] Millwater CJ, Macleod AS, Thwaites DI. In vivo semiconductor dosimetry as part of routine quality assurance. Br J Radiol 1998;71:661-668.
- [7] Noel A, Aletti P, Malissard L. Detection of errors in individual patients in radiotherapy by systematic in vivo dosimetry. Radiother Oncol 1994;34:144-151.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

VERIFICATION OF THE PATIENT POSITIONING IN THE BELLYBOARD PELVIC RADIOTHERAPY

*Mladen Kasabašić¹, Dario Faj¹, Đeni Smilović Radojčić², Manda Švabić²,
Ana Ivković¹ and Slaven Jurković²*

¹University Hospital Osijek, Radiotherapy Department, Osijek, Croatia

²University Hospital Rijeka, Radiotherapy Department, Rijeka, Croatia

INTRODUCTION

The pelvic radiotherapy is often indicated for patients with cervical, uterine and rectum carcinomas. During the radiotherapy, total doses of 40-50 Gy to the whole pelvis can cause early or late complications of the small bowel [1,2]. Useful methods to reduce the irradiated small bowel volume are: making individualized normal tissue blocks and use of the bellyboard, where patients are in the prone position [2,3].

Uncertainties in the daily set-up of the patients during the treatment can give rise to the complications or influence the results of the treatment [2]. The size and the shape of the treatment fields applied in radiotherapy account for uncertainties in the daily set-up of the patients during the treatment. Those uncertainties can be reduced by repositioning of the patient according to the set-up verification.

We investigated the accuracy of daily patient positioning in the bellyboard pelvic radiotherapy in order to find out the magnitude of the patients movement. Translational as well as rotational movements of the patients are explored. According to this, safety margins and protocol for repositioning of the patients is chosen.

MATERIALS AND METHODS

Thirty-six patients were included in this study. 15 patients were followed during the whole treatment and 21 patients were followed during the first five consecutive treatments days.

All patients were treated using the three field box technique at the linear accelerator Siemens Mevatron MD2. Patients are simulated at the conventional simulator SIMVIEW 3000. Shielding was done with conformal Cerrobend blocks individually made for each patient. All patients were simulated in the prone position using our custom-made bellyboard. The isocenter position was visualized using laser equipment and marked on patients' skin by markers. To

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

enable the reproducible position of the patient, the opening of the bellyboard was marked by two lines on the skin.

During the simulation procedure two sets of simulation films were obtained. One film was taken for the anteroposterior field and the other for one of the lateral fields. During the treatment session, for the verification of positioning of the patient, we were using the Kodak EC-L film system. The translational setup errors in patient positioning are defined by the deviations from the measured distance between the centre of the field and visible bony anatomical landmarks [4,5] along the craniocaudal (CC), anteroposterior (AP), and lateral (ML) axis. Displacements of the ML and CC direction were measured from the anteroposterior field, and AP direction from the lateral field. The ML displacement was defined as a distance from the isocenter to the pelvic rim; the CC as a distance to the obturator point and the AP as a distance to the symphysis (Figure 1). All deviations in the caudal direction, to the left and dorsum were marked as positive, and the deviations in the cranial direction, to the right and anterior were marked as negative.

The rotational setup errors in the patient positioning are defined by the angle deviations of the sacrum. Center of the rotation is defined as point O at the edge of the sacrum and angle α is defined as angle between horizontal line and line between points O and S, where length OS is defined as 1/4 of the y field size (Figure 1).

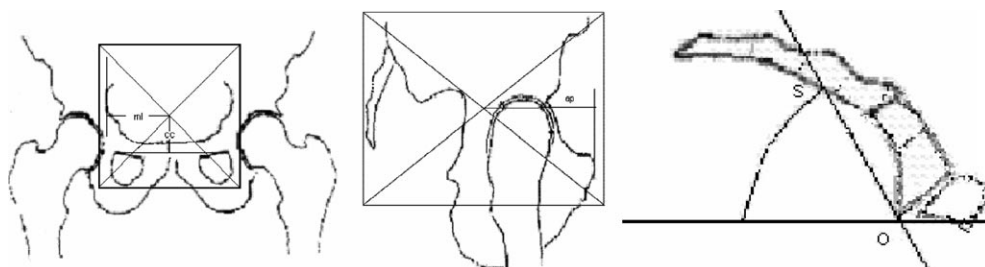


Figure 1. Determination ML, CC, AP and angle displacements.

The first 15 patients were followed during the whole treatment and we examined the presence of time trends. The time trend is defined as drift of the field displacement in a one, systematic way during the treatment. If the time trend exists, the correction of the systematic error may not be accurate [6]. Time trends were investigated using a linear regression approach.

The systematic error (SE) is defined as the mean displacement of the treatment isocenter from the planning isocenter [5]. Random error (RE) is defined as a deviation of the each individual position from the mean position of the patient.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

The systematic error is the main factor when considering the margin size for setup uncertainties [5-7]. The systematic error for the entire group (SEeg) was defined as the arithmetic mean of all patients' systematic errors. The random deviation of the patients' SE from SEeg was estimated by 1 SD (SDse). The random deviation of all individual RE around the mean patients' RE was also estimated by 1 SD (SDre). Thus, systematic and random setup errors were calculated for the entire group of patients and the safety margin size was formed according to the sizes of those deviations. The margin size is the one that ensures the 90% probability of depositing at least 95% dose in the target [7]. These values are a sensible compromise between the risk of underdosing the target volume and of excessive overdosing the surrounding healthy tissue [7]. The calculation of the safety margins, H , is done by using the following expression [7].

$$H = 2.5 \text{ SDse} + 0.7 \text{ SDre} \quad (1).$$

Because these margins do not include rotational errors, they should be used as the lower limit for safe radiotherapy [7].

We chose to implement strategy called no action level (NAL) protocol [8] for reducing patient setup errors. It means that the position of the patient will be measured during the N treatment fractions, and an unconditional correction of the setup position will be done once at the $(N + 1)$ th fraction. We investigated when to do the correction of systematic positioning error by evaluating setup errors during the whole treatment session.

RESULTS

At the beginning, we checked for the presence of the time trends for all patients' directions. Data were fitted as linear, and the slope of the curve is tested to be less than 4 mm during the whole treatment. For the ML and CC directions there was no evidence of the time trends. In the AP direction, a time trend existed in an aged, obese patient with a hip problem (Figure 2). Since that patient was very difficult to position, we excluded his AP data from our analysis.

The ranges of the errors are shown in the Table 1 together with ranges of the systematic and random components of the errors. The systematic and random errors represented by 1 SD are also shown in the Table 1 together with the safety margins (SMs) calculated as explained before.

The calculated SMs are the lower limits for the treatment planning and we will use rounded values in upper directions. Besides, we neglected the existence of the time trends less than 4 mm in all directions, so this value was added

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

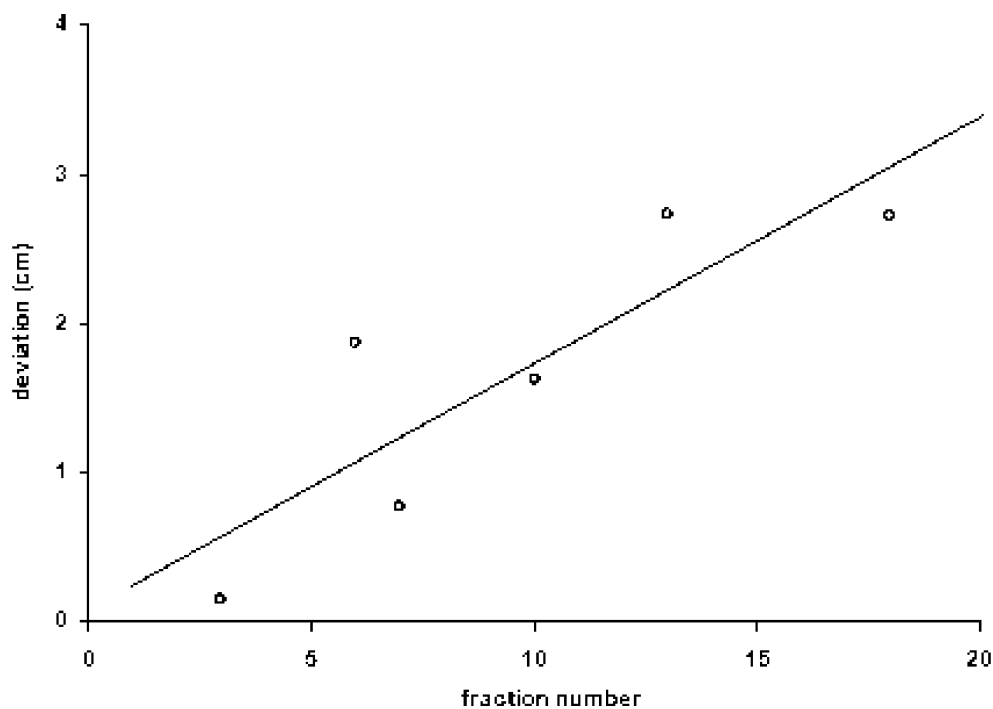


Figure 2. Presence of time trend in the AP direction in one patient.
These data were excluded from the study.

Table 1. The range of the setup errors of 15 patients included in the study.

	Lateral	Craniocaudal	Anteroposterior
Setup error (mm)	-14.7 to 18	-30.3 to 15.4	-19.2 to 30.5
Systematic error (mm)	-3.1 to 8.9	-11.7 to 2.4	-1.7 to 12.1
Random error (mm)	-9.1 to 16.9	-31.1 to 18.2	-22.1 to 17.6
SDse (mm)	1.9	2.6	2.5
SDre (mm)	2.7	3.3	4.1
SM (mm)	7.0	8.3	9.4

to the SM sizes. Finally SMs are 11 mm, 13 mm and 14 mm in ML, CC and AP directions respectively.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

To avoid random errors to cause repositioning of the patient, we investigated how many images (fractions) should be averaged to determine whether the error is random or systematic. In a direction, the sum of all patients' REs around SE is zero. We determined the fraction number (N) where the random error averaged over 1th, 2nd...Nth fraction is a good approximation of the zero value. For the jth patient the array $n_{i,j}$ was formed by averaging all deviations of preceded fractions for a fraction i. Since REs are equally dispersed around the zero value, all patients' arrays will fast converge to the zero value. A characteristic curve for a patient is shown in Figure 3.

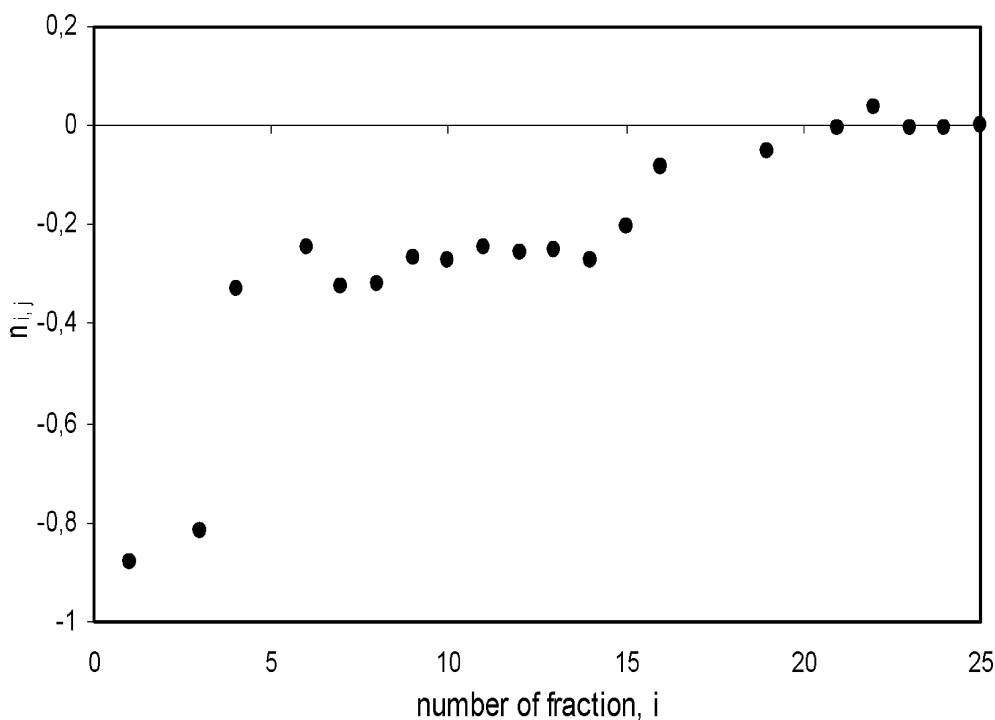


Figure 3. Array of averaged REs around SE in AP direction for a jth patient.
After all REs are averaged array ends at zero value.

At a fraction $i = N$, the array value can be approximated as it reached the zero value. It means that one can decide how many fractions (N) should be averaged for a good approximation of the zero value. In this way, for the jth patient, we approximated the systematic error at the end of the treatment (SE_j), with systematic and random error at the chosen fraction. In order to be able to make this decision for a number of patients (M), all absolute values of $n_{i,j}$ are

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

averaged for all of the patients. Thus, we formed the new array $k_i = \frac{1}{M} \sum_j^M |n_{i,j}|$

of average absolute REs at a fraction i for all fractions. Again, the array converges to the zero value and one can decide how many fractions should be averaged for a good approximation of the zero value. In this way a number of fractions, $i = N$, for a group of patients is found, which can be averaged to represent a good approximation of the systematic error at the end of the treatment. The calculation is done in all of the directions. Arrays of k_i values are shown in Figure 4.

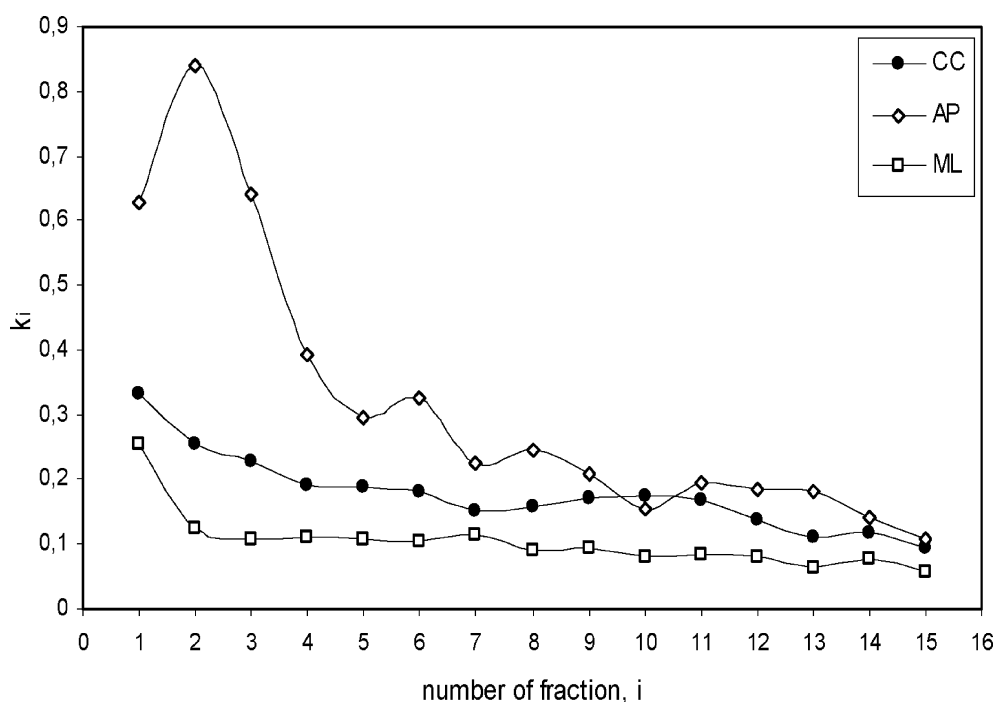


Figure 4. Averaged random deviations in CC, AP and ML directions for all of the patients during the treatment.

According to the Figure 4, numbers of images that must be taken for a patient were 3 in the ML, 4 in the CC and 5 in the AP direction. Since deviations in ML and CC directions are measured from the same image we decided to average four images in the ML direction as well.

Except translational, also rotational movements of the patient anatomy was observed. The angle defined at Figure 1 showed deviations in range of

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

-11 to 14 degrees. It corresponds to the drift of approximate ± 1.5 cm from the custom block in point S defined at the Figure 1. It can be corrected by changing the shape of the shielding blocks.

After establishing our NAL protocol, 21 patients were repositioned after the first five consecutive treatments days. Repositioning was the largest in AP direction and ranged up to the 32 mm.

DISCUSSION

Out of systematic and random setup errors the safety margins were calculated. They were 11 mm in the ML, 13 mm in the CC and 14 mm in the AP direction. To find out how many images must be taken to decide that the setup error is systematic, the average REs of all patients during the treatment were compared. It is possible to decide when this error is close enough to zero for a group of the patients, so at that fraction, the error can be considered systematic (Figure 4). Numbers of images that must be taken are 4 in ML and CC directions and 5 in the AP direction. The group of the patients included in the study is assumed to be representative for treatments done at our department.

Only one patient showed time trend in one direction to be greater than 4 mm through the treatment and those data were excluded from the study. That patient was elderly, obese and had a hip problem. We decided that the patients difficult to position by bellyboard would be planed in the supine position.

Rotational movements of patients' anatomy have been observed. It should be corrected by correcting the shape of the normal tissue blocks. Since we do not have MLC it is extremely hard to correct for this and this is omitted at this time. Using electronic portal imaging devices (EPID) and multi leaf collimator (MLC) it is possible to correct on a daily basis.

Systematic and random translational errors reported are comparable to the results published in the referenced studies of gynecological patients [2, 9]. The safety margins extracted from this study are smaller than the margins employed before at the department and they are on the upper side of the range of other reported results [9]. It is important to note that the most of the published results are from advanced institutions and may not indicate variations applicable to an average, busy department.

Translational and rotational errors can be explained by the specific prone position in the bellyboard device. The position is uncomfortable and patients accommodate in the first few days of the therapy. According to this, it is important to prepare the patient for the uncomfortable position prior the start of the treatment planning.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Hollenhorst H, Schaffer M, Romano M, Reiner M, Siefert A, Schaffer P, et al. Optimized radiation of pelvic volumes in the clinical settings by using a novel bellyboard with integrated gonadal shielding. *Med Dosim* 2004;29: 173-8.
- [4] Cazzaniga LF, Frigerio M. Errors in positioning the patient during transcutaneous radiotherapy of the pelvis. *Radiol Med* 1997; 94: 664-70.
- [5] Kragelj B. Setup error and its effect on safety margin in conformal radiotherapy of the prostate. *Radiol Oncol* 2005; 39: 211-7.
- [6] Ludbrook JS, Greer PB, Blood P, D'Yachkova Y, Coldman A, Beckham WA, et al. Correction of systematic setup errors in prostate radiation therapy: how many images to perform? *Med Dosim* 2005; 30: 76-84.
- [7] van Herk M, Remeijer P, Rasch C, Lebesque JV. The probability of correct target dosage: Dose population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000; 43: 1121-35.
- [8] Bortfeld T, Van Herk M, Jiang SB. When should systematic patient positioning errors in radiotherapy be corrected? *Phys Med Biol* 2000; 47: 297-302.
- [9] Haslam JJ, Lujan AE, Mundt AJ, Bonta DV, Roeske JC. Setup errors in patients treated with intensity- modulated whole pelvic radiation therapy for gynecological malignancies. *Med Dosim* 2005; 30: 36-42.

ABSTRACT

The size and shape of the treatment fields applied in radiotherapy account for uncertainties in the daily set-up of the patients during the treatment. We investigated the accuracy of daily patient positioning in the bellyboard pelvic radiotherapy in order to find out the magnitude of the patients movement during the treatment. Translational as well as rotational movements of the patients are explored.

Film portal imaging is used in order to find patient positioning error during the treatment of the pelvic region. Patients are treated in the prone position using the bellyboard positioning device. Thirty six patients are included in the study; 15 patients were followed during the whole treatment and 21 during the

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

first 5 consecutive treatment days. The image acquisition was completed in 85% and systematic and random positioning errors in 453 images are analyzed.

Translation of the patient during the treatment caused set-up errors that ranged up to 30 mm and rotation of the sacrum ranged up to 14°. We found out that most of the patients had time trend (drift of the position or angle during the time). This is predominant in the first few days while patient accommodate to uncomfortable prone position in the bellyboard.

Safety margins that will ensure 90% probability of depositing at least 95% of the prescribed dose in the target are calculated according to translational movement of the patient. No action level, off line, set-up protocol is employed to correct patient position because of the translational movement. To correct for the rotation of the patient anatomy, correction of the custom shielding blocks should be employed.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

PRACTICES OF RADIOTHERAPY EQUIPMENT QUALITY CONTROL IN RADIOTHERAPY CENTERS IN CROATIA

*Manda Švabić¹, Slaven Jurković¹, Dario Faj², Mladen Kasabašić²,
Đeni Smilović Radojčić¹ and Ana Ivković²*

¹University Hospital Rijeka, Radiotherapy Department, Physics Division,
Krešimirova 42, 51000 Rijeka, Croatia

²University Hospital Osijek, Radiotherapy Department,
J. Huttlera 4, 31000 Osijek, Croatia
E-mail: manda.svabic@ri.t-com.hr

INTRODUCTION

From the prescription to the delivery of radiotherapy treatment, a team of professionals from a number of disciplines is involved in a large number of steps. In this way the significant potential for mistakes leading to an accidental exposure becomes apparent and comprehensive quality assurance/quality control (QA/QC) programme is, therefore, required. One of the most important aspects of QA/QC programme is quality control of the equipment used for the treatment planning and therapy. In this paper we present experiences in establishing QC procedures in radiotherapy in our centers. Also differences in QC practices in Croatian radiotherapy centers are reviewed in the light of recommendations given by international reports [1, 2] and publications [3-6].

MATERIAL AND METHODS

At our institutions first QC protocols were made more than ten years ago, when first linear accelerators were installed. During that period the protocols were developed and expanded to all radiotherapy equipment (simulators, cobalt units, brachytherapy units) according to international recommendations. The main criterions, depending on parameter of interest, for the QC evaluation were: functionality, reproducibility and precision. According to this, written protocols were made for daily, weekly, monthly, quarterly and yearly procedures. They comprise description of procedures, equipment used, tolerance/action level and the staff member responsible for the execution of the procedure.

To obtain insight into the current employed protocols a questionnaire based on our QC protocols was made and it was sent to all radiotherapy institutions in Croatia. It concerned different parameters of QC (security, mechanical, and dosimetrical), protocols, methods, frequencies, equipment used and time re-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

quired for the test, as well as tolerance/action levels and personnel responsible for performing QC tests. All centers responded and results of the questionnaire for 17 radiotherapy machines (3 cobalt units, 6 simulators, 8 linear accelerators) were analyzed to provide an overview of the current QC practice of radiotherapy equipment.

RESULTS

The presence of written protocols is a mile stone of QA/QC procedure. We found that less than 50% centers developed their own protocols according to international recommendations (Figure 1).

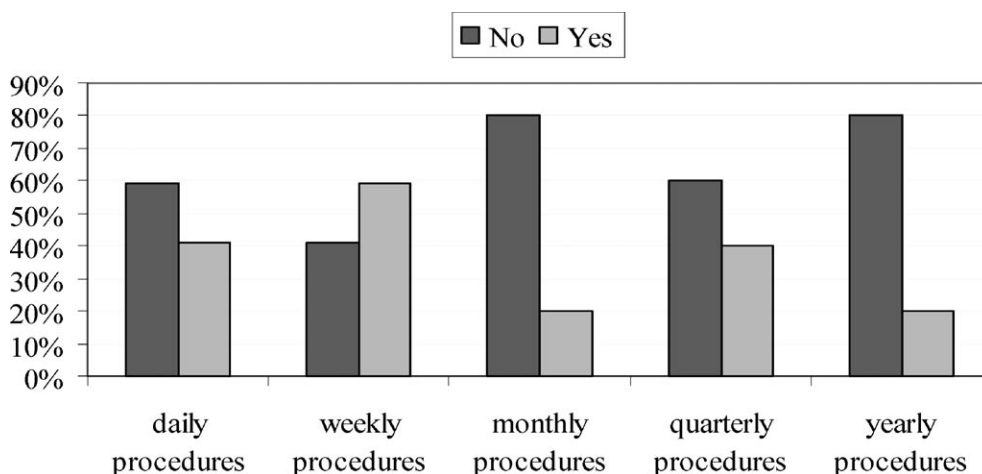


Figure 1. Existence of written protocols

This is very important issue because the lack of written protocols may result in different interpretation of acquired data by different users, the frequencies of tests are often arbitrary and the evaluation of the tolerance/action levels are usually left to the member of the staff involved in performing the check. A much better uniformity between centers is present regarding the protocols for the calibration of dose monitor system on weekly basis. All institutions with linear accelerators have made written protocols for this aspect of QC procedures and it is most often based on IAEA Code of Practice [7]. This part of QC procedure is also regulated by the law and it is mandatory.

Since there were a number of analyzed parameters in the questionnaire, for the purpose of this work we abstracted only part of them. Therefore we will

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

briefly comment discrepancies found in frequencies of particular procedure, time spent for the radiotherapy equipment QC procedure, personnel involved in performing the procedure, equipment used for the mechanical/optical checks, and tolerance/action levels. The others would be discussed elsewhere.

We found large variety in test frequencies for the same parameter, e.g. in some institutions laser alignment check is performed on daily basis while others perform it on weekly or even monthly basis. One of the reasons for this is different workload of radiotherapy departments and technically it is seldom possible to integrate QC procedure in working hours of the department, since in most institutions radiotherapy machines are engaged with the patients from early in the morning until late in the evening.

Reported time spent for performing e.g. monthly procedures varied from 1 hour to 3 hours per machine. The main reason for this difference is a lack of uniformity in defining QC procedures (protocols) between centers.

Variation in staff involved in performing different kind of checks is also noted. Compliance is present only in weekly dosimetry checks which are performed by the physicists (MP). Typically, all the checks must be performed under the physicist's supervision, whether in some institutions physicists performed majority of tests themselves, in other the majority of tests are performed by radiation therapists (RTT) (Figure 2).

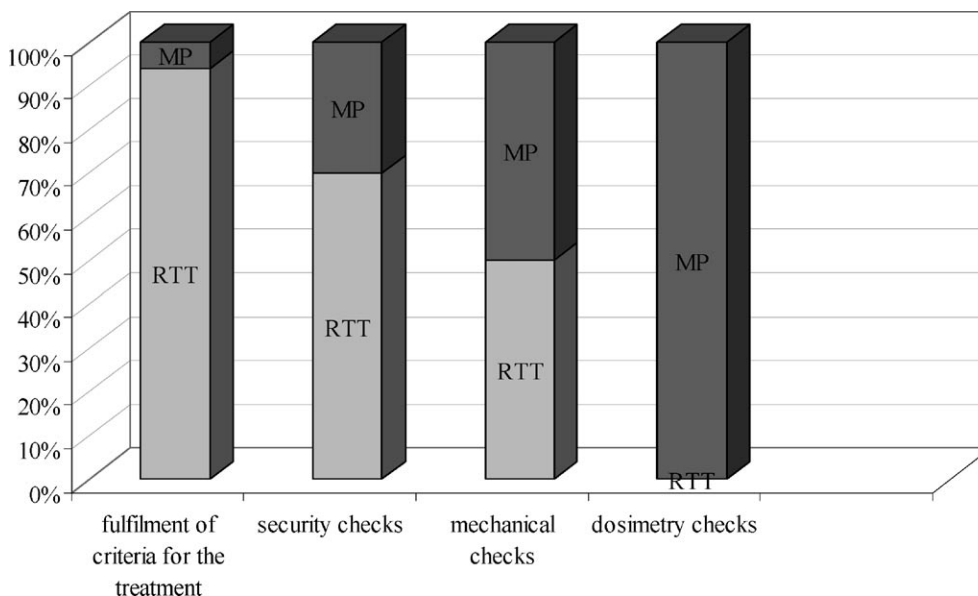


Figure 2. Personnel involved in performing QC checks

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

There is only one center that use specially designed QC tools recommended for the mechanical/optical checks. All others use improvised devices which might result in different interpretation of acquired data by different users. Main reason for the use of improvised arbitrary appliances is low awareness by decision makers regarding importance of QC procedures for the clinical use of radiotherapy machines.

Discrepancies found between tolerance/action levels amongst the institutions were negligible. Nevertheless, some ambiguity regarding tolerance levels are present (Table 1). One of the reasons for deviations could be found in different literature used.

Table 1. Tolerance level discrepancies

	tolerance level		
collimator angle indicator	$(1 - 2)^{\circ}$	1°	2°
optical distance indicator	<1 mm	<2 mm	(1–2) mm
radiation isocenter – gantry rotation	(1–2) mm	<1.5 mm	<2 mm
output calibration – photon energy	(1–3)%	<3%	(1–2)%

CONCLUSION

The results of the questionnaire show that, despite the fact that up to this day it is not regulated as a mandatory by the law, radiotherapy equipment QC procedures take place in Croatian radiotherapy departments on regular basis. Nevertheless, the lack of legislative in this field results in problems with incorporation of QC procedures in busy radiotherapy departments. In this way regular implementation of the procedures are usually left to conscience of the medical physicists.

The lack of written protocols for QC procedures is also noted. According to this, large variations in test frequencies, time spent for performing different procedures, staff involved and tools used for the procedures are present. Pointing out these problems we would like to contribute formulating a uniform set of minimum requirements for the QC of radiation therapy equipment, according to international recommendations. We found this as a very important issue, especially at this time when radiation therapy equipment became very sophisticated. Furthermore, need for formulating a minimal requirements as well as its implementation should be extended to 3D treatment planning systems, brachytherapy equipment and mold room equipment, leading to the implementation of QA/QC system in every part of radiation therapy procedure.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

REFERENCES

- [1] AAPM Report of Task Group 40. Comprehensive QA for Radiation Oncology. Med Phys 1994; 21: 581-619.
- [2] ISO 9001 1994 BS EN ISO 9001. Quality Systems. Model for Quality Assurance in Design, Development, Production, Instalation and Servicing. British Standard Institute, 1994.
- [3] Duscombe P. et. al: Development of Quality Control Standards for Radiation Therapy Equipment in Canada, J Applied Medical Physics 2007; 8: 108-118.
- [4] Physics Aspects of Quality Control in Radiotherapy, edited by Mayles et al., York UK, IPEM Report 81; 1999.
- [5] Constantinou C. Protocol and Procedures for Quality Assurance of Linear Accelerators. own publishing; 1993.
- [6] Review of Radiation Oncology Physics: A Handbok for Teachers and Students, edited by Podgorsak E.B., Educational Reports Series. Vienna: IAEA; 2003.
- [7] 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 Report Series No. 398. Vienna: IAEA; 2004.

ABSTRACT

From the prescription to the delivery of a radiotherapy treatment, a team of professionals from a number of disciplines is involved. In this way significant potential for errors leading to an accidental exposure becomes apparent. Comprehensive quality assurance/quality control (QA/QC) programme to minimize such errors is, therefore, required. One aspect of QA/QC programme is quality control of the equipment. In this paper we present experiences in establishing QC procedures in our centers. Also differences in QC practices in Croatian radiotherapy centers are reviewed in the light of recommendations given by international reports and publications To obtain insight into the current employed protocols a questionnaire based on our QC protocols was made and it was sent to all radiotherapy institutions in Croatia. QC procedures and tools used, professionals involved, performance frequencies of the tests and tolerance/action levels are compared. All centers perform the great majority of QC tests, but some variations in the performance frequencies of QC tests and in personnel responsible for performing particular tests are found. Reviewing of QC practices and exchanging experience could help in evolving uniform protocol for QC procedures at national level.



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:22





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



Radioekologija

Radioecology



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:22





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:22



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

TERENSKA GAMASPEKTROMETRIJA SREDNJE DALMATINSKIH OTOKA

*Branko Petrinc, Zdenko Franić, Tomislav Bituh, Jasminka Senčar
i Gordana Marović*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: petrinc@imi.hr

UVOD

Prirodna radioaktivnost potiče od radioizotopa koji egzistiraju u prirodi odnosno u tlu, vodi, zraku, biljkama i životinjama. U prirodi su prisutna tri radioaktivna niza: uranov, torijev i aktinijev.

“Rodonačelnik” uranovog niza je ^{238}U . Torijev niz počinje radioizotopom ^{232}Th , a završava se stabilnim izotopom ^{208}Pb . Radionuklidi u tlu generiraju znatni doprinos osnovnom zračenju. Posljedično, ona područja s većim osnovnim zračenjem uzrokuju veću izloženost populacije. Prirodna radioaktivnost i rezultirajuća vanjska izloženost gama zračenju prvenstveno ovise o geološkim i zemljopisnim uvjetima. Razine terestrijalnog prirodnog gama zračenja povezane su s geološkim sastavom svakog litološki odvojenog područja te sa sadržajem urana, torija i kalija. Poznato je da su eruptivne, magmatske stijene granitnoga sastava obogaćene torijem i uranom (u prosjeku 15 ppm Th i 5 ppm U) u usporedbi sa stijenama bazalnog sastava ili ultramafitnim stijenama (<1 ppm U).

Posljedično, viša razina zračenja povezana je s eruptivnim stijenama, dok se kod sedimentnih stijena očekuje znatno manja razina koncentracije prirodnih gama radionuklida te stoga i gama zračenja [1, 2].

U radu su prikazani rezultati terenske gamaspektrometrije srednjedalmatinskih otoka Brusnika, Visa i Palagruže. Kontrolno mjerenje provedeno je na obali u Kaštel Štafiliću. Nažalost, na otoku Jabuci nije bilo moguće načiniti gamaspektrometriju nego su samo uzeti uzorci tla.

Brusnik je nenaseljen otok površine 3 ha, smješten 23 km zapadno od otoka Visa, daleko na pučini. Sam otok visok je 23 m, dugačak oko 200 m, a širok do 150 metara. Istočni mu se grebeni strmo obrušavaju u more, a na zapadnoj se strani nalazi malena uvala u kojoj je ribarsku brodicu moguće izvući na obalu. Uz granit i vapnenac, na Brusniku ima većih količina željezne rudače, konkretno magnetita, koja se nalazi u stijeni otoka. Otok Brusnik je zakonom zaštićeno područje.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Palagruža je pučinsko otočje od desetak bliskih otoka i otočića nasred Jadranskog mora, 68 nautičkih milja južno od Splita, na hrvatskom dijelu Jadrana. Glavni otok je Vela Palagruža koja je visoka 92 m, duga 1400 m i široka 300 m. Vela Palagruža izgrađena je u najvećoj mjeri od dolomita, dolomita s nodulama rožnjaka i dolomitnih breča, a starost i geneza tih naslaga ujedno su i najveća nepoznanica. Na otoku se nalazi i nekoliko izoliranih izdanaka klastita i vapnenaca udruženih s gipsom, koje većina autora veže uz dijapirizam. Te naslage su pripisane donjem trijasu, a mogu se povezati i s objavljenim kartama dijapirskih prodora, napravljenim na temelju interpretacije seizmičkih podataka. Prema objavljenim podatcima to su najstarije dosad poznate površinske stijene na čitavom obalnom području Jadrana.

Jabuka je također nenaseljeni otočić isključivo vulkanskog podrijetla sastavljen od magnetitne stijene. Radi se o 97 metara visokoj klisuri čunjastog oblika smještenoj zapadno od Visa. Od 1958. godine otok je proglašen geološkim spomenikom prirode.



Slika 1. Otok Brusnik



Slika 2. Otok Vela Palagruža

MATERIJAL I METODA

Terenska gamaspektrometrijska mjerenja provedena su HPGe poluvodičkim detektorom ORTEC rezolucije 1,67 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 22,6% na 1,33 MeV ^{60}Co . Koaksijalni detektor je vertikalne konfiguracije, u položaju mjerenja postavljen je prema dolje na visini od jednog metra iznad tla. Detektor je spojen na višekanalni analizator i pripadajući elektronički sklop s računalom [3].

Vrijeme brojanja bilo je 1000 sekundi, a softver za obradu spektara je GamaVision.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Osiguravanje kvalitete i interkalibracijska mjerenja provedena su kroz sudjelovanje u međunarodnim interkalibracijskim programima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Zajedničkog istraživačkog centra (JRC).

REZULTATI I RASPRAVA

U Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu, u Jedinici za zaštitu od zračenja provode se dugogodišnja istraživanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj koja uključuju i istraživanje osnovnog zračenja.

Godine 2007. po prvi je put istraživana prirodna radioaktivnost srednjo-dalmatinskih otoka. Gamaspektrometrijska mjerenja (slika 3 i 4) omogućila su izračunavanje brzine doze.

Maksimalna brzina doze izmjerena je na otoku Visu i iznosila je 78,37 nGy/h. Na godišnjoj razini to iznosi 0,67 mGy/god. Minimalna brzina



Slika 3. Gamaspektrometrija na otoku Brusniku

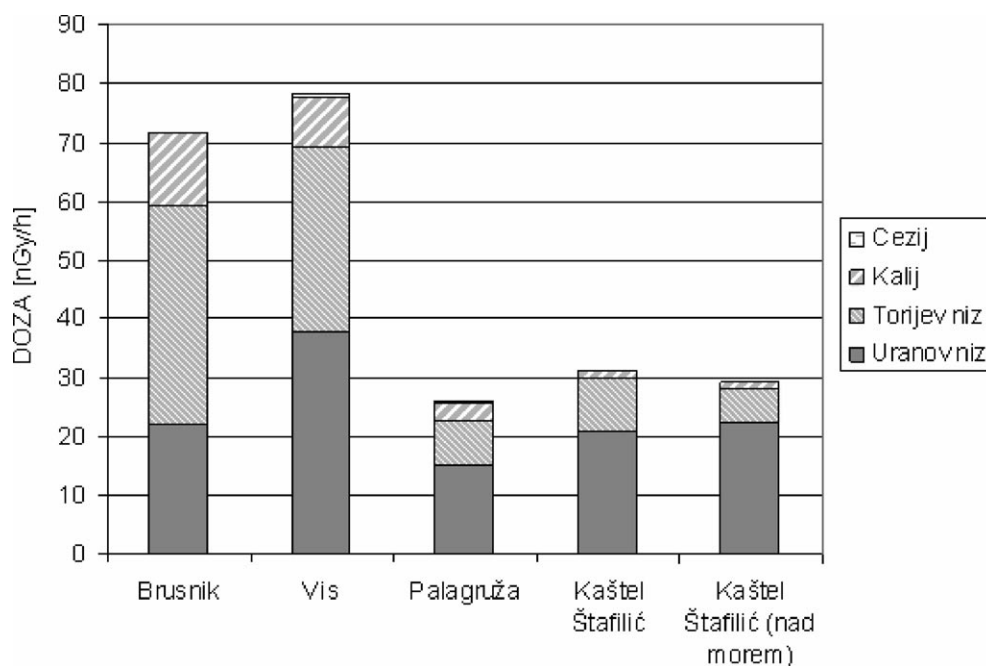


Slika 4. Brzina doze na otoku Vela Palagruža

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

doze izmjerena je na otoku Palagruži i iznosila je 25,94 nGy/h, što na godišnjoj razini iznosi svega 0,23 mGy/god.

Ta je vrijednost konzistentna s brzinom doze od 29 nGy/h koja je izmjerena GM brojačem kod svjetionika na Veloj Palagruži (slika 4). Za usporedbu, prosječna godišnja brzina doze za Zagreb iznosi oko 120 nGy/h [4]. Ukupne brzine doze prikazane su na slici 5.



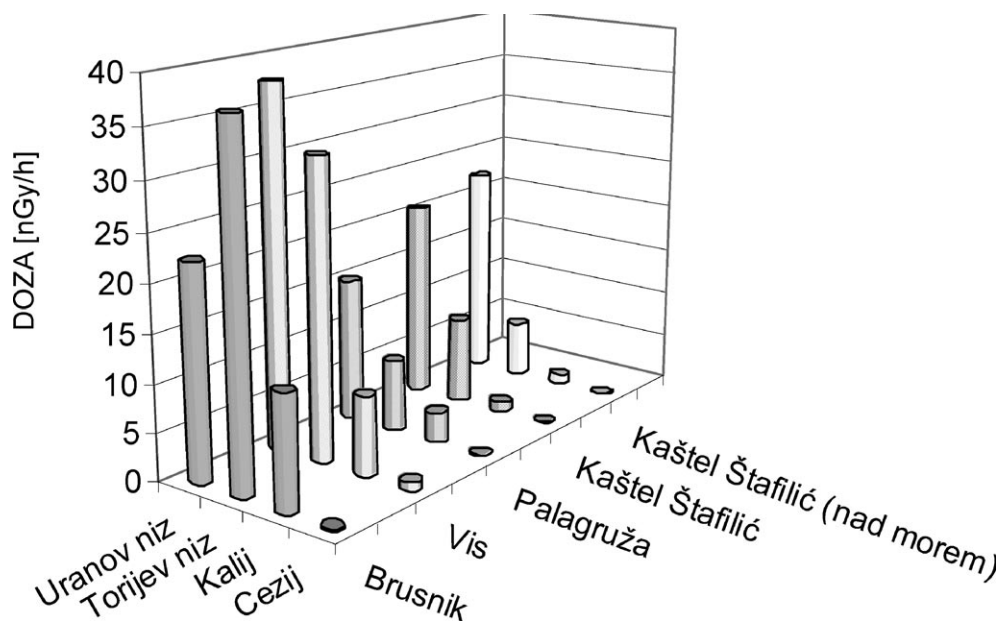
Slika 5. Brzina doze na Brusniku, Visu, Palagruži i Kaštel Štafiliću

Na Brusniku i Palagruži gotovo da nije zabilježen doprinos cezija budući da oba otoka u pravilu oskudijevaju vegetacijom, a stoga i humusom u kojem bi se cezij mogao dulje zadržavati. Razlog tome je jaka eolska erozija kojom je “odstranjen” čornobiljski cezij.

Međutim, vrlo je interesantno da je na otoku Visu izmjeren priličan doprinos i torijevog i uranovog niza, što valja pomnije istražiti. Može se pretpostaviti da razlog valja tražiti u navažanju materijala koji nije podrijetlom s Visa, primjerice antropogena kontaminacija umjetnim gnojivima. Točniji rezultati dobit će se nakon analize prikupljenih uzoraka tla.

Na slici 6 prikazani su doprinosi pojedinih prirodnih radionuklida ukupnoj dozi.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 6. Doprinosi pojedinih prirodnih radionuklida ukupnoj dozi

Vezano uz kontrolna mjerenja provedena na obali u Kaštel Štafiliću, iz rezultata je vidljivo da ne postoji veća razlika u doprinosima ukupnoj brzini doze na lokaciji u Kaštel Štafiliću na obali i nad morem. Ti rezultati nisu neočekivani za terensku gamaspektrometriju s obzirom da je dubina mora bila samo oko 30 cm. Doprinos torijevog niza najveći je na Brusniku, a uranijevog na Visu.

ZAKLJUČAK

Analizirajući rezultate istraživanja možemo zaključiti da je najveća brzina doze na otoku Visu a najmanja na otoku Palagruži. Također, vidljivo je da najveći doprinos ukupnoj brzini doze dolazi od uranovog i torijevog niza dok je doprinos cezija zanemariv što je za očekivati s obzirom da je cezij fisijski element koji je danas vrlo malo prisutan u okolišu u Republici Hrvatskoj. Mjerenja na kontrolnoj lokaciji u Kaštel Štafiliću nad morem i na obali pokazuju da nema veće razlike u ukupnom doprinosu brzini doze. No, bilo bi dobro i ove rezultate usporediti s rezultatima analize uzoraka tla i terenskom gamaspektrometrijom iznad same morske površine, što nažalost zbog nepogodnih vremenskih uvjeta nije bilo moguće provesti. Rezultati na otoku Visu nisu u skladu s očekivanjima. Posljedično, valja načiniti terenska mjerenja na još nekoliko lokacija na Visu.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

LITERATURA

- [1] Merdanoglu B, Altinsoy N. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples from kestanbol granite area, Turkey. Radiation Protection Dosimetry 2006; 121: 399–405.
- [2] Florou H, Kritidis P. Gama Radiation Measurements and Dose Rate in the Coastal Areas of a Volcanic Island, Aegean Sea, Greece. Radiation Protection Dosimetry 1992; 45: 277-279.
- [3] Harley J.J.(Editor). HASL Procedures Manual, USAEC Report HASL-300, 1970.
- [4] Marović G, Bituh T, Franić Z, Gospodarić I, Kovač J, Maračić M, Petrinec B, Petroci Lj, Senčar J, Sokolović E. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Godišnji izvještaj 2007. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

IN SITU GAMMASPECTROMETRY OF MIDDLE DALMATIAN ISLANDS

*Branko Petrinc, Zdenko Franić, Tomislav Bituh, Jasminka Senčar
and Gordana Marović*

Institute for Medical Research and Occupational Health, Department
for Radiation Protection, Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: petrinc@imi.hr

The paper presents investigations of natural radioactivity on Adriatic islands Brusnik, Vis and Palagruža.

Natural environmental radioactivity and resulting external exposure due to gamma radiation primarily depend primarily on the geological and geographical conditions. It is well known that world higher radiation levels worldwide are associated with igneous rocks and lower levels with sedimentary rocks.

The highest dose rates were found on the island of Vis, and lowest on the island of Palagruža. Also, it has been found that the highest contribution to the overall dose is due to uranium and thorium series. As expected, radiocaesium contribution is minimal the presence of these isotopes in Croatian environment is minimal.

However, the measured doses were much smaller than the average external dose rate in Croatia rate that is on annual level about 120 nGy/h.

High results for the dose rate measured on the island of Vis call for further research.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

^{14}C AKTIVNOST BIOLOŠKIH UZORAKA I ATMOSFERSKOG CO_2 U NEPOSREDNOJ OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

*Bogomil Obelić¹, Ines Krajcar Bronić¹, Jadranka Barešić¹,
Andreja Sironić¹ i Borut Breznik²*

¹Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska, obelic@irb.hr

²Nuklearna elektrana Krško, Slovenia

UVOD

Radioaktivni izotop ugljika ^{14}C nastaje u visokim slojevima atmosfere interakcijom neutrona iz kozmičkog zračenja i atoma dušika. Zajedno s ostalim izotopima ugljika ^{14}C oksidira u $^{14}\text{CO}_2$, i jednoliko se raspoređuje u atmosferi. Biljke uzimaju CO_2 putem fotosinteze, a njima se hrane životinje, tako da ^{14}C čini dio prirodnog ciklusa ugljika. Zbog istovremenog radioaktivnog raspada ($T_{1/2} = 5730$ god), u atmosferi i biosferi postoji ravnotežna koncentracija ^{14}C koja odgovara specifičnoj aktivnosti od 226 Bq/kg ugljika, odnosno 100 pMC (postotak modernog ugljika).

U drugoj polovici 20. stoljeća je raspodjela ^{14}C bila narušena zbog nuklearnih i termonuklearnih pokusa, pa se tako koncentracija ^{14}C u atmosferi udvostručila 1963. godine, da bi zbog zabrane izvođenja nuklearnih pokusa u atmosferi otada postupno opadala, te se danas približila prirodnoj koncentraciji.

^{14}C nastaje i kao posljedica rada reaktora nuklearnih centrala, a emitira se u okoliš u obliku CO_2 , koji ulazi u prirodni ciklus ugljika u okolini elektrane, a putem hrane može doprinijeti i dodatnom ozračenju (povećanju doze) lokalnog stanovništva. Mjerenjem specifične aktivnosti ^{14}C u biološkom materijalu u neposrednoj okolini Nuklearne elektrane Krško (NEK) pokušat ćemo utvrditi eventualni doprinos rada reaktora povećanju specifične aktivnosti ^{14}C u okolišu, odnosno stvoriti bazu podataka o radioaktivnosti okoliša.

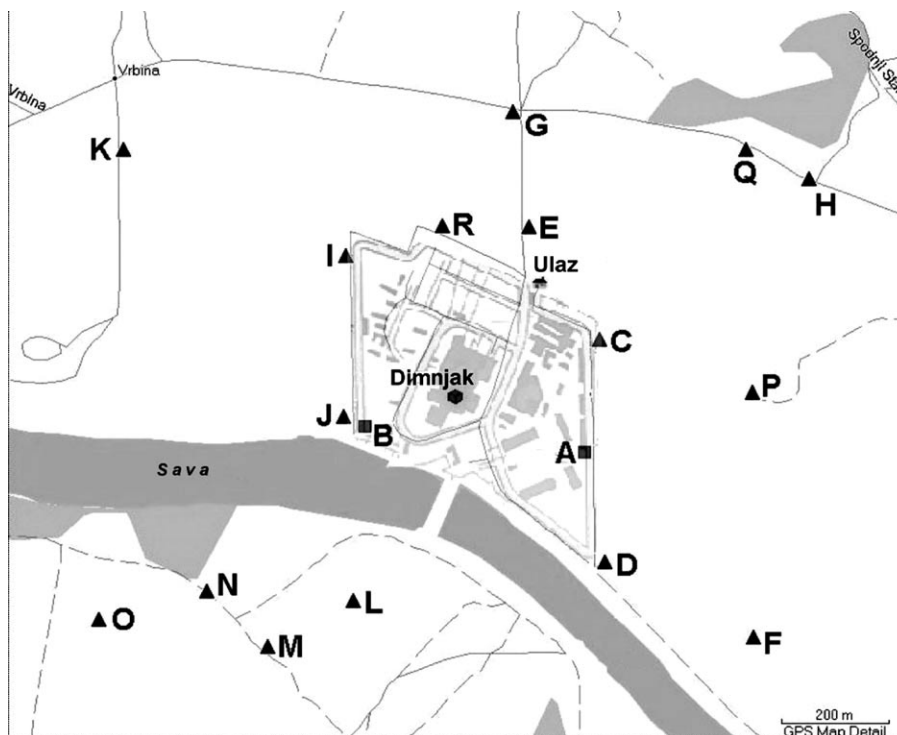
UZORKOVANJE I MJERENJE

Specifična aktivnost bioloških uzoraka (jabuke, žito, kukuruz, kelj, trava) mjerena je u neposrednoj blizini (200 – 400 m od ispustnog dimnjaka) i širem okolišu (oko 1000 m) NEK (Slika 1). Za kontrolnu točku na kojoj se ne očekuje utjecaj elektrane odabrali smo selo Dobovu, oko 10 km jugoistočno od Krškog. Tijekom 2006. i 2007. godine ubirali smo bilje dvaput godišnje, u srpnju i rujnu/listopadu. Biološki uzorci su nakon sušenja i karbonizacije na 400°C spalji-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

vani u struji kisika, a nastali CO_2 se apsorbirao u smjesi Carbosorba E i Permafluora E [1,2]. ^{14}C aktivnost mjerena je tekućinskim scintilacijskim brojačem *Quantulus 1220 0*.

Atmosferski CO_2 se sakupljao na dvije lokacije (A i B, Slika 1) unutar prostora nuklearne elektrane. Integralni dvomjesečni uzorci sakupljeni su apsorpcijom CO_2 u zasićenoj otopini NaOH. Reakcijom dobivenog Na_2CO_3 i HCl dobio se CO_2 koji se posebnim postupkom preveo u benzen [1,3]. ^{14}C aktivnost u uzorcima benzena se također mjerila tekućinskim scintilacijskim brojačem *Quantulus 1220* [1].



Slika 1. Lokacije uzorkovanja u okolici Nuklearne elektrane Krško. Lokacije A i B su mjesta sakupljanja atmosferskog CO_2 , a na lokacijama C – R sakupljeni su biološki uzorci.

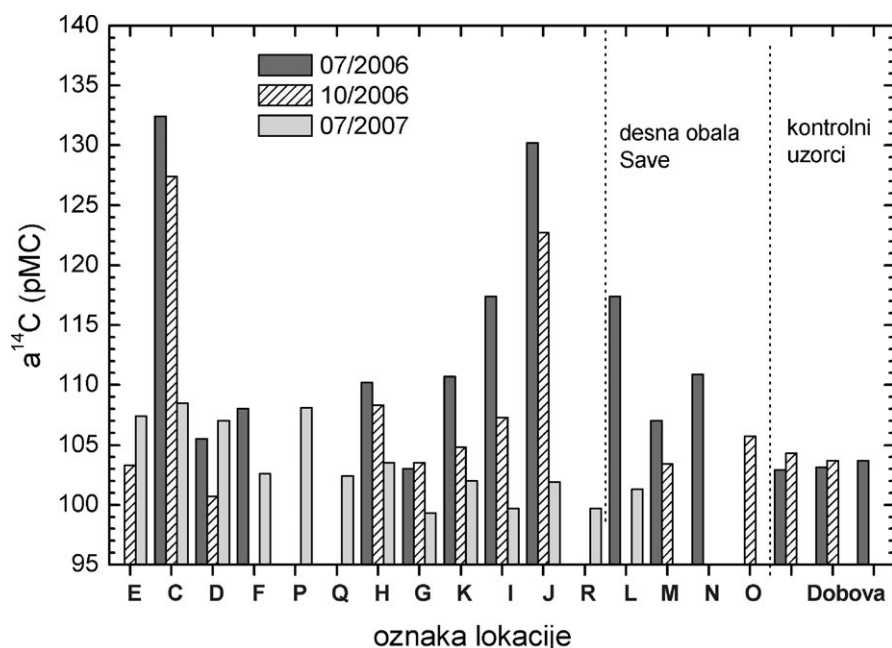
REZULTATI

Rezultati se izražavaju kao specifična aktivnost ^{14}C u uzorku (Bq/kgC), no često i kao relativna specifična aktivnost $a^{14}\text{C}$ (omjer specifičnih aktivnosti ^{14}C u uzorku i u atmosferi prije antropogenog utjecaja), izražena u jedinicama

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

“postotak suvremenog ugljika” (“*percent Modern Carbon*”, pMC), pri čemu je 100 pMC = 226 Bq/kgC.

Na Slici 2 prikazane su relativne specifične aktivnosti ^{14}C u biološkim uzorcima tijekom tri serije uzorkovanja (srpanj i listopad 2006. te srpanj 2007.). Srednja aktivnosti ^{14}C u bilju na kontrolnoj lokaciji u Dobovi u 2006. bila je $103,6 \pm 0,9$ pMC (234 ± 2 Bq/kg C). Većina lokacija u blizini Nuklearne elektrane pokazala je sličnu ili neznatno višu aktivnost. Najveća srednja razlika je bila u lipnju 2006. na lokacijama C i J (66 Bq/kg C, odnosno 29 pMC).



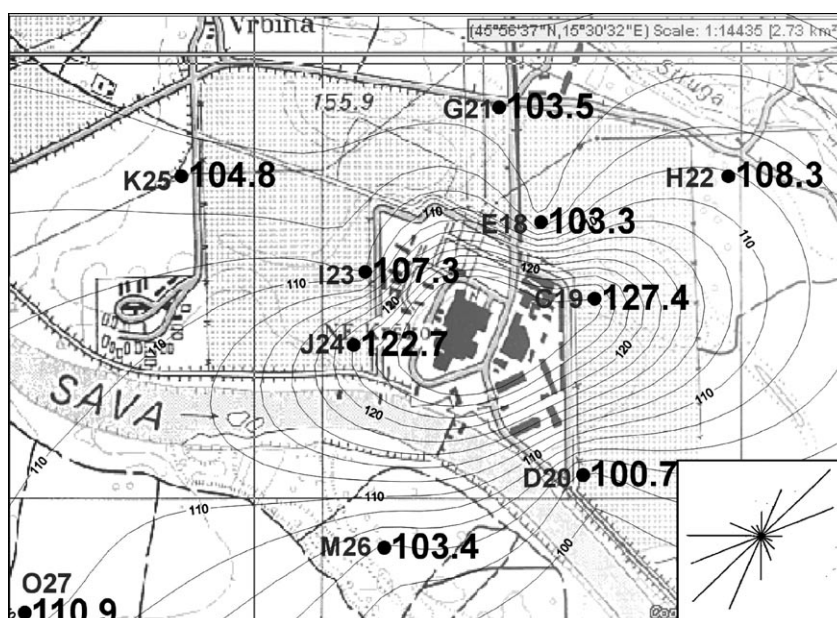
Slika 2. Relativne specifične aktivnosti u biološkim uzorcima iz uzorkovanja u srpnju 2006, listopadu 2006 i srpnju 2007. Oznake lokacija prema Slici 1.

Prostorna raspodjela ^{14}C aktivnosti u okolini NEK pokazala je ovisnost o udaljenosti i smjeru. Primijećene su povećane aktivnosti u bilju na lokacijama C i J, tj. u smjeru jugozapad-sjeveroistok, što odgovara najizraženijem smjeru vjetrova (Slika 3).

Srednja vrijednost $a^{14}\text{C}$ u neposrednoj blizini elektrane (lokacije C, D, E, I, J, L) je $120,6$ pMC u srpnju 2006., $112,3$ pMC u listopadu 2006, te $104,9$ pMC u srpnju 2007. Za udaljenije lokacije (F, G, H, K, M, N) srednje vrijednosti $a^{14}\text{C}$ su $109,6$ pMC, $105,1$ pMC i $102,4$ pMC. Niže vrijednosti $a^{14}\text{C}$ na udaljenijim lokacijama bliske su onima na kontrolnoj lokaciji Dobova. Tijekom

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

travnja/svibnja 2006. bio je remont (izmjena goriva) elektrane, kada je povećan ispušt ^{14}C u atmosferu: ispušt ^{14}C u svibnju i lipnju 2006. iznosio je 70 GBq, a tijekom kolovoza i rujna samo 7 GBq. Povećani ispušt ^{14}C u proljeće opažen je u jabukama koje su dozrijevale neposredno iza toga (uzorkovanje u srpnju 2006.). U listopadu 2006. je na svim lokacijama izmjerena niža $a^{14}\text{C}$ (Slika 2). ^{14}C aktivnost u jabukama na istim lokacijama u srpnju 2007. nije se mnogo razlikovala od aktivnosti na kontrolnoj lokaciji, budući da tijekom proljeća 2007. nije bilo remonta (obavljen je tek u listopadu 2007.).



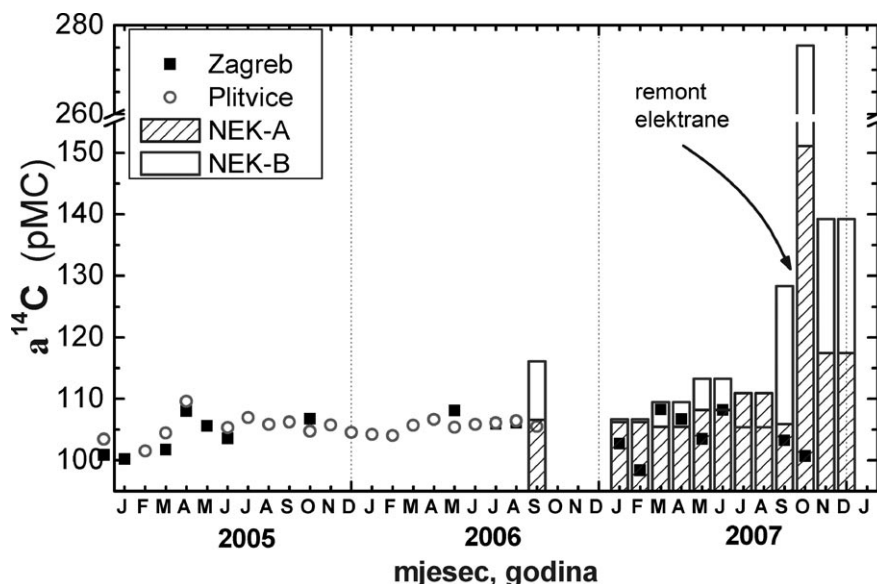
Slika 3. Primjer prostorne raspodjele relativne specifične aktivnosti ^{14}C za listopad 2006. Lijeve oznake se odnose na lokacije (slova) i redni broj uzorka, dok desne brojke označavaju $a^{14}\text{C}$ (u pMC). Linije prikazuju interpolirane ^{14}C aktivnosti. Manja slika u desnom donjem kutu je ruža vjetrova za Krško, za godinu 2006.

Specifična aktivnost ^{14}C u atmosferskom CO_2 na dvije lokacije (A i B) unutar kruga Nuklearne elektrane prikazana je na Slici 4. Za usporedbu, prikazani su rezultati dugoročnih mjerenja aktivnosti ^{14}C u atmosferskom CO_2 na nekim drugim lokacijama [4]. Za vrijeme normalnog rada elektrane nije primijećeno značajno odstupanje od aktivnosti na "čistoj" lokaciji, tj. onoj koja nije pod utjecajem NEK, osim na lokaciji B u rujnu 2006 (116,1 pMC), što je vjerojatno posljedica povećanog ispusta ^{14}C tijekom proljeća. Valja napomenuti da je ta lokacija vrlo blizu lokacije J na kojoj su zamijećene najviše aktivnosti ^{14}C u

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

biološkim uzorcima, a obje lokacije leže u smjeru najizraženijih vjetrova. Slične ^{14}C aktivnosti kao na lokaciji B u rujnu 2006. ($116,1 \pm 0,6$ pMC) bile su izmjerene 1990. u Zagrebu [5].

Sakupljanje atmosferskog CO_2 na lokacijama A i B izvršeno je posebno u razdoblju remonta elektrane, u listopadu 2007., kada se zbog izmjene gorivih elemenata očekuje mnogo veći ispust ^{14}C iz dimnjaka od onog za vrijeme normalnog rada. Aktivnost ^{14}C u atmosferi u razdoblju remonta porasla je na lokaciji A na 151,1 pMC, a na lokaciji B na 275,4 pMC. Nakon završenog remonta, tijekom studenog i prosinca 2007., opaža se pad ^{14}C aktivnosti u atmosferi.



Slika 4. Usporedba specifične aktivnosti ^{14}C u atmosferskom CO_2 na tri lokacije: Zagreb, Institut "Ruđer Bošković", Nacionalni park Plitvička jezera ("čisto" područje), te lokacije A i B u krugu Nuklearne elektrane Krško.

DISKUSIJA

Ekvivalentna godišnja doza E koju primi prosječna osoba uzimanjem hrane određene specifične ^{14}C aktivnosti može se izraziti kao:

$$E = e \times a^{14}\text{C} \times m \times t \quad (1)$$

gdje je t razdoblje od 365 dana, m masa ugljika koja se unese hranom (0,3 kg [6]), $a^{14}\text{C}$ je izmjerena specifična aktivnost (Bq/kg C), a e je očekivana efektivna doza po jedinici aktivnosti, $5,8 \times 10^{-10}$ Sv/Bq [7].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Srednja godišnja efektivna doza iz svih prirodnih izvora u našim krajevima iznosi 1,22 mSv [8]. Uz izmjerenu aktivnost ^{14}C na kontrolnoj lokaciji (Dobova) od 234 Bq/kgC dobivamo za ekvivalentnu godišnju dozu zbog prirodne aktivnosti ^{14}C 0,015 mSv (15 μSv). To znači da prirodna koncentracija aktivnosti ^{14}C doprinosi ukupnoj prirodnoj dozi oko 1%.

Teško je procijeniti realistički moguć porast godišnje doze zbog prehrane voćem koje je raslo u neposrednoj blizini Nuklearne elektrane, budući da ne znamo koliki je udio hrane koja potječe iz neposredne blizine elektrane. Pretpostavimo da prosječni Slovenac pojede 23 kg jabuka godišnje [9], što odgovara približno 3 kg suhe tvari, odnosno oko 1 kg ugljika. Uz konzervativnu pretpostavku da su to upravo jabuke sa lokacije na kojoj je zabilježena najviša aktivnost od 132,4 pMC (300 Bq/kg C) dobivamo da je doprinos efektivnoj dozi uslijed prehrane jabukama u okolišu nuklearke 0,2 μSv . Relativni doprinos ove efektivne godišnje doze ukupnoj prirodnoj dozi iznosi tako 0,2‰, što je zanemarivo.

ZAKLJUČAK

Aktivnost ^{14}C u neposrednoj blizini Nuklearne elektrane Krško ovisi o količini ispusta ^{14}C iz dimnjaka elektrane, a prostorna raspodjela ^{14}C određena je dominantnim smjerom vjetrova (jugozapad-sjeveroistok). Najviša aktivnost u biološkim uzorcima (132,4 pMC) u odnosu na aktivnost na kontrolnoj točki Dobova udaljenoj oko 10 km od elektrane (104 pMC) je nađena u srpnju 2006, a to odgovara razdoblju sazrijevanja voća nakon remonta elektrane s izmjenom gorivih elemenata u travnju 2006. Uz konzervativnu procjenu da prosječni stanovnik Krškog pojede 23 kg jabuka s lokacije na kojoj je zamijećena najviša aktivnost, doprinos njegovoj efektivnoj dozi bila bi 0,2‰, što je zanemarivo.

Mjerenje aktivnosti ^{14}C u atmosferskom CO_2 pokazalo je da prosjek aktivnosti na lokaciji A tijekom 2007. iznosi 107,8 pMC, a na lokaciji B, koja je upravo u smjeru ruže vjetrova, 116,9 pMC. Za vrijeme remonta elektrane u listopadu 2007. aktivnost ^{14}C u atmosferi na lokaciji A iznosila je 151,1 pMC, a na lokaciji B 275,4 pMC.

ZAHVALA

Rad je financiran sredstvima MZOS projekta 098-0982709-2741 i projekta monitoriranja s Nuklearnom elektranom Krško. Zahvaljujemo A.Volčanšku i V.Bostiču (NEK) na pomoći oko sakupljanja uzoraka.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

LITERATURA

- [1] Horvatinčić N, Barešić J, Krajcar Bronić I, Obelić B. Measurements of low ^{14}C activities in a liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory. Radiocarbon 2004; 46/1:105-116.
- [2] 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.
- [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] Krajcar Bronić I, Vreća P, Horvatinčić N, Barešić J, Obelić B. Distribution of isotopic composition of hydrogen, oxygen and carbon in the atmosphere of Croatia and Slovenia. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju 2006; 57/1:23-29.
- [5] 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; 40/1-2: 399-416.
- [6] International Commission on Radiological Protection, Report of the task group on reference man. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 23; 1975.
- [7] Novaković M. Zaštita od ionizirajućih zračenja. Propisi u Republici Hrvatskoj s komentarima. Ekoteh-dozimetrija d.o.o. za zaštitu od zračenja, Zagreb, 2001, str. 121 i 84.
- [8] Prosudba rizika od industrijskih postrojenja u Zagrebu. Novosti br.8, Agencija za posebni otpad, Zagreb, 1995.
- [9] Korun M, Omahen G, Lulić S, ... Obelić B, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Sironić A, Rajtarić A, ... Marović G, Breznik B. Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne Elektrarne Krško. Poročilo za leto 2006, Institut Jožef Stefan, Ljubljana 2007.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

^{14}C ACTIVITY OF BIOLOGICAL SAMPLES AND ATMOSPHERIC CO_2 IN IMMEDIATE VICINITY OF NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO, SLOVENIA

*Bogomil Obelić¹, Ines Krajcar Bronić¹, Jadranka Barešić¹,
Andreja Sironić¹ and Borut Breznik²*

¹Ruder Bošković Institute, Zagreb, Croatia, obelic@irb.hr

²Krško Nuclear Power Plant, Krško, Slovenia

Specific ^{14}C activity of biological samples (apples, corn, cereals, borecole, grass) was measured in immediate vicinity (200 – 400 m) and in a wider environment (about 1000 m) of the Nuclear Power Plant Krško (NPPK) (Fig. 1). A control site, where no influence of the power plant is expected, was chosen about 10 km SE from NPPK. Sampling campaigns were performed in July and October 2006, and in July and September 2007. CO_2 obtained by sample combustion was absorbed in a mixture of Carbosorb E and Permafluor E, and measured by a liquid scintillation counter (LSC) *Quantulus 1220*.

Atmospheric CO_2 was collected at two locations (A and B, Fig. 1) inside the NPPK area. Integral monthly sample was collected in September 2006, and regular monitoring in bimonthly periods has continued in 2007. Samples were collected by absorption of CO_2 in saturated NaOH. From CO_2 we obtained benzene which was measured by the LSC *Quantulus 1220*.

^{14}C activity of biological samples depends on the outflow of the plant smokestack and is determined by dominant wind direction (SW-NE) (Figs. 2 and 3). The highest activity of 132.4 pMC was observed in July 2006, the period of fruit maturation immediately after refueling outage from the opened reactor. The average activity at the control point was 104 pMC. The conservative estimation that the average inhabitant of Krško consumes yearly 23 kg of apples from the location with the highest activity contributes 0.2‰ to the effective dose, and presents a negligible fraction of the total natural dose.

The average ^{14}C activities in atmospheric CO_2 (Fig. 4) were 107.8 pMC on location A and 116.9 pMC on location B, which is in direction of the most pronounced winds. During the refueling outage in October 2007 the ^{14}C activity in the atmosphere was 151.1 pMC on location A and 275.4 pMC on location B.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MAHOVINA U RADIOLOŠKOM MONITORINGU

Gordana Marović, Zdenko Franić i Jasminka Senčar
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska 2, 10000 Zagreb
e-mail: marovic@imi.hr

UVOD

Mahovine, višegodišnje biljke sporoga rasta, ekstremno su osjetljivi biološki indikacijski organizmi u primjeni biomonitoringa. Pomoću njih se mogu prikupiti vjerodostojne informacije o prostornoj i vremenskoj razdiobi i trendovima onečišćenja zraka i okoliša radioaktivnim tvarima, posebno u uvjetima nuklearne nesreće i nekontrolirane emisije fizijskih produkata.

Mahovine su jedan od najznačajnijih skupljača radionuklida iz zraka, sposobne su akumulirati radionuklide iz svoga okoliša učinkovitije od druge vegetacije [1]. Iz zemlje gotovo ne resorbiraju fizijske produkte, ili u količinama koje su zamemarive. Glavni sadržaj fizijskih radionuklida je u gornjim zelenim dijelovima biljke i procjenjuje se da je akumulacija radionuklida proporcionalna unosu. Direktna depozicija radionuklida na tu vrstu biljaka najvažniji je put njihove kontaminacije.

Značenje bioindikatora posebno se pokazalo pri procjeni stupnja radioaktivne kontaminacije nekog područja nakon nuklearne nesreće u Čornobilju.

Mahovine i lišaji imaju ključnu ulogu pri procjeni stupnja radioaktivne kontaminacije u skandinavskim zemljama gdje u zimskim mjesecima predstavljaju jedinu hranu sobova i sjevernih jelena, a kako je njihovo meso glavni izvor proteina lokalnih stanovnika, taj prehrambeni lanac mahovina/lišaj-divljač-čovjek osjetljiv je na povećani rizik. U našoj zemlji mahovine ne predstavljaju tako značajnu ulogu u prehrani divljači, pa povećanje radiološkog rizika dijela populacije nije u prvom planu istraživanja. No, proširivanje spoznaja o putevima kontaminacije praćenjem bioindikatora važno je zbog radioekoloških istraživanja i za uporedbu s poznatim rezultatima u svijetu.

U radu su prikazani rezultati dvadesetgodišnjih istraživanja koncentracija aktivnosti cezija u mahovini. Za uporedbu prikazani su i rezultati istraživanja u travi, jednoj od komponenata stočne hrane [2-4]. 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.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

METODE RADA

Uzorci mahovine i trave skupljani su na nekoliko lokacija u Republici Hrvatskoj. 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 u laboratoriju; Ge(Li) detektorom ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8% na 1,33 MeV; HPGe detektorom ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74% na 1,33 MeV ^{60}Co povezanim s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija efikasnosti načinjena je standardima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO).

REZULTATI I RASPRAVA

U osamdesetim godinama dvadesetog stoljeća u posliječornobiljskom razdoblju najviša izmjerena vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovini bila je u svibnju 1986. godine (8800 Bqkg $^{-1}$) na lokaciji Lički Osik, dok je prosječna vrijednost iznosila 3423 Bqkg $^{-1}$. Za usporedbu u istom je razdoblju prosječna koncentracija aktivnosti trave bila devet puta manja 390 Bqkg $^{-1}$, uz maksimalnu vrijednost od 5500 Bqkg $^{-1}$ izmjerenu u lipnju 1986. godine.

Prosječna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u mahovini u devedesetim godinama, deset godina nakon nuklearne nesreće u Čornobilju, iznosila je 1345 Bqkg $^{-1}$, s maksimumom od 3940 Bqkg $^{-1}$ u prosincu 1994. godine na lokaciji oko Gospića. U dvijetisućitim godinama prosječna se vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovini spustila na 172 Bqkg $^{-1}$, dok je maksimum od 955 Bqkg $^{-1}$ zabilježen u srpnju 2002. godine u uzorku iz Kamačnika.

Izmjerene vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs poslužile su za izračun "srednjeg vremena boravka" (tj. ekološkog vremena boravka) ^{137}Cs u mahovini korištenjem jednadžbe (1)[5]. Za usporedbu račun je proveden i u uzorcima trave. Na slikama 1 i 2 prikazane su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs kao funkcije vremena uz modelirano kretanje prema jednadžbi (1).

$$A(t) = A(0) e^{-kt} \quad (1)$$

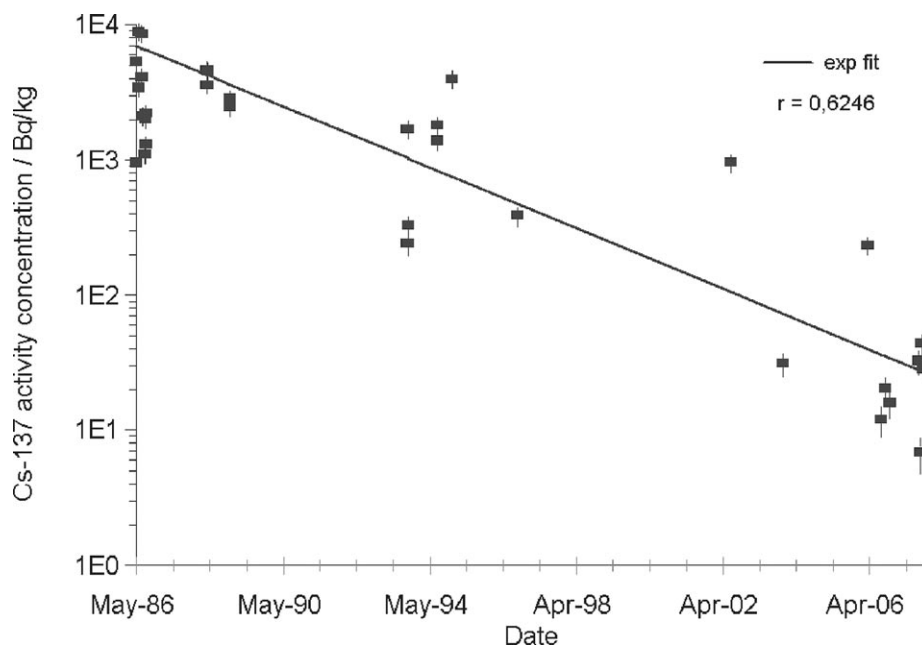
gdje su:

$A(t)$ – vremenski ovisna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u mahovini / travi (Bqkg $^{-1}$),

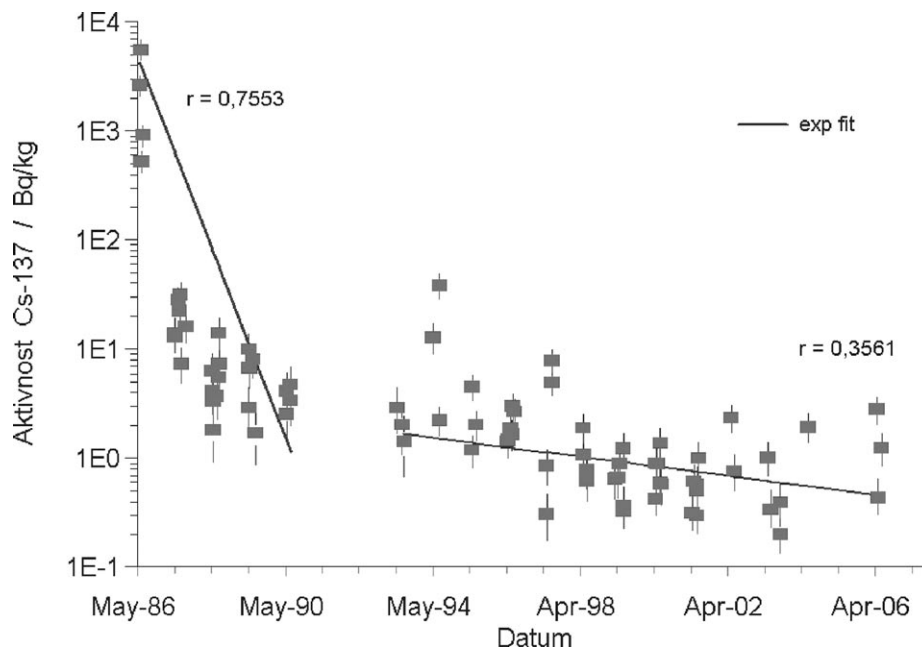
$A(0)$ – vršna vrijednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mahovini / travi (Bqkg $^{-1}$), u 1986. godini i

$\ln(2)/k = T_{1/2,ef}$ – efektivno ekološko vrijeme boravka ^{137}Cs u mahovini / travi (u danima).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Izmjerene i modelirane vrijednosti aktivnosti ^{137}Cs u mahovini



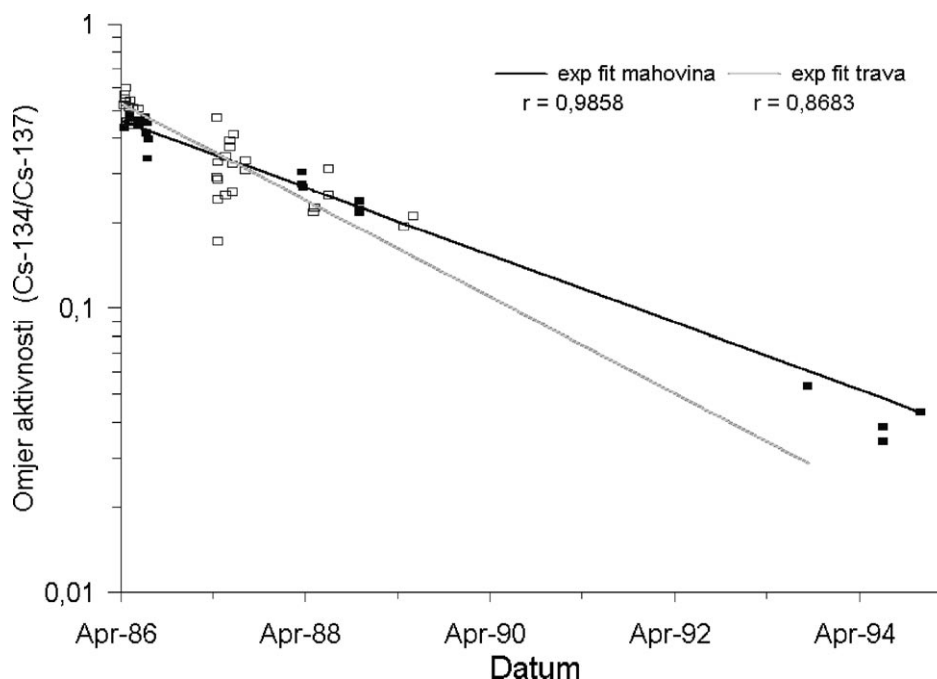
Slika 2. Izmjerene i modelirane vrijednosti aktivnosti ^{137}Cs u travi

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Procijenjeno ekološko vrijeme boravka ^{137}Cs u mahovini je oko 978 dana, dok je za travu procijenjeno na oko 126 dana. Kako mahovine iz zemlje gotovo ne resorbiraju fizijske produkte, procjenjuje se da je u tom bioindikatore akumulirana sva radioaktivnim oborinama i zrakom (manjim dijelom) unešena kontaminacija fizijskim radionuklidima. Zbog resorpcije fizijskih produkata isključivo oborinama, glavni sadržaj fizijskih radionuklida je u gornjim zelenim dijelovima mahovine. Trave pak, zbog različite fiziologije – biljke s korijenom, nisu resorbirale veće količine fizijskih radionuklida. Za pretpostaviti je da su izmjerene veće vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs tijekom 1986. godine posljedica folijarne kontaminacije, dok su kasnijih godina prisutni mehanizmi resorpcije korijenjem u tlo prodrlih fizijskih radionuklida.

Poslije čornobiljske nesreće u okolišu je u lepezi fizijskih izotopa bio prisutan i ^{134}Cs . Promotre li se i modeliraju omjeri koncentracija aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs , vidljivo je smanjenje toga omjera od početne vrijednosti $\approx 0,5$ različitom brzinom za mahovinu i travu (Slika 3)

Rezultati dvadesetgodišnjih istraživanja koncentracije aktivnosti cezija u mahovinama pokazuju da su mahovine dobar pokazatelj geografske i sezonske raspodjele radioaktivne kontaminacije



Slika 3. Omjer aktivnosti $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ u mahovini i travi

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Pristup procjeni radiološke kontaminacije putem bioindikatora predstavlja doprinos u stvaranju podloga za učinkovito djelovanje u slučaju budućih nuklearnih nesreća.

ZAHVALA

Ovaj rad ostvaren je u sklopu projekata financiranih od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske, *Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja i Radioekologija mora i priobalja*. Autori se zahvaljuju Ljerki Petroci na pomoći.

LITERATURA

- [1] Marović G. The role of bioindicators in assessing radioactive contamination. *Arh hig rada toksikol* 1990;41:371-378
- [2] Bauman A, Cesar D, Franić Z, Kovač J, Lokobauer N, Marović G, Maračić M, Novaković M. 1979 – 1992. Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj, godišnja izvješća, 1978 – 1991. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska.
- [3] Kovač J, Cesar D, Franić Z, Lokobauer N, Marović G, Maračić M. 1993 – 1998. Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj, godišnja izvješća, 1992 – 1997. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska.
- [4] Marović G, Franić Z, Kovač J, Lokobauer N, Maračić M. 1999 – 2007. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj, godišnja izvješća 1998 – 2008. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska.
- [5] Franić Z, Petrincec B, Marović G, Franić Z. Radiocaesium Activity Concentrations in Potatoes in Croatia after the Chernobyl Accident and Dose Assessment. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2007;142:211-217.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MOSSES IN RADIOACTIVE MONITORING

Gordana Marović, Zdenko Franić and Jasminka Senčar
Institute for Medical Research and Occupational Health
Radiation Protection Unit, 10000 Zagreb, Ksaverska 2, Croatia
e-mail: marovic@imi.hr

Mosses, lichens and perennial plants, all characterized by slow growth, are able to efficiently accumulate different radionuclides from their environment to a much higher degree than other vegetation. Consequently, they are sensitive bioindicators of radioactive contamination for various ecosystems.

Results of systematic, long-term measurements of ^{137}Cs activities in mosses for the period 1986-2007 are summarized. 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.

In the overall observed period the highest activity concentration of ^{137}Cs deposited by fallout has been recorded in 1986, which is the year of Chernobyl accident, causing peak ^{137}Cs activity concentration in moss of 8800 Bqkg^{-1} in May 1986. Mean value for period 1986 – 1990 was 3423 Bqkg^{-1} . For comparison, in the same period mean ^{137}Cs activity concentration in grass was 390 Bqkg^{-1} . In 1990s, ten year after Chernobyl accident, mean ^{137}Cs activity concentration in moss was 1345 Bqkg^{-1} , with maximum value of 3940 Bqkg^{-1} (December 1994). In 2000s, mean ^{137}Cs activity concentration in mosses was 172 Bqkg^{-1} with maximum value of 955 Bqkg^{-1} (July 2002).

Fitting the measured ^{137}Cs activity concentrations to the theoretical curve (1) the ecological half-life of ^{137}Cs in moss was found to be about 978 days, while in grass was found to be about 126 days in the period 1986 – 1990. The ecological half-life of ^{137}Cs in grass after 1991 was found to be about 2503 days. The ecological half-life of ^{137}Cs in moss is about eight times higher than ^{137}Cs ecological half-life observed in grass in the first period after the Chernobyl accident.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

^{226}Ra I ^{228}Ra U RIJEKAMA HRVATSKE

*Tomislav Bituh, Branko Petrincec, Gordana Marović, Jasminka Senčar
i Iva Gospodarić*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska 2, 10000 Zagreb
e-mail: tbituh@imi.hr

UVOD

Hrvatska je zemlja bogata vodama. Uz podzemne vode, brojne izvore, geografske vode, rijeke u Republici Hrvatskoj vrlo su važne za opskrbu stanovništva vodom. Prirodni radionuklidi ^{226}Ra i ^{228}Ra , zbog svoje visoke radiotoksičnosti, potencijalna su opasnost od izlaganja stanovništva radioaktivnosti. ^{226}Ra je potomak ^{238}U i α -emiter sa vrlo dugim vremenom poluraspada od 1600 godina. Kemijski je srodan Ca, esencijalnom elementu u tijelu, te se najvećim dijelom deponira u hematopoetskom tkivu kostima, gdje kontinuirano ozračuje kostur i time predstavlja potencijalnu opasnost razvitka raka kostiju. Značajnu ulogu u istraživanjima radioaktivnosti u okolišu ima i ^{228}Ra , β -emiter i potomak ^{232}Th sa vremenom poluraspada od 5,77 dana, a u organizmu se ponaša vrlo slično ^{226}Ra [1-4].

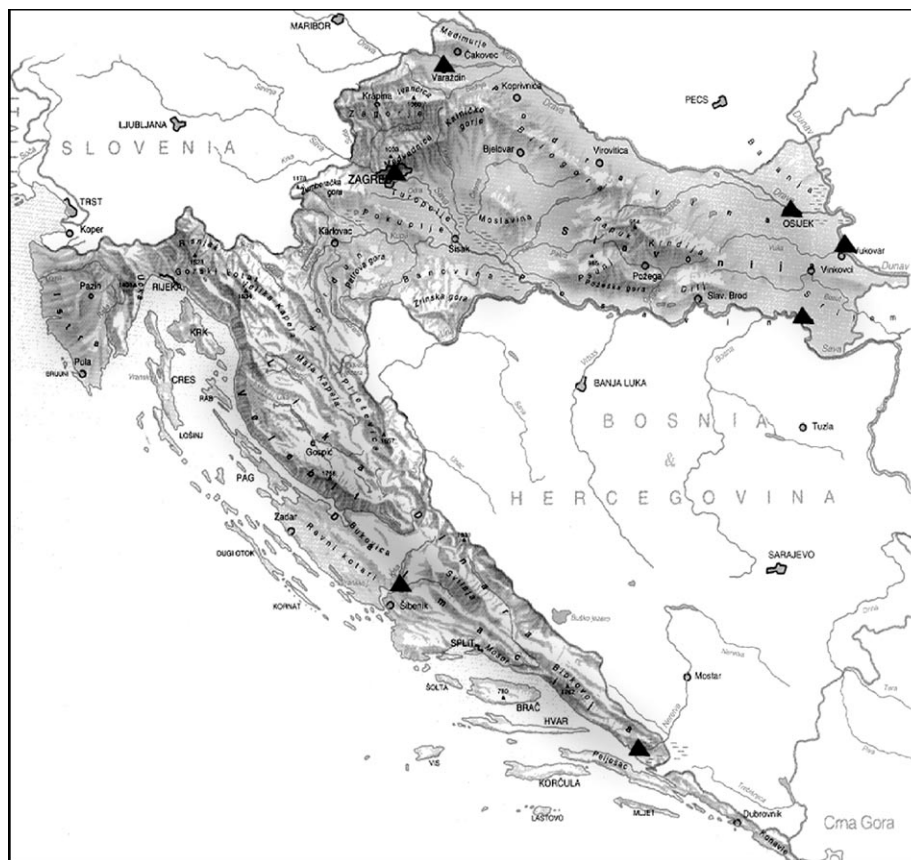
Jedinica za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada provodi opširan program monitoringa stanja radioaktivnosti okoliša u Republici Hrvatskoj [5]. U ovom radu prikazano je istraživanje prisutnosti ^{226}Ra i ^{228}Ra u rijekama Dunavu, Dravi i Savi, koje pripadaju Crnomorskom slivu, te u rijekama Neretvi i Krki, koje pripadaju Jadranskom morskom slivu. Monitoring prisutnosti ^{226}Ra i ^{228}Ra u rijekama važan je kako bi se dobila preciznija slika raspodjele radionuklida u prirodi, te za kontrolu kvalitete voda koje se koriste u industriji i poljoprivredi, te kao voda za piće.

MATERIJAL I METODE

Uzorci riječnih voda sakupljani su dva puta godišnje, u istom vremenskom periodu, na istoj lokaciji koristeći točne geografske koordinate, kako bi se smanjila nesigurnost uzorkovanja (*Slika 1*). Na svim uzorcima provedena je alfa-spektrometrijska analiza ^{226}Ra (silikonski PIPS detektor aktivne površine 450 mm², α -rezolucija za ^{241}Am 19 keV) nakon radiokemijske separacije taloženjem sa Ba(Ra)SO₄, pomoću Si detektora tijekom najmanje 80000 sekundi [6].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Nakon uparivanja 50 L svakog uzorka do volumena od 1 L, ^{228}Ra je mje-
ren gamaspektrometrijski pomoću HP Ge i/ili Ge(Li) detektora (rezolucija
1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co , efikasnost 16,8% i/ili rezolucija 1,56 keV na
1,33 MeV ^{60}Co , efikasnost 18,7%) tijekom najmanje 170,000 sekundi. ^{228}Ra ra-
čunat je iz ^{228}Ac koji je mjeran na 911,07 keV, 968,90 keV i 964,60 keV [7,8].



Slika 1. Mjesta uzorkovanja riječnih voda: Dunav-Vukovar, Drava-Osijek, Drava-Varaždin, Sava-Županja, Sava-Zagreb, Krka-Skradin i Neretva-Opuzen

REZULTATI

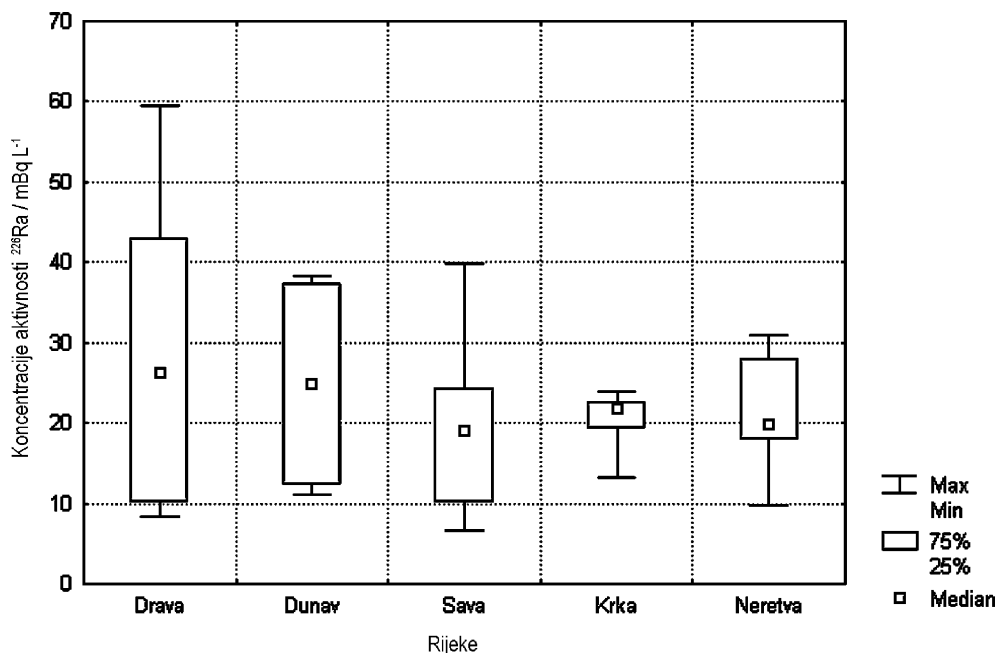
U Tablici 1 prikazani su sumarni podaci svih uzoraka mjerenja koncentracije aktivnosti ^{226}Ra i ^{228}Ra za razdoblje od 2002. do 2006. godine. Vidljivo je da su rezultati sukladni sa hrvatskim zakonom, Uredbom o klasifikaciji voda [9] i Uredbom o opasnim tvarima u vodama [10].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra i ^{228}Ra u rijekama

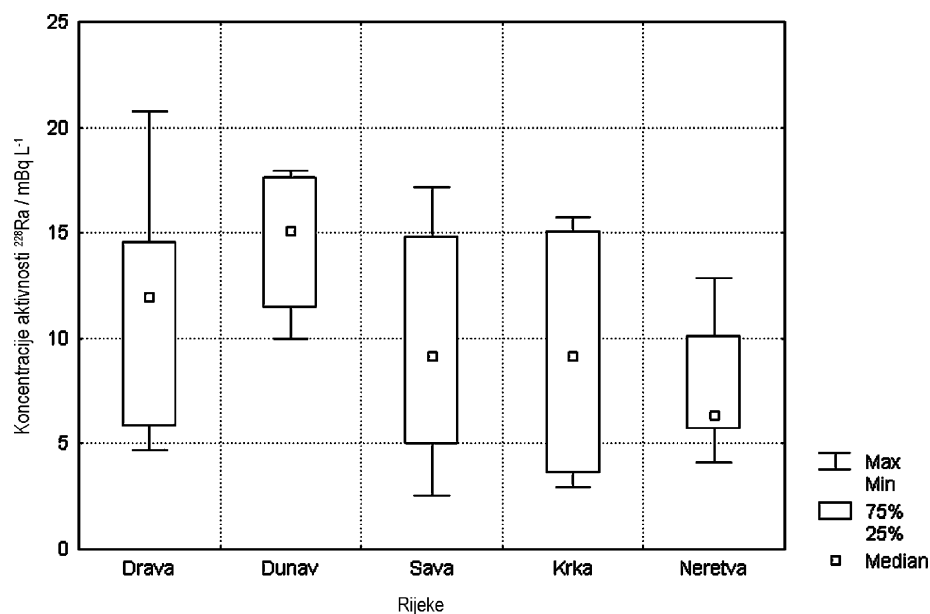
	^{226}Ra	^{228}Ra	
Broj uzoraka	42	42	
Srednja vrijednost	22,44	10,23	(mBq L ⁻¹)
Medijan	19,57	10,22	
Minimum	6,54	2,57	
Maksimum	59,44	20,76	
S.D.	13,09	5,10	
Standardna pogreška	2,02	0,79	

Na Slici 2 i Slici 3 vidljivo je da su se koncentracije aktivnosti ^{226}Ra kretale od 6,54 mBq L⁻¹ do 59,44 mBq L⁻¹, dok su izmjerene koncentracije aktivnosti ^{228}Ra bile između 2,57 mBq L⁻¹ i 20,76 mBq L⁻¹. Najmanje vrijednosti zabilježene su u rijeci Savi, a najviše u rijeci Dravi za oba radionuklida.



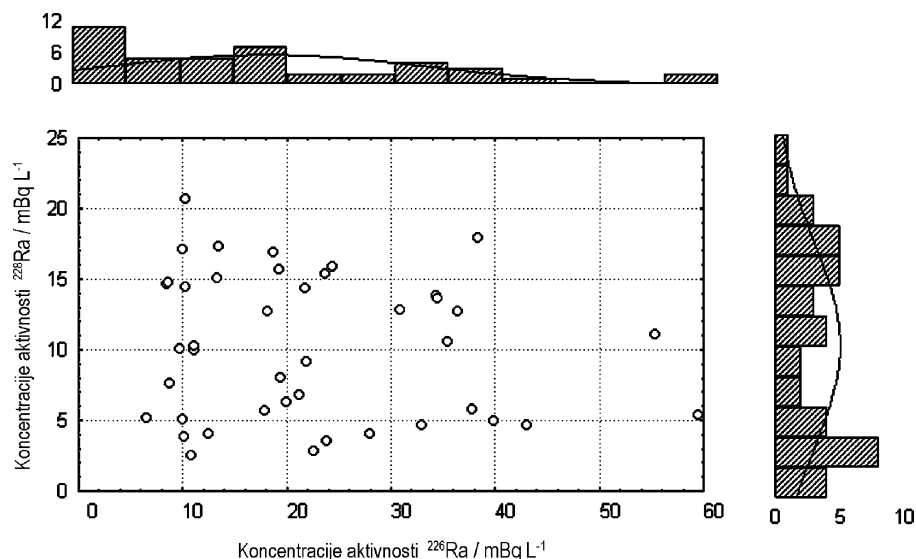
Slika 2. Koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u rijekama

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 3. Koncentracije aktivnosti ^{228}Ra u rijekama

Na Slici 4 prikazani su odnosi koncentracija aktivnosti ^{226}Ra i ^{228}Ra u svim uzorcima. Pojavljivanje bimodalnosti kod oba radionuklida moglo bi zna-



Slika 4. Odnos koncentracija aktivnosti ^{226}Ra i ^{228}Ra

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

čiti razlike u aktivnostima između dva sliva. Iako postoje geološke razlike među slivovima, nisu pronađene statistički značajne razlike između Jadranskog i Crnomorskog sliva. Također nisu nađene statistički značajne razlike među slivovima u omjeru $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$, niti rijeka pojedinačno.

ZAKLJUČAK

Određivanje količina ^{226}Ra i ^{228}Ra u riječnim vodama korisno je radi prevencije nepotrebne izloženosti ljudi zračenju. Sve hrvatske rijeke teku kroz poljoprivredno područje i koriste se za navodnjavanje, pa je monitoring radija u riječnim vodama vrlo važan. Zbog nedovoljnog broja uzoraka vrlo je teško obraditi podatke na statistički značajnom nivou. Ipak, rezultati ovog istraživanja mogu biti osnovica za procjenu mogućih promjena u budućnosti.

LITERATURA

- [1] Iyengar MAR. The natural distribution of radium. U: Environmental behavior of radium Vol 1. Technical report series No 310. Vienna: IAEA; 1990. Vol.1:59-128.
- [2] Molinari J, Snodgrass WJ. The chemistry and radiochemistry of radium and the other elements of the uranium and thorium natural decay series. U: Environmental behavior of radium Vol 1. Technical report series No 310. Vienna: IAEA; 1990. 11-56.
- [3] Wrenn ME, Durbin PW, Howard B, Lipsztein J, Rundo J, Still ET, Willis DL. Metabolism of ingested U and Ra. Health Phys 1985; 48 (5): 601-633.
- [4] Larsheen YF, Seliman AF, Abdel-Rassoul AA. Simultaneous measurement of ^{226}Ra and ^{228}Ra in natural water by liquid scintillation counting. J Environ Radioactivity 2007; 95 (2-3): 86-97.
- [5] Marović G, Franić Z, Bituh T, Bronzović M, Kovač J, Lokobauer N, Maračić M, Petrincec B, Sokolović E. Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj; Izvještaji za 2002.-2006. godinu. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska 2003-2007
- [6] U.S. Department of Health, Education and Welfare. Radioassay procedures for environmental samples. Environmental health series radiological health. Public health service publication No. 999-RH-27. Washington: U.S. Government Printing Office; 1967. 5.49-5.52.
- [7] International Atomic Energy Agency (IAEA) The use of gamma ray data to define the natural radiation environment. Technical report series No 295. Vienna: IAEA; 1989. 1-167.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [8] 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.
- [9] Narodne Novine br. 77/98. Uredba o klasifikaciji voda. 1998
<http://www.nn.hr/sluzbeni-list/sluzbeni/index.asp> Pristupljeno: siječanj 2007.
- [10] Narodne Novine br. 78/98. Uredba o opasnim stvarima u vodama. 1998
<http://www.nn.hr/sluzbeni-list/sluzbeni/index.asp> Pristupljeno: siječanj 2007.

²²⁶Ra AND ²²⁸Ra IN CROATIAN RIVERS

*Tomislav Bituh, Branko Petrinc, Gordana Marović, Jasminka Senčar
and Iva Gospodarić*

Institute for Medical Research and Occupational Health,
Radiation Protection Unit, Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: tbituh@imi.hr

Results of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in Croatian river waters are presented in this paper. The presence of natural radionuclides in the Croatian rivers emphasizes the need for continuous monitoring. ²²⁶Ra and ²²⁸Ra were chosen as a possible source of human exposure to radioactivity due to their high radio-toxicity. River water samples (50 L) were collected from the Danube, Drava, Sava, Krka and Neretva rivers twice a year from 2002 to 2006. Activity concentrations of ²²⁶Ra ranged from 6.54 mBq L⁻¹ to 59.44 mBq L⁻¹ and ²²⁸Ra activity concentrations ranged from 2.57 mBq L⁻¹ to 20.76 mBq L⁻¹. The highest values of both ²²⁶Ra and ²²⁸Ra were measured in the Drava river, and the lowest values in the Sava river. Statistically significant differences were not observed between radium concentrations from two watersheds (the Black Sea and the Adriatic Sea watershed), nor between ²²⁶Ra/²²⁸Ra ratio in rivers individually. The number of collected samples is insufficient to make statistically significant conclusions. Further investigation is necessary to obtain larger number of samples. However, the data obtained in this study could be the baseline for evaluating possible future changes.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADIOEKOLOŠKO STANJE ^{137}Cs U SJEVERNOM JADRANU TIJEKOM 2006. i 2007. GODINE

Dijana Pavičić-Hamer¹ i Stipe Lulić²

Institut "Ruđer Bošković"

¹Centar za istraživanje mora, Rovinj

²Zavod za istraživanje mora i okoliša, Zagreb

e-mail: pavicic@cim.irb.hr

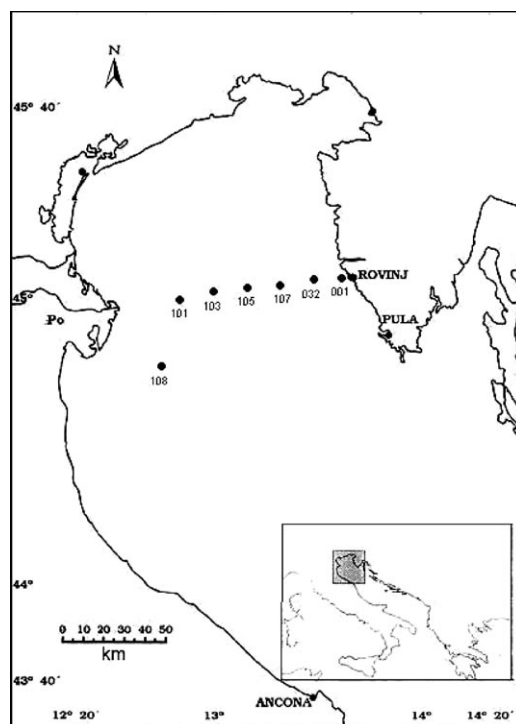
UVOD

U Institutu "Ruđer Bošković", Centru za istraživanje mora, Rovinj, provode se gama-spektrometrijske analize radionuklida u morskom okolišu. Radioekološka procjena se provodi sa ciljem istraživanja distribucije i akumulacije radionuklida u ekosustavu [1]. Sjeverni Jadran je specifično područje zbog svojeg geografskog položaja i oceanografskih karakteristika [2]. Glavni izvori dotoka umjetne radioaktivnosti u Jadransko more su atmosfersko zagađenje radionuklidima (fallout) i donos rijekom Po [3]. ^{137}Cs je jedan od fisijskih produkata, dugo se zadržava u morskom okolišu i široko je rasprostranjen pomoću strujanja vodenih masa stoga je od globalnog radiološkog značaja [4, 5]. Svrha ovih istraživanja je monitoring stanja ^{137}Cs u sjevernom Jadranu i utvrđivanje bioindikatorskih vrsta pogodnih za praćenje stanja radioaktivnosti. Na temelju rezultata dvogodišnjeg istraživanja napravljena je usporedba radioaktivnog stanja različitih ekosustava: područje pod utjecajem rijeke Po, zaštićeno područje Limskog zaljeva i obalno područje Rovinja.

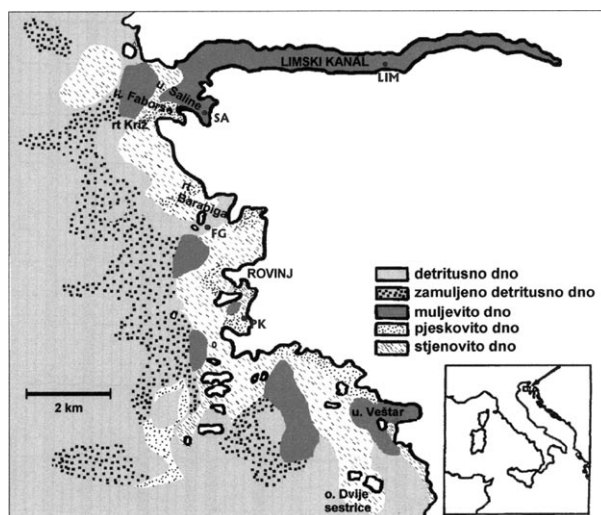
MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje, radiokemijska analiza i određivanje ^{137}Cs u uzorcima morske vode, sedimentu i biološkom materijalu napravljeni su po protokolu od IAEA [4, 6]. Tijekom 2006. i 2007. godine uzorkovano je na određenim postajama sjevernog Jadrana (Slika 1, 2). Na postaji 108 uzimani su sezonski uzorci morske vode (0, 15 i 30 m) i sediment korcerom (0-10 cm). U Limskom zaljevu uzimani su uzorci morske vode i dagnji *Mytilus galloprovincialis*. Dva puta godišnje uzimani su uzorci u obalnom području Rovinja, morska voda kod otoka Figarole, sediment uvala Saline, te smeđa alga jadranski bračić *Fucus virsoides* kod Zlatnog rta. Od riba koristili smo sardelu *Sardina pilchardus*, cipal *Mugil cephalus* i trilju *Mullus barbatus* sa tržnice.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Postaja 108 ispred ušća rijeke Po u sjevernom Jadranu.



Slika 2. Karta priobalnog područja Rovinja, postaje: FG – otok Figarola, LIM – Limski zaljev, KŽ – rt Križ, PK – Zlatni rt i SA – uvala Saline.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Za analizu ^{137}Cs u uzorku morske vode (50 l) korišten je za precipitaciju amonijum-fosfo-molibdat (AMP) i stabilni CsCl kao nosač. Uzorci su osušeni na 105°C , s tim da su biološki spaljeni na 360°C . Uzorci su mjereni 80 000 s nedestruktivnom metodom gama-spektrometrijom na GR detektoru (FWHM 1,83 keV do 1,33 MeV; relativne efikasnosti 25,8% peak to compton 57,8:1) na 8192 kanala u energetskom području od 2000 keV. Za kvalitativnu i kvantitativnu analizu dobivenih spektara korišten je Canberra Genie software (GENIE2K).

REZULTATI I DISKUSIJA

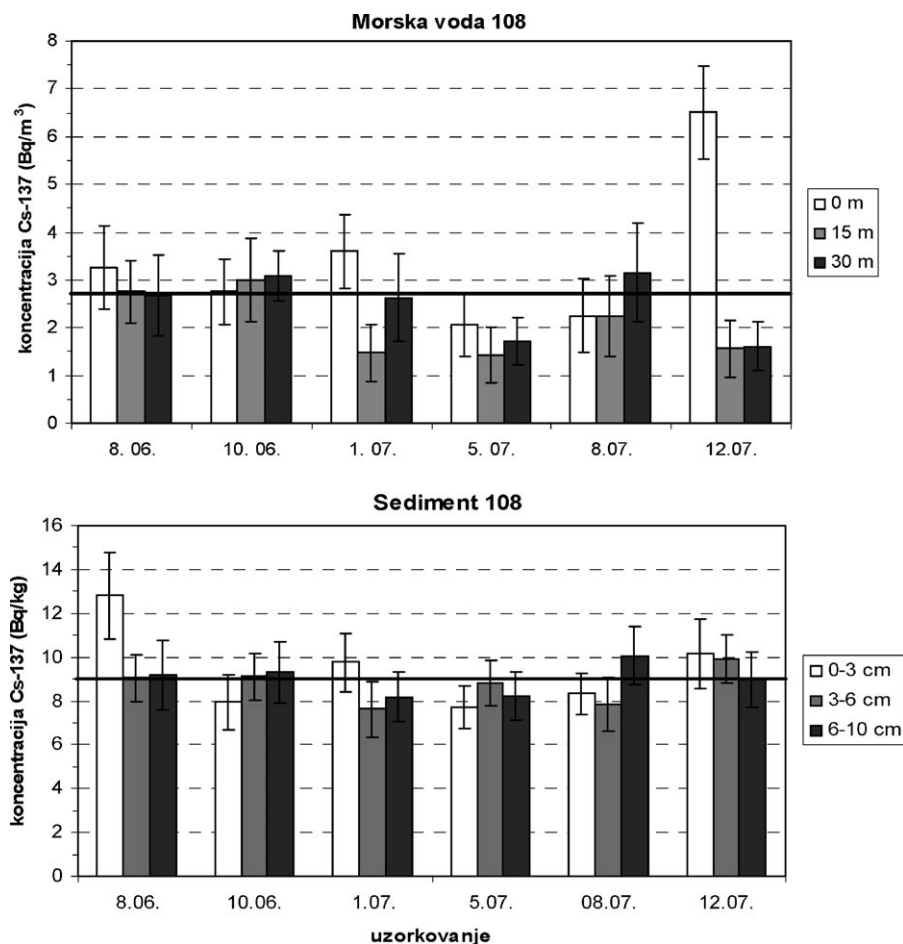
Tijekom 2006. i 2007. godine pratili smo radioekološko stanje u sjevernom Jadranu u tri različita ekosustava. Usporedili smo područje pod utjecajem rijeke Po, zaštićeno područje Limskog zaljeva i obalno područje Rovinja pod utjecajem antropogenog onečišćenja.

Na postaji 108 određena je vertikalna distribucija ^{137}Cs u morskoj vodi i u sedimentu (Slika 3). U morskoj vodi koncentracije ^{137}Cs su varirale od 1,42 do $3,60 \text{ Bq m}^{-3}$. Profil ^{137}Cs u vodenom stupcu karakterizira opadanje koncentracije od površine prema dnu [7]. Na postaji 108 u vertikalnom transportu nije izražena tendencija opadanja ^{137}Cs s dubinom, razlog tome je mala dubina i strujanje mora. Srednja vrijednost ^{137}Cs za sediment je povišena ($9,06 \text{ Bq/kg}$) u odnosu na sediment sjevernog Jadrana ($2-5 \text{ Bq/kg}$), što ukazuje na donos radioaktivnosti rijekom Po [3].

Tijekom 2006. u Limskom zaljevu izmjerili smo nisku koncentraciju ^{137}Cs u dagnjama, dok 2007. ^{137}Cs nije bio detektiran (Slika 4). Tijekom 2007. koncentracija ^{137}Cs u morskoj vodi je bila niska ($1,99 \text{ Bq m}^{-3}$). U Limskom zaljevu uslijed brojnih podmorskih izvora – vrulja, morska voda je smanjenog saliniteta, koji varira sezonski i s dubinom.

Na području Rovinja koncentracija ^{137}Cs u morskoj vodi je u rangu višegodišnjeg prosjeka prije Černobilske nesreće ($2,43 \text{ Bq m}^{-3}$), kao i u površinskom sloju sedimenta ($2,15 \text{ Bq/kg}$) (Slika 4). Rezultati akumulacije ^{137}Cs na odabranim organizmima pokazuju da određene vrste bolje akumuliraju radionuklide od drugih. U dagnje, cipla i sardele nije došlo do značajne akumulacije ^{137}Cs , dok u jadranskom bračiću i trilji je povećana koncentracija ^{137}Cs . Dosadašnja istraživanja na smeđoj algi *Fucus serratus* su pokazala da je dobar bioindikator za praćenje distribucije radionuklida [8]. Rezultati indiciraju da se jadranski bračić i trilja mogu primijeniti kao bioindikator otopljenih radionuklida u morskoj vodi i za praćenje nuklearne kontaminacije u sjevernom Jadranu.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

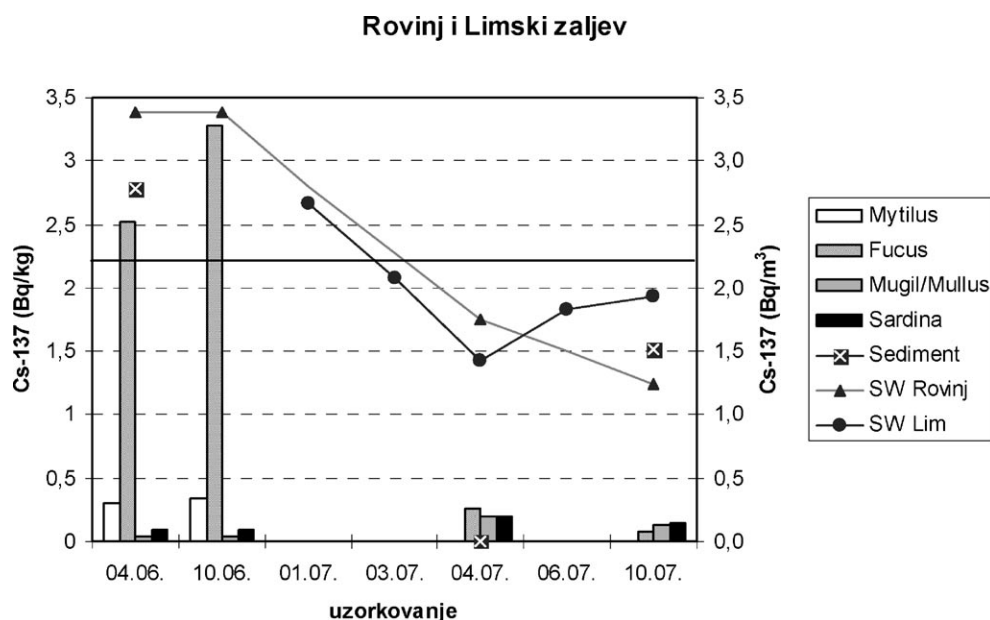


Slika 3. Koncentracija ^{137}Cs u morskoj vodi i sedimentu na postaji 108 tijekom 2006. i 2007. godine.

ZAKLJUČAK

Umjetnu radioaktivnost u sjevernom Jadranu procijenili smo određivanjem koncentracije ^{137}Cs u različitim ekosustavima: području pod utjecajem rijeke Po, zaštićenom području Limskog zaljeva i obalnom području Rovinja. *Fucus virsoides* i *Mullus barbatus* mogu se primijeniti kao indikatorske vrste u monitoringu radioekološkog stanja u Jadranskom moru. Radioekološko stanje ^{137}Cs u sjevernom Jadranu je u rangu višegodišnjeg prosjeka prije Černobilske nesreće, sa kolebanjima koja su pod utjecajem fizikalno-kemijskih i hidrografskih parametara tog područja.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 4. Koncentracija ^{137}Cs u morskoj vodi, sedimentu i biološkom materijalu iz Limskog zaljeva i obalnog područja Rovinja tijekom 2006. i 2007. godine.

LITERATURA

- [1] Fowler SW. Biologically mediated removal, transformation and regeneration of dissolved elements and compounds. In: Mantolura, Martin and Wollast eds. Ocean Margin Processes in Global Change, 1991; 127-143.
- [2] Cushman-Roisin B, Gačić M, Poulain PM, Artegiani A. Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Kluwer Academic Publishers, 2001. ISBN 1-4020-0225-4.
- [3] Nonnis Marzano F, Triulzi C. A Radioecological Survey of Northern and Middle Adriatic Sea before and After the Chernobyl Event (1979-90). Marine Pollution Bulletin 1994; 28 (4): 244-253.
- [4] Folsom TR, Sreekumaran C. Some reference methods for determining radioactive and natural caesium for marine studies. Technical reports series No.118: Reference methods for marine radioactivity studies. Vienna, International Atomic Energy Agency (IAEA); 1970, 129-187.
- [5] Florou H, Kritidis P, Vosniakos F, Trindafyllis J, Delfanti R, Papucci C, Cigna A, Polikarpov G.G, Egorov V.N, Bologna A.S, Patrascu V. Caesium-137 in the eastern Mediterranean – impact sources and marine pathways, FEB 2003; 12(1):3-9.
- [6] Mediterranean Mussel Watch – Designing a regional program for detection radionuclides and trace-contaminants. CIESM Workshop Series no. 15. Monaco, 2002.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [7] UNEP. Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by radioactive substances. Athens: MAP Technical Reports Series 62, 1992.
- [8] Carlson L, Erlandsson B. Seasonal variation of radionuclides in *Fucus vesiculosus* L. from Oresund, Southern Sweden. *Environ Pollut* 1991; 73(1):53-70.

THE RADIOECOLOGICAL CONDITION OF ^{137}Cs IN THE NORTHERN ADRIATIC SEA (2006 – 2007)

Dijana Pavičić-Hamer¹ and Stipe Lulić²

Ruđer Bošković Institute

¹Center for Marine Research, Rovinj, Croatia

²Division for Marine and Environmental Research, Zagreb, Croatia

e-mail: pavicic@cim.irb.hr

Over the past 30 years, the Croatian Ruđer Bošković Institute, Center for Marine Research Rovinj has studied the levels and distribution of long-lived radionuclides in different marine samples. Artificial radioactivity in the northern Adriatic Sea was assessed by analysis of the concentration of ^{137}Cs in seawater, sediment and marine organisms. A comparison of radioactive contamination was made between different ecosystems including in front of the river Po delta, the protected area of Lim bay and the Rovinj coastal area from 2006 to 2007. At the station which was under the direct influence of the Po river discharge the concentrations of ^{137}Cs in seawater were back to pre-Chernobyl values (2.65 Bq m^{-3}), although in sediment values were slightly higher (9.06 Bq/kg). Inside Lim bay the concentrations of ^{137}Cs in seawater were low (1.99 Bq m^{-3}) and in mussel *Mytilus galloprovincialis* were undetectable in this period. The concentrations of ^{137}Cs in seawater in the surface layer in the Rovinj coastal area remained constant (2.43 Bq m^{-3}), as were found within the top sediment layer (2.15 Bq/kg). The concentrations of ^{137}Cs were detectable at very low levels in *Mugil cephalus* and *Sardina pilchardus*. *Fucus virsoides* and *Mullus barbatus* can be considered a good bioindicator of monitoring radiocontamination in the Adriatic Sea.

The radiological status of ^{137}Cs in the Adriatic Sea has returned to the pre-accident level, taking into consideration their natural fluctuations due to physico-chemical and hydrological parameters in the investigated area. Such knowledge of radioactive contamination could be useful in the estimation of the state of the environment and as an input to plans for the protection of the Adriatic Sea.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ODREĐIVANJE URANIJA I TORIJA U PITKOJ I MORSKOJ VODI

*Martina Rožmarić Mačefat¹, Astrid Gojmerac Ivšić², Željko Grahek¹
i Delko Barišić¹*

¹Laboratorij za radioekologiju, Institut "Ruđer Bošković",
Bijenička 54, 10000 Zagreb

²Zavod za analitičku kemiju, Prirodoslovno matematički fakultet,
Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102A, 10000 Zagreb
e-mail: rozmar@irb.hr

UVOD

Uranij i torij su članovi prirodnih radioaktivnih nizova koje, osim slabe radioaktivnosti, karakterizira i izrazita toksičnost te se intenzivno proučava ponašanje njihovih izotopa u prirodnim sustavima kao i utjecaj na ljudsko zdravlje.

Izotopi oba elementa su alfa i gama emiteri. Ukoliko se radi o visokim aktivnostima pojedine izotope moguće je određivati gama spektrometrijom, međutim određivanje niskih aktivnosti zahtijeva kemijsko odjeljivanje od ostalih elemenata (ionska izmjena i/ili ekstrakcija) nakon kojeg slijedi alfa spektrometrija ili ICP-MS što određivanje uranija i torija čini složenim, dugotrajnim i/ili skupim postupkom.

Ukoliko je poznata koncentracija uranijevih izotopa moguće je procijeniti i njihovu aktivnost pa se za određivanje, osim već navedenih metoda, može koristiti i spektrofotometrija koja ima niz prednosti (jeftinija je od ICP-MS-a i mnogo jednostavnija od alfa spektrometrije).

Da bi se uranij mogao kvantitativno odrediti potrebno ga je prethodno odijeliti od torija koji može smetati u postupku detekcije budući da također stvara kompleks s arsenazom III koji se koristi kao reagens pri spektrofotometrijskom određivanju uranija.

U radu je prikazano kako se pomoću kromatografskih metoda uranij i torij mogu uspješno izolirati iz uzoraka vode, međusobno odijeliti i kvantitativno spektrofotometrijski odrediti.

MATERIJAL I METODE

Za izolaciju uranija i torija upotrebljavana je TRU smola [1] i anionski izmjenjivač Amberlite CG-400 u NO_3^- obliku te vodene i alkoholne otopine HNO_3 .

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Koeficijenti raspodjele određivani su statičkom "batch" metodom pri čemu je 0,2 g pojedine smole ili izmjenjivača bilo u kontaktu s 10 cm³ otopine uranija ili torija do uspostavljanja ravnoteže uz koncentraciju kationa u otopini od 30 mg dm⁻³.

Modelna otopina morske vode, koja sadrži 10,64 mg dm⁻³ uranija i 10,24 mg dm⁻³ torija, pripremljena je otapanjem UO₂(NO₃)₂·6H₂O i Th(NO₃)₄·5H₂O u sintetskoj morskoj vodi te je dodano 207,8 cm³ konc. HNO₃ i nadopunjeno do 1 dm³ (ukupna koncentracija HNO₃ je 3 mol dm⁻³).

100 cm³ pripremljene otopine propuštano je kroz kolonu promjera 1 cm punjenu TRU smolom (1,5 g) brzinom 1-2 cm³ min⁻¹ uz napomenu da je kolona prije propuštanja uzorka pripremljena za odjeljivanje propuštanjem 50 cm³ 3 mol dm⁻³ HNO₃. Nakon uzorka propuštano je još 50 cm³ 3 mol dm⁻³ HNO₃ nakon čega su uranij i torij eluirani s 50 cm³ deionizirane vode.

Dobiveni eluat, nakon što je uparen na 1 cm³, pripremi se, dodavanjem 25 cm³ otopine 0,25 mol dm⁻³ HNO₃ u metanolu, za odjeljivanje na koloni punjenoj anionskim izmjenjivačem Amberlite CG-400 u NO₃⁻ obliku te se propušta kroz kolonu brzinom od 1 cm³ min⁻¹. Uranij se eluira s 50 cm³ 0,25 mol dm⁻³ HNO₃ u metanolu s 10 % -tnim udjelom vode, a nakon toga se s 50 cm³ deionizirane vode s kolone ispere torij.

Uzorci pitke i morske vode volumena 500 cm³ i ukupne koncentracije dušične kiseline 3 mol dm⁻³ propuštaju se kroz kolonu punjenu TRU smolom pripremljenu na gore opisani način. Eluiranje se vrši s 25 cm³ deionizirane vode nakon čega se na već opisani način uzorak pripremi za propuštanje kroz kolonu punjenu anionskim izmjenjivačem Amberlite CG-400 (NO₃⁻ oblik)

Koncentracija uranija i torija u otopini nakon uspostavljanja ravnoteže određivana je spektrofotometrijski arsenazom III [2]. Uzorci za spektrofotometrijsko određivanje uranija i torija pripremani su u tikvicama od 10 cm³ dodatkom određenog volumena uzorka te 0,8 cm³ 0,05 %-tne otopine arsenaza III. pH vrijednosti otopina ugađane su dodatkom zasićene otopine NaOH ili 2 mol dm⁻³ dušične kiseline.

REZULTATI

Kako bi se razvila metoda za izolaciju i odjeljivanje U i Th određeni su koeficijenti raspodjele te snimljene elucione krivulje modelnih sustava.

Iz rezultata (Tablica 1) dobivenih za koeficijente raspodjele Th i U na TRU smoli iz otopina dušične kiseline u pitkoj vodi vidljivo je maksimalno vezanje u području koncentracija od 0,5 do 5 mol dm⁻³ HNO₃. Nadalje vidljivo je i čvrsto vezanje iz otopina dušične kiseline u morskoj vodi što ukazuje da velike količine Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ i Cl⁻ ne utječu na jakost njihova vezanja. Dobiveni re-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Ovisnost koeficijenata raspodjele (K_D / $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) Th i U o koncentraciji HNO_3 (u pitkoj i morskoj vodi) na TRU smoli

c(HNO_3) mol dm^{-3}	pitka	voda	morska	voda
	KD (Th)	KD (U)	KD (Th)	KD (U)
0,5	>2000	3438,4	>2000	417,3
1	>2000	>5000	>2000	719,5
3	>2000	>5000	>2000	1232
5	>2000	>5000	>2000	>5000

5000, > 2000 – vrlo čvrsto vezanje

zultati ukazuju na mogućnost izolacije U i Th iz uzoraka, međutim međusobno odjeljivanje na TRU smoli nije moguće.

$$K_D = \frac{c_0 - g.o.}{g.o.} \cdot \frac{V}{m}$$

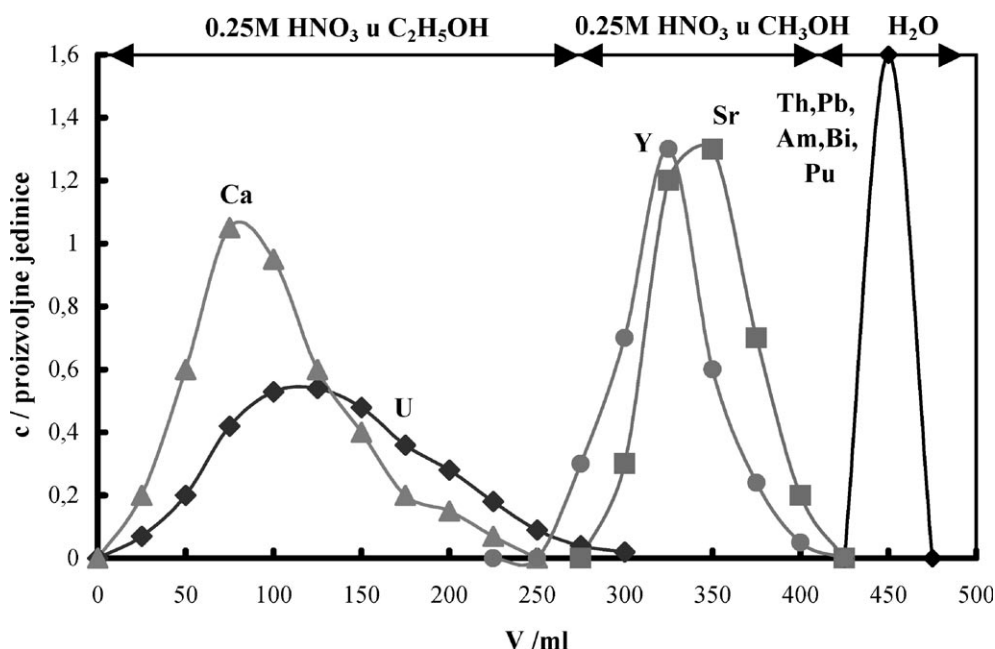
gdje je g.o. – granica određivanja
g.o. = 0,22 mg dm^{-3} za uranij
g.o. = 0,78 mg dm^{-3} za torij

Kako bi se U i Th međusobno odijelili, ispitani su uvjeti vezanja na anionski izmjenjivač te se iz dobivenih rezultata (Tablica 2) može zaključiti da je vezanje Th čvršće u odnosu na U te da se jakost vezanja oba elementa smanjuje porastom koncentracije kiseline.

Tablica 2. Ovisnost K_D ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) Th i U na Amberlite CG-400 u NO_3^- obliku o koncentraciji HNO_3 u metanolu i etanolu

otopina	KD(Th)	KD(U)
0,25 mol dm^{-3} HNO_3 u CH_3OH	4100	19
0,50 mol dm^{-3} HNO_3 u CH_3OH	798	8,4
0,75 mol dm^{-3} HNO_3 u CH_3OH	416	2,8
1,00 mol dm^{-3} HNO_3 u CH_3OH	261	0,9
0,25 mol dm^{-3} HNO_3 u $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	514	26
0,50 mol dm^{-3} HNO_3 u $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	367	19
0,75 mol dm^{-3} HNO_3 u $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	198	13,3
1,00 mol dm^{-3} HNO_3 u $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	168	12,6

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1: Odjeljivanje U i Th na koloni punjenoj anionskim izmjenjivačem Amberlite CG-400 (NO_3^- oblik) (promjer kolone $\Phi = 1$ cm, visina kolone $l = 25$ cm, visina stupca izmjenjivača $h = 11$ cm, masa izmjenjivača $m = 5$ g, brzina protoka $1 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$)

Elucione krivulje (Slika 1) pokazuju da se uranij može odijeliti od torija uz $0,25 \text{ mol dm}^{-3} \text{ HNO}_3$ u CH_3OH ili $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

Dobiveni rezultati poslužili su za kreiranje postupka izolacije i međusobnog odjeljivanja U i Th iz morske i pitke vode te su dobiveni rezultati (Tablica 3) koji ukazuju na vrlo visoku efikasnost predložene metode.

Opisana metoda izdvajanja i ukoncentriravanja upotrijebljena je i za određivanje uranija u vodovodnoj vodi te je dobivena koncentracija od $13 \mu\text{g dm}^{-3}$. Kako je topljivost torija vrlo niska on nije određen u uzorku vode jer mu je koncentracija ispod granice spektrofotometrijskog određivanja.

Uranij s arsenazom III, pri $\text{pH} = 2$, stvara kompleks tamno ljubičasto-plave boje koji maksimalno apsorbira pri 652 nm . Torij u jako kiselj otopini također reagira s arsenazom III te nastaje sivo-zeleni kompleks s maksimumom apsorpcije pri 662 nm koji je stabilan u vodenoj otopini.

Spektrofotometrijsko određivanje uranija i torija zasniva se na mjerenju apsorbanije nastalih kompleksnih spojeva čija apsorptivnost iznosi $2,318 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ za uranij i $1,316 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ za torij.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 3. Efikasnost izolacije U i Th iz morske i pitke vode na TRU smoli (promjer kolone $\Phi = 1$ cm, visina kolone $l = 25$ cm, visina stupca smole $h = 10,6$ cm, masa smole $m = 1$ g, brzina protoka $1 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$)

uzorak	$\gamma_0(\text{U})$	$\gamma_{\text{kon}}(\text{U})$	$R_{\text{U}}/\%$	$\gamma_0(\text{Th})$	$\gamma_{\text{kon}}(\text{Th})$	$R_{\text{Th}}/\%$
morska voda	0,200	0,190	95	0,400	0,310	77,5
pitka voda 1	0,040	0,037	92,5	0,080	0,070	87,5
pitka voda 2	0,040	0,039	97,5	0,080	0,074	92,5

γ_0 – početna koncentracija; mg dm^{-3}

γ_{kon} – određena koncentracija; mg dm^{-3}

R – iskorištenje; %

ZAKLJUČAK

Metoda određivanja uranija i torija sastoji se od kromatografske izolacije i međusobnog odjeljivanja (ekstrakcijska i ionsko izmjenjivačka kromatografija) te spektrofotometrijskog određivanja. Rezultati ukazuju na njihovo vrlo čvrsto vezanje na TRU smolu iz $3 \text{ mol dm}^{-3} \text{ HNO}_3$ koje omogućava kompletnu izolaciju iz uzoraka (uz 100%-tno iskorištenje) uz istovremeno odjeljivanje Na, Ca, Sr, K i ostalih smetajućih elemenata. Međusobno odjeljivanje U i Th moguće je na anionskom izmjenjivaču Amberlite CG-400 u NO_3^- obliku eluiranjem s $0,25 \text{ mol dm}^{-3} \text{ HNO}_3$ u CH_3OH i $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Nakon izolacije i međusobnog odjeljivanja U i Th su kvantitativno određivani spektrofotometrijski s arsenazom III, uranij pri 652 i torij pri 662 nm. Predložena metoda može se uspješno koristiti za određivanje uranija i torija u pitkoj i morskoj vodi.

LITERATURA

- [1] Horwitz E P, Chiarizia R, Dietz M L, Diamond H. Separation and preconcentration of actinides from acidic media by extraction chromatography. *Anal Chim Acta* 1993; 281:361-372.
- [2] Z. Marczenko: Spectrophotometric Determination of Elements, Ellis Harwood LTD., John Wiley&Sons, 1976, 540-542; 580-581.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

DETERMINATION OF URANIUM AND THORIUM IN DRINKING AND SEAWATER

*Martina Rožmarić Mačefat¹, Astrid Gojmerac Ivšić², Željko Grahek¹
and Delko Barišić¹*

¹Laboratory for Radioecology, Ruđer Bošković Institute,
Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia

²Laboratory of Analytical Chemistry, Faculty of Science,
University of Zagreb, Horvatovac 102A, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: rozmar@irb.hr

Uranium and thorium are the first members of natural radioactive chain which makes their determination in natural materials interesting from geochemical and radioecological aspect. They are quantitatively determined as elements by spectrophotometric method and/or their radioisotopes by alpha spectrometry and ICP-MS. It is necessary to develop inexpensive, rapid and sensitive methods for the routine researches because of continuous monitoring of the radioactivity level.

Development of a new method for the isolation of uranium and thorium from liquid samples and subsequent spectrophotometric determination is described in this paper. It is possible to isolate uranium and thorium from drinking and seawater using extraction chromatography or ion exchange chromatography. Uranium and thorium can be strongly bound on the TRU extraction chromatographic resin from 3 mol dm⁻³ HNO₃ (chemical recovery is 100%) and separated from other interfering elements (sodium, potassium, calcium, strontium etc). Their mutual separation is possible by using anion exchanger Amberlite CG-400 (NO₃⁻ form). From alcoholic solutions of nitric acid thorium can be strongly bound on the anion exchanger while uranium is much more weakly bound which enables its separation from thorium. After the separation, uranium and thorium are determined by spectrophotometric method with arsenazo III at 652 nm and 662 nm respectively. Developed method enables selection of the optimal mode of isolation for the given purposes.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI ^{90}Sr U ŽIVOTINJSKIM KOSTIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Manda Maračić, Zdenko Franić i Gordana Marović

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: mmaracic@imi.hr

UVOD

Radioaktivne tvari prisutne u okolišu nastaju prirodnim procesima ili su posljedica ljudske djelatnosti. Radioaktivna kontaminacija životne sredine umjetno stvorenim (antropogenim) radionuklidima, tj. fisijskim produktima, a time i kontaminacija ciklusa animalne proizvodnje, događa se već nekoliko desetljeća kao posljedica nuklearnih proba, sve veće gradnje nuklearnih postrojenja te primjene nuklearne tehnologije na različitim sektorima ljudske djelatnosti.

Najveće zagađenje okoliša fisijskim produktima datira od vremena intenzivnih eksperimenata nuklearnim oružjem i to u periodu 1954-1958 godine te 1961-1962 godine i to zbog depozije radioaktivnih oborina (*fallout*) na površinu Zemlje. Međutim, iako je danas sigurnost nuklearnih tehnologija i nuklearnih postrojenja na visokom stupnju, mogućnost i posljedice nuklearnog akcidenta ne mogu se zanemariti (primjer akcident u Čornobilju).

Od svih antropogenih radioaktivnih izotopa koji nastaju tehnološkim procesima samo mali dio dopire u organizam čovjeka i to posebice oni koji imaju dugo vrijeme poluraspada i lako se resorbiraju u tkiva. Posljedično, biološki značajni radionuklidi opasni po zdravlje čovjeka posebice jesu: ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{89}Sr i ^{90}Sr . Ovi radionuklidi uključuju se u mehanizam kruženja u biosferi, te direktno ili indirektno (preko prehrambenog lanca) dopirevaju do čovjeka. Iako postoje tri načina na koja radioaktivne materije ulaze u organizam domaćih životinja (inhalacija, ingestija, perkutana resorpcija) ingestija kontaminirane hrane je najznačajniji put. Neposredna kontaminacija stočne hrane događa se depozicijom radioaktivnih oborina, kada se zelena hrana nalazi kao usjev na još nepožnjevenim poljoprivrednim površinama.

Dugogodišnjim mjerenjima ^{90}Sr u zraku i oborinama na različitim točkama zemljine površine više je autora [1] utvrdilo izrazite sezonske varijacije tijekom niza godina. Najveća aktivnost ^{90}Sr na svim zemljopisnim širinama primjećena je u proljeće i rano ljeto, dakle u vrijeme vegetacijskog perioda i vanjske ispaše, što uvjetuje veći unos u organizam životinja. Danas, zbog goto-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

vo potpunog raspada kratkoživućih radionuklida unešenih u biosferu nuklearnim pokusima, odnosno nesrećom čornobiljskog reaktora, globalnu kontaminaciju okoliša dugoživućim radionuklidima čine uglavnom ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28$ god.) i ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ god.). Za razliku od ^{137}Cs , ^{90}Sr se minimalno deponira u mesu, pa kao takav slabo utječe na kontaminaciju mesnih proizvoda.

Zbog kemijske sličnosti kalciju, stroncij se nakuplja u kostima životinja i ljudi. Procijenjeno je da ta količina u ljudskom kosturu iznosi oko 3,5% sadržaja kalcija [2]. Stoga je ^{90}Sr dobar indikator kretanja stabilnog stroncija u ekološkom lancu od atmosfere do ljudskog organizma odnosno kostiju čovjeka.

Poznato je da je depozicija ^{90}Sr najintenzivnija u dugim kostima [3, 4, 5, 6] mlađih životinja, dok je kod starijih minimalna. Naime, budući da se duge kosti najbrže kalcificiraju i kasnije prelaze u ionski neizmjenjivu formu, kod starijih životinja najveći depozit ^{90}Sr nalazi se u kostima kralježnice. U slučaju neposredne depozicije radionuklida na pašnjake, sitni preživaci (npr. janjad) akumuliraju fisijske produkte više nego druge domaće životinje dok je struktura prehrane goveda osim ispaše kontrolirana i stajskim uzgojem, a hrana svinja je određena samo stajskim uzgojem.

MATERIJAL I METODA

Uzorci kostiju su uzimani od individualnih poljoprivrednih proizvođača u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, Slavonije i Dalmacije. Prikupljanje uzoraka vršeno je na kraju kalendarske godine.

Za analizu ^{90}Sr korištene su duge kosti svinja, goveda i janjadi. Mineralizacija uzorka izvršena je spaljivanjem na 800°C . Alikvot dobivenog pepela otopi se u dušičnoj kiselini standardnom metodom ekstrakcije tributilfosfatom (TBT) koja je pogodna za sve uzorke koji se mogu spaliti do pepela.

Stroncij se izdvoji od drugih fisijskih produkata sukcesivnom ekstrakcijom TBP, dušičnom kiselinom i vodom uz prisustvo ^{90}Y kao nosača. ^{90}Y , koji je u ravnoteži s ^{90}Sr , istaloži se kao hidroksid, pretaloži u oksalat i mjeri na beta brojaču niskog osnovnog zračenja (protočni plinski) [7]. Oksalat se žari u platinskom lončiću da se izračuna iskorištenje. Vrijeme mjerenja uzoraka je minimalno 1400 minuta.

REZULTATI I RASPRAVA

U Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu, u Jedinici za zaštitu od zračenja provode se dugogodišnja istraživanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj. Prikazani rezultati dio su tog istraživanja.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

U radu su analizirane duge kosti junadi i svinja u periodu od 1995. godine do 2006. godine, a janjadi od 1997 do 2006. godine. Za period 2002 – 2003 podaci nisu dostupni. Rezultati aktivnosti ^{90}Sr u kostima junadi, svinja i janjadi na istraživanim lokacijama prikazani su u tablicama 1 – 3. Minimalne i maksimalne vrijednosti koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u kostima prikazane su u tablici 4.

Tablica 1. Godišnje koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u kostima junadi (Zagreb)

Godina	Kosti		
	Starost životinje (mjeseci)	mBq(gCa) ⁻¹	Bq·kg ⁻¹ (svježeg)
1995	24	53,88	6,09
1996	18	120,08	13,57
1997	17	363,12	41,03
1998	14	611,42	69,09
1999	16	171,30	19,36
2002	18	149,64	16,91
2003	26	84,05	9,50
2004	24	76,60	8,66
2005	12	78,14	8,83
2006	14	64,56	7,30

Maksimalno izmjerena koncentracija aktivnosti ^{90}Sr u kostima junadi i goveda od 69,09 Bq·kg⁻¹ izmjerena je 1998. godine, a minimalna vrijednost ^{90}Sr izmjerena je u kostima janjadi 1997. i 2004. godine i iznosila je 0,53 Bq·kg⁻¹.

Na slici 1. usporedno su prikazane koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u kostima janjadi, svinja i junadi.

Velika varijabilnost rezultata unutar ispitivanih životinjskih vrsta može se tumačiti velikim brojem fizikalno-biokemijskih parametara koji prirodno fluktuiraju, posebice kada se vrijednosti koncentracija aktivnosti bliže osnovnim vrijednostima koncentracija aktivnosti u okolišu (*background*) odnosno donjoj granici detekcije instrumenata u slučaju janjadi i svinja. Uz to, varijabilnost rezultata kod junadi prouzročena je i nejednolikom, odnosno prilično različitom starosti ispitivanih životinja.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

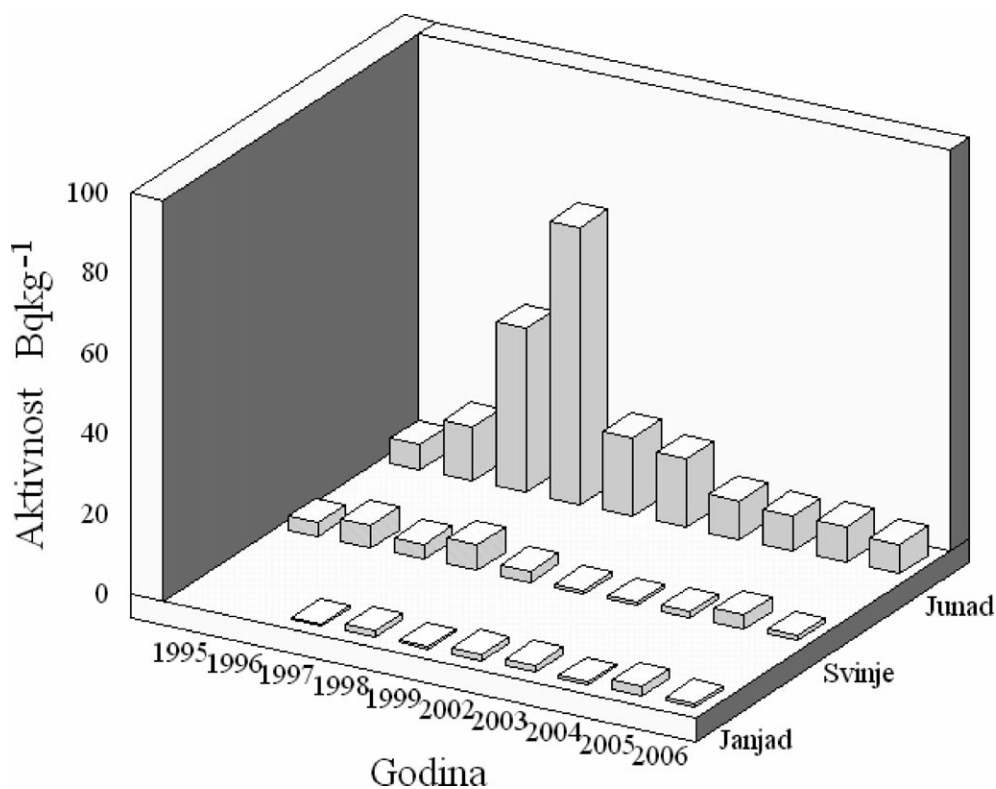
Tablica 2. Godišnje koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u kostima svinja (Osijek)

Godina	Kosti		
	Starost životinje (mjeseci)	mBq.(gCa) ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ (svježeg)
1995	11	26,94	3,21
1996	10	47,87	5,70
1997	11	31,36	3,73
1998	11	53,67	6,39
1999	12	23,45	2,79
2002	11	6,81	0,81
2003	----	5,64	0,67
2004	----	10,64	1,27
2005	10	29,52	3,51
2006	12	10,12	1,20

Tablica3. Godišnje koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u kostima janjadi (Zadar)

Godina	Kosti		
	Starost životinje (mjeseci)	mBq.(gCa) ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ (svježeg)
1997	7	118,46	0,54
1998	5	368,10	1,66
1999	7	130,57	0,59
2002	5	336,90	1,52
2003	6	372,87	1,69
2004	5	116,60	0,53
2005	5	472,61	2,14
2006	6	167,30	0,76

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Koncentracije aktivnosti ⁹⁰Sr u kostima janjadi, svinja i junadi.

Tablica 4: Maksimum i minimum koncentracije aktivnosti ⁹⁰Sr u kostima (Bq·kg⁻¹)

Životinja	Maksimum		Minimum	
	Aktivnost	Godina	Aktivnost	Godina
Janje	2,14	2005	0,53	2004
June	69,09	1998	6,09	1995
Svinja	6,39	1998	0,67	2003

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ZAKLJUČAK

Analizirajući rezultate istraživanja koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u životinjskim kostima kroz ispitivani period uočava se veliki raspon rezultata. Uspoređujući koncentracije aktivnosti ^{90}Sr u kostima životinja, najveća aktivnost kroz ispitivani period izmjerena je u kostima junadi u usporedbi s kostima svinja i janjadi. Iako je višegodišnjim istraživanjima primjećeno da janjad kao sitni preživaci, zbog načina ishrane mogu akumulirati najviše stroncija, dobiveni maksimumi u kostima junadi razlog su što su kosti junadi masivnije od mršave ovce ili janjeta te po kilogramu kosti sadrže veći postotak kalcija.

Budući da se razine stabilnog stroncija u kostima nalaze u korelaciji sa sadržajem kalcija, ^{90}Sr se može rabiti kao učinkovit radioaktivni obilježivač (marker) stabilnog stroncija koji je sam po sebi značajan stoga što pozitivno utječe na metabolizam, podstičući okoštavanje i smanjujući resorpciju što dovodi do normalne gustoće kostiju.

LITERATURA

- [1] Eisebund M. Environmental Radioactivity. Academic Press, New York, 1973.
- [2] Pors Nielsen S. The biological role of strontium. Bone 2004; 35(3):583-8.
- [3] Aarkrog A. Prediction Models for Strontium-90 and Caesium-137 Levels in the Human Food Chain. Health Phys 1971; 20: 297-311.
- [4] Maračić M, Cesar D, Bauman A. Radioaktivnost životinjskih kostiju. Zbornik radova XIII Jugoslavenskog simpozija zaštite od zračenja. Pula, 10-13. 06. 1985.
- [5] Maračić M, Marović G, Senčar J. ^{90}Sr u životinjskim kostima. Zbornik radova Drugog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. Zagreb 1994, 145-49.
- [6] Franić Z, Maračić M. Radioactive Contamination of Animal Bones by ^{90}Sr . Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries in Central Europe-1995. Portorož, Slovenia, September 4-8, 1995, 233-235.
- [7] Harley J J (Editor): HASL Procedures Manual, USAEC Report HASL-300, 1970.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

INVESTIGATIONS OF ^{90}Sr ACTIVITY CONCENTRATIONS IN ANIMAL BONES IN REPUBLIC OF CROATIA

Manda Maračić, Zdenko Franić and Gordana Marović
Institute for Medical Research and Occupational Health,
Radiation Protection Unit, Ksaverska 2, 10001 Zagreb, Croatia
e-mail: mmaracic@imi.hr

The paper presents investigations of ^{90}Sr activity concentrations in long bones of some domestic animals (cows, pigs, lambs) collected over the last ten years in the Republic of Croatia. The investigations are a part of an extended and still ongoing monitoring programme of radioactive contamination of human environment of Croatia.

Bone is critical organ for the accumulation of many radionuclides, including ^{90}Sr , a highly toxic radionuclide, similar to calcium in its chemical behaviour and metabolic processes.

It has been found that the ^{90}Sr activity concentrations in bones differ between respective animal species, the highest activity concentrations being found in lamb bones in year 2005 ($472.61 \text{ mBq}\cdot\text{gCa}^{-1}$ or $2.14 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$). In cow bones highest value being found was in 1998, being $611.42 \text{ mBq}\cdot\text{g}\cdot\text{Ca}^{-1}$ or $69.09 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ }^{90}\text{Sr}$.

The transient increases and decreases in ^{90}Sr activity concentrations in bones can be partially explained by a variety of environmental physical and biochemical factors that naturally fluctuate.

As the levels of stable strontium in bone tissue is strongly correlated to calcium content of bone, ^{90}Sr can be used as efficient radiotracer of stable strontium, which is itself important since it positively affects bone metabolism promoting bone formation and decreasing bone resorption, leading to normalized bone density.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADIOAKTIVNOST ODLAGALIŠTA PEPELA I ŠLJAKE

Jadranka Kovač i Gordana Marović

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: jkovac@imi.hr

UVOD

Svi ugljeni sadržavaju prirodnu radioaktivnost, članove uranovog i torijevog niza, koja se spaljivanjem u termoelektranama (na oko 1700°C) koncentriraju. Sav se otpad iz proizvodnje odlaže na odlagališta, gdje se gomila i prisutni radionuklidi ostaju trajna prijetnja okolišu.

Dugogodišnje praćenje prirodne radioaktivnosti obuhvatilo je mjerenja u TE "Plomin", te na samom odlagalištu pepela i šljake. TE "Plomin" nalazi se na poluotoku Istra, u sjevernom dijelu Jadranskog mora, na kraju Plominskog zaljeva, oko 5 km od obale.

Kompleks industrijskog postrojenja uključuje TE Pogon I, koji je u radu od 1970. godine. Taj pogon je upotrebljavao domaći ugljen (antracit) iz Istarskih ugljenokopa, te lignit i smeđi ugljen iz Bosne i Hercegovine. Ti ugljeni su bogati sumporom (do 10%) i imaju povišenu prirodnu radioaktivnost. Mjerenjima je utvrđeno da se specifična aktivnost ^{238}U kreće u rasponu od 26 – 700 Bqkg⁻¹ sa srednjom vrijednošću od 286 Bqkg⁻¹. Specifična aktivnost ^{226}Ra također je bila povišena i kretala se u rasponu od 26 – 681 Bqkg⁻¹ sa srednjom vrijednošću od 265 Bqkg⁻¹.

Specifične aktivnosti ^{40}K (srednja vrijednost od 15,5 Bqkg⁻¹) i ^{232}Th (srednja vrijednost od 7,2 Bqkg⁻¹) nisu osjetno više od svjetskih vrijednosti za ugljen [1]. Kao što je bilo i za očekivati, prosječna je koncentracija prirodnih radionuklida u pepelu i šljaci pet do deset puta veća od koncentracije inače prisutne u okolišu, osobito u okolnome tlu.

TE Pogon II sagrađen je 1999. godine. Kameni ugljeni koji se spaljuju u TE Pogonu II imaju nizak udio sumpora (oko 1%) i nisku prirodnu radioaktivnost. Izmjerena specifična aktivnost ^{238}U kreće se rasponu od 3,5 – 35,4 Bqkg⁻¹ sa srednjom vrijednošću od 24,9 Bqkg⁻¹, a specifične aktivnosti ^{226}Ra kretale su se u rasponu od 2,8 – 33,1 Bqkg⁻¹ sa srednjom vrijednošću od 23,2 Bqkg⁻¹.

Specifične aktivnosti ^{40}K (srednja vrijednost od 32,9 Bqkg⁻¹) i ^{232}Th (srednja vrijednost od 14,0 Bqkg⁻¹) zanemarivo su više od vrijednosti domaćih ugljena, ali neosjetno više od svjetskih vrijednosti za ugljen [1]. Ti ugljeni se uvoze iz Afrike, Južne Amerike i Jugoistočne Azije [2, 3].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MATERIJAL I METODE

Početkom rada TE Pogona I odlagalište pepela i šljake bilo je smješteno blizu termoelektrane, u maloj uvali, kao hrpa otpada koji se sakupja tijekom rutinske operacije. Kasnije je preko odlagališta, kao i na stranama, postavljen pokrov od geosintetičkog materijala, te prekriveni slojem zemlje debljine 40 – 60 cm i trava je posijana preko svega. Izgrađeni su kanal za odvod oborinske vode i taložni tank, a oko cijelog odlagališta postavljena je žičana mreža.

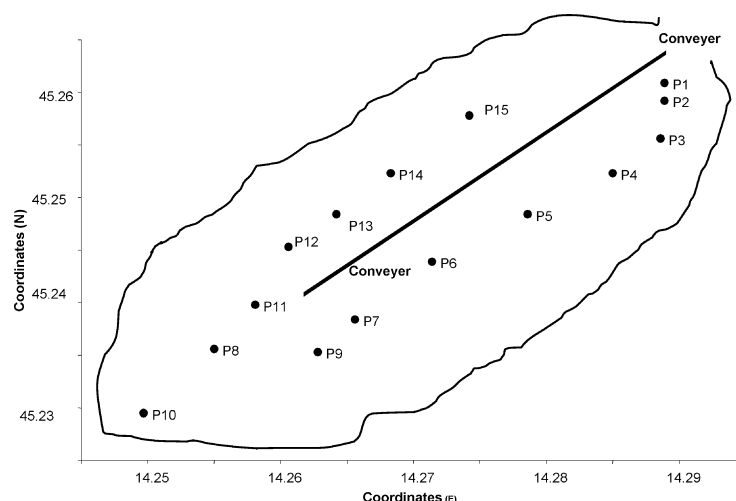
Procjena radiološke situacije obuhvaćala je mjerenja na terenu i u laboratoriju. Uzorci pepela i šljake su se nasumice sakupljali i otpremali u laboratorij. Na samom odlagalištu provodilo se sakupljanje uzoraka za mjerenje ekshalacije (isparivanja) radona čije se mjerenje provodilo u laboratoriju.

Laboratorijska mjerenja uključuju **gama-spektrometrijsku analizu** sakupljenih uzoraka pepela i šljake, upotrebom HPGE i/ili Ge(Li) detektora (rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co , relativne efikasnosti 16,8%, rezolucije 1,56 keV na 1,33 MeV ^{60}Co , relativne efikasnosti 18,7%) spojenih na osobno računalo [4]. Vrijeme mjerenja iznosilo je 80 000 sekundi ili duže.

Mjerenja **ekshalacije radona** provedena su na taj način da se radon na odlagalištu sakupljao pomoću ugljenih sakupljača, a mjerenja su provedena u laboratoriju gama-spektrometrijskom analizom.

REZULTATI

Na slici 1 prikazana je shema odlagališta pepela i šljake.



Slika.1 Shema odlagališta pepela i šljake

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Rezultati mjerenja ekshalacije radona

Mjerna točka	E (mBq·m ⁻² s ⁻¹)	Mjerna točka	E (mBq·m ⁻² s ⁻¹)
P1	46,4 ± 3,9	P9	36,3 ± 4,4
P2	53,2 ± 4,3	P10	28,4 ± 1,4
P3	100,0 ± 5,9	P11	5,7 ± 2,0
P4	161,0 ± 8,9	P12	13,9 ± 3,2
P5	162,0 ± 9,2	P13	46,1 ± 5,7
P6	52,7 ± 5,3	P14	30,3 ± 4,7
P7	23,7 ± 3,5	P15	4,4 ± 0,7
P8	8,8 ± 2,4		

Na samoj deponiji provedena su mjerenja ekshalacije radona, a rezultati mjerenja prikazani su u tablici 1.

Srednja vrijednost mjerenja ekshalacija radona na odlagalištu pepela i šljake iznosi 52 mBq·m⁻²s⁻¹, minimum iznosi 4,4 mBq·m⁻²s⁻¹, a maksimum 162 mBq·m⁻²s⁻¹.

U tablici 2 prikazani su rezultati gamaspektrometrijskih analiza (Bqkg⁻¹) za tri nasumice izabrana uzorka pepela i šljake, kao i suma njihovih specifičnih alfa i beta emitera (Bqm⁻³).

Tablica 2. Gamaspektrometrijska analiza uzoraka pepela i šljake, te suma njihovih specifičnih alfa i beta emitera

Radionuklid (Bq·kg ⁻¹)	Uzorak A	Uzorak B	Uzorak C
238U	139 ± 26	69 ± 14	108 ± 20
226Ra	115 ± 10	49 ± 6	74 ± 7
235U	7,8 ± 1,6	3,1 ± 0,8	4,2 ± 1,3
232Th/228Ra	57 ± 2	56 ± 5	59 ± 3
40K	578 ± 4	184 ± 8	644 ± 10
alfa emiteri (Bq·m⁻³)	1,90·106	1,90·106	1,20·106
beta emiteri (Bq·m⁻³)	2,12·106	8,44·105	1,49·106

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Prema zakonu važećem u Republici Hrvatskoj [5] pepeo i šljaka, da bi se smjeli upotrebljavati u cementnoj industriji moraju zadovoljavati sljedeće uvjete:

$$C_{Ra} \leq 300 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$C_{Th} \leq 200 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$C_K \leq 3000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \leq 1$$

Ovi su uvjeti zadovoljeni, stoga se pepeo i šljaka mogu upotrebljavati kao građevinski materijal. Za proizvodnju građevinskog materijala dovoljna je količina od samo 22% pepela i šljake.

Budući da uzorci zadovoljavaju i uvjete da su

$$\text{alfa emiteri} \leq 5 \cdot 10^9 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\text{beta emiteri} \leq 5 \cdot 10^7 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

to se pepeo i šljaka ne mogu smatrati niti radioaktivnim otpadom.

LITERATURA

- [1] Barišić D, Marović G, Senčar J, Lulić S. Natural radionuclides in slag/ash pile from coal-fired power plant Plomin. In: Proc. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe. Dubrovnik, Croatia, 2001. 5P-09.
- [2] Marović G, Senčar J, Kovač J, Prlić I. Improvement of the radiological environmental situation due to remedial actions at a coal-fired power plant. J Radioanal Nucl Chem 2004;261: 451-455.
- [3] Marović G, Kovač J, Franić Z. Impact of technologically enhanced natural radioactivity on marine environment in Croatia. In: Proc. 2nd Regional Mediterranean Congress on Radiation Protection, Tel-Aviv, Israel, 1997, p. 291.
- [4] IAEA-TECDOC-566. 1999. The use of gamma ray data to define the natural radiation environment. IATA, Vienna.
- [5] Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja. N.N.RH 1999, 27;813-820.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADIOACTIVITY AT ASH AND SLAG DEPOSITE SITE

Jadranka Kovač and Gordana Marović

Institute for Medical Research and Occupational Health
Radiation Protection Unit, Ksaverska 2, 10000 Zagreb, Croatia
e-mail: jkovac@imi.hr

By coal burning (in CBPP – coal burned power plants – at about 1700°C) the activity originating from natural radionuclides is redistributed from underground and liberated into the environment. Most of the radioactive substances are concentrated in the ash and slag, which are heavy and drop to the bottom of a furnace. The bottom ash and slag are usually deposited in a waste pile, from where some activity may leach into environment. There are two coal burned power plants in the Croatian power system, both situated in Plomin, Istria County. The approximately 900 t of ash/slag are deposited on area of 120,000 m². The thickness of the accumulated ash/slag is not over 8 m, and the thickness of the soil layer is about 60 cm, seeded with grass. There are also drainage system and a retention pond.

Radon exhalations were measured at deposit site using passive charcoal detectors and gamma spectrometry. The mean value was 52 mBq·m⁻²·s⁻¹.

Waste material (about 20,000 t of ash/slag) from CBPP is transported to nearby cement plant, where it is used as secondary raw material. Gamma-spectrometric measurements, as well as total specific activities of alpha and beta emitters have been performed, and according to Croatian legislative, all samples may be used as building materials, and do not fall into category radioactive waste.



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:44





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



RADON

RADON



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:44





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:44



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

NANOSIZE AEROSOLS OF RADON DECAY PRODUCTS IN VARIOUS ENVIRONMENTS

Janja Vaupotič

Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia
janja.vaupotic@ijs.si

INTRODUCTION

The radioactive noble gas radon (^{222}Rn , α decay, $t_{1/2} = 3.82$ days) is always accompanied by its short-lived decay products (RnDP): ^{218}Po (α decay, $t_{1/2} = 3.10$ min), ^{214}Pb (β/γ decay, $t_{1/2} = 26.8$ min), ^{214}Bi (β/γ decay, $t_{1/2} = 19.9$ min), and ^{214}Po (α decay, $t_{1/2} = 164 \mu\text{s}$). In indoor and outdoor air, they appear as unattached RnDP in the form of clusters in the size range 0.5–3 nm and as attached RnDP between 200 and 800 nm [1]. Because of plate-out of aerosols on the walls and floor of a room, as well as air movement and entry of fresh air, radioactive equilibrium between RnDP and Rn in indoor air is only partly achieved and is expressed as a fraction between 0 and 1, called the equilibrium factor, F [2].

Birchall and James [3] elaborated a dosimetric approach to calculate the dose conversion factor, DCF_D , based on f_{un} . Their 'best estimate' for the indoor air conditions in dwellings was $DCF_D = 15 \text{ mSv WLM}^{-1}$. 1 WLM (working-level-month) is the exposure resulting from 170 hours breathing in air with an activity concentration of RnDP of 1 WL (equivalent to $1.3 \times 10^8 \text{ MeV m}^{-3}$ [4]). It thus appears that DCF_D is a factor of 3-fold higher than $DCF_E = 5 \text{ mSv WLM}^{-1}$, the value obtained from epidemiologic studies and currently recommended by ICRP-65 methodology for workplaces [4]. The discrepancy between DCF_D and DCF_E values has not been fully clarified, the most probable reason originating in too high a value being chosen for the particle radiation weighting factor, w_α [5]. In addition, Porstendörfer [6] has shown that DCF_D can be calculated separately for mouth (DCF_{Dm}) and nasal (DCF_{Dn}) breathing, using empirical equations:

$$DCF_{Dm} = 101 \times f_{\text{un}} + 6.7 \times (1 - f_{\text{un}}) \quad (1)$$

$$DCF_{Dn} = 23 \times f_{\text{un}} + 6.2 \times (1 - f_{\text{un}}) \quad (2)$$

In this paper, the results of our studies on f_{un} in 29 rooms of kindergartens and 26 rooms of elementary and high schools, at the lowest point and the railway station in the Postojna Cave, and in 4 rooms in wineries in Slovenia are reported, and DCF_D values based on the Porstendörfer formulae (Eqs. 1 and 2 above) are discussed and compared with the DCF_E value recommended by ICRP-65.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

EXPERIMENTAL

Measurement sites

Radon was surveyed in the indoor air of practically all the kindergartens (730) and schools (890) in Slovenia, within the national radon programme, between 1990 and 94 [7,8]. For the study of f_{un} , those kindergartens and schools were selected in which elevated radon levels had been observed [7,8] or were expected, based on geology [9]. Measurements, lasting for 1–2 weeks at each place, were carried out in 29 rooms of 13 kindergartens (in the period from March 1998 to February 2001) and in 26 rooms of 16 schools (in the period from March 1998 to April 2001).

Because of the elevated radon levels, permanent radon monitoring at the lowest point and the railway station in the Postojna Cave was introduced in 1995. Based on the radon concentrations measured, working time for the employees in the cave is limited in order to keep their effective doses acceptably low. Measurements of f_{un} , lasting for 1–3 weeks at the two places, were carried out at the lowest point of the cave (LP) in summer, when radon levels are highest: August 10–18, 1998; June 30 – July 8, 1999; July 19 – August 3, 2001, and in winter, when radon levels are lowest: December 14–22, 1998; December 10–20, 1999), and at the railway station (RS) in summer (June 3–18, 2001).

In the context of the radon survey in underground premises of eight major Slovene wineries, f_{un} was monitored for 1–2 weeks in the period from April to July, 2002.

Measuring technique

Portable SARAD EQF3020 and EQF3020-2 devices (SARAD, Dresden, Germany) were used. Air is pumped for 6 min at a flow rate of $2.4 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ over a metal mesh grid where unattached and attached RnDP are separated and then deposited electrostatically on two separate 150 mm^2 semiconductor detectors. Applying the Markov method [10], the device gives Rn concentration (C_{Rn}), individual concentrations of RnDP, equilibrium equivalent activity concentration of RnDP (C_{RnDP}), potential alpha energy concentration (PAEC), F (defined as $PAEC / (34640 C_{\text{Rn}})$ and f_{un} (defined as $PAEC^{\text{un}} / (PAEC^{\text{un}} + PAEC^{\text{att}})$, with superscripts ‘un’– unattached and ‘att’– attached) [11].

Data were transferred to a personal computer in the laboratory for evaluation. Origin 6.1 Data Analysis and Graphing Software was used for statistical data evaluation and presentation.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RESULTS

Kindergartens and schools

Diurnal variations of the measured parameters are presented in Table 1 as arithmetic mean values of C_{Rn} , F , and f_{un} for the whole period of measurement. Radon levels are significantly higher in schools than in kindergartens. The probable reason lies in the age of buildings. While the majority of kindergartens were built after 1980, the school buildings are generally older. Here, due to ageing, the basic concrete slab has numerous cracks and fissures and is no longer an adequate barrier to radon. Further, there is very often no concrete slab at all in old buildings.

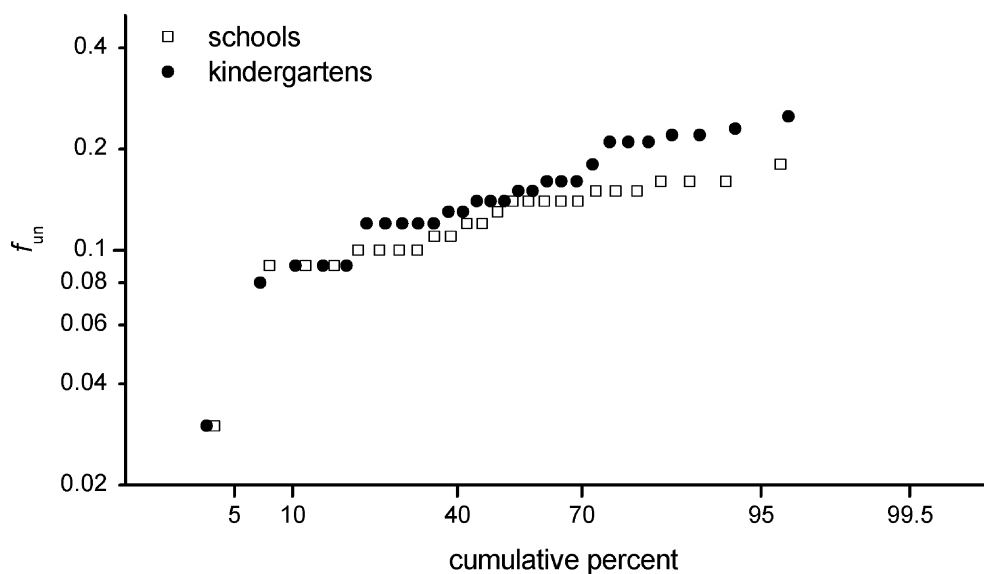
Table 1. Indoor air radon concentration (C_{Rn}) in Bq m^{-3} , equilibrium factor between Rn and RnDP (F) and unattached fraction of RnDP (f_{un}) in schools and kindergartens. Number of values (n), arithmetic mean (AM), arithmetic standard deviation (ASD), t -value (t) and p -value (p).

		n	AM	ASD	<i>t</i>	<i>p</i>	
C_{Rn}	schools	26	1362	1718	2.372	0.021	significantly
	kindergartens	29	584	394			different
F	schools	26	0.61	0.15	2.024	0.048	significantly
	kindergartens	29	0.53	0.15			different
f_{un}	schools	26	0.13	0.03	2.114	0.039	significantly
	kindergartens	29	0.15	0.06			different

The difference in F levels in schools and in kindergartens most probably reflects the different working regimes at the two places. While in a classroom in a school the movement of students is minimal during class hours, children move more freely in the play room of a kindergarten, causing air movement and hence increasing plate-out of aerosol and, consequently, lowering F . As expected [12,13], high F values are accompanied by low f_{un} values. The fact that f_{un} values in schools were lower than in kindergartens was therefore expected (Table 1).

Following the ICRP-65 criteria [6], the personnel in kindergartens and schools can be considered as nasal breathers and therefore for them $DCF_{\text{D}} = DCF_{\text{Dn}}$. If the arithmetic means of f_{un} for kindergartens and schools (Table 1)

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Figure 1. Lognormal plots of f_{un} in schools and kindergartens

are used in Eq. 2, values of $8.72 \text{ mSv WLM}^{-1}$ and $8.38 \text{ mSv WLM}^{-1}$, respectively, are obtained, being higher by factors of 1.74 and 1.68, respectively, than the ICRP recommended value of 5 mSv WLM^{-1} for workplaces.

Postojna Cave

The arithmetic mean values of the measured parameters resulting from continuous measurements are listed in Table 2. C_{Rn} values were higher in summer than in winter at the lowest point, and higher at the lowest point than at the railway station. On the other hand, F was lower in summer than in winter at the lowest point, and lower at the lowest point than at the railway station in summer. Walking visitors there cause more air movement than at the railway station in summer. Thus plate-out of RnDP is enhanced and F reduced, the effect being more pronounced in summer than in winter, and more at the lowest point than at the railway station. f_{un} values are higher in summer than in winter at the lowest point, and higher at the lowest point than at the railway station in summer. Because of the much larger number of visitors in summer than in winter, the cave air is much more disturbed, resulting in enhanced f_{un} values in summer [14]. Similarly, the air is more disturbed by visitors in narrow corridors at the lowest point than in the big hall at the railway station, resulting in enhanced f_{un} at the lowest point [14]. f_{un} values in the cave are much higher than in kindergartens

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Table 2. Average values (arithmetic mean and arithmetic standard deviation) of Rn concentration (C_{Rn}), RnDP concentration (C_{RnDP}), equilibrium factor between Rn and RnDP (F), unattached fraction of RnDP (f_{un}), barometric pressure (P), relative air humidity in the cave (RH) and air temperature in the cave (T_{in}), measured during different periods at the lowest point (LP) and railway station (RS).

Season, year (site)	$C_{\text{Rn}} / \text{Bq m}^{-3}$	F	f_{un}
Summer, 1998 (LP)	4090 ± 440	0.34 ± 0.06	0.58 ± 0.14
Winter, 1998 (LP)	1470 ± 1060	0.56 ± 0.10	0.10 ± 0.07
Summer, 1999 (LP)	4540 ± 600	0.35 ± 0.09	0.60 ± 0.16
Winter, 1999 (LP)	2070 ± 1160	0.58 ± 0.11	0.14 ± 0.08
Summer, 2001 (LP)	5900 ± 620	0.35 ± 0.07	0.68 ± 0.11
Summer, 2001 (RS)	3330 ± 370	0.63 ± 0.13	0.15 ± 0.05

Table 3. Dose conversion factors for mouth (DCF_{Dm}) and nasal (DCF_{Dn}) breathing calculated, using Eqs. 2 and 3, from the f_{un} values in Table 2 for the lowest point (LP) and railway station (RS) in the Postojna Cave in different seasons.

Season, year (site)	f_{un}	DCF_{Dm} mSv WLM^{-1}	$\text{DCF}_{\text{Dm}} / 5$	DCF_{Dn} mSv WLM^{-1}	$\text{DCF}_{\text{Dn}} / 5$
Summer, 1998 (LP)	0.58	61.4	12.3	15.9	3.2
Winter, 1998 (LP)	0.10	16.1	3.2	7.9	1.6
Summer, 1999 (LP)	0.60	63.3	12.7	16.3	3.3
Winter, 1999 (LP)	0.14	19.9	4.0	8.6	1.7
Summer, 2001 (LP)	0.68	71.5	14.3	18.2	3.6
Summer, 2001 (RS)	0.15	20.9	4.2	8.7	1.7

and schools. One of the reasons for the high values is the very low concentration of aerosols in Postojna Cave, being only $(1.9\text{--}4.3) \times 10^9 \text{ m}^{-3}$, as compared to a barite mine with $(200\text{--}1600) \times 10^9 \text{ m}^{-3}$ and f_{un} in the range from 0.003 to 0.008 [1]. Another reason for elevated f_{un} values could be the intensive washout

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

of aerosols at practically 100 % relative air humidity, as observed in some spas [15].

Based on the arithmetic mean values of f_{un} , DCF_{Dm} (Eq. 1) and DCF_{Dn} (Eq. 2) values were calculated for the lowest point in summer and winter, and in summer at the lowest point and railway station (Table 3). According to the ICRP criteria [6] only maintenance workers engaged in hard physical work in the cave may be considered as mouth breathers, and for them $DCF_D = DCF_{Dm}$, while for all others, tourist guides, souvenir vendors, locomotive drivers, $DCF_D = DCF_{Dn}$. Table 3 also displays factors by which DCF_{Dm} and DCF_{Dn} values exceed the ICRP recommended value of 5 mSv WLM⁻¹ for workplaces.

Wineries

Results of continuous measurements in four wineries are listed in Table 4 as the arithmetic mean values of the measured parameters.

Table 4. Average values of Rn concentration (C_{Rn}), equilibrium factor between Rn and RnDP (F) and unattached fraction of RnDP (f_{un}) obtained from continuous measurements in Slovenian wineries, with the resulting dose conversion factors for nasal breathing (DCF_{Dn}).

Winery	Date in 2002	C_{Rn} Bq m ⁻³	F	f_{un}	DCF_{Dn} mSv WLM ⁻¹	$DCF_{Dn}/5$
01- S-05	23.04.–13.05.	91	0.25	0.20	9.56	1.91
04- P-02	30.05.–14.06.	182	0.49	0.12	8.22	1.64
06- L-02	06.06.–03.07.	998	0.63	0.08	7.54	1.51
07-G-02	20.06.–04.07.	360	0.48	0.09	7.71	1.54

The values of f_{un} are similar to those in kindergartens and schools, or even lower, although a reliable comparison is not possible because of the small number of measurements in wineries. Values are much lower than in Postojna Cave – obviously because of higher aerosol concentrations and lower air humidity in a winery than in the cave [1,15]. According to the ICRP criteria [6], workers in wineries may be considered as nasal breathers and for them $DCF_D = DCF_{Dn}$, calculated from Eq. 2. DCF_{Dn} values in Table 4 are 1.5- to 1.9-fold higher than 5 mSv WLM⁻¹.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

CONCLUSIONS

Measurements of f_{un} in Slovenian kindergartens have shown that the dose conversion factor based on the dosimetric approach is on average $DCF_D = 8.72 \text{ mSv WLM}^{-1}$, which is 1.74-fold higher than the epidemiology-based value of $DCF_E = 5 \text{ mSv WLM}^{-1}$ currently recommended by ICRP for workplaces. For schools this factor was 1.68.

In Postojna Cave, DCF_D values were higher than DCF_E by a factor of 1.7 in summer at the railway station, and by a factor from 3.2 to 3.6 in summer and from 1.6 to 1.7 in winter at the lowest point. For maintenance workers engaged in hard physical work this factor is 4.2 in summer at the railway station, and from 12.3 to 14.3 in summer and from 3.2 to 4.0 in winter at the lowest point.

In the four wineries, DCF_D values were in the range from 7.71 mSv WLM⁻¹ to 9.56 mSv WLM⁻¹ and thus between 1.5- and 1.9-fold higher than DCF_E .

The DCF_D values in the different environments contribute additional information to the general database on DCF_D , which is a prerequisite for a better understanding of and successful coping with the gap between DCF_D and DCF_E , which is not yet completely understood.

REFERENCES

- [1] Butterweck G, Porstendörfer J, Reineking A, Kesten J. Unattached fraction and the aerosol size distribution of the radon progeny in a natural cave and mine atmosphere. *Radiat Prot Dosim* 1992; 45: 167–170.
- [2] Nero Jr AV. Radon and its decay products in indoor air: an overview. In: Nazaroff WW, Nero Jr AV, eds. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. John Wiley & Sons, New York, 1988; pp. 1–53.
- [3] Birchall A, James AC. Uncertainty analysis of the effective dose per unit exposure from radon progeny and implication for ICRP risk-weighting factor. *Radiat Prot Dosim* 1994; 53: 133–140.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, 1994.
- [5] Hofmann W, Fakir H, Aubienu-Laniece I, Pihet P. Interaction of alpha particles at cellular level – implications for the radiation weighting factor. *Radiat Prot Dosim* 2004; 112: 493–500.
- [6] Porstendörfer J. Radon: Measurements related to dose. *Environ Int* 1996; 22 (Suppl. 1): S563–S583.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [7] Vaupotič J, Križman M, Planinić J, Pezdič J, Adamič K, Stegnar P, Kobal I. Systematic indoor radon and gamma measurements in kindergartens and play schools in Slovenia. *Health Phys* 1994; 66: 550–556.
- [8] Vaupotič J, Šikovec M, Kobal I. Systematic indoor radon and gamma-ray measurements in Slovenian schools. *Health Phys* 2000; 78: 559–562.
- [9] Popit A, Vaupotič J. Indoor radon concentrations in relation to geology in Slovenia. *Environ Geol* 2002; 42: 330–337.
- [10] Markov KR, Ryabov NV, Stas KN. Rapid method to assess radiation hazard due to radon short-lived decay products. *Atom Energiya* 1962; 12: 315–322.
- [11] Knutson EO. Modelling indoor concentrations of radon's decay products. In: Nazaroff WW, Nero Jr AV, eds. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. John Wiley & Sons, New York, 1988; pp. 161–202.
- [12] Huet C, Tymen G, Boulaud D. Size distribution, equilibrium ratio and unattached fraction of radon decay products under typical indoor domestic conditions. *Sci Total Environ* 2001; 272: 97–103.
- [13] Vaupotič J. Nano-size radon progeny aerosols in Slovenian kindergartens in wintertime. *Chemosphere* 2007; 69: 856–863.
- [14] Morlier JP, Bisson M, Fritsch P, Monchaux G, Janot M, Pineau JF. Deposition of ^{214}Pb and nuclear aberration in respiratory tract of rats after exposure to radon progeny under different aerosol conditions. *Environ Int* 1996; 22 (Suppl. 1): S927–S930.
- [15] Vogianis E, Nikolopoulos D, Louizi A, Halvadakis CP. Radon exposure in the thermal spas of Lesvos Island – Greece. *Radiat Prot Dosim* 2004; 111: 121–127.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

ANOMALOUS RADON LEVELS IN THERMAL WATER AS AN INDICATOR OF SEISMIC ACTIVITY

Boris Zmazek, Asta Gregorič, Janja Vaupotič and Ivan Kobal
Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia
e-mail: janja.vaupotic@ijs.si

INTRODUCTION

Radon (^{222}Rn) can be transported effectively from deep layers of the Earth to the surface by carrier gases and by water [1–2]. This transport is affected by phenomena accompanying seismic events [3–5]. If radon is therefore monitored shortly before or during an earthquake, at a thermal water spring, an anomaly, i.e. a sudden increase or decrease in radon level, may be observed [6–8]. Thermal springs and ground waters in Slovenia have therefore been systematically surveyed for radon [9–11].

The work presented here is a continuation of our previous radon monitoring related to seismic activity carried out on weekly analyses during 1981–82 in thermal waters of the Ljubljana basin [10]. In 1998, measurements were resumed and extended to the tectonically active region close to the Soča river (north-west Slovenia). Radon content, electrical conductivity and temperature were measured continuously [11] at Bled and Zatočmin, as well as at Podplat near Rogaška Slatina as a reference point. In 2003, radon measurements were started at Hotavlje village, some 27 km to the south of Bled. In this paper, we focus on radon anomalies in thermal springs at Hotavlje and Bled in the period from October 2005 to September 2007.

MATERIALS AND METHODS

There are only a few thermal springs in the seismically active area near the Soča river, the closest and most easily accessible ones being at Bled and Hotavlje. In contrast, there are many thermal springs in east Slovenia, but this area exhibits lower seismic activity.

The thermal spring at Bled is used in the swimming pool of the Toplice Hotel. Water is characterized by a constant temperature of 21.82 ± 0.01 °C and by active bubbling.

The thermal spring at Hotavlje is situated at the bank of the Kopačnica river, 3 km north of the Hotavlje village. Water temperature is constant at 20.22 ± 0.04 °C.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

At Bled and at Hotavlje, radon concentration in water was measured with the Barasol probe (MC-450, ALGADE, France) [12]. The sensitivity is 50 Bq m^{-3} and sampling frequency once per hour. Radon concentration, temperature and pressure are recorded and later transferred to a PC for evaluation.

RESULTS AND DISCUSSION

It is well known that a gas such as ^{222}Rn can be released by rock micro fracturing [13]. Small strains could have major effects on the generation of anomalies at pre-existing fractures and faults [14]. Toutain and Baubron [4] observed that gas transfer within the upper crust is affected by strains less than 10^{-7} , much smaller than those causing earthquakes. Anomalies in water temperature, radon concentration and gas composition are related to both hydrometeorological data and seismic events. The radius, D , of the effective precursor manifestation zone in km (also called the “strain radius”) may be calculated from Dobrovolsky’s equation [15]:

$$D = 10^{0.43M} \quad (1)$$

for an earthquake of magnitude M , corresponding to a deformation of 10^{-8} . In this study all earthquakes with ratio $D/R > 0.5$ were taken into account, where D is strain radius calculated from equation (1), R is the distance of the epicenter. All earthquakes were detected by the Office of Seismology at the Environmental Agency of the Republic of Slovenia.

The data for each thermal spring are presented and discussed separately.

The average radon concentration in thermal water at Bled was $10.5 \pm 2.1 \text{ kBq m}^{-3}$ in the period from October 2005 to September 2007, and was unaffected by hydrometeorological parameters such as rainfall, air temperature and barometric pressure. Five earthquakes occurred in the vicinity in this period, the strongest at a distance of 17 km with $M_L = 3.8$ and $D/R = 2.5$ on January 1, 2007, and the nearest at a distance of 5 km with $M_L = 2.6$ and $D/R = 2.6$ on November 24, 2006. Four anomalies in radon concentration were observed, the first one immediately after measurements were started, at the end of October 2005. In three days, radon concentration decreased from 11.7 to 5.2 kBq m^{-3} , being about 2.5σ below the average value. This was 45 days before the first of two earthquakes with magnitudes from 2.6 to 2.9 and epicenter distances from 24 to 32 km. A longer anomaly (about 3σ above the average value) followed from the end of February to the beginning of May 2006. The last two anomalies were observed, first (about 2σ above the average value) in September, two months before earthquake $M_L = 2.6$, and the second (about 3σ over the average value) in December 2006, one month before the strongest earthquake (Figure 1).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

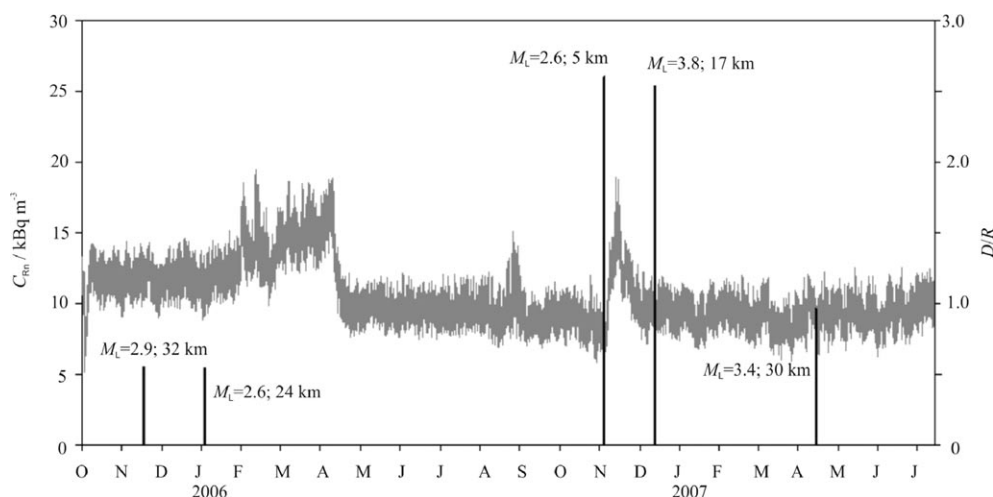


Figure 1. Radon concentration in thermal water at Bled from October 2005 to September 2007

At Hotavlje, the average radon concentration in water in the period from October 2005 to September 2007 was $166 \pm 89 \text{ kBq m}^{-3}$. It was not affected by hydrometeorological parameters such as rainfall, air temperature and barometric pressure. In this period ten earthquakes occurred in the vicinity, with D/R ratio from 0.5 to 1.4. The strongest one with $M_L = 3.8$ at a distance of 43 km and D/R = 1.0 occurred on January 1, 2007, and the nearest one at a distance of 3 km with $M_L = 1.3$ and D/R = 1.4, on March 24, 2007. The first two radon anomalies (2σ above the average value) were observed in April and in June 2006. Six earthquakes followed in the period from June to September. The biggest anomaly (more than 3σ above the average) was observed in July 2006, five months before the strongest earthquake (Figure 2).

As in our previous study [12], these data will be further analyzed using machine learning statistical methods, such as decision trees and neuron networks, in order to identify anomalies that cannot be ascribed to environmental parameters, but are probably caused by seismic events.

CONCLUSION

Although no strong earthquakes have occurred in the period of these data presentations, some radon anomalies were identified that might have been caused by earthquakes. At Bled, an anomaly was observed six months before the strongest earthquake with $M_L = 2.9$. Five months before the same earthquake an anomaly was also observed at Hotavlje.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

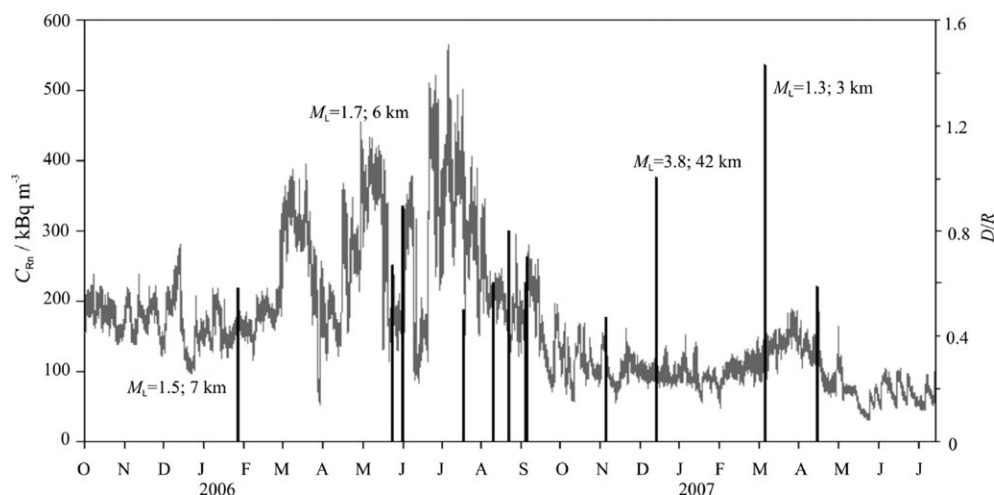


Figure 2. Radon concentration in thermal water at Hotavlje from October 2005 to September 2007

These preliminary results are based on simple statistics. Further analysis will be performed, applying decision trees and neuron networks of the machine learning approach. For that purpose, the time series of radon concentration of the whole period of measurements will be considered and not only the period limited in this paper.

REFERENCES

- [1] Kristiansson K, Malmqvist L. Evidence for non-diffusive transport of ^{222}Rn in the ground and new physical model for the transport. *Geophys* 1982; 47; 1444–1452.
- [2] Etiope G, Martinelli G. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview. *Phys. Earth Planet Inter* 2002; 129; 185–204.
- [3] Ulomov V I, Mavashev B Z. Forerunners of the Tashkent earthquake. *Izv Akad Nauk Uzb. SSR* 1971; 188–200.
- [4] Toutain J P, Baubron J C. Gas geochemistry and seismotectonics: a review. *Tectonophys* 1999; 304; 1–24.
- [5] Ui H, Moriuchi H, Takemura Y, Tsuchida H, Fujii I, Nakamura M. Anomalously high radon discharge from the Atotsugawa fault prior to the western Nagano Prefecture earthquake (M 6.8) of September 14, 1984. *Tectonophys* 1988; 152; 147–152.
- [6] Teng T L. Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. *J Geophys Res* 1980; 85; 3089–3099.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [7] Heinecke J, Koch U, Hebert D, Martinelli G. Simultaneous measurements of radon and CO₂ in water as a possible tool for earthquake prediction. In *Gas Geochemistry*, edited by C. Dubois, University of France. Comté, Science Reviews. 1995; 295–303.
- [8] Singh M, Kumar M, Jain R K, Chatrath R P. Radon in ground water related to seismic events. *Radiat Meas* 1999; 30; 465–469.
- [9] Vaupotič J, Kobal I. Radon exposure in Slovenian spas. *Radiat Prot Dosim* 2001; 97; 265–270.
- [10] Zmazek B, Vaupotič J, Živčič M, Premru U, Kobal I. Radon monitoring for earthquake prediction in Slovenia. *Fizika B (Zagreb)* 2000; 9; 111–118.
- [11] Zmazek B, Italiano F, Živčič M, Vaupotič J, Kobal I, Martinelli G. Geochemical monitoring of thermal waters in Slovenia: relationships to seismic activity. *Appl Radiat Isot* 2002; 57; 919–930.
- [12] Zmazek B, Todorovskia L, Živčič M, Džeroski S, Vaupotič J, Kobal I. Radon in a thermal spring: identification of anomalies related to seismic activity. *Appl Radiat Isot* 2006; 64; 725–734.
- [13] Dongarra G, Martinelli G. Migration process of radon toward the Earth's surface: implications for the prediction of seismic and volcanic events. In: *Proc. Scientific Meeting on Seismic Protection, Regione Veneto, Venezia* 1995; 141–147.
- [14] King C Y. Gas geochemistry applied to earthquake prediction: an overview. *J Geophys Res* 1986; 91; 12269–12281.
- [15] Dobrovolsky I P, Gersherzon N I, Gokhberg M B. Theory of electrokinetic effect occurring at the final state in the preparation of a tectonic earthquake. *Phys. Earth Planet Interiors* 1989; 57; 144–156.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON U KUĆAMA U VUKOVARSKO-SRIJEMSKOJ ŽUPANIJI

Vanja Radolić¹, Luka Novaković², Goran Jerković³ i Branko Vuković¹

¹Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6,
31000 Osijek

²OŠ "Josip Kozarac", Kralja Tomislava 5a, 32255 Soljani

³OŠ "Mirka Pereša", Ulica 1. svibnja 2, 43203 Kapela

e-mail: vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon je prirodni radioaktivni plin s najvećim udjelom u ukupno primljenoj dozi opće populacije koja potječe od prirodne radioaktivnosti i kao takav je, nakon pušenja, drugi najveći uzročnik raka pluća [1]. Stoga su mnoge države usvojile zakonske odredbe usmjerene na zaštitu od radona te učinile značajan napor u identifikaciji područja s povišenom radonskom koncentracijom. Zbog činjenice da radon u kućama može značajno varirati u kratkom vremenu, izrada radonskog zemljovida postaje složena te jako ovisi o primarnom cilju istraživanja i primijenjenoj metodologiji mjerenja. Mnoge europske zemlje su provele mjerenja radona u kućama i tlu na nacionalnom nivou, a rezultati su sumirani u publikaciji Istraživačkog centra Europske komisije (ICEK) [2]. Trenutno se radi na harmonizaciji različitih pristupa izradi nacionalnih radonskih zemljovida koja će rezultirati transnacionalnim radonskim zemljovidom Europe. Istraživačka grupa za radon s Odjela za fiziku Sveučilišta u Osijeku također sudjeluje u opisanim aktivnostima, temeljem višegodišnjeg iskustva u mjerenju koncentracije radona u kućama (domaćinstvima, školama i dječjim vrtićima) [3, 4], u tlu (pretežno u okolicama Osijeka, ali i u sjevernoj i istočnoj Hrvatskoj) [5, 6], kao i u termalnim vodama hrvatskih toplica [7]. Tijekom 2003. i 2004. godine provedena su sustavna istraživanja radona u kućama u RH [8] s ciljem: (i) procjene srednje godišnje koncentracije radona u kućama što nam je omogućilo određivanje postotka kućanstava u kojima koncentracija radona prelazi preporučene vrijednosti (200 odnosno 400 Bq m⁻³); (ii) identifikacije područja s povišenom radonskom koncentracijom. Rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju nastavak prethodnog istraživanja. Naime, tada je obavljeno četrdesetak mjerenja u Vukovarsko-srijemskoj županiji (VS), a s ovih novih stotinjak mjerenja, značajno se poboljšava poznavanje raspodjele koncentracije radona u navedenoj županiji.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MATERIJALI I METODE

Radon u kućama smo mjerili pasivnim detektorima nuklearnih tragova LR-115, tip II (proizvođač Kodak-Pathe, Francuska). Na cilindrične posude detektora, promjera 11 cm i visine 7 cm, učvrstili smo film dimenzija 2×3 cm (tzv. vanjski detektor), a s unutrašnje strane, na poklopcu, je postavljen film istih dimenzija, tzv. difuzijski detektor. Koncentracija radona u zraku je određena kao produkt koeficijenta osjetljivosti i gustoće tragova na difuzijskom detektoru. Koeficijent osjetljivosti difuzijskog detektora iznosio $30 \pm 2 \text{ Bq m}^{-3} / \text{tr cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, dok je pozadinsko zračenje uzrokovalo oko 23 tr cm^{-2} .

Metoda s dva detektora nuklearnih tragova omogućava određivanje ravnotežnog faktora, F, između radona i njegovih potomaka u zraku kao i bolju procjenu radonske doze. Ravnotežni faktor se određuje prema izrazu:

$$F = a D/Do + b, \quad (1)$$

uz vrijednosti parametara: $a = 0,50$ i $b = -0,53$ [9].

Procjena efektivne doze (H) od radona i njegovih potomaka u kućama izvršena je pomoću izraza

$$H = (k_1 + k_2 F) c T, \quad (2)$$

gdje su faktori konverzije $k_1 = 0,17 \text{ nSv(Bq/m}^3\text{)}^{-1}\text{h}^{-1}$ i $k_2 = 9,0 \text{ nSv(Bq/m}^3\text{)}^{-1}\text{h}^{-1}$, F ravnotežni faktor, c koncentracija radona, a T vrijeme izlaganja izraženo brojem sati u godini dana koju osoba provede u kući [4].

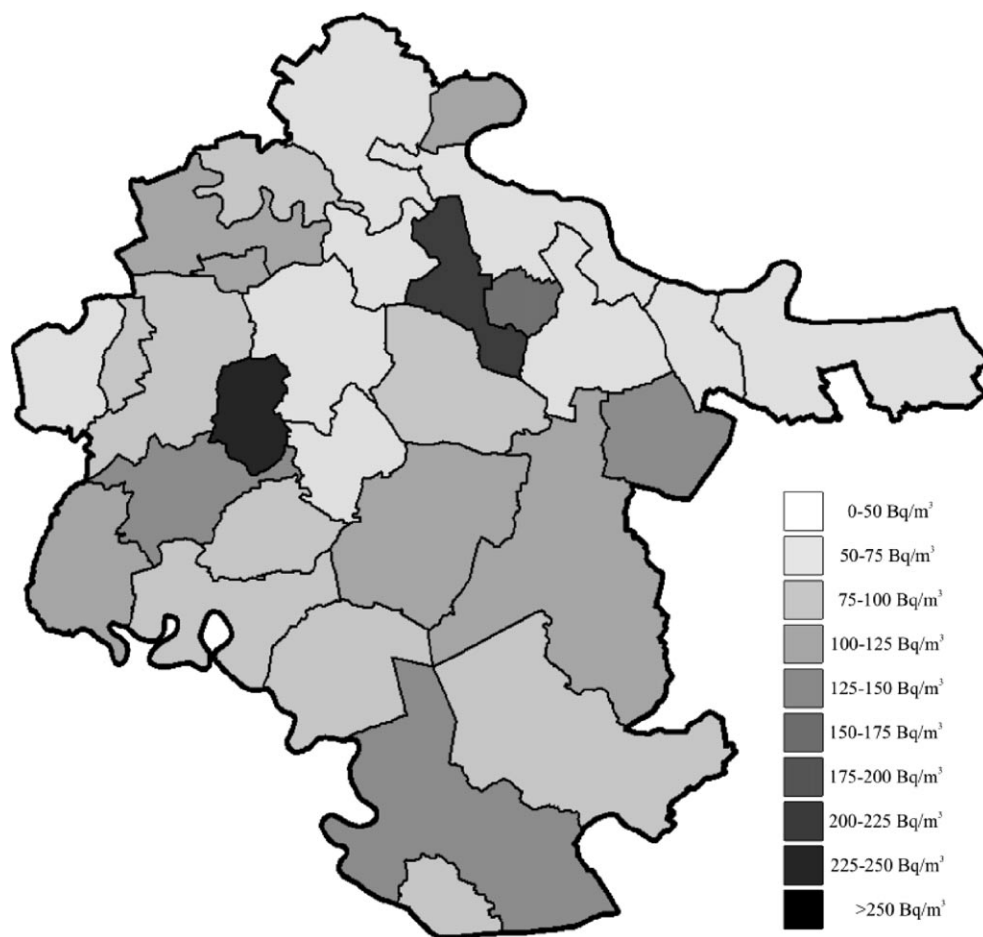
Lokacije na kojima su izvršena mjerenja su izabrane nasumično, a prema kriteriju: 1 mjerenje na 4000 stanovnika (kampanja 2003/04) odnosno najmanje tri mjerenja u svakoj općini VS županije (2006/07). Detektori su postavljeni krajem listopada 2006. godine, a bili su izlagani 5 mjeseci pa je neophodno napraviti korekciju zbog sezonskih varijacija radona. Naime, poznato je da su koncentracije radona u kućama više u zimskim mjesecima nego u ljetnim zbog smanjene ventilacije zraka. Dakle, potrebno je izmjerenu vrijednost koncentracije radona podijeliti sa srednjom vrijednošću mjesečnih korekcija za mjesec u kojima su detektori bili izlagani (studenj – ožujak) odnosno s faktorom 1,248 (srednju godišnju koncentraciju radona potrebno je pomnožiti s faktorom 1,37 ako bismo htjeli procijeniti kolika je bila razina radona za mjesec siječanj; 1,32 za veljaču; 1,22 za ožujak; 1,06 za travanj; 0,91 za svibanj; 0,76 za lipanj; 0,61 za srpanj; 0,66 za kolovoz; 0,81 za rujanj; 0,96 za listopad; 1,11 za studeni te 1,22 za prosinac [10]).

Nakon izlaganja detektori su jetkani u 10% vodenoj otopini NaOH na temperaturi 60°C u trajanju od 120 min, a potom su vizualno brojani pomoću optičkog mikroskopa s povećanjem 10×10 .

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

REZULTATI

Aritmetička sredina radonskih koncentracija u kućama VS županije iznosi 95 Bq m^{-3} s pripadnom standardnom devijacijom od 80 Bq m^{-3} dok je geometrijska sredina 74 Bq m^{-3} . Pritom je srednja relativna pogreška mjerenja koncentracije radona iznosila 7,9% (sve su unutar intervala od 4,9 – 10,6%). Aritmetička sredina procijenjenog ravnotežnog faktora iznosi 0,512, a određen je sa srednjom relativnom pogreškom od 14,8% (5,0 – 34,5%). Prostorna raspodjela radona u gradovima i općinama VS županije je prikazana na Slici 1.

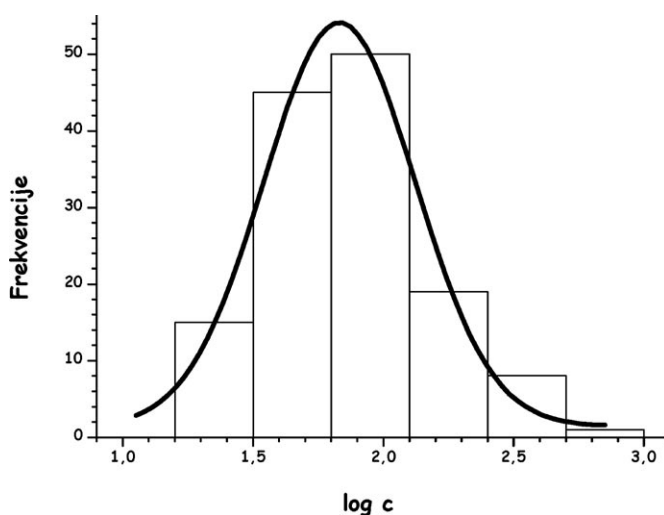


Slika 1. Zemljovid koncentracije radona po općinama za Vukovarsko-srijemsku županiju

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Općina s najnižom prosječno izmjerenom koncentracijom radona je grad Vukovar sa 51 Bq m^{-3} za 8 izvršenih mjerenja dok su Andrijaševci općina s najvišom prosječnom radonskom razinom od 269 Bq m^{-3} za 3 mjerenja.

Pretpostavka da raspodjela radona u kućama VS županije slijedi log-normalnu distribuciju je testirana pomoću statističkog χ^2 -testa. Za sve izmjerene radonske koncentracije se izračuna dekadski logaritam i zatim se izbroji koliko takvih kuća ima u određenom razredu (interval širine 0,3 na logaritamskoj skali). Iz dobivenih empirijskih i odgovarajućih teorijskih frekvencija se izračuna χ^2 i provede se testiranje za određeni broj stupnjeva slobode ($\chi^2 = 7,39 < \chi^2_{0,05} = 9,488$ za 4 stupnja slobode). Potvrđena je pretpostavka da raspodjela empirijskih frekvencija radona u kućama VS županije slijedi log-normalnu distribuciju. Histogram dobivenih empirijskih frekvencija je prikazan na Slici 2.



Slika 2. Histogram empirijskih frekvencija po logaritmima radonskih koncentracija te fitovana teorijska krivulja Gaussove distribucije.

Postotak kuća u kojima je koncentracija radona iznad 200 odnosno 400 Bq m^{-3} iznosi 8,7% odnosno 1,4% i u usporedbi s rezultatima na nacionalnom nivou [8] (5,4% kuća iznad 200 Bq m^{-3} i 1,8% kuća iznad 400 Bq m^{-3}) se može vidjeti da je u VS županiji nešto veći broj kuća s koncentracijama između 200 i 400 Bq m^{-3} , no manji s visokim koncentracijama što se pripisuje geološkoj strukturi tla u ovom dijelu RH (sedimentna tla niske permeabilnosti).

Procjena prosječnog godišnjeg efektivnog doznog ekvivalenta za stanovnike VS županije izvedena je prema jednadžbi (2), a uz pretpostavku da pojedinac 60% svog vremena provodi u kući ($t = 0,6 \times 365,25 \times 24 \text{ h} = 5260 \text{ h}$).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tada, uz srednju vrijednost radonske koncentracije od 95 Bq m^{-3} i srednji ravnotežni faktor od 0,512, vrijednost srednjeg godišnjeg efektivnog doznog ekvivalenta koji potječe od radona i njegovih kratkoživućih potomaka za stanovnike VS županije iznosi $H_E = 2,4 \text{ mSv}$. Međutim, na lokaciji u Bogdanovcima gdje je izmjerena koncentracija radona od 548 Bq m^{-3} i uz ravnotežni faktor od 0,232 osoba godišnje primi efektivni dozni ekvivalent od $6,5 \text{ mSv}$.

ZAKLJUČAK

Petomjesečna mjerenja koncentracije radona u kućama VS županije obuhvatila su svih 5 gradova i 25 općina. Radonska koncentracija mjerena je metodom s dva detektora nuklearnih tragova LR-115 II koja omogućava i procjenu ravnotežnog faktora. Izmjerene vrijednosti bile su u području od 18 do 548 Bq m^{-3} , s aritmetičkom sredinom od 95 Bq m^{-3} , a geometrijskom sredinom od 74 Bq m^{-3} . Radon u kućama VS županije slijedi log-normalnu distribuciju. Postotak kuća u kojima je koncentracija radona iznad 200 odnosno 400 Bq m^{-3} iznosi 8,7% odnosno 1,4%. Srednji godišnji efektivni dozni ekvivalent koji potječe od radona i njegovih kratkoživućih potomaka za stanovnike VS županije iznosi $H_E = 2,4 \text{ mSv}$.

LITERATURA

- [1] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann H-E, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005; 330: 223, doi:10.1136/bmj.38308.477650.63
- [2] Dubois G. An overview of radon surveys in Europe. Institute for Environment and Sustainability of the Directorate General Joint Research Centre of the European Commission; Office for Official Publication of the European Communities, 2005. ISBN 92-79-01066-2
- [3] Planinić J, Šmit G, Faj Z, Šuveljak B, Vuković B, Radolić V. Radon in schools and dwellings of Osijek. *J Radioanal Nucl Chem* 1995;191:45-51.
- [4] Planinić J, Faj Z, Radolić V, Šmit G, Faj D. Indoor radon dose assessment for Osijek. *J Environ Radioact* 1999;44:97-106.
- [5] Planinić J, Vuković B, Faj Z, Radolić V, Stanić D. Radon in soil and homes of Osijek (paper no. N-087). In: D'Alberti F, Osimani C, Eds. CD-ROM Proceedings of 1st European IRPA Congress, October 08-11 2002; Firenze, Italy. AIR & IRPA; 2002.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [6] Radolić V, Vuković B, Stanić D, Miklavčić I, Planinić J. Radon in houses and soil of Croatia (paper no. P-199). CD-ROM Proceedings of 2nd European IRPA Congress on Radiation Protection "Radiation Protection: from Knowledge to Action", May 15-19 2006, Paris, France, SFRP; 2006.
- [7] Radolić V, Vuković B, Šmit G, Stanić D, Planinić J. Radon in the spas of Croatia, J Environ. Radioact. 2005;83:191-198.
- [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] Planinić J, Radolić V, Faj Z, Šuveljak B. Radon equilibrium factor and aerosols. Nucl Instrum Methods Phys Res A. 1997;396:414-417.
- [10] Radiological Protection Institute of Ireland (RPII). RPII standard protocol for determination of the annual average radon gas concentration in domestic dwellings. Dublin, Ireland. 2002.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON IN HOUSES OF VUKOVAR-SRIJEM COUNTY

Vanja Radolić¹, Luka Novaković², Goran Jerković³ and Branko Vuković¹

¹Department of Physics, University of Osijek, Trg Lj. Gaja 6, 31000 Osijek

²Elementary school "Josip Kozarac", Kralja Tomislava 5a, 32255 Soljani

³Elementary school "Mirka Pereša", Ulica 1. svibnja 2,

43203 Kapela, Croatia

e-mail: vanja@fizika.unios.hr

During years 2003 and 2004, a long-term indoor radon measurements in some, randomly selected, homes in Croatia were performed by LR-115 track etch detectors. The number of exposed detectors in each of 20 Croatian counties was set according to population criteria (one detector per 4000 inhabitants) and around 40 measurements were performed in Vukovar-Srijem County. Additional measurements are followed in years 2006-07 and these results rapidly improve the knowledge of spatial distribution of indoor radon concentration in this County.

Radon was measured by method with two LR-115 type II nuclear track detectors which enable the estimation of equilibrium factor as well as the assessment of the annual effective dose. The obtained values were in range of 18 to 548 Bq m⁻³, with the arithmetic and geometric means of 95 Bq m⁻³ and 74 Bq m⁻³, respectively. The municipality with lowest average radon level of 51 Bq m⁻³ is city of Vukovar while Andrijaševci has the highest average radon concentration of 269 Bq m⁻³. The average estimated equilibrium factor in Vukovar-Srijem County is 0.512; the relative error of the estimation is 14.8%.

The statistical χ^2 -test, applied on the empirical and theoretical frequencies, show that the empirical frequency distribution for the radon in houses of Vukovar-Srijem County belonged to the log-normal distribution (calculated parameter, $\chi^2 = 7.39$, was lower than the theoretical one, $\chi^2_{0.05} = 9.49$, for 4 degrees of freedom and significance level of 0.05).

The percentage of houses with radon concentrations above 200 or 400 Bq/m³ was 8.7 % and 1.4%, respectively.

The assessment of the annual effective dose from the indoor radon and its short-lived progenies for the inhabitants of Vukovar-Srijem County (for the average equilibrium factor of 0.512 and occupancy factor of 0.6) gave the average effective dose of 2.4 mSv/y.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON U KUĆAMA BRODSKO-POSAVSKE ŽUPANIJE

Zdenka Poletto, Maja Varga, Vanja Radolić, Marina Poje i Branko Vuković
Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za Fiziku, p.p. 125,
31000 Osijek, Hrvatska
e-mail: branko@fizika.unios.hr

UVOD

Radon je plemeniti plin bez boje, mirisa i okusa. Osnovna mu je karakteristika radioaktivnost jer nastaje kao međuproizvod pri radioaktivnom raspadu urana, torija i aktinija, a sam se radioaktivnim raspadom pretvara u odgovarajuće izotope olova.

Procjenjuje se da su radon i njegovi potomci odgovorni za čak polovicu zračenja koje čovjek primi iz prirodnih izvora. Udisanjem većih količina radona kroz duži vremenski period povećava se rizik nastanka raka pluća.

Na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku izvodi se znanstvenoistraživački projekt "Radioaktivnost u okolišu; radon". Jedan od zadataka projekta je mjerenje koncentracije radona u kućama. U ovom su radu prikazani rezultati mjerenja radona u kućama Brodsko-posavske županije, koja su vršena u razdoblju između listopada 2003. i veljače 2007. godine.

MATERIJAL I METODE

Mjerenje koncentracije radona i njegovih potomaka vršeno je pomoću detektora nuklearnih tragova s odvojivim filmom LR-115 SSNTD, tip II (Kodak-Pathe, France), koji su bili izloženi zračenju radona.

Cilindrična plastična posuda promjera 11 cm i visine 7 cm pokrivena je filter papirom površinske gustoće $0,078 \text{ kg/m}^2$. Na dno posude postavljen je tzv. difuzni detektor LR-115, a s vanjske strane posude postavljen je tzv. vanjski detektor LR-115. Vanjski detektor registrira ukupni broj alfa-čestica koje emitira radon i njegovi potomci, dok difuzni detektor registrira samo tragove alfa-čestica koje emitira radon. [1]

Nakon što su bili izloženi zračenju, detektori su 120 minuta jetkani u 10%-tnoj otopini NaOH na temperaturi 60°C . Brojanje tragova nastalih raspadom radona vršilo se automatski pomoću brojača nuklearnih tragova AIST-2V (V.G. Khlopin Radium Institute, St. Petersburg, Russia).

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

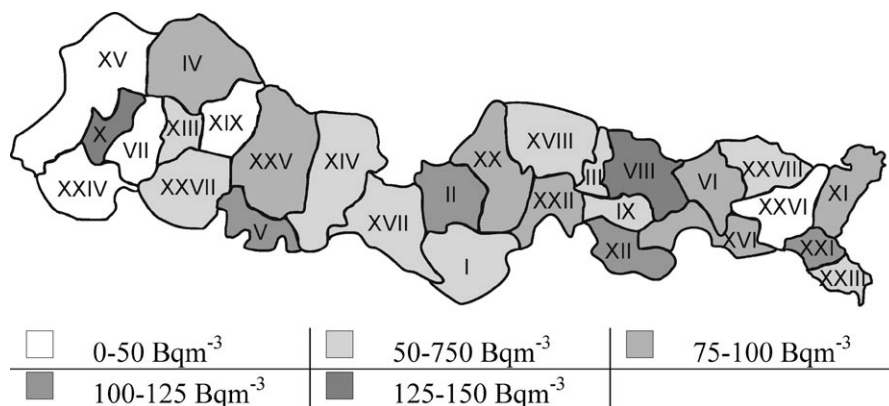
REZULTATI

Na temelju dobivenog broja tragova na filmu računa se koncentracija radona u zraku, c_0 , na sljedeći način:

$$c_0 = k \cdot D_0 \quad (1)$$

Pri čemu je $k = 44,5 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-3} / \text{tr} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ koeficijent osjetljivosti, a D_0 broj tragova na otvorenom filmu po jednom danu izlaganja.

Dobivene vrijednosti koncentracije radona u kućama Brodsko-posavske županije bile su u području od 14 do $404 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Na temelju tih podataka izrađen je zemljovid koncentracije radona za Brodsko-posavsku županiju, koji je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Zemljovid koncentracije radona za Brodsko-posavsku županiju prema teritorijalnom ustroju RH.

Korištena metoda mjerenja koncentracije radona pomoću dva filma LR-115 omogućava i procjenu ravnotežnog faktora, F , koji se definira kao omjer ravnotežne koncentracije c_{eq} i stvarne koncentracije aktivnosti radona c , a karakterizira neravnotežu radonovih potomaka i radona [2,3]. Za gustoće tragova D na difuznom i D_0 na otvorenom filmu računa se ravnotežni faktor kao

$$F = a \frac{D}{D_0} + b \quad (2)$$

pri čemu su parametri $a = 0,5$, $b = -0,53$. Dobivena aritmetička sredina za ravnotežni faktor u Brodsko-posavskoj županiji je 0,55. Prosječni ravnotežni faktori, kao i srednje vrijednosti, minimalne i maksimalne vrijednosti koncentracije radona u Brodsko-posavskoj županiji prikazane su u Tablici 1.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Vrijednosti srednje, maksimalne i minimalne koncentracije radona i ravnotežnog faktora u općinama i gradovima Brodsko-posavske županije.

Općina	Koncentracija $Bq\,m^{-3}$	Maksimalna koncentracija $Bq\,m^{-3}$	Minimalna koncentracija $Bq\,m^{-3}$	Ravnotežni faktor
Bebrina (I)	69	97	41	0,78
Brodski Stupnik (II)	122,5	160	85	0,70
Bukovlje (III)	61	92	30	0,23
Cernik (IV)	97,5	98	97	0,56
Davor (V)	102,67	166	58	0,30
Donji Andrijevići (VI)	99,5	201	32	0,51
Dragalić (VII)	37	38	36	0,55
Garčin (VIII)	132,3	145	121	0,26
Gornja Vrba (IX)	65,5	81	50	
Gornji Bogičevci (X)	125,3	249	20	0,49
Gundinci (XI)	96	113	79	
Klakar (XII)	120	172	39	0,57
Nova Gradiška (XIII)	56,2	71	51	0,53
Nova Kapela (XIV)	65,5	71	60	
Okučani (XV)	39	59	19	0,15
Oprisavci (XVI)	81,5	119	33	0,72
Oriovac (XVII)	59	92	26	0,45
Podcrkavlje (XVIII)	69,5	97	42	0,52
Rešetari (XIX)	45,67	55	42	
Sibinj (XX)	86,4	124	59	0,57
Sikirevci (XXI)	120	145	95	0,80
Slavonski Brod (XXII)	83,78	405	14	0,57
Slavonski šamac (XXIII)	60	86	34	0,86
Stara Gradiška (XXIV)	43,67	72	25	
Staro Petrovo Selo (XXV)	86,5	107	66	0,62
Velika Kopanica (XXVI)	39,5	40	39	0,76
Vrbje (XXVII)	65	69	61	0,73
Vrpolje (XXVIII)	75,5	114	51	0,33

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Srednji godišnji efektivni dozni ekvivalent H , koji potječe od radona i njegovih potomaka računa se kao [4,5]

$$H = (k_1 + k_2 F) c T \quad (3)$$

pri čemu su konverzijski faktori $k_1 = 0,17 \text{ nSv(Bq/m}^3\text{)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ i $k_2 = 9 \text{ nSv(Bq/m}^3\text{)}^{-1} \text{ h}^{-1}$, F je ravnotežni faktor, c je koncentracija radona, a $T = 0,8 \cdot 365,3 \cdot 24 \text{ h} = 7014 \text{ h}$ vrijeme boravka pojedinca u kući, tj. vrijeme izlaganja zračenju radona. Za stanovnike Brodsko-posavske županije srednji godišnji efektivni dozni ekvivalent iznosi $H = 2,91 \text{ mSv}$.

ZAKLJUČAK

Koncentracija radona u kućama Brodsko-posavske županije mjerena je metodom s dva detektora nuklearnih tragova LR-115. Dobivene vrijednosti bile su u području od 14 do 404 Bqm^{-3} , s aritmetičkom sredinom od 81 Bqm^{-3} i geometrijskom sredinom od 66 Bqm^{-3} .

Općina s najnižom prosječnom izmjerenom koncentracijom radona je Dragalić s 37 Bqm^{-3} iz 2 mjerenja, dok je općina Garčin općina s najvišom prosječnom radonskom koncentracijom od 132,3 Bqm^{-3} uz 3 izvedena mjerenja.

Srednji ravnotežni faktor iznosi 0,55, a srednji godišnji efektivni dozni ekvivalent koji potječe od radona i njegovih potomaka za stanovnike Brodsko-posavske županije iznosi $H = 2,91 \text{ mSv}$.

LITERATURA

- [1] 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. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 2006;269:87-90.
- [2] Faj Z, Planinić J. Radiat Prot Dosim 1991;35: 265.
- [3] Planinić J, Radolić V, Faj Z, Šuveljak B. Nucl Instr Meth 1997;A396: 414.
- [4] UNSCEAR, United Nations Scientific Committees on Effects of Atomic Radiation: Source Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR Report 1993, New York, 1993
- [5] Planinić J, Faj Z, Radolić V, Šmit D, Faj D. J. Environ Radioact 1999;44:97.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON IN THE HOUSES OF SLAVONSKI BROD – POSAVINA COUNTY

*Zdenka Poletto, Maja Varga, Vanja Radolić, Marina Poje
and Branko Vuković*

Department of Physics, University of Osijek, P.O.Box 125,
31000 Osijek, Croatia
e-mail: branko@fizika.unios.hr

Radon is a noble alpha-emitting radioactive gas produced by the decay of radium. The aim of this study was to measure radon concentrations in the houses of Slavonski Brod-Posavina county.

The measurements were performed by means of the passive track etching method with strippable LR-115 SSNTD film, type II (Kodak-Pathe, France). The cylindrical plastic vessel of detector, with the diameter and length of 11 and 7 cm, respectively, was covered with a paper filter of 0.078 kg/m^3 surface density. Inside, on the bottom of the vessel, a LR-115 film that presented a diffusion detector was fixed. Outside, on the cylindrical shell of the vessel, another film, that presented the open detector was fixed. The open LR-115 detector registers the total number of alpha-particles of radon and its short-lived progeny, while the diffusion detector registers tracks only of alpha particles emitted by radon.

After being exposed to radiation, the LR-115 detectors were etched in 10% NaOH aqueous solution at 60°C for 120 minutes. Afterwards, the detector tracks were automatically counted using the spark counter of tracks AIST-2V (V.G. Khlopin Radium Institute, St. Petersburg, Russia).

Radon concentrations in air were determined according to equation (1), where D_0 was the number of tracks per one day of exposure of the open detector and $k = 44.5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}/\text{tr}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ is the sensitivity coefficient of the diffusion detector.

For the track densities D and D_0 of the open and diffusion detectors, respectively, the equilibrium factor was calculated according to equation (2), where the parameters $a = 0.50$, and $b = -0.53$. Obtained value for the equilibrium factor was 0.55.

Measurements gave radon concentrations in the range of $14 - 404 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (as shown in Table 1). Average annual effective radon dose for population of Slavonski Brod-Posavina county is 2.91 mSv.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON U VODI GRADSKIH VODOVODA U NASELJIMA POŽEŠKO-SLAVONSKE ŽUPANIJE

Vanja Radolić¹, Ivan Šarić² i Igor Miklavčić¹

¹Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek

²OŠ "Fra Kaje Adžića", Školska bb, 34310 Pleternica

e-mail: vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon je plemeniti radioaktivni plin bez boje i mirisa koji nastaje radioaktivnim raspadom radija uz emisiju α -čestice. Kemijski je inertan što znači da se ne veže s drugim elementima izuzev s fluorom tvoreći nestabilne fluoride. Odgovoran je za oko 50% efektivne godišnje doze zračenja koju primimo iz prirodnih izvora [1]. Izloženost radonu i njegovim kratkoživućim potomcima povećava rizik od nastanka karcinoma, s tim da oko 89% procijenjenog rizika otpada na inhalaciju zraka bogatog radonom dok ostatak otpada na ingestiju radona pitkom vodom [2]. Glavni izvori radona u kućama su: tlo (primarno), zatim građevinski materijal te voda koja se crpi iz podzemnih izvora. Podzemne vode akumuliraju radon nastao u Zemljinoj kori [3]. U plinovitom obliku, 15 puta je veće topivosti u vodi od npr. helija ili neona (topivost mu je $1,25 \cdot 10^{-4}$ molnih dijelova pri 37°C i opada s porastom temperature) [2]. Pod djelovanjem Van der Waalsovih sila tvori metastabilne strukture, tzv. klatrate ($\text{Rn} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) u kojima je atom radona polariziran djelovanjem jakog dipolnog momenta molekule vode. Međutim, više pH-vrijednosti ($\text{pH} = 7 - 12$) destabiliziraju i razaraju klatrate čime se radon vraća u plinovitu fazu. Posljedica ovoga je da se pri uobičajenoj upotrebi vode bogate radonom u kućanstvu (mehaničkim raspršenjem vode tijekom tuširanja, prilikom pranja namirnica, i dr.), može očekivati značajan ulazak radona vrlo visokih koncentracija iz vode u zrak unutar prostorije [3]. Ovo povećanje radonske koncentracije se opisuje tzv. transfer faktorom, a eksperimentalna istraživanja te razvijeni modeli transfer faktora, uz uvažavanje tipičnih vrijednosti za upotrijebljeni obujam vode, obujam kuće i omjer ventilacije, daju vrijednosti za transfer faktor od 10^{-4} [2]. Procijenjeni cjeloživotni rizik od nastanka karcinoma pluća pri izloženosti radonu koncentracije 1 Bq m^{-3} iznosi $1,6 \cdot 10^{-4}$ za radon u zraku odnosno $1,6 \cdot 10^{-8}$ za radon u vodi.

Uobičajeni način konzumacije vode iz gradskih vodovoda je direktno iz slavine, prije nego radon ekshalira u zrak. Tako voda bogata radonom ide direktno u želudac. Radon, potom, može difundirati unutar i kroz stijenke trbuha gdje se radioaktivno raspadne pa stanice mogu primiti dozu zračenja od alfa čes-

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

stica emitiranih od radona i njegovih kratkoživićih potomaka nastalih u trbušnoj šupljini. Konzumirana voda može, eventualno, proći kroz stomak u probavni trakt gdje se ostatak radona i njegovih potomaka oslobađa u krvotok. Definira se tzv. rizik smrtnosti od karcinoma pojedinih organa po jedinici radonske koncentracije, a za karcinom želuca uslijed konzumacije pitke vode rizik smrtnosti iznosi $1,6 \cdot 10^{-9}$ [2].

MATERIJALI I METODE

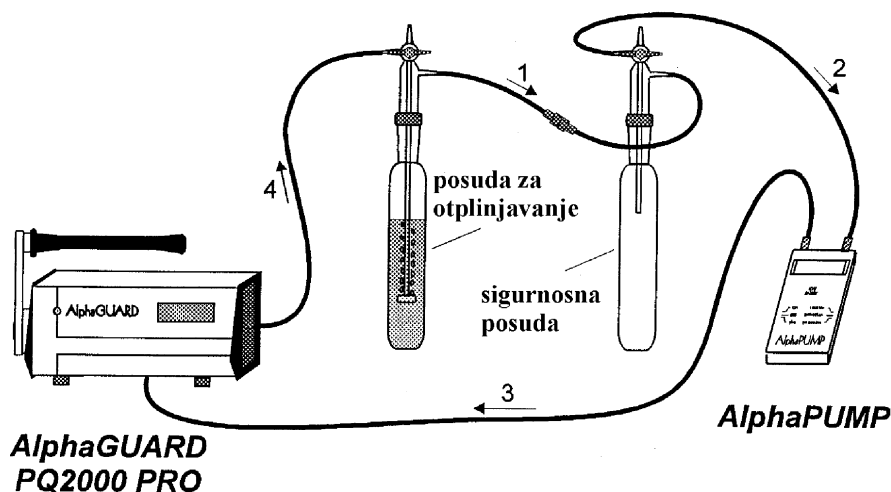
Mjerenje koncentracije radona u vodama gradskih vodovoda na području Požeško-slavonske (PS) županije je obavljeno u prosincu 2005. godine. Uzorci vode su uzimani iz slavina u ugostiteljskim objektima jer se voda u njima koristi češće nego što je to slučaj u domaćinstvima (prosječno kućanstvo s četveročlanom obitelji konzumira dnevno do 70 litara vode iz gradskog vodovoda). Voda je uzorkovana u staklene bočice obujma 2 dcl. Prije samog uzorkovanja pustili smo da voda punim mlazom istječe iz slavine 10 sekundi čime se standardizira procedura te osigurava da uzorak vode nije bio duže vrijeme u slavini. Vremenski interval od uzorkovanja vode do njene analize je bio kraći od 4h. Smatra se da je nakon tog vremena radon u uzorku već postupno migrirao u okolni prostor, a dio je i izgubljen radioaktivnim raspadom, čime uzorak više nije sasvim povoljan za mjerenje. Broj lokacija za uzorkovanje vode definiran je brojem stanovnika u određenoj općini ili gradu, a uzet je kriterij od 1 lokacije na svakih 3000 stanovnika što s obzirom na broj stanovnika u PS županiji čini ukupno 32 mjerenja. Pored toga, uzorci vode uzimani su iz bunara u različitim selima na širem području PS županije. Postupak analiziranja i uzorkovanja je identičan kao u prvom dijelu.

Određivanje koncentracije radona u uzorku vode temelji se na određivanju koncentracije radona u zraku. Eksperimentalni postav pored AlphaGUARD-a i AlphaPUMPE, sadrži još i dvije staklene posude: za otplinjavanje i sigurnosnu posudu, a prikazan je na Slici 1. Koncentracija radona u vodi, c_v (Bq l^{-1}) se izračuna iz jednadžbe [4]:

$$c_v = \frac{c_z \left(\frac{V_{\text{sistem}} - V_{\text{uzorak}}}{V_{\text{uzorak}}} + k \right) - c_0}{1000} \quad (1)$$

gdje je c_z (Bq m^{-3}) izmjerena koncentracija radona u zraku, c_0 (Bq m^{-3}) koncentracija radona u zraku prije početka mjerenja (nulta razina odnosno koncentracija radona u prostoriji u kojoj se izvodi mjerenje), V_{sistem} (ml) je obujam zraka u zatvorenom sustavu, a V_{uzorak} (ml) obujam uzorka vode, a k je omjer radona

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.



Slika 1. Metoda mjerenja radona u vodi pomoću AlphaGUARD mjernog sustava – crtež

otopljenog u vodi i radona u plinovitoj fazi. Primijenjena je standardna procedura za brzo određivanje radona u vodi u trajanju od 30 minuta koja ima relativno visoku pogrešku mjerenja pri nižim koncentracijama.

REZULTATI

Srednje vrijednosti izmjerenih koncentracija radona u vodi gradskih i općinskih vodovoda u PS županiji, zajedno s pripadnim standardnim devijacijama kao i minimalnim i maksimalnim vrijednostima prikazane su u Tablici 1. Najveće koncentracije izmjerene su u općini Brestovac: 35,9 Bq l⁻¹ na lokaciji BR2, odnosno 29,5 Bq l⁻¹ na BR1. Najmanja je pak, koncentracija radona u vodi izmjerena u općini Kutjevo (lokacija KU1: 3,5 Bq l⁻¹).

Statistički t-test je pokazao da se prosječna koncentracija radona u vodi iz seoskih bunara ($\bar{c}_b = 10,5 \text{ Bq l}^{-1}$) razlikuje od vrijednosti u gradskim vodovodima ($\bar{c}_v = 15,0 \text{ Bq l}^{-1}$), na razini signifikantnosti od 0,05% i za broj stupnjeva slobode 30 ($t = \frac{\bar{c}_v - \bar{c}_b}{s_d} = 3,177 > t_{0,05} = 2,042$; $s_d = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$). Najveća vrijednost

koncentracije radona u bunarskoj vodi određena je u vodi uzorkovanoj u južnom dijelu županije, u selu Brodski Drenovac, koji pripada gradu Pleternici ($c_{(BU5)} = 17,6 \text{ Bq l}^{-1}$), dok prosječna koncentracija radona u vodi gradskih vodovoda za Pleternicu iznosi 15,6 Bq l⁻¹ (Tablica 1.). Međutim, za uzorak bunarske vode na lokaciji BU1 (selo Kujnuk) koja se nalazi na zapadnom dijelu županije,

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

a pripada općini Brestovac, vrijednost koncentracije radona u vodi iznosi $4,4 \text{ Bq l}^{-1}$ i jako odstupa od prosječne koncentracije radona u vodovodu u toj općini ($32,7 \text{ Bq l}^{-1}$) što se pripisuje svojstvima tla na promatranoj mikrolokaciji.

Tablica 1. Srednje koncentracije radona u vodi ($\bar{c}_v$), pripadne standardne devijacije (σ_{c_v}) i raspon izmjerenih vrijednosti za gradove i općine u Požeško-slavonskoj županiji

Grad/Općina	N	$\bar{c}_v \text{ (Bql}^{-1}\text{)}$	$\sigma_{c_v} \text{ (Bql}^{-1}\text{)}$	Min – Max
Kutjevo	3	4,4	0,8	3,5 – 5,1
Lipik	2	5,6	0,6	5,1 – 6,1
Pakrac	3	7,1	0,7	6,7 – 7,9
Pleternica	6	15,6	5,4	7,8 – 21,1
Požega	9	14,8	5,7	5,1 – 22,1
Brestovac	2	32,7	4,6	29,5 – 35,9
Čaglin	1	25,0	/	/
Jakšić	2	20,1	0,3	19,9 – 20,3
Kaptol	1	5,5	/	/
Velika	3	9,8	3,0	6,7 – 12,8

Budući da referentni nivo za pitku vodu iz javnih sustava opskrbe, prema preporuci Europske komisije iz 2001. godine, iznosi 100 Bq l^{-1} [5] vidljivo je da koncentracija radona u vodi gradskih vodovoda PS županije, u prosjeku, ima sedam puta niže vrijednosti te stoga konzumacija vode ne predstavlja značajan rizik za javno zdravlje stanovništva. Rizik smrtnosti pri nastanku karcinoma želuca za stanovništvo PS županije iznosi $2,4 \cdot 10^{-5}$ pa će, prema primijenjenom dozimetrijskom modelu, dva čovjeka tijekom svog očekivanog života oboljeti od karcinoma želuca koji će se razviti zbog ingestije radona konzumacijom vode iz gradskog vodovoda. Faktor konverzije za procjenu efektivne radonske doze uslijed ingestije vode iznosi $0,35 \text{ C}10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ [2] pa uz pretpostavku da pojedinac popije dnevno 2 litre vode iz gradskog vodovoda, godišnja efektivna doza iznosi $H=38,4 \mu\text{Sv/god}$.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Prosječna koncentracija radona u zraku u PS županiji iznosi 66 Bq m^{-3} , a ravnotežni faktor 0,6 [6] pa prosječna godišnja efektivna doza koja potječe od inhalacije radona i njegovih kratkoživućih potomaka za stanovništvo PS županije iznosi $1,9 \text{ mSv/god.}$ Dakle, efektivna doza od inhalacije radona je oko 50 puta veća od doze nastale ingestijom.

ZAKLJUČAK

U prosincu 2005. godine je provedeno uzorkovanje vode iz gradskih vodovoda u gradovima i općinama PS županije. Izmjerene vrijednosti radonskih koncentracija bile su u intervalu od 3,5 do $35,9 \text{ Bq l}^{-1}$ sa srednjom vrijednosti $15,0 \text{ Bq l}^{-1}$ i pripadnom standardnom devijacijom $8,2 \text{ Bq l}^{-1}$ i značajno su niže u usporedbi s referentnom vrijednosti koju preporuča Europska komisija (100 Bq l^{-1}). Statistički t-test je pokazao da postoji signifikantna razlika u koncentracijama radona iz gradskih vodovoda i privatnih bunara. Prosječna godišnja efektivna doza koju primi stanovnik PS županije pijenjem vode iz gradskih vodovoda iznosi $38 \mu\text{Sv/god.}$ Inhalacijska radonska efektivna doza je 50 puta veća i iznosi $1,9 \text{ mSv/god.}$

LITERATURA

- [1] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press, ICRP Publication 65. 1994
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] AlphaGUARD PQ2000/MC50 Multiparameter Radon Monitor.0 Characterisation of its physical properties under normal climatic and severe environmental conditions, User manual, Genitron Instruments, Germany, 1998.
- [5] 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.
- [6] 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.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON IN PUBLIC WATERWORKS AT THE CITIES OF POŽEGA-SLAVONIA COUNTY

Vanja Radolić¹, Ivan Šarić² and Igor Miklavčić¹

¹Department of Physics, University of Osijek, Trg Lj. Gaja 6, 31000 Osijek

²Elementary school "Fra Kaje Adžića", Školska bb, 34310 Pleternica, Croatia

e-mail: vanja@fizika.unios.hr

At the end of year 2005, there was a sampling campaign of water samples from the public waterworks at the cities and municipalities of Požega-Slavonia County. Number of measuring locations was defined by the number of inhabitants in each city or municipality with criterion of 1 location per 3000 inhabitants. Samples were taken from private wells as well, at those municipalities without public waterworks infrastructure. Radon measurements in water samples were performed by Alpha GUARD measuring system using standard procedure for quick measurements. The obtained values were in range of 3.5 to 35.9 Bq l⁻¹ with arithmetic mean of 15.0 Bq l⁻¹ and standard deviation of 8.2 Bq l⁻¹. These values are significantly lower than reference level of 100 Bq l⁻¹ recommended by the European Commission; a concentration above this level warrants consideration of possible remedial action. Statistical t-test pointed out there is significant difference between average radon concentrations in water sampled from public supply and those from private wells. The estimation of annual effective dose received by an inhabitant of Požega-Slavonia County from ingestion of water from public supply containing averaged 15.0 Bq l⁻¹ of radon is 38 μ Sv/year. In addition, the annual effective dose due to inhalation of radon and its short lived daughters for the population of Požega-Slavonia County is around 50 times greater (1.9 mSv/year) so as the risk for public health.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON U VODI GRADSKIH VODOVODA U NASELJIMA OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE

Vanja Radolić, Vlatko Šimatović i Igor Miklavčić

Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek
e-mail: vanja@fizika.unios.hr

UVOD

Radon je plemeniti radioaktivni plin bez boje i mirisa koji nastaje radioaktivnim raspadom radija uz emisiju α -čestice. Njegova prisutnost u okolišu povezana je s količinom (i raspodjelom) neposrednog mu roditelja u radioaktivnom nizu u stijenama i tlu. Radon je kemijski inertan pa se relativno lako giba kroz porozno tlo, vođen različitim transportnim mehanizmima. Lako je topiv u vodi te se akumulira u podzemnim vodama [1]. Glavni izvori radona u kućama su tlo (primarni), zatim građevinski materijal te voda koja se crpi iz podzemnih izvora pa se pri uobičajenoj upotrebi takve vode u kućanstvu (mehaničkim raspršenjem vode tijekom tuširanja, prilikom pranja namirnica, i dr.), može očekivati značajan porast radona u zraku unutar prostorije [1]. Ovo povećanje radonske koncentracije opisuje se tzv. transfer faktorom, a uobičajena vrijednost mu je oko 10^{-4} [2].

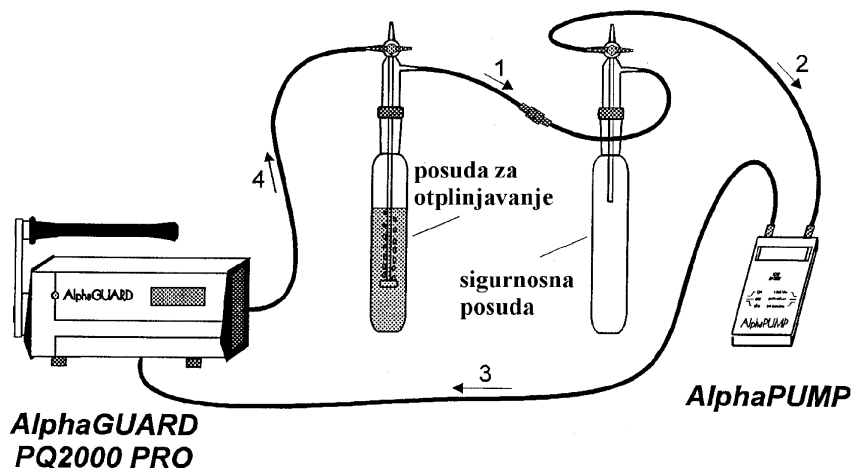
Iako oko 50% efektivne godišnje doze zračenja koju primimo iz prirodnih izvora potječe od radona i njegovih kratkoživućih potomaka [3] tek je početkom 80-tih godina prošlog stoljeća veća pozornost posvećena njegovu utjecaju na javno zdravlje stanovništva. Većina procijenjenog rizika otpada na inhalaciju zraka bogatog radonom dok se ostatak odnosi na ingestiju radona pitkom vodom [2]. Prvu referentnu vrijednost radona u vodi pod nazivom "Maksimalna razina kontaminacije" predložila je američka Agencija za zaštitu okoliša i iznosila je 11 Bq l^{-1} . Nedugo potom, iznos je revidiran uvođenjem "Alternativne maksimalne razine kontaminacije" koja iznosi 146 Bq l^{-1} , a određena je iz doprinosa radona u pitkoj vodi na povećanje radona u zraku u kućama koji je ekvivalentan prosječnoj vanjskoj koncentraciji radona u SAD-u [2]. Europska unija je 2001. godine predložila referentni nivo radona u vodi od 100 Bq l^{-1} iznad kojeg se preporuča pojačani nadzor vodoopskrbnog sustava odnosno iznos od 1000 Bq l^{-1} koji predstavlja granicu nakon koje je nužno uspostaviti mjere za zaštitu javnog zdravlja [4]. Znanstveni odbor Ujedinjenih naroda je 1993. godine predložio konverzijski faktor za primljenu efektivnu dozu uslijed ingestije radona u vodi u iznosu od 10^{-8} Sv/Bq [5], a Nacionalni istraživački odbor američke akademije znanosti je iznos revidirao na $0,35 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ [2].

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

MATERIJALI I METODE

Mjerenje koncentracije radona u vodama gradskih vodovoda na području Osječko-baranjske (OB) županije je obavljeno u studenom i prosincu 2007. godine. Uzorci su uzimani iz slavina u ugostiteljskim objektima u staklene bočice obujma 2 dcl. Prije samog uzorkovanja pustili smo da voda punim mlazom istječe iz slavine 10 sekundi čime se standardizira procedura te osigurava da uzorak vode nije bio duže vrijeme u slavini. Broj lokacija za uzorkovanje vode definiran je brojem stanovnika u određenoj općini ili gradu, a uzet je kriterij od 1 lokacije na svakih 3000 stanovnika što s obzirom na broj stanovnika u gradovima i općinama OB županije čini ukupno 130 mjerenja. Pored toga, uzorci vode uzimani su s izvora iz kojih se puni voda u vodovodni sustav, a ukupno je izvršeno 29 mjerenja.

Određivanje koncentracije radona u uzorku vode temelji se na mjerenju koncentracije radona u zraku. Eksperimentalni postav pored AlphaGUARD-a i AlphaPUMPE, sadrži još i dvije staklene posude: za otplinjavanje i sigurnosnu posudu, a prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Metoda mjerenja radona u vodi pomoću AlphaGUARD mjernog sustava – crtež

Koncentracija radona u vodi, c_v (Bq l⁻¹) se izračuna iz jednadžbe [6]:

$$c_v = \frac{c_z \left(\frac{V_{\text{sistem}} - V_{\text{uzorak}}}{V_{\text{uzorak}}} + k \right) - c_0}{1000} \quad (1)$$

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

gdje je c_z (Bq m^{-3}) izmjerena koncentracija radona u zraku, c_0 (Bq m^{-3}) koncentracija radona u zraku prije početka mjerenja, V_{sistem} (ml) je obujam zraka u zatvorenom sustavu, a V_{uzorak} (ml) obujam uzorka vode, a k je omjer radona otopljenog u vodi i radona u plinovitoj fazi. Primijenjena je standardna procedura za brzo određivanje radona u vodi u trajanju od 30 minuta koja ima relativno visoku pogrešku mjerenja pri nižim koncentracijama, a u našem radu je iznosila oko 50%.

REZULTATI

Srednje vrijednosti koncentracija radona u vodi gradskih i općinskih vodovoda kao i privatnih bunara u OB županiji, zajedno s pripadnim standardnim devijacijama te minimalnim i maksimalnim vrijednostima prikazane su u Tablici 1. Najveća prosječna koncentracija radona izmjerena je u vodovodu općine Đurđenovac ($11,2 \text{ Bq l}^{-1}$) dok je najveća pojedinačna koncentracija nađena u belomanastirskom kraku vodovoda u mjestu Suza (općina Kneževi Vinogradi: $15,9 \text{ Bq l}^{-1}$). Najniže razine radona u vodi nađene su u gradskim vodovodima Belišća i Valpova (prosječna vrijednost iznosi $0,8 \text{ Bq l}^{-1}$) i odmah treba naglasiti da je to jedini vodovod kojemu su izvor oborinske i površinske vode iz rijeke Drave; svi ostali vodovodni sustavi u OB županiji crpe vodu iz podzemnih bunara. Prostorna razdioba radonskih koncentracija u gradskim vodovodima pokazuje da je u središnjem dijelu županije, uz rijeku Dravu, koncentracija radona najniža (vodovodni sustavi: Donji Miholjac, Belišće, Valpovo, Petrijevci, Bizovac, Darda, Osijek, Čepin) dok je u rubnim dijelovima (Našice, Đakovo, Beli Manastir, Đurđenovac, Erdut) prosječna radonska koncentracija u vodovodu i do 5 puta viša.

Šesnaest općina OB županije trenutno nema vodovodnu mrežu (u nekima je izgradnja u tijeku!) te je u njima voda uzorkovana u privatnim bunarima. Radon u vodi je imao višu razinu u odnosu na najbližu vodovodnu mrežu na svim mjernim lokacijama. Najviša izmjerena vrijednost radonske koncentracije iznosila je $17,4 \text{ Bq l}^{-1}$, a voda je uzorkovana u općini Drenje. Prosječna koncentracija radona u bunarskoj vodi iznosila je $9,48 \text{ Bq l}^{-1}$ za 19 izvršenih mjerenja dok je u vodi gradskih vodovoda ona bila $4,55 \text{ Bq l}^{-1}$ za 111 obavljenih mjerenja. Statistički t-test je pokazao da među njima postoji signifikantna razlika na razini signifikantnosti od 0,05% i za broj stupnjeva slobode 128 ($t = \frac{\bar{c}_v - \bar{c}_b}{s_d} = 13,96 > t_{0,05} = 1,98$; $s_d = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ($\sigma=3,997$; $n=130$). Budući da

referentni nivo za pitku vodu iz javnih sustava opskrbe, prema preporuci Europske komisije iz 2001. godine, iznosi 100 Bq l^{-1} [4] vidljivo je da koncentracija radona u vodi gradskih vodovoda OB županije, u prosjeku, ima dvadeset puta

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Tablica 1. Srednje koncentracije radona u vodi ($\bar{c}_v$), pripadne standardne devijacije (σ_{c_v}) i raspon izmjerenih vrijednosti za vodovodne sustave gradova i općina u Osječko-baranjskoj županiji. Općine bez izgrađene vodovodne mreže su prikazane kurzivom, a uzorci su uzimani u kućanstvima iz bunara.

Vodovodni sustav grada / (općine)	N	$\bar{c}_v$ (Bq l ⁻¹)	σ_{c_v} (Bq l ⁻¹)	Min – Max
Beli Manastir (Kneževi Vinogradi, Popovac)	7	9,38	3,41	4,98 – 15,91
Darda (Bilje, Čeminac)	6	2,38	0,44	1,75 – 3,05
(Draž, Jagodnjak, Petlovac)	4	7,21	5,03	4,03 – 14,72
Donji Miholjac (Magadenovac, Marijanci)	6	1,12	0,13	0,93 – 1,27
(Podravska Moslavina, Viljevo)	2	5,62	1,31	4,70 – 6,55
Belišće, Valpovo	9	0,83	0,17	0,60 – 1,11
(Petrijevci, Bizovac)	5	1,33	0,20	1,08 – 1,62
Osijek (Antunovac, Koška)	43	2,19	0,47	0,85 – 3,87
Čepin	5	2,39	0,56	1,60 – 3,06
Erdut	3	5,07	0,85	4,10 – 5,69
(Ernestinovo, Vuka, Vladislavci, Šodolovci,)	5	9,45	3,40	5,28 – 14,75
Našice (Donja Motičina, Feričanci)	8	6,93	1,24	5,07 – 8,52
(Đurđenovac)	3	11,21	0,55	10,61 – 11,68
(Podgorač)	2	11,21	1,13	10,41 – 12,01
Đakovo (Strizivojna, Gorjani, Punitovci, Semeljci,)	16	7,25	1,32	4,59 – 8,98
(Levanjska Varoš, Drenje, Satnica, Đakovačka, Trnava, Viškovci)	6	13,90	3,46	8,57 – 17,41

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

niže vrijednosti te stoga konzumacija vode ne predstavlja značajan rizik za javno zdravlje stanovništva.

Faktor konverzije za procjenu efektivne radonske doze uslijed ingestije vode iznosi $0,35 \times 10^{-8}$ Sv/Bq [2] pa, uz pretpostavku da pojedinac popije dnevno 2 litre vode iz gradskih vodovoda, prosječna godišnja efektivna doza iznosi $H_v = 11,6 \mu\text{Sv/god}$ odnosno $H_b = 24,2 \mu\text{Sv/god}$ za osobe koji piju vodu iz bunara. Najveću efektivnu dozu ($44,5 \mu\text{Sv/god}$) primi osoba iz Drenja pijući vodu iz bunara.

Prosječna koncentracija radona u zraku u kućama OB županije iznosi 73 Bq m^{-3} , a ravnotežni faktor 0,57 [7] pa prosječna godišnja efektivna doza koja potječe od inhalacije radona i njegovih kratkoživućih potomaka za stanovništvo OB županije iznosi $2,04 \text{ mSv/god}$. Dakle, efektivna doza od inhalacije radona je oko 175 puta veća od doze primljene ingestijom.

ZAKLJUČAK

Krajem 2007. godine provedeno je uzorkovanje vode iz vodovoda i bunara u OB županiji s ciljem mjerenja koncentracije radona. Izmjerene vrijednosti u vodovodima su bile u intervalu od 0,6 do $15,9 \text{ Bq l}^{-1}$ sa srednjom vrijednosti $4,55 \text{ Bq l}^{-1}$ i pripadnom standardnom devijacijom $3,63 \text{ Bq l}^{-1}$ dok su u bunarima bile u intervalu od 4,0 do $17,4 \text{ Bq l}^{-1}$ s aritmetičkom sredinom $9,48 \text{ Bq l}^{-1}$ i pripadnom standardnom devijacijom $3,26 \text{ Bq l}^{-1}$. Statistički t-test je pokazao da među prosječnim radonskim razinama u vodovodima i bunarima postoji signifikantna razlika, a obje su značajno niže u usporedbi s referentnom vrijednosti koju preporuča Europska komisija (100 Bq l^{-1}). Prosječna godišnja efektivna doza koju primi stanovnik OB županije pijenjem vode iz gradskih vodovoda i bunara iznosi $11,6$ odnosno $24,2 \mu\text{Sv/god}$. Prosječna godišnja efektivna doza zbog inhalacije radona za stanovnike OB županije iznosi $2,04 \text{ mSv/god}$.

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.
- [2] 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.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press, ICRP Publication 65. 1994

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

- [4] 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.
- [5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Report. New York. 1993.
- [6] AlphaGUARD PQ2000/MC50 Multiparameter Radon Monitor. Characterisation of its physical properties under normal climatic and severe environmental conditions, User manual, Genitron Instruments, Germany, 1998.
- [7] 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.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

RADON IN PUBLIC WATERWORKS AT THE CITIES OF OSIJEK-BARANJA COUNTY

Vanja Radolić, Vlatko Šimatović and Igor Miklavčić
Department of Physics, University of Osijek, Trg Lj. Gaja 6,
31000 Osijek, Croatia
e-mail: vanja@fizika.unios.hr

At the end of year 2007, there was a sampling campaign of water samples from the public waterworks at the cities and municipalities of Osijek-Baranja County. Number of measuring locations was defined by the number of inhabitants in each city or municipality with criterion of 1 location per 3000 inhabitants. Samples were taken from private wells as well, at those municipalities without public waterworks infrastructure. In total, there were performed 130 measurements (19 from private wells). Radon measurements in water samples were performed by Alpha GUARD measuring system using standard procedure for quick measurements. The obtained values in public water-supplies were in range of 0.6 to 15.9 Bq l⁻¹ with arithmetic mean of 4.6 Bq l⁻¹ and standard deviation of 3.6 Bq l⁻¹. In private wells, the radon values were in range of 4.0 to 17.4 Bq l⁻¹ with arithmetic mean of 9.5 Bq l⁻¹ and standard deviation of 3.3 Bq l⁻¹. These values are significantly lower than reference level of 100 Bq l⁻¹ recommended by the European Commission; a concentration above this level warrants consideration of possible remedial action. Statistical t-test pointed out there is significant difference between average radon concentrations in water sampled from public water-supplies and those from private wells. The estimated annual effective dose received by an inhabitant of Osijek-Baranja County from ingestion of 2 l water per day from public water-supplies containing averaged 4.6 Bq l⁻¹ of radon is 11.6 μSv/year and 24.2 μSv/year for the consummation of the same amount of water from private wells. In addition, the annual effective dose due to inhalation of radon and its short lived daughters for the population of Osijek-Baranja County is around 175 times greater (2.0 mSv/year) so as the risk for public health.



Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



POPIS AUTORA

AUTHOR INDEX



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:52





Color profile: Generic CMYK printer profile
Composite Default screen



HDZZ 04.prn
P:\Aa CD\IRB\Prijelom\HDZZ 04.vp
12. svibanj 2008 07:59:52



VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

A

Ajanović, A.

B

Bagović, D.

Ban, R.

Barešić, J.

Barišić, D.

Beck, N.

Beer Ljubić, B.

Bituh, T.

Bokulić, T.

Breznik, B.

Budanec, M.

Buls, N.

C

Ciraj Bjelac, O.

Clerinx, P.

Č

Čižmek, A.

DŽ

Džubur, S.

E

d'Errico, F.

F

Faj, D.

Franić, Z.

Fröbe, A..

G

Gajski, G.

Garaj-Vrhovac, V.

Gbelcová, L.

Gojmerac Ivšić, A.

Gospodarić, I.

Grahek, Ž.

Gregorič, A.

H

Hasanbašić, D.

Haverić, A.

Haverić, S.

Horváthová, M.

Horvatinčić, N.

Hus, M.

I

Ivković, A.

J

Jansen, J.

Järvinen, H.

Jerković, G.

Jurković, S.

K

Kasabašić, M.

Katica, A.

Knežević, Ž.

Kobal, I.

Košutić, D.

Kovač, J.

Kovačević, M.

Krajcar Bronić, I.

Kraljević, P.

Kusić, Z.

L

Lulić, S.

M

Maračić, M.

Marinković, O.

Marović, G.

Medaković, S.

Meštrović, T.

VII. simpozij HDZZ, Opatija, 2008.

Mihaljević, M.
Miklavčič, I.
Mikuličić, G.
Miljanić, S.
Milković, Đ.
Mrčela, I.

N

Nikodemová, D.
Novaković, L.
Novosel, N.

O

Obelić, B.
Osvay, M.

P

Pavičić-Hamer, D.
Petrinec, B.
Piršljin, J.
Poje, M.
Poleto, Z.
Portner, A.
Prah, M.
Prlić, I.

R

Radolić, V.
Ranogajec-Komor, M.
Rožmarić Mačefat, M.
Rukavina, D.

S

Saračević, L.
Senčar, J.
Sironić, A.
Smilović Radojčić, Đ.
Solarić, M.
Soldić, Ž.
Spasić Jokić, V.
Surić Mihić, M.

Š

Šarić, I.
Šimatović, V.
Šimpraga, M.
Škandro, M.
Štuhec, M.
Švabić, M.

V

Varga, M.
Vaupotič, J.
Vekić, B.
Viculin, T.
Vilić, M.
Vuković, B.

Z

Zdešar, U.
Zmazek, B.