JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

ZBORNIK RADOVA

XVIII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Bečići, 24-26. maj 1995.

Beograd
1995.

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

ZBORNIK RADOVA

XVIII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Bečići, 24-26. maj 1995.

Beograd
1995.

ZBORNIK RADOVA

XVIII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Bečići, 24-26. maj 1995.

Izdavači:

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "VINČA"
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Za izdavača:

Mr Milojko Kovačević

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "VINČA"
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"
P.P. 522, 11001 Beograd, tel. (011) 444-08-71/536

ISBN 86-80055-70-0

© Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Štampa: Štamparija Instituta za nuklearne nauke "Vinča", p.p. 522, 11001 Beograd, tel. (011) 45-82-22/500. Tiraž: 200 primeraka. Štampa završena maja 1995. god.

XVIII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Bečići, 24-26. maj 1995.

Organizatori:

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "VINČA"
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"

UNIVERZITET CRNE GORE,
Prirodnomatematički fakultet u Podgorici

Organizacioni odbor:

Predsednik:

Milojko Kovačević, Institut "Vinča

Članovi:

Ilija Plećaš, Institut "Vinča"
Srpko Marković, Institut "Vinča"
Svetlana Andrić, Institut "Vinča"
Labud Vukčević, Prirodnomatematički fakultet, Podgorica
Slobodan Jovanović, Prirodnomatematički fakultet, Podgorica
Gordana Pantelić, KCS, Institut "Dragomir Karajović", Beograd
Marko Šimurina, Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije
Slobodanka Stanković, INEP, Beograd

Redakcioni odbor:

Dr Marko Ninković, Institut "Vinča"
Dr Ranko Kljajić, Institut za veterinarstvo, Novi Sad
Dr Miroslav Tomašević, Institut "Dragomir Karajović", Beograd

Organizaciju XVIII simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja i štampanje ovog Zbornika su pomogli:

Savezno ministarstvo za nauku, razvoj i zaštitu životne sredine,
Ministrstvo za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije,
Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije,
Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Crne Gore,
Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Javna veterinarska ustanova Crne Gore,
Naučni institut za veterinarstvo, Novi Sad,
PP "Green House", Podgorica,
PP "Antiatom", Beograd

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

614.875/.876(063)(082)

ЈУГОСЛОВЕНСКИ симпозијум за заштиту од
зрачења (18 ; Бечићи ; 1995)
Zbornik radova / XVIII jugoslovenski
simpozijum za zaštitu od zračenja, Bečići,
24-26. maj 1995. ; organizatori Jugoslovensko
društvo za zaštitu od zračenja; Institut za
nuklearne nauke "Vinča"., Laboratorija za
zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
"Zaštita"; Univerzitet Crne Gore,
Prirodnomatematički fakultet u Podogorici. -
Beograd: Jugoslovensko društvo za
zaštitu od zračenja, 1995 (Beograd : Štamparija
Instituta za nuklearne nauke "Vinča"). - 392 str. ; 24 cm

Tiraž 200. - Bibliografija uz sve radove.
ISBN 86-80055-70-0

539.1.074/.08(063)(082)
504.05/.06:621.039(063)(082)
539.16.04(063)(082) 621.039.7(063)(082)
628.4.047(063)(082)
a) Заштита од јонизујућег зрачења -
Зборници b) Заштита од нејонизујућег
зрачења - Зборници c) Дозиметри -
Зборници d) Заштита од јонизујућег
зрачења - Животна средина - Загађење
радиоактивним материјама - Зборници
e) Радиоактивно зрачење - Дејство, штетно -
Зборници f) Радиоактивни отпаци - Прерада -
Зборници
ID=37333260

Predgovor

Ovaj Zbornik predstavlja zbirku radova saopštenih na XVIII Jugoslovenskom simpozijumu za zaštitu od zračenja, održanom u Bečićima od 24. do 26. maja 1995. godine. Radovi su, na predlog Redakcionog odbora, razvrstani u sedam sekcija.

Radovi u ovom Zborniku su štampani u izvornom obliku jer zbog kratkog vremena Redakcioni odbor nije bio u mogućnosti da izvrši recenziju radova. Za sve rezultate i iznesene tvrdnje odgovorni su sami autori.

Ovom prilikom želimo da izrazimo zahvalnost autorima radova za uloženi trud. Posebno smo zahvalni brojnim sponzorima koji su svojim prilozima pomogli štampanje Zbornika i omogućili održavanje Simpozijuma.

Organizacioni odbor

ЧАЈАВЕЦ ХОЛДИНГ
ПРОФЕСИОНАЛНА ЕЛЕКТРОНИКА

МЈЕРНО ДЕТЕКТОРСКИ УРЕЂАЈИ

ТЕЛЕФОН 078 49-810 ТЕЛЕФАКС 078 32-796 БАЊА ЛУКА ул. Ј.Дучића 23а

Уз ЈУБИЛЕЈ 45 ГОДИНА рада и успешне афирмације на светском и домаћем тржишту, наше досадашње и будуће пословне партнере обавештавамо о текућој производњи и спремности за сарадњу на даљем развоју МЕРНИХ И ДЕТЕКТОРСКИХ УРЕЂАЈА из области:

- ЈОНИЗУЈУЋЕ ЗРАЧЕЊЕ - мерачи дозе и брзине дозе за потребе мирнодопске и ратне дозиметрије
- ХЕМИСКИ АНАЛИЗАТОРИ индустриских и еколошких загађивача
- ДЕТЕКТОРИ МЕТАЛА за службе обезбеђења, дрвну индустрију, војну намену
- ПРОИЗВОДИ СПЕЦИФИЧНЕ НАМЕНЕ - контролно-заштитни уређаји за изворе напајања у ПТТ централама, исправљачи, претварачи итд.

Спремни смо на добру сарадњу за сваку тржишну ПРИХВАТЉИВУ ИДЕЈУ.
Обавештавамо да смо произвели НОВИ ПРОИЗВОД за личну дозиметрију, ДОЗИМЕТАР СА ДИРЕКТНИМ ОЧИТАЊЕМ ДКДО намењен лицима професионално изложеним зрачењу а у циљу мерења апсорбоване дозе.

* Мерни опсег: 0,001 - 999,9 cGy $\pm$ 10%
* Идикација: течни кристал са 4 дигита
* Напајање : Е блок (IEC 6Ф 22)
* Потрошња : мања од 15 мА
* Димензије: (145x72x23) мм
* Тежина: мања од 150 Гр.

Свим учесницима 18. Југословенског симпозија за заштиту од зрачења желимо успешан рад и захваљујемо на позиву за учешће.

Директор:
Милан Барош, дипл.инг.

S A D R Ž A J

OPŠTI PROBLEMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

1. M. Ninković,
Aktuelni problemi zaštite od zračenja (Predavanje po pozivu) *15*

2. M. Orlić, S. Pavlović, V. Radmilović, V. Jovašević, R. Maksić, M. Golubović
Stručne podloge za donošenje novog zakona o zaštiti od zračenja (Predavanje po pozivu) *19*

3. R. Kljajić, R. Mitrović, B. Petrović, M. Kovačević,
Problemi zaštite od zračenja tokom sedamnaest simpozijuma JDZZ *23*

4. T. Knežević, Lj. Protić, R. Pavlović, S. Pavlović
Prikupljanje podataka o izloženosti stanovništva zračenju po protokolu svetske zdravstvene organizacije *27*

5. S. Andrić
Uslovi za edukaciju iz medicinske fizike *31*

6. J. Raičević, M. Merkle, M. Ninković
Skraćenje života usled izlaganja zračenju - problemi usrednjavanja *35*

7. S. Marković, P. Osmokrović
Nova radijaciona veličina:kolektivno vreme *39*

8. S. Milanović, S. Pavlović
Preliminarna procena štetnosti i rizika po zdravlje - odnos kroz stavove zaposlenih NI "Vinča" *41*

TEHNIČKA ZAŠTITA I AKCIDENTI

9. D. Spasojević, V. Jović, I. Plećaš
Izloženost teritorije Jugoslavije delovanju nuklearnih elektrana iz njenog okruženja (Predavanje po pozivu) *49*

10. M. Orlić, D. Ristić, S. Marković, T. Tasovac, D. Đurakić, M. Šimurina
Delovanje u slučaju većih udesa sa izvorima jonizujućih zračenja *59*

11. D. Brkić, M. Orlić
Analiza osnovnih zahteva sistema za rano otkrivanje nuklearnih udesa *63*

12. R. Dobrijević, J. Vučina, A. Janković
Kontejner za privremeno odlaganje zatvorenih radioaktivnih izvora Eu-152,154 ..... *67*

13. J. Stanković, M. Sarić, P. Trbojević, Lj. Jelić, M. Tomašević, D. Košutić
Dizajn i proračun debljine zaštitnih zidova bunkera brahiterapijskih aparata sa izvorima zračenja visokih aktivnosti *71*

14. V. Drndarević, D. Djurić, A. Koturović, M. Arandjelović, R. Mikić
Modernizacija sigurnosnog sistema radijacione jedinice za industrijsku sterilizaciju *75*

15. I. Krivokapić, B. Lončar, P. Osmokrović
Pouzdanost karakteristika prenaponskih dioda u uslovima radioaktivnog zračenja 79

DOZIMETRIJA I INSTRUMENTACIJA

16. Z. Savić, Z. Pavlović
Poluprovodnički dozimetrijski sistem za gama i neutronsko zračenje 85

17. S. Bogdanov, M. Orlić
Energetska zavisnost RFL stakla kao gama dozimetra 89

18. Z. Vejnović, R. Benderać, D. Ristić, M. Davidović
Uticaj doza zračenja na dekonvoluciju krive isijavanja 93

19. O. Marinković
Analiza krive isijavanja za TLD tip LBG-0110 u zavisnosti od vremena posle ozračivanja 99

20. M. Mišović, Z. Bošković, V. Spasić-Jokić
Ispitivanje dozimetara tipa CaF_2:Mn za potrebe lične dozimetrije 103

21. M. Kovačević, D. Novković, I. Avramović, S. Stanković, M. Vukčević
Proporcionalna jonizaciona komora 107

22. A. Kandić
Korekcioni faktori za sumacioni efekat kod poluprovodničkih HPGe detektora 111

23. D. Nikezić, D. Krstić, D. Kostić, Dj. Bek-Uzarov
Optimizacija difuzione komore za merenje radona 115

24. V. Drndarević
Optimizacija oblika impulsa iz scintilacionih detektora u spektrometriji gama zračenja pri velikim brzinama brojanja 119

25. P. Marinković, V. Ljubenov
Realizacija transmisionog CT skenera - tetris za nedestruktivnu analizu materijala 123

26. G. Pantelić, I.Petrović, M.Tomašević, B.Vulević
Jačina apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu u Beogradu i Kladovu 127

27. M. Pešić, T. Milovanović, S. Milovanović, M. Milošević
Odredjivanje jačine apsorbovane doze gama zračenja u centru sistema HERBE 131

28. S. Milovanović, M. Pešić, T. Milovanović, V. Ljubenov
Odredjivanje spektra gama zračenja u centru sistema HERBE 135

29. S. Avdić, M.Pešić, P.Marinković, N.Zavaljevski
Odredjivanje apsorbovane neutronske doze za ^{241}Am-α-Be izvor neutrona 139

30. D. Antić
Procena godišnjih doza kod kabinskog osoblja JAT-a 143

31. V. Spasić-Jokić, D. Lalić, B. Pantić
Uticaj korekcionih faktora jonizacione komore na tačnost odredjivanja kerme u vazduhu u snopu 300 kV X-zračenja.....147

32. V. Spasić-Jokić, M. Mišović, Z. Bošković
Druga jugoslovenska interkomparacija ličnih dozimetara.....151

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI

33. M. Tomašević
Dozimetrijska kontrola generatora rendgenskog zračenja i zaštita pacijenta u rendgen dijagnostici (Predavanje po pozivu).....157

34. B. Goldner, Lj. Goldner
Anatomske i fiziološke nepodobnosti kod zaštite dece u rendgen dijagnostici.....165

35. M.Vukčević, M.Ateljević, S.Stanković, I.Avramović, M.Kovačević
Profil polja kod kompjuterizovanog tomografa.....169

36. M. Tomašević
Dozimetrijska kontrola mamografskih generatora rendgenskog zračenja.....173

37. D. Košutić
Sistematizacija dijagnostičkih rendgen aparata na teritoriji SR Jugoslavije.....177

38. V. Radmilović, M. Tomašević, J. Stanković, Lj. Jelić
Osiguranje kvaliteta u rendgen dijagnostici i radioterapiji.....181

39. S. Andrić, O. Frim
Pregled osnovnih preporuka za kontrolu i osiguranje kvaliteta u radioterapiji.....185

40. M. Mrdja
Evaluacija rezultata medicinskih kontrola lica u 1994.god. koja profesijski rade u zoni jonizujućih zračenja.....189

41. G. Joksić, D. Košutić, O. Marinković
Profesionalni rizik zdravstvenih radnika na poslovima invazivne rendgen dijagnostike u kardiologiji.....193

42. F. Boreli, R. Pavlović
"Zašto "Ne"! za neutronski radioterapijski kanal na čestičnim akceleratorima.....197

43. N. Vanlić-Razumenić
Radiološka i toksikološka zaštita pacijenata u toku radiodijagnostike bubrežnih poremećaja.....203

44. S. Perović
Transcendentalni metod kontrole dijagnostičkih nuklida.....207

45. T. Trtić, M. Jovanović, S. Vraneš, J. Vučina, Lj.Vuksanović
Stepen ozračenosti zaposlenih na proizvodnji i kontroli radiofarmaceutika obeleženih ^{99m}Tc i I-131.....211

46. J. Vučina, R. Dobrijević, E. Karanfilov
Dugoživeći gama emiteri u eluatima Tc-99m iz ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora.....215

RADIOEKOLOGIJA

47. I. Bikit, M. Sarić, Lj. Čonkić, J. Slivka, M. Krmar
Transport prirodnih radionuklida iz zemljišta u biljke 221

48. D. Todorović, D. Popović, G. Djurić
Koncentracijski faktori za Cs-137 u sistemu "tlo-biljke-med" 225

49. I. Petrović, G. Pantelić, M. Vukotić, R. Brnović
Analiza radioaktivnosti u vazduhu i padavinama u Srbiji za period 1990 - 1994. god 229

50. R. Brnović, G.Pantelić, I.Petrović, M.Vukotić, B.Vulević
Ispitivanje radioaktivnosti u uvezenim uzorcima prehrambenih i drugih proizvoda u Republici Srbiji (1990 - 1994) 233

51. R. Mitrović, D. Vuković, R. Kljajić, B. Petrović
Radijaciono-higijenska ekspertiza proizvoda od mleka u graničnom prometu 237

52. S. Stanković, A. Stanković
Važnost bioindikatora za procenu radioaktivne kontaminacije 241

53. T. Bojović, M. Orlić, Z. Bošković
Korelacija merenja ukupne beta aktivnosti vode za piće i jačine doze gama zračenja u vazduhu 245

54. I. Bikit,J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Krmar, B. Pavlić
Istraživanje radioaktivnosti gradjevinskog materijala 249

55. F. Adrović, D. Todorović, M. Ninković
Ispitivanje sadržaja prirodnih radionuklida u pepelu iz termoelektrana Obilić 253

56. B. Pavić, I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Krmar
Gradjevinski postupci za smanjenje koncentracije radona u zgradama 257

57. G. Marković, D. Nikezić, P. Marković
Odredjivanje koncentracije radona u stambenim prostorijama naselja Rudnik 261

58. I. Avramović, S. Stanković, M. Kovačević, R. Benderać
Merenje koncentracije radona u zemljištu 265

59. D. Veličković, S. Stanković, M. Kovačević
Merenje radona u vodi 269

60. Z. Gršić, D. Antić, B. Telenta, M. Šokčić-Kostić
Modelovanje transporta radionuklida primenom automatskog meteorološkog mernog sistema 273

61. D. Todorović, M. Radenković, V. Šipka
Godišnje promene koncentracije Cs-137 i Be-7 u Institututu Vinča 277

62. V. Šipka, N. Miljević, M. Pešić, Z. Gršić
Stvaranje tritijuma pri radu reaktora RB 281

63. V.Ljubenov, M.Pešić, A.Kukoč, S.Avdić, T.Milovanović, S.Milovanović
Analiza gama aktivnosti teške vode sa reaktora RB 285

64. N. Drndarski, N. Levi
Problematika odredjivanja koeficijenta distribucije.....289

OBRADA RADIOAKTIVNOG OTPADA I DEKONTAMINACIJA

65. A. Mihajlov
Prikaz tendencija u okviru Bazelske konvencije vezanih za radioaktivni otpad.....295

66. A. Perić, I. Plećaš, R. Pavlović
Centralno jugoslovensko trajno odlagalište RAO materijala: potreba i opravdanost izgradnje.....299

67. S. Lazić, S. Raičević, Ž. Vuković, M. Mandić
Fiksiranje radionuklida hidroksiapatitom.....303

68. Ž. Vuković, S. Lazić
Fizičko hemijske osnove prečišćavanja radioaktivnih voda- režimi sorpcije pri precipitaciji $BaSO_4$ i $BaCO_3$.....307

69. R. Pavlović, I. Plećaš, A. Perić
Osnovni principi i standardi sigurnosti za tretman RAO materijala.....311

70. N.Marinković, M.Mataušek, R.Simović
Sigurnost na nuklearnu kritičnost odlagališta ozračenog goriva istraživačkog reaktora RA.....317

RADIOBIOLOGIJA

71. I. Knežević, Lj. Novak
Ispitivanje unutrašnje kontaminacije radionuklidima stanovništva Republike Srbije u periodu od 1991 do 1994 godine.....323

72. Ž. Engelman, S. Milačić
Hematopoeza u radnika na rendgenu.....327

73. S. Milačić, P. Bulat, A. Milovanović
Uporedni prikaz aktivnosti leukocitnih enzima usled rada sa različitim radioaktivnim izvorima.....331

74. D. Nikezić, D. Vučić
Novi ICRP model respiratornog trakta.....335

75. S. Milačić, S. Dodić
Citološke i citohemijske promene leukocita u radnika nuklearne medicine u Srbiji.....339

76. G. Joksić, B. Marković
Biološka dozimetrija jonizujućeg zračenja u uslovima profesijske ekspozicije.....343

77. M. Demajo, O. Ivanišević-Milovanović
Efekat X-zraka i hipotermije na bazalne i stresne nivoe adrenokortikotropnog hormona (ACTH) u cirkulaciji kod pacova.....347

78. J. Kasapović, S. Pajović, J. Martinović
Uloga estradiola u kontroli nivoa superoksida radikala modulacijom aktivnosti superoksid-dismutaze u jetri i timusu pacova.....351

79. G. Vitorović, B. Draganović, I. Petrović, G. Pantelić, J. Stanković
Zaštitni efekat AFCF na smanjeno deponovanje Cs-137 u mesu brojlerskih pilića.....355

80. S. Dobrić, S. Milovanović
Mogućnosti potenciranja zaštitnog dejstva radioprotektora WR-2721.....359

81. G. Nikezić, N. Nedeljković, R. Metlaš
Na^+ zavisno oslobadjanje $^{45}Ca^{2+}$ iz nervnih završetaka mozga pacova.....363

82. T. Maksin, D. Janković, O. Berger-Jekić, R. Han
Problemi mikrobioloških ispitivanja radiofarmaceutika.....367

83. Z. Žunić, G. Bogdanović, B. Rodić-Polić, V. Gordanić, S. Dusinović, T. Jovanović
Reaktivne kiseonične vrste i sistem komplementa kao potencijalni biomarkeri u kontroli radijacionog oksidativnog stresa.....371

84. I. Djujić, O. Jozanov-Stankov, O. Frim, M. Demajo
Jonizujuća zračenja i selen.....375

85. I. Djujić
Jonizujuće zračenje i oksidativni stres - mogućnosti merenja i zaštite.....381

86. O.Jozanov Stankov, Z. Žunić, I Djujić
Značaj sistema antioksidne odbrane za procenu rizika od istovremenog izlaganja jonizujućem zračenju i toksičnim hemijskim agensima.....387

Sekcija 1.

OPŠTI PROBLEMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

AKTUELNI GLOBALNI PROBLEMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

(predavanje po pozivu)

Marko M. Ninković
Institut za nuklearne nauke "Vinča, p.fah 522.

Rezime
Dat je kratak lični osvrt na neke aktuelne globalne probleme zaštite od zračenja, koji su indukovani velikim akcidentima u domenu nuklearne energetike u prethodnom periodu, kao i novim saznanjima u fundamentima zaštite od zračenja. Ukazuje se takođe, na jedan značajan doprinos Nikole Tesle zaštiti od zračenja, vezano za X-zračenje neposredno posle njegovog otkrića pre sto godina, koji nije poznat širem auditorijumu.

Ključne reči: zaštita od zračenja, nuklearna energija, rizik, Nikola Tesla.

1. Evolucija metoda normiranja u zaštiti od zračenja

Normiranje u zaštiti od zračenja, od samih početaka pa sve do šestdesetih godina, imalo je osnovni cilj da se spreči pojava determinističkih štetnih efekata. Radi toga definisane su maksimalno dozvoljene doze (MDD) koje su predstavljale siguran prag za pojavu takvih efekata. Isti princip se još uvek koristi kod definisanja dozvoljenih granica izlaganja hemijskim i fizičkim nejonizujućim štetnim agensima. Vrednosti maksimalno dozvoljenih doza postavljene su na 1/10 od praga za pojavu determinističkih efekata, saglasno dostignutim naučnim saznanjima u prethodnom periodu. Odnosno, u MDD je ugrađivan visok faktor sigurnosti i snižavane su u nekoliko navrata do šestdesetih godina.

Rezultati istraživanja radiobioloških efekata i epidemiološke studije, do i posle šestdesetih godina, ukazivali su na veliki značaj, sa stanovišta dejstva zračenja, i stohastičkih efekata - efekata bez praga. Istovremeno je utvrđeno da postojeće MDD, ustanovljene za determinističke efekte, predstavljaju pouzdanu garanciju za ograničavanje verovatnoće pojave i stohastičkih efekata. Sredinom sedamdesetih godina u praksu normiranja se uvodi novi, operativni princip - ALARA-princip. Osnovni cilj uvođenja ovog principa bio je da se, pored zadržavanja istih vrednosti za MDD sada preimenovanih u granične doze (GD), što je moguće više redukuje u praksi verovatnoća pojave stohastičkih efekata. Polazeći od linearne hipoteze odnosa doza - stohastički efekat i monetarnim vrednovanjem cena povećanja stepena zaštite i odgovarajućeg sniženja štetnosti, primenom ALARA-principa dolazi se do optimalnog graničnog nivoa izlaganja, koji je po pravilu znatno ispod polaznog graničnog nivoa. Dakle, ALARA-princip je uveden isključivo za svrhe povećanja stepena zaštite.

Međutim, ALARA-koncept je imao i negativne efekte na korišćenje nuklearnih tehnologija. To je postalo očigledno posle velikih akcidenata, kada se pokušalo da se, korišćenjem linearne hipoteze i sledstveno tome velikih kolektivnih doza, proceni broj očekivanih fatalnih slučajeva. Tako se ALARA-princip, od prefinjenog sredstva za poboljšanje stepena zaštite, preobratio u sredstvo za pojačavanje kolektivnog straha od zračenja. Niko pri tome nije pominjao veliku neodređenost linearne hipoteze u domenu niskih doza. Da bi se razrešio taj problem, već se razmišlja o novom, hibridnom, pristupu normiranju u zaštiti od zračenja. Novi pristup bi se zasnivao na gornjem i donjem nivou rizika i ALARA-principu [1]:

(1) De manifestis risk, Nivo rizika koji se u praksi nesme prekoračiti, bez obzira na cenu koja se mora platiti;

(2) De minimis risk, Nivo rizika čije dalje snižavanje nije opravdano, i

(3) ALARA - princip, koji se primenjuje u domenu između granica rizika.

Za realizaciju ovog pristupa u praksi nedostaje još opšteprihvaćeni donji nivo rizika odnosno, odgovarajuća granična doza. Polazni predlozi za ovu vrednost već postoje [2], i kreću se od 10 do 100 μSv/a.

2. Nuklearna energija - sigurnost i zaštita od zračenja

Nuklearna energija sa svojim nesumnjivim prednostima u pogledu proizvodnje električne energije i radioaktivnih izvora, za primenu u raznim oblastima delatnosti, nalazi se već prilično dugo na raskršću. Čovečanstvo je nesumnjivo u dilemi šta dalje, posebno posle katastrofalnih akcidenata na Ostrvu Tri Milje (28.03.1979) i Černobilu (26.04.1986). Ovi akcidenti izazvali su veliki otpor stanovništva širom sveta, daljem korišćenju nuklearne energije. Gledano sa stanovišta nauke i struke u današnje vreme, budućnost nuklearne energije i nastavak njenog intezivnijeg korišćenja u praksi, zavisi od brzine i uspešnosti rešavanja sledeća dva ključna problema:

- konstrukcije sigurnijih reaktora nove generacije, i
- iznalaženje novog konceptualnog pristupa odnosno, postupka sa visokoaktivnim dugoživećim iskorišćenim radioaktivnim materijalima.

Što se tiče prvog problema izgleda da je na vidiku rešenje, koje obećavaju reaktori nove generacije sa inherentnim karakteristikama sigurnosti. Razvoj reaktora ovog tipa započet je pre katastrofalnih akcidenata, u vreme kada se počelo sa planiranjem korišćenja nuklearnih reaktora za proizvodnju toplote za zagrevanje velikih naselja [3]. Približavanje nuklearnih reaktora velikim gradovima postavilo je nove zahteve u koncepciji sigurnosti. Na prvom mestu tu je bio zahtev da se neki tipovi akcidenata, kao što je akcidentalno ispuštanje radioaktivnih materijala direktno u okolinu, moraju isključiti a ne samo smanjiti verovatnoća njihovog događanja. Drugim rečima nametnuo se zahtev determinističkog pristupa nekim tipovima akcidenata, što ranije nije bio slučaj. Posle akcidenata na Ostrvu Tri Milje i Černobilu, ovaj novi, deterministički pristup sigurnosti reaktora svih tipova i namena postaje čini se, jedino opšte prihvatljivo rešenje [4,5,6].

Imajući u vidu prethodno izloženi deterministički pristup akcidentima na nuklearnim reaktorima, koji bi mogli imati posledice po okolinu, očigledno je da se sličan koncept mora primeniti i na rukovanje sa najopasnijim kategorijama iskorišćenih i otpadnih visokoaktivnih i dugoživećih radioaktivnih materijala. Tekuća, nazovimo je klasična, koncepcija rukovanja sa ovim materijalima sastoji se u njihovoj odgovarajućoj pripremi, obradi, privremenom odlaganju i konačnom odlaganju u stabilne kopnene i podvodne geološke formacije. Na taj način se ovi materijali prepuštaju procesu samouništavanja putem radioaktivnog raspada do bezopasnih nivoa aktivnosti. Zaštita okoline odlagališta zasniva se na multibarijernom konceptu, za koji se veruje da će izdržati u dugom vremenskom periodu, merenom desetinama i stotinama hiljada godina, i sprečiti dospevanje ovih materijala u biosferu. Međutim, imajući u vidu da za neke od radionuklida vreme samouništenja može potrajati i milione godina, samim tim njihovo dospevanje u biosferu ne može se isključiti, kao posledica malo verovatnih ali mogućih, u tako dugom vremenskom periodu, narušavanja zaštitnih barijera. Dakle, ako se kontaminacija okoline odlagališta u nekoj dalekoj budućnosti ne može isključiti, postavlja se čisto etičko pitanje da li današnje generacije, iz razloga sopstvenih pogodnosti, mogu opteretiti svoje daleko potomstvo veštačkim opasnostima o kojima ih verovatno neće moći ni obavestiti [7].

Očigledno je da navedeni, nazovimo ga klasični, postupak sa iskorišćenim i otpadnim visokoaktivnim i dugoživećim radioaktivnim materijalima nije prihvatljiv sa stanovišta novog, determinističkog pristupa sigurnosti i zaštiti od zračenja u ovom domenu. Prihvatljiva alternativa bila bi jedino, opredeljenje za njegovo uništavanje. Takve ideje već postoje [8], na njima se radi i o njima se razmišlja [9]. To si sigurno najveći izazovi za istraživače na polju zaštite od zračenja u procesima rukovanja sa ovim materijalima, u današnje vreme.

3. Predlog za novi pristup rešavanju problema opasnih materija

Prema izveštajima Greenpeace-a,za period od 1990 do 1993.godine,24 zemlje članice OECD-a proizvode približno 98% opasnih materija od ukupno proizvedenih u svetu [10]. Istovremeno značajne količine ovih materija transportuje se put Afrike, Azije i Latinske Amerike. Dakle, raširena je praksa da se opasne materije i odgovornost za njih prenosi sa visokorazvijenih na nerazvijene zemlje. Ove zemlje uglavnom, ne raspolažu praktično nikakvim tehnološkim mogućnostima za dalji postupak sa tim materijama, sem jednostavnog odlaganja i prepuštanja prirodi. Ovakav odnos razvijenih prema nerazvijenim podseća na kolonijalnu praksu sa svim elementima nemoralnog postupka. Nasuprot postojećoj tendenciji, logično bi bilo da se smer kretanja opasnih materija promeni. Tehnološki visokorazvijene zemlje raspolažu mogućnostima za dalji postupak sa njima, putem prevođenja u manje opasne forme i konačnog uništavanja. To bi bio pravi i etički jedino opravdan postupak, posebno sa stanovišta budućih generacija.

Da bi se ubuduće sprečili neodgovorni postupci sa opasnim materijalima, mislim da bi trebalo snažno podržati i založiti se za ideju koju je nedavno formulisao jedan naučnik sa Tajvana [10], a koja glasi:

"Odgovornost za opasne otpadne materije treba da snose obostrano ,proizvođač i korisnik tehnologije čiji su one produkt".

Dakle, oni koji ostvaruju profit na račun generisanja opasnih otpadnih materija, treba da sa delom tog profita rešavaju problem koji su stvorili a ne da ga prenose na druge. Usvajanje ovog principa na međunarodnom nivou, mislim da bi bilo od velikog značaja za male i nerazvijene zemlje u ovom trenutku, a dugoročno za ceo svet.

Primena prethodnog principa na postupak sa visokoaktivnim dugoživećim radioaktivnim otpadom, razrešila bi na optimalan način ovaj aktuelni problem kod velikog broja malih i posebno, nerazvijenih zemalja. Navedimo kao primer mogući postupak sa iskorišćenim brahiterapijskim i drugim izvorima radijuma kao i iskorišćenog nuklearnog goriva. Oba ova problema aktuelna su kod nas u Jugoslaviji.

Najlogičniji postupak sa radijumom bio bi da se on vrati zemlji isporučiocu, uz materijalnu naknadu za njegovu dalju obradu. Zemlje isporučioci, koje su inače najrazvijenije zemlje sveta, mogle bi tada, raspolažući sa većim količinama radijuma, da nastave njegovu eksploataciju u manjim radijacionim jedinicama, ili da ga pridruže već raspoloživim, neuporedivo većim količinama visokoaktivnog dugoživećeg RAO. Tako bi se problem radijuma rešio na najvišem tehnološkom nivou. U suprotnom, radijum će se naći na stotine većinom, neadekvatnih odlagališta širom zemaljske kugle, i kao takav predstavljaće realnu opasnost za mnoge, mnoge buduće generacije.

Informacije radi, navedimo da SAD raspolažu sa oko 160 grama ^{226}Ra [11], od čega je približno polovina iz medicinske primene. Realno je očekivati da najveći broj zemalja u svetu raspolaže sa najviše 5 do 10 grama radijuma.

Sličan postupak kao i sa radijumom moguć je, i verovatno lakše izvodljiv, zbog mogućnosti reciklaže i drugih razloga, i sa iskorišćenim nuklearnim gorivom.

4. Otkriće X-zračenja - Nikola Tesla i zaštita od zračenja

Ove godine navršava se sto godina od kada je Nemački naučnik Vilhelm Konrad Rendgen otkrio X-zračenje. Značaj ovog događaja za nauku, praksu, kao i za razvoj zaštite od zračenja je jednostavno, neprocenjiv. U znaku i u čast ove stogodišnjice Američko Društvo za zaštitu od zračenja i Američko Udruženje fizičara u medicini, drže zajednički ove godine svoje redovne godišnje naučne i stručne sastanke u Bostonu od 23 do 27.jula. Međutim, ja koristim ovaj povod da ukažem na jednu nedovoljno poznatu činjenicu, koja povezuje otkriće X-zračenja, Nikolu Teslu i zaštitu od zračenja.

Svim istraživačima i stručnjacima iz oblasti primene i zaštite od zračenja dobro je poznato koliko je trebalo vremena i truda da se utvrdi i protumači ovo Rendgenovo otkriće. Mnogi, u tom trenutku aktivni naučnici, nisu poverovali u ovo epohalno otkriće. Naprimer, Lord Kelvin, sa pozicije, tada predsednika Britanskog Kraljevskog naučnog društva, autoritativno je izjavio da će se pokazati

da se radi samo o blefu [12]. Naravno, kao i uvek u sličnim situacijama postojao je veliki broj naučnika koji su poverovali u ovo otkriće i trudili se da doprinesu njegovom što bržem razotkrivanju i tumačenju. Među njima bio je tada i naš Nikola Tesla. Ne sumnjajući u postojanje X-zračenja Tesla je iskazao jednu rečenicu koja glasi:

"Experimentaters should not get too close to the X-ray tube"

što se može smatrati prvi put formulisanim, jednim od tri fundamentalna principa zaštite od zračenja - zaštite rastojanjem. Ovo je Nikola Tesla napisao juna 1896 [13], samo nepunu godinu dana od Rendgenovog otkrića, kada se o štetnom delovanju X-zračenja samo naslućivalo.

Literatura

[1] Kocher,D.C., "Current approaches to regulating public exposures to radionuclides and hazardous chemicals", 38th Annual Meeting of the American Health Physics Society, Atlanta, USA, July 11-15, 1993.

[2] Auxier,J.A., Dickson,H.W., "Guest editorial: concern over recent use of the ALARA philosophy", Health Physics, Vol.64, No.6, pp.595-600, 1983.

[3] Nilson,L., "SECURE nuclear district heating plant is attractive for small urban centers", Modern Power Systems, Vol.1, No.7, pp.41-47, July/August 1981.

[4] Weinberg,A.M., "The light water advanture-50 years later", Nuclear Engmeering, Vol.39, No.483, pp.28-30, October 1994.

[5] Akademik Mitenkov,F.M., "K 70-letju so dnja roždenija", Atomnaja energija, Tom 77, Vip.2, str.153-154, Avgust 1994.

[6] Adamov,E.O., Orlov,V.V., "La "second ère nuclèaire" un point de vue russe", AIEA Bulletin, Vol.36, No.1, pp.41-43, juin 1994.

[7] Jensen,M., Hott,P., "Futurspeak or the quest for lasting symbols to mark radwaste stores for thousands of years", Nuclear Europe Worldscan, No.60-61, November/December 1994.

[8] Zaharov,V.P., "Po povodu zahoronjenija jadernih othodov", Atomnaja Energija, Tom 75, Vip.2, str.162-163, Avgust 1993.

[9] Ninković,M.M., Raičević,J.J., "Dilema-konačno ili privremeno odlaganje dugoživećeg visokoaktivnog RAO", XXXIX Konferencija ETRAN-a, Zlatibor, 6-9 juna 1995. (Biće saopšteno).

[10] Li,K.K., "The regional total radioactive waste management system in next century", International Nuclear Congress-Atoms for Energy, Transactions, Vol.II, pp.411-414, Lyon, France, October 2-6, 1994.

[11] IAEA-1990,"Handling,conditioning and disposal of spent seald sources",IAEA-TECDOC-548, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1990.

[12] ABB Atom, "The nuclear industry can be proud of its achievement", Reader Service 239, Nuclear Europe Worldscan, No.11/12, November/December 1991.

[13] Planque,E.G., "Radiation protection: a lesson in societal decision making", International Nuclear Congress-Atoms for Energy, Transactions, Vol.I, pp.180-187, Lyon, France, October 2-6, 1994.

ACTUAL GLOBAL PROBLEMS OF RADIATION PROTECTION

Marko M.Ninković

Abstract

Personal views on some actual problems in radiation protection are given in this paper. Among these problems are: evolution methodology used in radiation protection regulations; radiation protection, nuclear energy and safety, and new approaches to the process of the hazardous substances management. An interesting fact relating to the X-ray, radiation protection and Nikola Tesla are given also.

Key words: radiation protection, nuclear energy, risk, Nikola Tesla

СТРУЧНЕ ПОДЛОГЕ ЗА ДОНОШЕЊЕ НОВОГ ЗАКОНА О ЗАШТИТИ ОД ЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА

(предавање по позиву)

Милан Орлић[1], Снежана Павловић[2], Вукашин Радмиловић[3], Владимир Јовашевић.[4]
Радојко Максић[4], Милојица Голубовић[3]
[1]Војнотехнички институт ВЈ, Београд, Катанићева 15
[2]Институт за нуклеарне науке "Винча", Београд, ПФ 522, 11001
[3] Савезно министарство за рад, здравље и социјална питања, Бул. Авноја 104
[4]Савезно министарство за привреду, сектор за индустрију, Бул. Авноја 104

Резиме

У раду су приказане стручне подлоге за доношење новог Закона о заштити од јонизујућих зрачења. Оне се односе на дефинисање основних принципа заштите и конкретних мера заштите, усвојених у најновијим променама у међународним стандардима. На основу тога проистекле су неке новине у овом закону. Ове новине су посебно дискутоване.

Кључне речи: јонизујуће зрачење, заштита од зрачења, нуклеарна сигурност, законодавство

1. Увод

Крајем 1994. године формирана је радна група и приступило се изради новог Закона о заштити од јонизујућих зрачења. За то су постојала два основна разлога. Први разлог је усклађивање са постојећим Уставом земље [1], а други је везан за примену нових достигнућа и међународних препорука из области заштите од јонизујућих зрачења и нуклеарне сигурности [2].

Национална регулатива у области заштите од зрачења развијала се и мењала на основу и у складу са препорукама међународних стручних организација (Међународна комисија за заштиту од зрачења, International Commission on Radiological Protection, ICRP) и стандардима и препорукама Међународне агенције за атомску енергију (International Atomic Energy Agency, IAEA). Закон који је у припреми представља шесту генерацију ових закона [3,4,5,6,7.]. Први прописи из ове области, из 1947. [8] и 1958. [9], који су претходили првом Закону о заштити од јонизујућих зрачења [3] из 1959, односили су се само на заштитне мере при раду са рентгенским уређајима и радиоактивним материјама, и били су у складу са обимом активности које су се у то време обављале у земљи. Проширивање поља примене радиоактивних материјала и нуклеарних технологија захтевало је и прецизније и шире нормативно регулисање.

Најновије препоруке ICRP издате су 1990 [10], донекле мењају приступ у заштити од зрачења уносећи извесне новине међу којима и смањене вредности граница доза. На основу тих препорука, међународне стручне организације ОУН, приступиле су припреми нових основних стандарда у заштити од јонизујућих зрачења, којој је учествовала и наша земља, а која је у завршној фази [2].

Нови Закон рађен је на основу следећих општих принципа:

⇒ предмет закона је заштита живота и здравља људи и животне средине од штетног дејства јонизујућих зрачења у производњи, промету и коришћењу извора јонизујућих зрачења, као и нуклеарна сигурност у свим фазама експлоатације нуклеарног објекта

⇒ закон треба да буде кратак и јасан

⇒ за све битне појмове који се користе у закону треба дати јасне дефиниције

⇒ из Закона треба да проистекну правилници у којима ће се проблематика даље детаљније разрађивати

Основни циљ овог рада је да изложи стручне подлоге на којима су базиране мере заштите од јонизујућих зрачења и мере нуклеарне сигурности, а које су нашле место у овом Закону или се планирају за подзаконска акта.

2. Мере заштите од јонизујућих зрачења

Основни принципи заштите од јонизујућих зрачења на коме почива нови Закон у складу је са најновијим доктринарним схватањима у овој области установљеним од водећих светских институција (Међународна агенција за атомску енергију, Светска здравствена организација, Међународна организација рада, Организација УН за храну и пољопривреду - FAO и Нуклеарна агенција организације за економску сарадњу-OECD). Према овом принципу систем мера заштите од јонизујућих зрачења заснива се на :

1) оправданости примене извора јонизујућих зрачења
2) оптимизацији заштите од штетног дејства јонизујућих зрачења
3) границама еквивалентне и ефективне дозе

Примена одређеног извора јонизујућег зрачења сматра се оправданом ако даје позитивну нето-корист, односно, ниједна делатност која подразумева излагање зрачењу се не може одобрити уколико не производи довољну корист већу од штете за изложене појединце или друштво.

Оптимизација заштите од штетног дејства јонизујућег зрачења подразумева примену таквих мера заштите да изложеност јонизујућем зрачењу буде толико ниска колико је то могуће реално постићи. Поред техничких фактора у обзир се узимају и друштвени и економски.

Изложеност појединаца не сме бити већа од дефинисаних граница доза. Границе еквивалентне и ефективне дозе утврђују се у правилницима као подзаконским актима овог Закона.

На основу овако постављеног основног принципа заштите, у новом Закону се наводе следеће конкретне мере које се предузимају у циљу заштите од јонизујућих зрачења:

1) откривање присуства и одређивање активности радионуклида у животној средини и мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху
2) одређивање услова за производњу, промет и коришћење извора јонизујућих зрачења
3) обезбеђивање и коришћење опреме и средстава за заштиту од извора јонизујућих зрачења и контрола ефикасности те заштите
4) ограничавање или забрана производње, промета и коришћења производа, сировина и репродуктивног материјала контамнираних радионуклидима
5) вођење евиденције о изворима јонизујућих зрачења
6) вођење евиденције о изложености јонизујућим зрачењима лица која раде са изворима јонизујућих зрачења, пацијената и становништва
7) утврђивање услова и контрола и праћење здравственог стања лица која раде са изворима јонизујућих зрачења и спровођење прописаних мера заштите на раду од штетног дејства извора јонизујућих зрачења
8) образовање и стручно усавршавање кадрова у области заштите од јонизујућих зрачења

9) лична и колективна заштита људи од извора јонизујућих зрачења
10) спровођење и примена мера из плана за деловање у ванредном догађају
11) чување, обрађивање, складиштење и одлагање радиоактивног отпадног материјала
12) обезбеђење материјалних, техничких и других услова за спровођење систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини (мониторинг) и спровођење плана у случају ванредног догађаја
13) спровођење програма мера осигурања и контроле квалитета мера заштите од јонизујућих зрачења

Новине које се уводе законом на основу нових препорука су нове дефиниције ефективне и еквивалентне дозе, затим нове дефиније радијационих и ткивних тежинских фактора, као и нове вредности за те тежинске факторе и границе доза.

Законом је предвиђена и посебна евиденција и праћење медицинске изложености јонизујућим зрачењима, при чему се систем граница доза не односи на медицинску изложеност.

3. Мере нуклеарне сигурности

У циљу заштите становништва и човекове околине од нежељених догађаја на нуклеарним објектима предузимају се мере нуклеарне сигурности у свим фазама живота нуклеарног објекта (избор локације за градњу, изградња, пробни рад, пуштање у рад, коришћење и трајни престанак рада). То су следеће мере:

- утврђивање прописаних услова за локацију, изградњу, пробни рад, пуштање у рад, коришћење и трајни престанак рада нуклеарног објекта
- утврђивање прописаних критеријума за оцену сигурности нуклеарног објекта
- утврђивање прописаних услова за промет и коришћење нуклеарних материјала
- обезбеђивање и спровођење мера заштите од јонизујућих зрачења у нуклеарном објекту и његовој околини
- утврђивање прописаних услова која морају испуњавати лица која раде у нуклеарном објекту
- сакупљање, евидентирање, обрађивање, складиштење и одлагање радиоактивног отпадног материјала
- спровођење и примена прописаних мера у случају нуклеарног удеса
- физичка заштита нуклеарних објеката и нуклеарних материјала.

4. Закључак и дискусија

Иако се у самом наслову Закона не спомиње нуклеарна сигурност, значај ове области није суштински умањен. Из овог закона проистичу правилници где се проблематика нуклеарне сигурности у потпуности обрађује.

Поред редовног систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини уведено је и непрекидно мерење јачине дозе гама зрачења на одабраним локацијама (систем ране најаве нуклеарног удеса). На основу одзива овог система могуће је на оптималан начин прићи проблему спречавања дејства последица нуклеарног удеса на становништво и животну средину, као и евентуалном отклањању последица.

У циљу смањења озрачивања становништва овим законом забрањују се систематска испитивања одређених група људи (нпр. мамографија). Међутим, није забрањено примењивање ових метода у појединачним, оправданим случајевима.

Забрана уградње радиоактивних громобрана прослеђена је и овим Законом. Рок за уклањање постојећих громобрана померен је до краја 1998. године због економских и

правних проблема који се јављају. Битно је истаћи да за то није било нерешивих техничких проблема.

И новим законом забрањено је увоз радиоактивног отпада. У циљу контроле тог процеса као и контроле прекограничног транспорта радиоактивних материјала уводи се обавезни мониторинг на граничним прелазима.

Новим законом предвиђа се и доношење Плана деловања при ванредним догађајима као и доношење интервентних нивоа. Циљ таквог плана је утврђивање ресурса друштва који могу да дају допринос при ванредним догађајима као и довођење потребног људства и опреме у стање оперативне готовости. Интервентни нивои се користе у почетку удеса. Касније, праћењем развоја удеса, ови интервентни нивои могу да се коригују (на основу тачке 2 основног принципа заштите).

Новим законом предвиђено је и формирање комисије за заштиту од зрачења. Она треба да буде стручни орган који помаже органима власти у спровођењу овог Закона. Посебно је важна улога Комисије при ванредним догађајима када од њених стручних одлука зависи ефикасност заштите становништва и животне средине.

Новим законом конкретније покреће се и питање (трајног) одлагања радиоактивног отпада у нашој земљи.

У складу са усвојеном и потврђеном међународном праксом планира се и прецизније нормативно регулисање осигурања и контроле квалитета у циљу контроле ефикасности спровођења мера заштите од јонизујућих зрачења.

Литература

[1] Устав СРЈ
[2] IAEA, 1994, Safety series No 115-I, Iinternational Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Interim Edition
[3] Закон о заштити од јонизујућих зрачења, Службени лист ФНРЈ 16/59, стр. 402
[4] Основни закон о зашти од јонизујућих зрачења, Службени лист СФРЈ, 12/65, стр. 449
[5] Закон о заштити од јонизујућих зрачења, Служени лист СФРЈ 54/76, стр. 1658
[6] Закон о заштити од јонизујућих зрачења и о посебним мерама сигурности при коришћењу нуклеарне енергије, Службени лист СФРЈ 62/84, стр. 1371
[7] Закон о заштити од јонизујућих зрачења и о нуклеарној сигурности, Службени лист СФРЈ бр.53/91
[8] Правилник о заштитним мјерама при раду са рентгенским уређајима И радиоактивним материјама, Службени лист бр 100/47 стр. 1394
[9] Наредба о ограничењу промета радиоактивних изотопа, Службени лист ФНРЈ 44/58, стр. 1000
[10] ICRP, 1991 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press

SCIENCE BASIS FOR NEW RADIATION PROTECTION ACT

Milan Orlić, Snežana Pavlović, Vukašin Radmilović, Vladimir Jovašević, Radojko Maksić, Milojica Golubović

Abstract:
The science basis for new Radiation protection act are presented. They are concerning basic radiation protection principles and direct protection measures as well as nuclear safety measures. Some new topics followed this measures are discussed.

Key words: ionizing radiation, radiation protection, nuclear safety, legislation

ZAŠTITA OD ZRAČENJA TOKOM SEDAMNAEST SIMPOZIJUMA JDZZ

Ranko Kljajić
Naučni institut za veterinarstvo, Novi Sad, Rumenački put 6.
Radosav Mitrović, Branislav Petrović
Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd, Auto put 3.
Milojko Kovačević
Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd

Rezime

Na proteklih 17 simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja (JDZZ) referisana su 1882 rada koji obrađuju različite aspekte zaštite od zračenja. U radu je dat pregled osnovnih oblasti i klasifikacionih grupa radova prema problematici koja je u njima obrađivana.

Osnovne oblasti interesovanja autora, prema broju saopštenih radova, odnosile su se na probleme radioekologije, radiobiologije i radiotoksikologije, dozimetrije jonizujućih zračenja, dekontaminacije, obrade i skladištenja radioaktivnog otpada, razvoja nuklearne instrumentacije, zaštite od zračenja u medicini, nuklearnoj energetici i industriji itd.

Analiza radova po simpozijumima pokazuje izvesnu evoluciju u obradi problema zaštite od zračenja u našoj zemlji, što je bio odraz potreba i aktuelnih problema koji su pratili zaštitu od zračenja u proteklom periodu.

Ključne reči: zaštita, zračenje, simpozijum

Uvod

Proteklo je trideset godina od kad se, svake dve godine, u okviru Simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja (JDZZ) sumiraju postignuti naučni i stručni rezultati iz oblasti zaštite od zračenja. To je ujedno i vreme za koje treba napraviti presek aktivnosti u oblasti zaštite od zračenja, oceniti pređeni put i odrediti osnovne prvce daljeg rada (1, 2). Cilj ovog rada je bio da se da globalni presek dosadašnjih rezultata na tom planu. Ocenu postignutih rezultata i pravce dalje aktivnosti trebala bi dati Skupština JDZZ.

Metodološki pristup

Za analizu problematike iz oblasti zaštite od zračenja obrađeni su radovi autora iz naše zemlje koji su štampani u Zbornicima simpozijuma JDZZ. Radovi su razvrstana u 14 klasifikacionih grupa od kojih su neke predstavljale i najčešće zastupljene sekcije na simpozijumima. Ukupno je obrađeno 1882 štampana rada. Radovi inostranih autora koji su bili česti gosti na simpozijumima nisu ovom prilikom razmatrani kao ni radovi članova JDZZ koji su saopšteni na simpozijumima a nisu štamapani u Zbornicima.

Prema broju radova u pojedinim klasifikacionim grupa određen je i pretežni interes autora za pojedine probleme zaštite od zračenja u proteklih 17 simpozijuma.

Rezultati i diskusija

Zaštita od zračenja, kao osnovna delatnost članova JDZZ u proteklom periodu, sumirana je na 17 do sada održanih simpozijuma. Ukupni rezultati naučnoistraživačkog i stručnog rada iz ove oblasti izloženi su kroz 1882 štampana saopštenja. Pregled ostvarenih rezultata dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled publicističke aktivnosti članova JDZZ tokom 17 simpozijuma.

Broj simpozijuma	Godina održavanja	Mesto održavanja	Broj štampanih radova članova	Okvirni broj učesnika
I simp. JDRZ*	1963.	Portorož	162	310
II simp. JDRZ	1965.	Mostar	48	250
III simp. JDRZ	1967.	Banja Luka	88	210
IV simp. JDRZ	1969.	Baško Polje	151	250
V simp. JDRZ	1970.	Bled	110	200
VI simp. JDZZ*	1972.	Ohrid	96	160
VII simp. JDZZ	1973.	Kaštel Stari	92	150
VIII simp. JDZZ	1975.	Herceg Novi	83	150
IX simp. JDZZ	1977.	Jajce	109	150
X simp. JDZZ	1979.	Aranđelovac	88	120
XI simp. JDZZ	1981.	Portorož	116	150
XII simp. JDZZ	1983.	Ohrid	139	200
XIII simp. JDZZ	1985.	Pula	182	250
XIV simp. JDZZ	1987.	Novi Sad	117	250
XV simp. JDZZ	1989.	Priština	119	150
XVI simp. JDZZ	1991.	Neum	108	130
XVII simp. JDZZ	1993.	Beograd	74	120
UKUPNO: 17	30	15 mesta	1882	3100

JDRZ* - Jugoslovensko društvo za radiološku zaštitu (naziv Društva od osnivanja do V simpozijuma 1970. godine).
JDZZ* - Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja (naziv Društva od VI simpozijuma 1972. godine do danas).

Pregled tridesetogodišnje publicitičke aktivnosti, iz oblasti zaštite od zračenja, članova JDZZ pokazuje da je na 17 simpozijuma održanih u 15 mesta referisano preko 2000 radova od čega je u Zbornicima štampano 1882. U proseku po simpozijumu saopšteno je 111 radova. Aktivno učešće u radu simpozijuma uzelo je preko 3100 članova što prosečano po simpozijumi iznosi 188 učesnika. Simpozijumi su oržavani svaki put u drugom mestu sa dva izuzetka I i XI simpozijum održani su u Portorožu (1963. i 1981. godine) a VI i XII u Ohridu (1972. i 1983. godine). Najveći broj radova saopšten je na XIII simpozijumu 1985. godine u Puli a najmanji na II simpozijumu 1965. godine u Mostaru.

Analiza radova tokom 17 simpozijuma daje interesantnu sliku kako po broju saopštenja pojedinih autora tako i po tematici kojom su bili okupirani u proteklom periodu od 30 godina (Tabela 2).

Tabela 2. Pregled broja radova po klasifikacionim grupama.

Klasifikaciona grupa	Broj radova
1. Opšti problemi zaštite od zračenja	45
2. Sistem mernih jedinica u zaštiti od zračenja	14
3. Radioekologija	501
4. Radiobiologija i radiotoksikologija	283
5. Zaštita od zračenja u nuklearnim postrojenjima i nuklearnoj energetici	97
6. Izvori zračenja i zaštita u industriji	27
7. Izvori zračenja i zaštita u medicini	139
8. Nuklearna instrumentacija	162
9. Dozimetrija jonizujućih zračenja	271
10. Biodozimetrija	65
11. Dekontaminacija, obrada i skladištenje radioaktivnog otpada	151
12. Edukacija u oblasti zaštite od zračenja	25
13. Legislativa u oblasti zaštite od zračenja	33
14. Nejonizujuća zračenja	69

Iz datog pregleda u tabeli vidi se da su njazastupljeniji radovi iz oblasti radioekologije (501 rad), radiobiologije i radiotoksikologije (283 rada) i dozimetrije jonizujućih zračenja (271 rad), zatim sledi nuklearna instrumentacija (162 rada), dekontaminacija, obrada i skladištenje radioaktivnog otpada (151 rad) a najmanji broj radova je iz oblasti mernih jedinica, edukacije, zaštite od zračenja u industriji i legislative. Pored obrade problema iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja značajna pažnja posvećena je i nejonizujućim zračenjima kao i biodozimetrijskoj proceni radijacionih oštećenja i zaštiti od zračenja u nuklearnim postrojenjima i nuklearnoj energetici.

Na osnovu rezultata izvršene analize jasno je da da su, članovi JDZZ, u proteklom periodu radili na rešavanju svih osnovnih pitanja koja zaštita od zračenja kao široka, složena i multidisciplinarna oblast postavlja u savremenim uslovima korišćenja nuklearne enrgije kao celine. U rešavanju niza specifičnih problema zaštite od zračenja u proteklom periodu jasno se uočava multidisciplinaran pristup i timski rad uz učešće stručnjaka različitih profila (fizičara, hemičara, veterinara, agronoma, lekara, prehrambenih tehnologa, pravnika, sociologa i dr.). Tradicija multidisciplinarnog pristupa u rešavanju brojnih problemima iz oblasti zaštite od zračenja u našoj zemlji, koju je JDZZ od početka negovalo, omogućila je i postizanje vrednih rezultata na polju zaštite ne samo u našoj zemlji.

S obzirom da je za efikasno sprovodjenje mera zaštite neophodno poznavanje osnovnih karakteristika i efekata zračenja kao i svojstava i karakteristika sredine u kojoj se izvori zračenja nalaze i na koju deluju, jasno je da su postignuti rezultati na planu zaštite ostvareni uzajamnim povezivanjem ovih znanja. Pored toga, osnova svake zaštite pa i zaštite od zračenja, je preventiva, odnosno preduzimanje mera koje sprečavaju eksterno ozračivanje i unošenje izvora zračenja u životnu sredinu i organizam čoveka. Ovakav pristup u okviru JDZZ je od samog početka negovan i razvijan, što je omogućilo postizanje zapaženih rezultata na planu zaštite u celini.

Sedamnaest do sada održanih simpozijuma pokazuje, bez obzira na sve probleme, uspone i padove, da je JDZZ uspelo da održi kontinuitet u radu. Zbornici radova koji se tradicionalno štampaju pre održavanja simpozijuma predstavljaju vrdan izvor informacija iz oblasti zaštite od zračenja ne samo za stručnu javnost već i za upravne organe i sve one koji su za zaštitu od zračenja zainteresovani. Tradicija multidisciplinarnog pristupa u rešavanju brojnih problemima iz oblasti zaštite od zračenja u našoj zemlji koju je Društvo od početka negovalo treba i dalje da ostane osnova rada. Na taj način biće uspešno rešavani svi problemi iz oblasti zaštite kao što je to bio slučaj i u proteklom periodu.

Zaključak

Preko 1880 radova članova JDZZ uz sve eventualne greške i propuste, predstavlja izuzetno vredan doprinos razvoju i unapredjenju zaštite od zračenja ne samo u našoj zemlji već i na medjunarodnom planu.

Značajan broj radova jugoslovenskih autora referisan je na drugim domaćim i međunarodnim naučnim skupovima i objavljen u domaćim i stranim časopisima. Iz oblasti zaštite od zračenja objavljen je i veći broj knjiga, monografija, udžbenika, praktikuma, priručnika i skripti. Pored toga iz ove oblasti odbranjei su i brojni magistarski radova i doktorskie disertacijaje.

Ovaj obiman materijal može biti polazište za izradu Jugoslovenske bibliografije iz oblasti zaštite od zračenja na kojoj bi JDZZ trebalo raditi u narednom periodu. U tom smislu pozivamo sve članove JDZZ i institucije koje se bave zaštitom od zračenja na saradnju i pomoć za izradu ovog, po našem mišljenju, kapitalnog dela.

Literatura

1. Jugoslovensko društva za zaštitu od zračenja:
   Zbornici radova Simpozijuma JDZZ od 1963 - 1993. godine.
2. Kljajić R., Mitrović R., Petrović B.:
   Aktivnosti na izradi Bibliografije Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja.
   XVII simpozijum JDZZ, Zbornik radova, Beograd-Vinča, 1993.

Summary

PROTECTION FROM RADIATION DURING SEVENTEEN SYMPOSIA OF THE YUGOSLAV RADIOPROTECTION ASSOCIATION

During the past 17 Symposia of the Yugoslav Radioprotection Association 1882 papers which deal with various aspects of protection from radiation were presented. The present work reviews basic fields of research and groups of papers classified according to problems they deal with.

The basic fields of the authors interests, according to the number of papers presented, refer to problems of radioecology, radiobiology and radiotoxicology, dosymetry of ionizing radiation, decontamination, processing and disposal of radioactive waste, development of nuclear instrumentation, radioprotection in medicine, nuclear energetics and industry.

The analysis of papers presented at various symposia shows a certain evolution among studies dealing with radioprotection in our country which is a consequence of the need and current problems that follow problems of radioprotection in the past period.

Key words: protection, radiation, symposium

PRIKUPLJANJE PODATAKA O IZLOŽENOSTI STANOVNIŠTVA ZRAČENJU PO PROTOKOLU SVETSKE ZDRAVSTVENE ORGANIZACIJE

Tanja Knežević[1], Ljiljana Pjerotić[1], Radojko Pavlović[2], Snežana Pavlović[2]
[1]Savezni zavod za zaštitu i unapređenje zdravlja, Beograd, Bul. Avnoja 104
[2]Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija "Zaštita", PF 522, 11001 Beograd

Rezime

U radu je prikazan protokol Svetske zdravstvene organizacije za prikupljanje podataka o izloženosti stanovništva jonizujućem i nejonizujućem zračenju, sa ciljem što adekvatnije procene mogućeg uticaja zračenja iz prirode ili stvorenog od strane čoveka, na zdravlje ljudi, kao i zaštite stanovništva od štetnih efekata zračenja.

Kjučne reči: stanovništvo, izloženost zračenju, podaci

1. Uvod

Zdravlje pojedinca i populacije u velikoj meri zavisi od uslova koji postoje u životnoj sredini.

Iz tih razloga Svetska zdravstvena organizacija permanentno radi na izradi i sprovođenju protokola za prikupljanje podataka o izloženosti stanovništva faktorima iz životne sredine i njihovom uticaju na zdravlje.

Cilj ovog protokola je da se dobiju informacije koje će pokazati napor zemlje da postigne ciljeve zaštite svoje populacije od štetnih efekata jonizujućih i nejonizujućih zračenja iz životne sredine, a u skladu sa evropskim ciljevima "zdravlje za sve do 2000. godine" i prioritetima definisanim u evropskoj povelji o životnoj sredini i zdravlju.

Protokol se sastoji iz dva poglavlja, o izloženosti jonizujućem i nejonizujućem zračenju.

2. Jonizujuće zračenje

U ovom poglavlju je prikazan način prikupljanja podataka o izloženosti stanovništva jonizujućem zračenju iz prirode, zračenju koje je posledica rada postrojenja nuklearnog gorivog ciklusa odnosno primene nuklearne energije, izloženosti lica koja profesionalno rade sa izvorima jonizujućih zračenja, izloženosti usled medicinske primene izvora jonizujućih zračenja i izloženosti jonizujućem zračenju koje je posledica akcidenta u Černobilu. Pored toga posebno je iskazan i način prikupljanja podataka o efektima na zdravlje populacije.

1. *Izloženost stanovništva jonizujućem zračenju iz prirode*, izražena je pojedinačnom godišnjom efektivnom dozom, [mSv], usled izloženosti prirodnim nivoima fona, ne računajući izloženost radonu u zatvorenom prostoru. Prema zahtevanoj tabeli potrebno je iskazati procenu broja izloženih osoba i procenta populacije:

Tabela 1.

	Broj osoba	%
< 1 mSv/g		
1 - 2 mSv/g		
> 2 mSv/g		

Pored tabelarnih podataka potrebno je pružiti i mape koje detaljnije iskazuju informacije o nivoima prirodne radioaktivnosti u zemlji.

Izloženost radonu u zatvorenom prostoru se iskazuje odvojeno i to kroz broj i procenat stambenih jedinica sa izmerenim koncentracijama radona u vazduhu u pojedinim opsezima (iskazano kao EER, ravnotežne ekvivalentne koncentracije radona - *equilibrium equivalent concentration*) , kao i broj i procenat izloženih lica.

Tabela 2.

EEC [Bq/m^3]			Broj stambenih jedinica	%
	<	50		
50	-	100		
100	-	200		
200	-	400		
400	-	1000		
1000	-	5000		
	>	5000		

Tabela 3.

EEC [Bq/m^3]			Broj lica	%
	<	50		
50	-	100		
100	-	200		
200	-	400		
400	-	1000		
1000	-	5000		
	>	5000		

Za najizloženije grupe u populaciji, podatke je potrebno detaljnije iskazati. Takođe, sve podatke prikazati i grafički, kroz mape i empirijske raspodele.

2. *Izloženost stanovništva jonizujućem zračenju usled rada postrojenja nuklearnog gorivog ciklusa (primene nuklearne energije)*

Zahtevani podaci podrazumevaju izloženost stanovništva u svima fazama nuklearnog gorivog ciklusa, i to posebno, usleda rada rudnika, elektrana, prerade goriva, transporta i odlaganja RAO materijala.

Za nuklearne elektrane je potrebno dati spisak nuklearnih elektrana u zemlji (u prošlosti, sadašnjih i planiranih), procenu oslobađanja tečnih i gasovitih radioaktivnih tokom svakodnevnog rada ili u slučaju manjih akcidenata, i to za sledeće radionuklide ^{3}H, ^{131}J, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{89}Sr i ^{106}Ru, kao i informacije o većim akcidentalnim oslobađanjima radionuklida iz nuklearnih elektrana i posledicama po izloženu populaciju.

Za procese proizvodnje goriva, reprocesinga i transporta, potrebno je opisati, kvalitativno ili kvantitativno ispuštanja radionuklida u životni sredinu (Cs,Sr, aktinidi).

Takođe, potrebno je prikazati opšti stav i politiku zemlje u pogledu tretmana radioaktivnog otpadnog materijala, uključujući i onaj nastao u bolnicama, laboratorijama, industriji i školama. Aspekti tretmana koji su od interesa su metode koncentrisanja i čuvanja tečnog RAO (zapremine i tehnologije), metode solidifikacije (i udeo u tretmanu), metode trajnog odlaganja u geološke formacije ili okeane,i procena oslobađanja radionuklida u životnu sredinu, korišćenjem savremenih tehnika za odlaganje visoko aktivnog otpada.

3. *Profesionalna izloženost stanovništva jonizujućem zračenju*

Procena stepena profesionalne izloženosti vrši se kroz prikupljanje podataka o broju profesionalno izloženih radnika i njihovoj raspodeli prema starosti i polu po sledećim kategorijama:

a) prerada nuklearnog goriva;
b) održavanje i rad nuklearnih elektrana;
c) medicina;
d) istraživanja i industrija.

Potrebno je iskazati procenjene srednje godišnje doze za različite kategorije kao i raspodele godišnjih izlaganja za navedene kategorije.

4. *Upotreba X zračenja i radionuklida u medicinskoj dijagnostici*

Potrebno je navesti studije ili istraživanja na nacionalnom nivou o korišćenju X zračenja i radionuklida u dijagnostičke svrhe kao i broj i učestanost dijagnostičkih procedura po različitim populacionim grupama.

5. *Posledice akcidenta u Černobilu*

U cilju procene posledica akcidenta u Černobilu, potrebno navesti javno - zdravstvene ili restriktivne mere koje su ostale na snazi u vezi Černobilskog akcidenta, publikovane podatke o nivoima kontaminacije životne sredine (pre svega ^{137}Cs), prikazati nivoe i trendove u zemljištu, vodi za piće, i prehrambenim artiklima kao što su: mleko i mlečni proizvodi, žitarice, jaja, meso i riba).
Od značaja za prevenciju posledica eventualnih budućih akcidenata, su podaci koji se traže a tiču se zaključaka i rezultata ispitivanja puteva prenosa radionuklida kroz životnu sredinu do čoveka, i eventualnih neuobičajenih vrednosti za faktore prenosa u tlu, kao i opis sistema za praćenje stepena radioaktivnosti u životnoj sredini i ranu najavu akcidenata, na nacionalnom nivou.

6. *Izloženost jonizujućem zračenju usled radioaktivnih padavina koje su posledica nuklearnih proba*

Za potrebe protokola SZO potrebno je proceniti kolektivne efektivne doze do sada primljene, kao i one očekivane, za period od narednih 30 godina.

7. *Efekti na zdravlje*

Potrebno navesti studije koje su u proteklih 10 godina rađene, kao i one koji su u toku, a koje su pratile uticaj jonizujućih zračenja na stanje zdravlja populacije. O svakoj od ovih studija je potrebno navesti detaljne informacije.

3. Nejonizujuće zračenje

U ovom poglavlju je prikazan način prikupljanja podataka o izloženosti stanovništva dejstvu nejonizujućih zračenja, i to ultravioletnog, optičkog laserskog i radiofrekvetnog zračenja, zatim dejstvu električnih i magnetnih polja izuzetno niske učestanosti, ultrazvuku, kao i profesionalnoj izloženosti.

Potrebno je iskazati nivoe izloženosti, kao i mere koje se preduzimaju u cilju zaštite.

Poseban deo protokola predstavljaju informacije o aspektima zdravstvenih efekata izloženosti zračenju i prioritetima za narednih 5 godina.

4. Zaključak

Namera ovog protokola nije da se za njegovu svrhu prikupe i produkuju novi podaci, već da se neophodni podaci za popunjavanje ovog protokola dobiju iz rutinskih nacionalnih popisa ili putem rutinskih i posebnih istraživanja. Ovakav način prikupljanja neophodnih podataka predstavlja izvesnu garanciju da država vodi računa o štetnim efektima zračenja na zdravlje populacije, ali i otvara mogućnosti poboljšanja kvaliteta radne i životne sredine pa i smanjivanja štetnih uticaja na zdravlje stanovništva.

Imajući u vidu kako ovaj protokol Svetske zdravstvene organizacije, tako i preporuke i standarde međunarodnih stručnih organizacija kao što su ICRP i IAEA, čiji je cilj je krajnji cilj smanjenje nivoa štetnih efekata dejstva zračenja, postaje očigledan značaj dugoročnih i opsežnih organizovanih praćenja svih relevantnih parametara izloženosti. U tom smislu treba shvatiti i aktivnosti odgovarajućih republičkih i saveznih organa i ustanova za donošenje preciznijih i detaljnijih propisa o obaveznim evidencijama u ovoj oblasti.

5. Literatura

[1] WHO, 1992, Protocol No. 4, Data Collection on Exposure of Population to Radiation, World Health Organization, Regional Office for Europe, Doc.No. CET/P/4, 4826n

REVIEW OF THE DATA COLLECTION ON EXPOSURE OF POPULATION TO RADIATION OF THE WORLD HEALTH ORGANIZATION

Tanja Knežević, Ljiljana Pjerotić, Radojko Pavlović, Snežana Pavlović

Abstract

The paper presents the protocol of data collection on exposure of population to radiation of World Health Organization. The purpose of the protocol is to elicit information which will describe the country's efferts to achieve the objectives of protecting its populationa against adverse effects of environmental (ionizing and non-ionizing) radiation in compliance with the intention of the European Health for All 2000 Targets and wiith the priorities set in the European Charter on Environment and Health.

Key words: data collection, radiation, population, exposure

USLOVI ZA EDUKACIJU IZ MEDICINSKE FIZIKE

Svetlana Andrić, Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Rezime
Poslednjih godina su stvoreni dobri uslovi za edukaciju iz medicinske fizike tako što su Univerziteti ovu oblast počeli da uvrštavaju u redovne i postdiplomske nastavne programe. U cilju daljeg razvoja oblasti potreban je veći angažman i podrška stručnih asocijacija u smislu dopune i širenja edukativnih programa. U radu je dat kratak pregled internacionalnih edukativnih programa i istaknuta uloga internacionalnih organizacija u izradi istog.

Ključne reči: edikacija, medicinska fizika

1. Uvod

Medicinska fizika je oblast fizike primenjena u medicini i biologiji na dijagnostikovanje i lečenje bolesnika. Direktno je povezana sa medicinskom elektronikom, bioinžinjeringom i zdravstvenom fizikom, tako da postoje nekoliko odvojenih oblasti koja se odnose na: primenu jonizujućeg zračenja u dijagnostici, terapiji i biomedicinskim istraživanjima; primenu nejonizujućeg infracrvenog zračenja u termografiji, ultrazvuka u sonografiji, toplote u hipertermiji, kao i lasera i magnetne rezonance. Multidisciplinarni karakter medicinske fizike, koja čini osnov radijacione dijagnostike, nuklearne medicine i radijacione onkologije, zahteva primenu objedinjenih znanja iz komplementarnih oblasti medicine, biologije, elektronike, radijacione fizike, radijacione zaštite i matematike.

Naučna znanja fizike bila su inkorporirana u medicinu još u sedamnaestom veku. Primena jonizujućeg zračenja u medicini 1920-tih godina beleži početak intenzivnije saradnje sa fizičarima u cilju rešavanja problema korišćenja izvora jonizujućeg zračenja za potrebe radioterapije. Saradnja se proširila na oblasti radiološke dijagnostike, zaštite i radijacione biologije. 1940-tih godina, kada je počela primena radionuklida u dijagnostičke i terapijske svrhe, fizičari su predstavljali deo neophodnog kadra u bolnicama za realizaciju dijagnostičke i terapijske primene jonizujućeg zračenja, i tako ostvarili doprinos razvoju i poboljšanju radiološke opreme, metoda i tehnika zračenja, kliničke dozimetrije kao i radijacione sigurnosti. Tehnološki napredak od 1950-tih do 1970-tih godina, koji je omogućio uvođenje u kliničku praksu teleterapijske uređaje sa Co^{60}, linearne akceleratore i prateću dozimetrijsku opremu, kao i primenu novih nuklearnih i kompjuterizovanih tehnika, uticao je da broj kliničkih medicinskih fizičara u bolnicama rapidno poraste [1].

U našoj dosadašnjoj onkološkoj praksi prisutan je veoma mali broj zaposlenih fizičara, a saradnja univerziteta, naučno istraživačkih i onkoloških institucija nije na visokom nivou. Put razvoja medicinske fizike u našim uslovima počinje 1950-tih godina. 1988 u onkološkim centrima SFRJ bilo je zaposleno na radioterapiji oko 30 fizičara edukovanih uglavnom u toku kliničke prakse organizovanim domaćim i internacionalnim seminarima, specijalizacijom medicinske fizike na nivou univerziteta (Sl.list SFRJ br.46/81 i 50/84), i sticanjem zvanja ličnim naučnim zalaganjima u oblasti. U 1995-toj u SRJ broj fizičara koji se neposredno bavi radioterapijom ne prelazi 20. Slično stanje je i u nuklearnoj medicini, i radiološkoj dijagnostici [2].

Povećan interes za oblast medicinske fizike je ispoljen sa jedne strane pojavom većeg broja tematskih disertacija i magistarskih radova iz ove oblasti, a sa druge strane je uslovljen razvojem novih tehnika i metoda dijagnostikovanja i lečenja, ukazuje na neminovnost sistematske i organizovane edukacije iz oblasti medicinske fizike koja treba da intenzivira multidisciplinarnu saradnju između komplementarnih oblasti u okviru medicinskih, naučno istraživačkih i univerzitetskih institucija.

S obzirom na intenzivni napredak radijacione onkologije u svetu, koji se direktno ogleda u poboljšanim rezultatima lečenja, kao i na ulogu srtučnih asocijacija u ovoj oblasti koja rezultuje u donošenju preporuka i protokola rada, injiciranju i izradi edukativnih programa, potrebno je definisati potrebu i sagledati uslove za edukaciju u SRJ.

Potvrda da je potreba već definisana može se iskazati činjenicom da je u toku 1993 osnovana edicija monografija Medicinska fizika u Institutu za nuklearne nauke Vinča, 1994 u okviru redovnih studija na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu otvoren predmet "Medicinska i nuklearna tehnika", u Centru za multidisciplinarne postdiplomske studije Univerziteta u Beogradu uz postojeći predmet "Nuklearna medicina" otvoren je i predmet "Jonizujuće zračenje u radiologiji". Prirodno matematički i Medicinski fakultet Univerziteta u Novom Sadu utemeljili su prema utvrđenom programu interdisciplinarne magistarske studije iz Medicinske fizike [3]. Broj interesenata, polaznika, predavača, kao i broj stručnjaka koji se indirektno, u okviru naučnoistraživačkog rada ili druge angažovane delatnosti, bave problematikom medicinske fizike, dovoljno govori o tome da je interesovanje za razvoj ove oblasti u usponu.

Oblast medicinske fizike obuhvata primenu u kliničkim, istraživačkim i edukativnim institucujama. Primarna aktivnost medicinske fizike se može podeliti u dve kategorije. Jedna se sastoji od edukativnih i naučno istraživačkih delatnosti. Prostori edukativne delatnosti škola, edukativnih centara i univerziteta, i prostori istraživačke delatnosti naučnih i industrijskih institucije definišu program, ulogu, odgovornost i status medicinske fizike u zadatim okvirima. Druga, ali osnovna, kategorija odnosi se na direktnu primenu metoda fizike na dijagnostikovanje i lečenje bolesnika. Uloga i status medicinske fizike u ovom području je jasno definisana iako radna zvanja odgovornih lica variraju u nazivu: "medicinski", "klinički", "radiološki", "zdravstveni" ili samo "fizičari" [4].

2. Uloga fizičara

Kvalifikacija, definisanje uloge, odgovornosti i statusa fizičara direktno je vezano za edukaciju i trening fizičara, koji su podeljeni u tri faze:

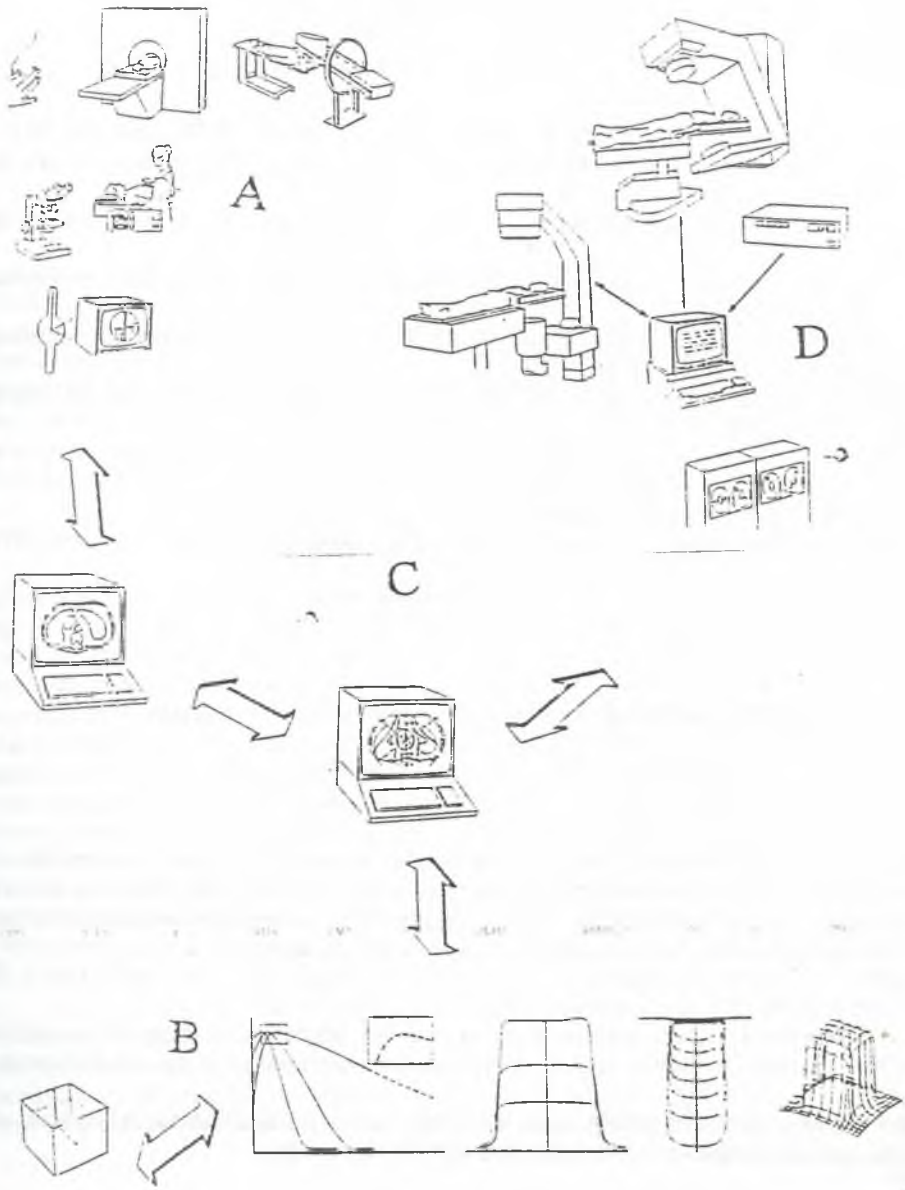
1.- Prva faza se odnosi na osnovnu univerzitetsku edukaciju iz fizike koja u svom programu sadrži 40-60% tradicionalne fizike i matematike, dok se preostali deo nastavnog programa odnosi na upoznavanje sa problemima fizike koji se javljaju u medicini i biologiji. Ova bazična kvalifikacija koja podrazumeva univerzitetsku diplomu se, u zemljama koje nemaju ovako razvijene kategorije univerzitetskih programa, realizuje i dopunskim treninzima u medicinskim ustanovama, a u saradnji sa univerzitetom i stručnim udruženjima medicinskih fizičara koji na internacionalnom nivou imaju dominantnu ulogu u formiranju edukativnih programa [5,6,7]. Prema edukativnom programu evropskog udruženja ESTRO za 1995 održaće se pet edukativnih kurseva [8].

2.- Druga faza edukacije takode se odnosi na univerzitetski status postdiplomske (dve godine) i doktorske (četiri do šest godina) diplome u specijalizovanim oblastima madicinske fizike koje neminovno uključuju savladavanje medicinske terminologije, anatomije, fiziologije i radijacione biologije. Detaljan nastavni plan, program i trening iz medicinske fizike odnosi se na odvojene oblasti radijacione dijagnostike, radijacione terapije i nuklearne medicine [5], koji obuhvata zajedničke i pojedinačne predmete kao što su anatomija i fiziologija, dijagnostičko slikanje, elektronika, zdravstvena fizika, radijaciona zaštita, nuklearna medicina, fizika u medicini i biologiji, radijaciona biologija, radiološka fizika i dozimetrija, radijaciona terapijska fizika [6].

3.- Treća faza edukacije odnosi se na individualni samostalni istraživački rad na tematskim projektima, i predstavlja nadgradnju druge faze uz dominantnu odgovornost u realizaciji.

Ekspanzija u razvoju edukativnih programa medicinske fizike u SAD, zasnovanih na predlogu programa AAPM, razvila je ovu oblast do nivoa organizacija koje imaju ulogu supervizije i sertifikacije kao što su Američki bord radiologa (ABR), medicinskih fizičara (ABMP) i zdravstvenih fizičara (ABHP). Sa tog stanovišta odgovornosti fizičara su usmerene na formiranje uslova visokog standarda u tačnoj i kvalitetnoj primeni tehnika i metoda primene izvora jonizujućeg zračenja. U saradnji sa medicinskim timom fizičari su odgovorni za razvoj i primenu novih tehnika, metoda i opreme, kao i za edukaciju i koordinaciju saradnika iz tima u svim fazama razvoja.

Zajednička veza oblasti medicinske fizike u radijacionoj dijagnostici, nuklearnoj medicini i radioterapiji ilustrovana je na Slici 1. Podaci o dijagnostikovanoj bolesti (deo A), koji se dobijaju metodama kliničke inspekcije, kompjuterizovane tomografije, nuklearne medicine, laboratorijskim ispitivanjima, sonografijom i digitalnom radiografijom, kolektuju se u bazu podataka o bolesniku, a potom u sistem za planiranje radioterapije (deo C). U isti sistem kolektuju se fizički podaci o terapijskom snopu zračenja, dobijeni merenjem u tkivo ekvivalentnom fantomu (deo B). Izbor tehnike i metode zračenja, izvršen u procesu planiranja, realizuje se na terapijskom uređaju uz prethodnu simulaciju tretmana i "in-vivo" dozimetrijsku kontrolu (deo D). Svi procesi podležu programu kontrole i osiguranja kvaliteta.



Slika 1. Ilustracija područja angažmana fizičara u procesima pripreme i realizacije radioterapije

Zakljućak

U SRJ su stečeni uslovi za edukaciju iz medicinske fizike. Ovo se slobodno može zaključiti na osnovu dosadašnjih aktivnosti fizičara direktno zaposlenih u bolnicama kao i rezultata saradnje sa fizičarima iz komplementarnih institucija. Ohrabrujući zaključak predsednika Društva za borbu protiv raka da su rezultati lečenja bolesnika poboljšani preko 20% zahvaljujući primeni i razvoju fizike u onkološkim centrima. Ohrabrujući zaključak takođe predstavlja i činjenica započete programske edukacije na našim Univerzitetima. U pravcu daljeg razvoja i poboljšanja uslova za edukaciju i primenu oblasti potrebna je veća podrška i angažman stučnih asocijacija, a po uzoru na postignute internacionalne rezultate.

Literatura:

[1] AAPM Report No 38: The role of a physicist in radiation oncology. AAPM, New York, 1993
[2] Andrić S.: Osnovi razvoja medicinske fizike. U: Zbornik radova XVII Jug. Simp. za zašt. od zrač., Vinča, 1993, 241-245
[3] Program interdisciplinarnih magistarskih studija iz Medicinske fizike. Univerzitet u Novom Sadu, 1994
[4] AAPM Policy statement: The roles, responsibilities, and status of the clinical medical physicist. AAPM, New York, 1986
[5] AAPM Report No 36: Essentials and guidelines for hospital based medical physics residency training programs. AAPM, New York, 1992
[6] AAPM Report No 44: Academic program for master of science degree in medical physics. AAPM, New York, 1993
[7] ERASMUS European course on biomedical engineering and medical physics. Med. Phys. Dept., University of Patras, Greece. Course book 1992-1993
[8] ESTRO Teaching courses: Radiotherapy and Oncology 33, p.276, 1994
[9] Horwich A.: The future of radiotherapy. Radiotherapy and Oncology 19, 353-356, 1990

THE CONDITIONS FOR MEDICAL PHYSICS EDUCATION

Svetlana Andrić

Abstract

"Since the birth of radiotherapy at the begining of this century it has been apparent that the radiotherapist must be fully conversant with the physics of ionizing radiation and with technical aspects of radiation delivery systems, including machine design, dosimetry, treatment planning and simulation, fixation and beam alignmemt. To an extent, the complexity and importance of these subjects has led to a close collaboration between radiotherapist and medical physicst such that in many centres the physicists holds primary responsibility within this area" [9].
"The first responsibility of the radiation oncology physicist is to the patient - to assure the best possible treatment given the state of technology and the skills of the other members of the radiation oncology department" [1].
In the paper has been presented the consideration of the basic conditions wich has to be formed and developed for medical physics education in the frame of our universities.

Key word: education, medical physics

Skraćenje života usled izlaganja zračenju – problemi usrednjavanja

Jagoš J. Raičević, Milan Merkle *, Marko M. Ninković

Institut za nuklearne nauke "Vinča", P. Fah 522, 11000 Beograd

* *Elektrotehnički fakultet u Beogradu, P. Fah 816, 11001 Beograd*

Rezime U radu je predložen novi metod za procenu srednjeg skraćenja života usled izlaganja radioaktivnom zračenju. Model je zasnovan na populaciji sa fiksiranom starošću u trenutku izlaganja i prirodnom dužinom života. Na osnovu pridruženih gustina funkcija raspodela izvršena su usrednjavanja, čime je pokazano da su dosadašnji pristupi nalaženja srednjih vrednosti imali sistematsku grešku. Radi ilustracije su navedeni rezultati proračuna primenjeni na slučaj skraćenja života usled kratkotrajnog ozračivanja.

Ključne reči: Skraćenje života, zračenje, stohastički efekti

Uvod

Primena novih tehnologija u savremenom društvu neminovno dovodi i do povećanih tehnoloških rizika, kako za pojedince tako i za celokupnu populaciju. Stoga i svaki novi fatalni ishod iznova vraća stare dileme – gde je granica prihvatljivog koja mora biti plaćena uvodjemnjem takvih novih tehnologija. Do sada je uloženo mnogo napora radi nalaženja pouzdanog merenja oštećenja do koga dolazi usled čovekovog izlaganja kontaminiranoj sredini. Skoro objavljeni rad [1] dao je sjajan pregled trenutnih metoda, kao i dilema u vezi merenja uticaja radioaktivnog izlaganja na ljudsko zdravlje. Pored procene broja nastradalih u slučaju izlaganja radioaktivnom zračenju, od izuzetne je važnosti i procena eventualnog skraćenja života. Ova mera oštećenja je dalje veoma važna u raznim primenama tzv. cost–benefit analize, jer umesto često kontradiktorne cene ljudskog života, u analizu uvodi broj izgubljenih (radnih) časova. Isto tako skraćenje života (YLL – years of life lost) ima važnu ulogu u izgradnji tzv. ekspertskuh sistema, koji se trenutno veoma mnogo koriste u tzv. real–time procenama.

Neka je $LLE(D,a,l)$ gubitak života usled ozračivanja za osobu čija bi prirodna dužina života bila l, i koja je je izložena zračenju doze D, u starosti a. Neka je Let $REID(D,a,l)$ rizik (verovatnoća) umiranja za populaciju individua sa istim parametrima (D,a,l). Tačnije, to verovatnoća da će osoba koja je u starosti a ozračena dozom D, i koja bi inače doživela starost l, umreti usled ozračivanja pre l. Definišimo sa $\langle LLE(D,a,l)\rangle_l$ i $\langle REID(D,a,l)\rangle_l$ odgovarajuće srednje vrednosti usrednjene u odnosu na l. Veličina LLE-EID (loss of life expectancy among

exposure induced deaths) je definisana u [1] kao

$$\frac{\langle LLE(D,a,l)\rangle_l}{\langle REID(D,a,l)\rangle_l} \,. \tag{1}$$

ovaj prilaz je prihvaćen u skoro objavljenom UNSCEAR report-u [2], gde je odnos (1) označen sa YLC (years of life lost per radiation induced case). Ova veličina je preporučena kao mera za srednji gubitak života usled radijacionog izlaganja. Medjutim, usrednjavanje u (1) nije ispravno sprovedeno, jer količnik srednjih vrednosti nije isto što i srednja vrednost količnika. Stoga, ispravniji načina usrednjavanja je

$$\left\langle \frac{LLE(D,a,l)}{REID(D,a,l)} \right\rangle_l \,. \tag{2}$$

U ovom radu ćemo ukratko prikazati model zasnovan na (2). Zbog razlikovanja našeg prilaza sa onim datim u [1] ili [2], mi ćemo veličinu definisanu sa (2) označiti sa YLL (years of life lost per excess death). U ovom radu ćemo se baviti stohastičkim efektima ozračivanja. Treba napomenuti da, mada se sva izvodjenja i diskusije odnose na radijacioni rizik, metod izložen u ovom radu može da se primeni na bilo koji oblik rizika niskog intenziteta.

Skraćenje života usled izlaganja radioaktivnom zračenju

Posmatrajmo "populaciju" koja će se za početak sastojati od osoba koje imaju fiksne parametre a – starost u trenutku ozračivanja i l – prirodna dužina života. Pod prirodnom dužinom života podrazumevamo onu starost koju bi neka individua doživela da nije bilo ozračivanja. To ujedno znači da su svi ostali "dopunski" rizici već uključeni u l, odnosno u njenoj gustini raspodele $p(l)$. Pri tome je $a \in (0, l_m)$ i $(a < l < l_m)$, gde je l_m maksimalna dužina života u posmatranoj populaciji. Pod ovim predpostavkama, individua sa fiksiranim (a,l) će sigurno umreti u vremenskom intervalu $(l-a)$. Na osnovu rezultata dobijenih u [3], može se pokazati da je skraćenje života za osobu sa fiksiranim parametrima (a,l)

$$YLL(a,l) = \frac{l-a-\int_0^{l-a} S(t)\,dt}{1-S(l-a)} \approx \frac{\int_0^{l-a}(l-a-t)\,r(t)\,dt}{\int_0^{l-a} r(t)\,dt} \tag{3}$$

gde je $S(t)$ tzv. funkcija preživljavanja (survival function) data sa

$$S(t) = \exp\left(-\int_0^t r(u)\,du\right).$$

i $r(t)\,dt$ predstavlja verovatnoću umiranja (od ozračivanja) u intervalu $(t, t+dt)$ pod uslovom da je osoba živa na početku intervala. Moguće su i druge interpretacije funkcije r, ali to prevazilazi obim ovog rada. Može se pokazati (vidi [3]) da se u slučaju kratkotrajnog ozračivanja osobe sa zadatim parametrima (a,l) skraćenje života može naći kao

$$YLL(a,l) = \frac{1}{w(l-a,a)} \int_a^{l-a} w(t,a)\,dt \tag{4}$$

srednju vrednost $YLL(a)$ dobijamo usrednjavanjem po l

$$YLL(a) = \int_0^{l_m} \int_0^{l-a} YLL(a,l)\,p(l|a)\,dt\,dl \,, \tag{5}$$

gde je uslovna gustina $p(l|a)$ data sa $p(l|a) = \frac{p(l)}{\int_a^\infty p(l)\ dl}$ $(l > a)$. Ista veličina, ali dobijena usrednjavanjem brojioca i imenioca po l posebno, nazvana je u [2] YLC

$$YLC(a) = \frac{\int_0^{l_m} \int_0^{l-a} w(t,a)\ p(l)\ dt\ dl}{\int_0^{l_m} w(l-a,a)\ p(l)\ dl}\ . \tag{6}$$

Na osnovu izraza (5) i (6) izračunate su srednje vrednosti YLL(a) i YLC(a) respektivno. Na slici 1. prikazane su krive za organ-metu pluća. Na osnovu slike se može videti da (6) daje precenjene vrednosti. Veličina dobijene razlike varira sa vrstom efekta, odnosno organom-metom. Na osnovu proračuna izvršenih u [3], dobijene su razlike do oko 25 procenata. Razlike u dobijenim rezultatima najviše zavise od toga koliko na imenilac u (1) odnosno (2), utiče vrednost parametra l. Pokazuje se da se u slučaju kada je latentni period veoma kratak, kao što je to slučaj sa npr. leukemijom, (organ-meta koštana srž), vrednosti dobijene pomoću dva različita usrednjavanja malo razlikuju (slika 2). Sa slike se može videti veoma dobro slaganje YLL i YLC krivih, dobijenih na osnovu izraza (5) i (6), naročito za male vrednosti parametra a. U [3] je pokazano da se za velike vrednosti a javljaju odstupanja usled toga što se veličina rizika nastanka kancera redukuje usled malih vrednosti intervala $l-a$. Krive na slikama 1 i 2 su dobijene na osnovu iste baze podataka. Na slici 2 je dodatno prikazana i YLC kriva dobijena na osnovu podataka iz [2] (strana 124, tabela 29), označena kvadratima. Krive dobijene u ovom radu računate su do $l_m = 95$ godina, dok je na slici 2, YLC iz [2] data do $a = 70$ godina.

Years of life lost due to radiation exposure – averaging problems
J.J. Raičević, M.Merkle, M.M.Ninković

Abstract We present a new method for assessing a lifetime lost due to an environmental irradiation, which is based on a model for population with fixed age at exposure and natural duration of life. Based on joint probability distribution for these papameters, an averaging procedure is suggested for evaluation of average number of years of life lost (YLL). As one example, the YLL are calculated and compared and compared with the other literature data.

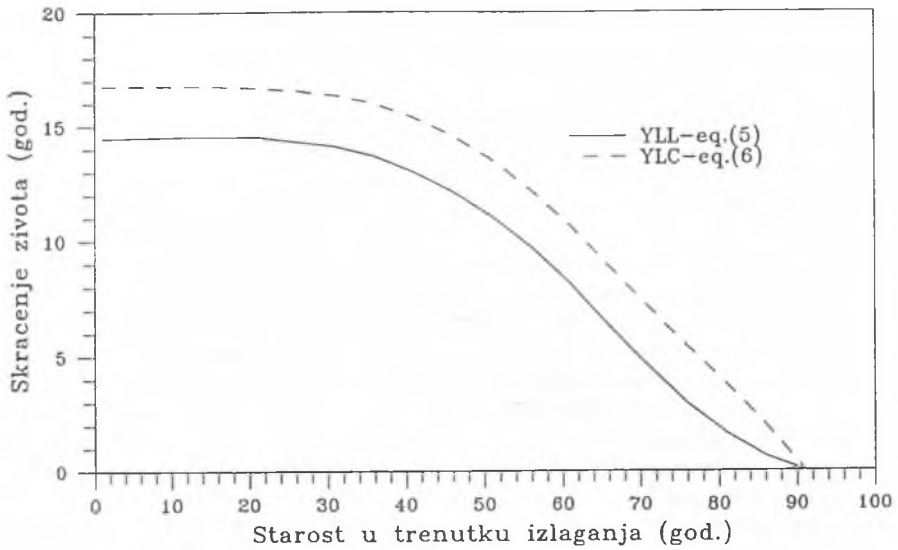
Key words: Loss of life, radiation, stochastics effects

References

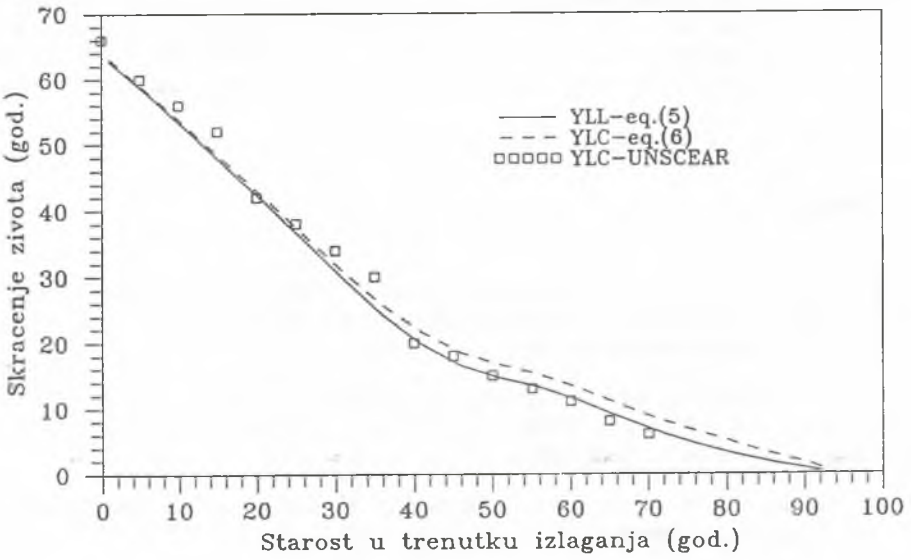
1. Thomas D., Darby S., Fragnani F., Hubert P., Vaeth M. Weiss K., Definition and Estimation of Lifetime Detriment from Radiation Exposures: Principles and Methods, Health Physics 63, 250–272 September 1992.

2. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 1994 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, New York, 1994.

3. Raičević J.J., Merkle M., Ehrhardt J., Ninković M.M, Years of life lost due to environmental radiation exposure, (poslato u Radiation Protection Dosimetry), 1995.



Slika 1. Zavisnost skraćenja života usled kratkotrajnog ozračivanja u od starosti u trenutku ozračivanja. Organ – meta: pluća.



Slika 2. Isto kao i za Sliku 1, ali za slučaj leukemije. Kriva označena kvadratićima preuzeta iz UNSCEAR report-a (str. 124, Tabela 29).

NOVA RADIJACIONA VELIČINA: KOLEKTIVNO VREME

Srpko Marković
Institut za nuklearne nauke "Vinča", "Zaštita", PF 522, 11001 Beograd
Predrag Osmokrović
Elektrotehnički fakultet, Bulevar revolucije 73, Beograd

Rezime

U cilju jednostavnijeg i bržeg izračunavanja Kolektivne Doze predloženo je uvođenje nove pomoćne, izvedene radijacione veličine pod imenom Kolektivno Vreme.

Ključne reči: dozimetrija, izloženost, kolektivna doza

1. Uvod

Izračunavanje Kolektivne Doze predstavlja jedan od fundamentalnih uslova za procenu ozračenosti, Cena - Korist analize u postupku optimizacije zaštite od zračenja, kao i druge globalne zahvate zaštite. U slučaju stacinarnih i homogenih radijacionih polja i promenljivim vremenom boravka pojedinaca ili grupa u tim poljima uvođenjem nove, pomoćne, izvedene radijacione jedinice pod nazivom Kolektivno Vreme računska procedure se znatno pojednostavljuje i skraćuje. U ovom radu je prikazana definicija nove veličine i odgovarajuće jedinice, kao i postupak njenog korišćenja u proračunima.

2. Predlog nove radijacione veličine

Ime veličine:	Kolektivno Vreme	
Oznaka veličine:	T_c (t_c)	
Osnovna jedinica:	čovek-sekunda	("man s" - man second)
Izvedene jedinice:	čovek-čas	("man h" - man hour)
	čovek-dan	("man d" - man day)
	čovek-sedmica	("man-w" - man week)
	čovek-mesec	("man-m" - man month)
	čovek-godina	("man-y" - man year)

3. Obrazloženje

Kolektivna doza, S, na standardan način se izračunava prema jednačini (1):

$$S=\dot{H}_1N_1t_1+\dot{H}_2N_2t_2+\ldots+\dot{H}_nN_nt_n=\sum_{i=1}^{n}\dot{H}_iN_it_i \qquad (1)$$

gde su:

$\dot{H}_i$ - srednja jačina ekvivalentne doze za grupu i

N_i - broj osoba u grupi i

t_i - vremenski interval boravka osoba grupe i u polju $\dot{H}_i$

Ako je polje stacionarno i homogeno ($\dot{H}_i$ = const) kolektivna ekvivalentna doza iznosi:

$$S=\dot{H}N_1t_1+\dot{H}N_2t_2+...+\dot{H}_nN_nt_n=\dot{H}(N_1t_1+N_2t_2+...+N_nt_n)=\dot{H}\sum_{i=1}^{n}N_it_i \quad (2)$$

Veličina u zagradi u jednačini (2) predstavlja zbir pojedinačnih vremena boravka u polju $\dot{H}_i$ i naziva se **Kolektivno Vreme**, a označava se sa T_c (ili t_c).

$$T_c=N_1t_1+N_2t_2+...+N_nt_n=\sum_{i=1}^{n}N_it_i \quad (3)$$

Na ovaj način se dobija:

$$S=\dot{H}\cdot T_c \quad (4)$$

$$\textit{Dimenzije:}\quad S_u=(\dot{H})_u\cdot(T_c)_u=Sv\cdot s^{-1}\cdot man\ s=man\ Sv \quad (5)$$

Prema sada važećoj proceduri kolektivna doza mora biti računata na način prikaza u jednačinama (6) i (7):

$$S = \dot{H}N_1t_1+\dot{H}N_2t_2+...+\dot{H}N_nt_n = H_1N_1+H_2N_2+...H_nN_n \quad (6)$$

$$\textit{odnosno:}\quad S = S_1+S_2+...+S_n = \sum_{i=1}^{n}S_i \quad (7)$$

4. Završni komentar

Usvajanjem predložene veličine T_c (ili t_c) računski postupak prikazan jednačinama (2 - 4) postaje moguć, a znatno je brži i jednostavniji od načina prikazanog u jednačinama (6) i (7). Veličina T_c ima širi smisao i nije isključivo radijacione prirode. Autori su ovaj problem uočili pre više godina vršeći proračune šildinga metodom Cena - Korist analize (Cost - Benefit analysis).

5. Literatura

[1] IAEA 1994, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Interim Edition, Safety Series No. 115-I
[2] ICRU Report 33, 1980
[3] IAEA, 1990, Operational Radiation Protection: A Guide to Optimization, Safety Series No 101

THE NEW RADIATION QUANTITY: COLLECTIVE TIME

Srpko Marković, Predrag Osmokrović

Abstract

The introduction of the new radiation quantity named collective time is proposed to facilitate and accelerate calculation of collective dose.

Key words: dosimetry, exposure, collective dose

PRELIMINARNA PROCENA ŠTETNOSTI I RIZIKA PO ZDRAVLJE - - ODNOS KROZ STAVOVE ZAPOSLENIH U NI "VINČA"

Milanović Svetlana[1], Pavlović Snežana[2]
Institut za nuklearne nauke "Vinča", PF 522, 11001 Beograd
[1]Centar za medicinsku zaštitu
[2]Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"

Rezime

U domenu socijalne psihologije stav se definiše kao tendencija da se pozitivno ili negativno reaguje prema odredjenim osobinama, objektima i situacijama a uslovljen je strukturom i sadržajem celokupne ličnosti, posebno njenim nesvesnim delom, odredjen je delovanjem prošlosti, obrazovanjem, i pod uticajem je bliže i dalje socijalne sredine.

Iz tog razloga je cilj istraživanja da se u jednoj specifičnoj grupi, prema različitim varijablma kao što su: pol, godine života, zatim rad sa izvorima jonizujućih zračenja, stepen obrazovanja,izdvoje stavovi o stepenu prihvatanja štetnosti i rizika po zdravlje, kroz kategorije bliske svakodnevnom životu i svakodnevnim aktivnostima, ili specifične po nekim karakteristikama (kao npr.sida).

Ključne reči: stavovi, javno mnjenje, rizici

1. Predmet i cilj istraživanja

Tendencija savremenog čoveka je da da svoj život učini što delotvornijim ali i lagodnijim. Dostignuća savremene nauke su mu u tome u mnogome pomogla. Medjutim nivo svesti savremenog čoveka podrazumeva i jedan novi odnos prema prirodi i samom životu. Čovek je uspeo da ovlada prirodnim procesima na takav način da stalno mora da ima na umu uz pozitivne efekte koje produkuje mogućnost kontra efekata. Savremeni čovek je preuzeo brojne rizike kao sastavni deo svog života, svestan ili nedovoljno svestan, njihovih štetnih implikacija po zdravlje.

U svakodnevnom žargonu reč "rizik" se prihvata da znači "šansu da se doživi šteta ili gubitak" [1]. Iako se obično koristi samo u kvalitativnom smislu, može se relativno lako izraziti i kvantitativno, ali na žalost na nekoliko različitih načina, što često može dovesti do konfuzije. Obično se (dugo vremena u nazad) izražavao kao godišnja stopa smrtnosti, što su brojevi reda veličine 10^{-3} i manji. Svest prosečnog građanina pravi malu razliku, ukoliko je uopšte i oseća između brojeva kao što su 10^{-3}, 10^{-6} ili 10^{-9}. To može biti jedan od razloga zbog kojih je javnost u toj meri fokusirana na rizik od jonizujućih zračenja. Savremeni pristupi u zaštiti od zračenja [2] termin "rizik" koriste u kvalitativnom smislu, a za njegovo kvantitativno izražavanje preporučuju upotrebu precizno definisanih termina kao što su "koefiicijent rizika" i sl. Sem toga, da bi se stekao pravi uvid u realne rizike i štetnosti preporučuje se njihova međusobna komparacija na nekoj zajedničkoj, realnoj osnovi.

Imajući u vidu nekoliko puta jasno iskazan stav javnog mnjenja po pitanju nuklearne energije i jonizujućih zračenja, ali i potrebu da se povremena operativna pitanja racionalno rešavaju u cilju smanjenja rizika i zaštiti zdravlja ljudi pristupilo se ovom preliminarnom ispitivanju.

Cilj ovog istraživanja je da kroz stavove o najčešćim rizicima i njihovim štetnim posledicama prikaže listu štetnosti i listu rizika po zdravlje zaposlenih u NI VINČA.

2. Metod i uzorak

Istraživanje je izvršeno kao anonimna anketa, sa pitanjima o polu, starosti, obrazovanju, radu sa izvorima jonizujućih zračenja i dve skale po 7 elemenata: skalom štetnosti i skalom rizika. Lista štetnosti je sastavljena iz sledećih kategorija: nejonizujuće zračenje, pušenje, saobraćajne nesreće, jonizujuće zračenje, klasični zagadjivači, sida i pesticidi. Lista rizika je prilagodjena štetnostima: pesticidi, vožnja automobilom, pušenje, nuklearne elektrane, rad na računaru, termo elektrane, sida

Uzorak je prigodni uzorak zaposlenih u NI VINČA koja ima karakteristike struktuirane grupe koja već ima jedan zajednički stav, a to je da je zaposlenjem na mestu za koje se veruje da može imati potencijalno štetne posledice po njihovo zdravlje, implicitno prihvatila eventualni rizik.

Izabrane kategorije su najčešće figurirale u ispitivanjima javnog mnenja o odnosu prema nuklearnoj energiji [1,3].

Istraživanjem je obuhvaćeno 110 ispitanika, ali je nakon odbacivanja neadekvatno popunjenih listića, obradjeno 79.

3. Rezultati

Tabele 1. i 1a. pokazuju raspodelu učestalosti u prihvatanju ŠTETNOSTI I RIZIKA na celom uzorku, N=79.

Tabela 1.

	NEJONIZUJUCE ZRAČENJE	PUŠENJE	SAOBRACAJNE NESREĆE	JONIZUJUCE ZRAČENJE	KLASIČNI ZAGADIVAČI	SIDA	PESTICIDI
1	0	6	8	18	12	26	9
2	4	13	7	12	12	14	17
3	5	13	6	17	9	13	16
4	6	17	10	11	14	3	18
5	15	13	13	8	15	7	8
6	17	10	18	9	10	8	7
7	32	7	17	4	7	8	4

Tabela 1.a.

	PESTICIDI	VOZNJA AUTOMOBILOM	PUSENJE	NUKLEARNE ELEKTRANE	RAD NA RAČUNARU	TERMO ELEKTRANE	SIDA
1.	15	9	17	11	1	7	19
2.	20	12	15	12	1	6	13
3.	17	5	16	12	2	12	14
4.	15	14	16	8	3	17	6
5.	9	10	8	18	7	20	8
6.	2	18	4	11	23	12	8
7.	1	11	3	7	42	5	11

LISTA ŠTETNOSTI:
1. SIDA
2. PESTICIDI
3. JONIZUJUĆE ZRAČENJE
4. PESTICIDI + PUŠENJE
5. KLASIČNI ZAGADJIVAČI
6. SAOBRAĆAJNE NESREĆE
7. NEJONIZUJUĆE ZRAČENJE

LISTA RIZIKA:
1. SIDA
2. PESTICIDI
3. PESTICIDI + PUŠENJE
4. TERMOELEKTRANE
5. TERMO + NUKLEARNE EL.
6. VOŽNJA AUTOMOBILOM
7. RAD NA RAČUNARU

Tabele 2. i 2a. pokazuju raspodelu učestalosti ŠTETNOSTI I RIZIKA u populaciji zaposlenih KOJI RADE SA IZVORIMA JONIZUJUćIH ZRAČENJA, N=47.

Tabela 2.

	NEJONIZUJUCE ZRAČENJE	PUŠENJE	SAOBRACAJNE NESREĆE	JONIZUJUCE ZRAČENJE	KLASIČNI ZAGAĐIVAČI	SIDA	PESTICIDI
1	0	4	3	14	9	14	3
2	3	7	5	6	5	8	13
3	2	6	5	10	5	10	9
4	2	12	8	4	7	1	13
5	8	10	5	4	10	5	5
6	13	5	12	5	6	4	2
7	19	3	9	4	5	5	2

Tabela 2a.

	PESTICIDI	VOZNJA AUTOMOBILOM	PUŠENJE	NUKLEARNE ELEKTRANE	RAD NA RAČUNARU	TERMO ELEKTRANE	SIDA
1.	9	5	12	7	0	4	10
2.	11	9	8	7	0	2	10
3.	11	3	8	6	1	8	9
4.	7	7	11	6	1	11	4
5.	6	3	6	8	4	15	6
6.	2	13	2	8	5	5	4
7.	1	7	0	5	6	2	4

LISTA ŠTETNOSTI:
1. SIDA + JONIZUJUĆE ZRAČENJE
2. PESTICIDI
3. SIDA + JONIZUJUĆE ZRAČENJE
4. PESTICIDI + PUŠENJE
5. PUŠENJE + KLASIČNI ZAGAĐIVAČI
6. NEJON. ZRAČENJE + SAOB.NES.
7. NEJONIZUJUĆE ZRAČENJE

LISTA RIZIKA:
1. SIDA + PUŠENJE
2. PESTICIDI + SIDA
3. PESTICIDI
4. PUŠENJE + TERM.EL.
5. TERMO ELEKTRANE
6. VOŽNJA AUTOMOBILA
7. RAD NA RAČUNARU

Tabele 3 i 3a. pokazuju raspodelu učestalosti ŠTETNOSTI I RIZIKA u populaciji zaposlenih - KOJI NE RADE SA IZVORIMA JON.ZRAČENJA N=32.

Tabela 3.

	NEJONIZUJUCEZ RAČENJE	PUŠENJE	SAOBRACAJNE NESREĆE	JONIZUJUCE ZRAČENJE	KLASIČNI ZAGAĐIVAČI	SIDA	PESTICIDI
1	0	2	5	4	3	12	6
2	1	6	2	6	7	6	4
3	3	7	1	7	4	3	7
4	4	5	2	7	7	2	5
5	7	3	8	4	5	2	3
6	4	5	6	4	4	4	5
7	13	4	8	0	2	3	2

Tabela 3a.

	PESTICIDI	VOŽNJA AUTOMOBILOM	PUŠENJE	NUKLEARNE ELEKTRANE	RAD NA RAČUNARU	TERMO ELEKTRANE	SIDA
1.	6	4	5	4	1	3	9
2.	9	3	7	5	1	4	3
3.	6	2	8	6	1	4	5
4.	8	7	5	2	2	6	2
5.	3	7	2	10	3	5	2
6.	0	5	2	3	11	7	4
7.	0	4	3	2	13	3	7

LISTA ŠTETNOSTI:
1. SIDA
2. KLASIČNI ZAGADJIVAČI
3. PUŠ.+ JON.ZR.+PEST.
4. JON.ZRAČ.+ KL.ZAGADJ.
5. SAOBRAĆAJNE NESREĆE

7. NEJONIZUJUĆE ZRAČENJE

LISTA RIZIKA:
1. SIDA
2. PESTICIDI
3. PUŠENJE
4. PESTICIDI
5. NUKLEARNE ELEKTRANE
6. RAD NA RAČUNARU
7. RAD NA RAČUNARU

Tabele 4 i 4a. pokazuje raspodelu učestalosti ŠTETNOSTI I RIZIKA u populaciji zaposlenih - KOJI SU U OBRAZOVNOJ KATEGORIJI Mr i Dr NAUKA; N=34

Tabela 4.

	NEJONIZUJUCE ZRAČENJE	PUŠENJE	SAOBRACAJNE NESREĆE	JONIZUJUCE ZRAČENJE	KLASICNE ZAGAĐIVAČE	SIDA	PESTICIDI
1	0	4	6	6	6	11	1
2	2	9	2	2	3	6	10
3	2	3	4	8	5	6	6
4	4	5	5	5	5	2	8
5	2	5	7	6	6	2	6
6	8	5	6	6	4	3	2
7	16	3	4	1	5	4	1

Tabela 4a.

	PESTICIDI	VOZNJA AUTOMOBILOM	PUŠENJE	NUKLEARNE ELEKTRANE	RAD NA RAČUNARU	TERMO ELKTARANE	SIDA
1.	5	5	10	3	0	3	8
2.	7	6	5	4	1	4	7
3.	8	3	6	4	0	7	5
4.	9	6	6	3	1	6	3
5.	4	3	3	9	2	10	3
6.	1	7	3	8	7	3	4
7.	0	3	1	3	23	1	4

LISTA ŠTETNOSTI:	LISTA RIZIKA:
1. SIDA	1. PUŠENJE
2. PESTICIDI + PUŠENJE	2. PESTICIDI + SIDA
3. JONIZUJUĆE ZRAČENJE	3. PESTICIDI
4. PESTICIDI	4. PESTICIDI
5. SAOBRAĆAJNE NESREĆE	5. TERMO I NUKLEARNE EL.
6. NEJONIZUJUĆE ZRAČENJE	6. NUKLEARNE ELEKTRANE
7. NEJONIZUJUĆE ZRAČENJE	7. RAD NA RAČUNARU

4. Diskusija rezultata

Sida je, generalno uzevši, kategorija štetnosti i rizika koja u svim podelama zauzima prvo mesto, što je razumljivo s obzirom na nedovoljno poznavanje i katastrofalan ishod ove bolesti.

Odnos prema jonizujućem zračenju i rangiranje rizika od nuklearnih elektrana je ono što je u našem slučaju bilo od prioritetnog značaja.

Jon.zračenje ima visoko mesto kod procenjivanja štetnosti na ukupnom uzorku, dok je mesto rizika od nuklearnih elektrana niže.

Posebno uzevši, poduzorak muških ispitanika je upravo na takav način rangirao štetnost po zdravlje jon.zračenja i rizik od nuklearnih elektrana. Ovi rezultati su verovatno zbog većeg broja muških ispitanika u uzorku. N=43. Broj ženiskih ispitanika je N=36. Za žene je jon. zračenje na trećem mestu po štetnosti, dok je položaj nuklearnih elektrana sa najviše rizika u prvoj kategoriji, medjutim kako su vrednosti niže od učestalosti drugih elemenata, rizik od nuklearnih elektrana se ne nalazi u finalnoj listi rizika za ženske ispitanike.

Zaposleni radnici u NI "Vinča ", koji rade sa izvorima jon.zračenja (N=46)daju najviše vrednosti za štetnost jon.zračenju, dok je rizik od nuklearnih elektrana ravnomerno rasporedjen duž kategorija.

Radnici koji ne rade sa izvorima jon.zračenja (N=32) su mnogo blaži u ocenama štetnosti od jon.zračenja i rizika od nuklearnih elektrana.

Kada se uzork podeli prema nivou obrazovanja, rezultati su sledeći:

SSS (N=17): Jon.zračenje i nuklearne elektrane - dobijaju najviše ocene za štetnost i rizik po zdravlje;

VSS (N=28): visoka ocena za štetnost (drugo mesto), ali zato peto mesto za rizik od nuklearnih elektrana.

Mr i Dr nauka (N=34): su dali treće mesto štetnosti od jon,zračenja, a šesto riziku od nuklearnih elektrana.

Zbog malog broja ispitanika kada se uzorak podeli prema starosnoj strukturi ne mogu se dobiti rezultati za značajniju diskusiju. Medjutim, iako je mali poduzorak ispitanika starosti do 29 godina N=19, uočljiv je podatak da se jon. zračenju i riziku od nuklearnih elektrana daju najviše ocene.

5. Zaključak

Uočena je doslednost u rangiranju elemenata štetnosti i njihovih reprezenata - parova u kategoriji rizika. Eventualna pomeranja su za jedan stepen.

Sida i pesticidi su zauzimali najviše ocene u obe grupe.

Nejonozujuće zračenje i rad na računaru su izraženi sa najnižim vrednostima.

Uočen je značaj štetnosti i rizik po zdravlje u svim kategorijama uzorka.

Klasični zagadjivači i saobraćajne nesreće su zauzimale niži rang od jon.zračenja u svim kategorijama uzorka, što su pokazala brojna ispitivanja javnog mnenja već ranije.

U skladu sa predhodnim zaključkom odnos u rangovanu nuklearnih i termo elektrana je isti u svim kategorijama uzorka, sa malim pomeranjem za jedan rang (u jednom ili drugom smeru). Poduzorak najstarijih ispitanika je jedini termoelektranu značajnije izdvojio kao potencijalni rizik.

Literatura

[1] Jovan V. Jovanović, "Radiation protection phylosophy: time for changes?", Physics in Canada, March/April, 1994.
[2] ICRP Publication 60, 1991
[3] B.L.Cohen and I-Sing Lee, A Catalog of Risks, Health Physics, Vol 36, 1979

PRELIMINARY ASSESSMENT OF HEALTH DETRIMENT AND RISKS ACCORDING TO ATTITUDES OF EMPLOYEES OF NI VINCA

Svetlana Milanović, Snežana Pavlović

Abstract

The public is constantly harangued about all sorts of risks, and its perception of risks plays an important role in governmental decision making.

This paper present results of one of preliminary study of the attitudes to ionizing radiation compared to other risk factors.

Keywords: attitudes, public opinion, risks

Sekcija 2.

TEHNIČKA ZAŠTITA I AKCIDENTI

IZLOŽENOST TERITORIJE JUGOSLAVIJE DELOVANJU NUKLEARNIH ELEKTRANA IZ NJENOG OKRUŽENJA

(predavanje po pozivu)

Dušan Spasojević, Valerije Jović, Ilija Plećaš
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, p.f. 522

Rezime

U okruženju Jugoslavije izgrađeno je šesnaest blokova nuklearnih elektrana, čija je ukupna toplotna snaga veća od 25000 MWt sa pogonskim iskustvom koje prevazilazi 200 reaktor-godina. Na lokacijama ovih elektrana nalazi se više od 2000 t gorivnih elemenata, od čega je oko 800 t isluženo visoko radioaktivno nuklearno gorivo.

U ovom radu je dat kratak prikaz rezultata analiza sigurnosnih i pogonskih karakteristika svih blokova NE Paks i NE Kozloduj koji su locirani u našem užem okruženju. Analize su obuhvatile proučavanje karakteristika: projektovane-nadgrađene sigurnosti, lokacija, pogonske pouzdanosti i ispuštanja r/a efluenata iz razmatranih NE, sa jedne strane i karakteristika teritorije naše zemlje izložene delovanju ovih NE, sa druge strane. Na osnovu sprovedenih analiza izveden je zaključak o potrebi i značaju kontinualnog praćenja pogonskog ponašanja, promena sigurnosnih karakteristika i ispuštanja r/a efluenata iz razmatranih NE.

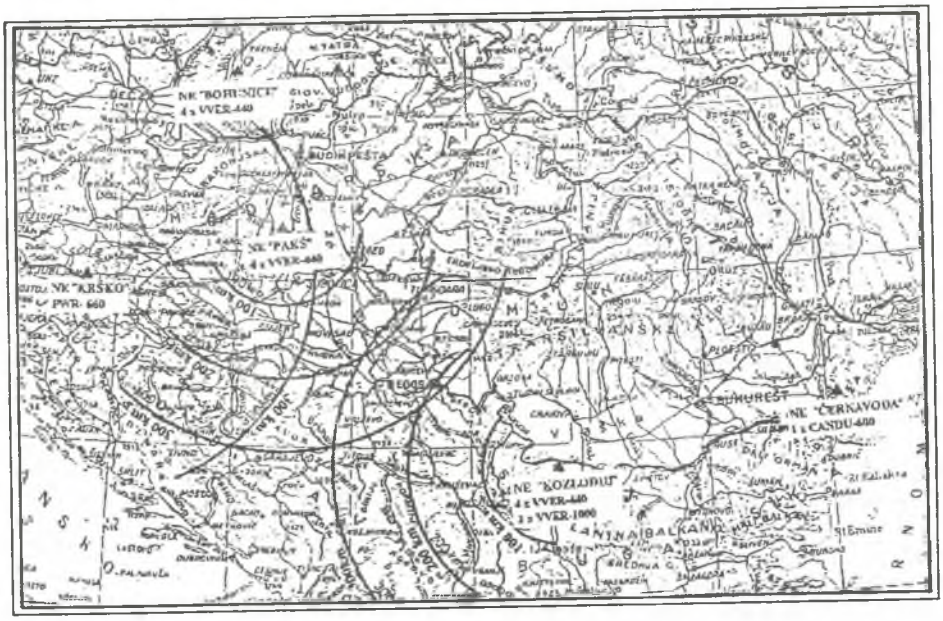
Ključne reči: nuklearne elektrane, lokacija, sigurnost, okruženje, r/a efluenti.

1. UVOD

Od 21 juna 1991. godine Jugoslavija više nema na svojoj teritoriji izgrađene nuklearne elektrane (NE). Međutim, u susednim zemljama locirano je šesnaest blokova NE, od kojih su, NE Paks u Mađarskoj i NE Kozloduj u Bugarskoj, na rastojanjima manjim od 100 km od naše državne granice (sl.1). Ova koncentracija NE u okolini naše zemlje, njihova tehnološka starost, oko 200 reaktor-godina, a naročito tehnološka raznovrsnost (VVER,PWR,PHWR) i tri generacije nuklearnih standarda po kojima su građeni, nameću nam potrebu da kontinualno pratimo njihovo pogonsko ponašanje. Ovo podrazumeva stalnu analizu pouzdanosti i sigurnosti pogona ovih NE i njihovo delovanje na teritoriju naše zemlje. Posebno mesto u ovim razmatranjima imaju procene mogućnosti pojave potencijalnih udesa većih razmera na ovim NE. Treba naglasiti da, iz razumnjivih razloga, za našu zemlju nisu merodavne analize, procene i tvrdnje vlasnika o efektima delovanja njihovih NE, ni za njihovu a pogotovu za našu zemlju.

Polazeći od navedenih okolnosti, u našim razmatranjima NE kao potencijalnih izvora štetnog delovanja, prioritet su imale elektrane locirane u bližem okruženju naše zemlje. Zbog toga je, naša pažnja bila orjentisana pre svega na NE Paks i NE Kozloduj.

NE Kozloduj ima 4 bloka VVER-440 (model V-230) i dva bloka VVER-1000 (model V-320), izgrađeni po nuklearnim standardima bivšeg SSSR-a. Ukupna snaga NE Kozloduj iznosi 3760 MWe, a blokovi su puštani u pogon sukcesivno, u periodu 1974-1992. U 1993. godini NE Kozloduj je proizvela oko 33% od ukupno proizvedene električne energije u Bugarskoj. Na lokaciji NE Kozloduj nalazi se oko 120 t svežih gorivnih elemenata, oko 300 t gorivnih elemenata u reaktorima i oko 360 t isluženih - visoko radioaktivnih (r/a) gorivnih elemenata.



Slika 1. Nuklearne elektrane u okruženju SR Jugoslavije

NE Pakš ima četiri bloka VVER-440 (model V-213), ukupne instalisane snage 1760 MWe, koji su, kao i NE Kozloduj, projektovani prema nuklearnim standardima bivšeg SSSR-a i pušteni u pogon u periodu od 1982-1987. U 1993. godini NE Pakš je proizvela 48% od ukupne proizvodnje električne energije u Mađarskoj. Na lokaciji NE Pakš nalazi se oko 60 t svežih gorivnih elemenata, oko 180 t gorivnih elemenata u reaktorima i oko 180 t isluženih - visoko r/a gorivnih elemenata.

U dosadašnjoj eksploataciji na NE Kozloduj i NE Pakš nije bilo udesa sa ispuštanjen r/a većih razmera.

2. KARAKTERISTIKE LOKACIJA

NE Pakš je locirana na desnoj obali Dunava, u Mađarskoj, u blizini grada Pakš, na 80 km od naše granice i oko 90 km od Subotice [12]. Izgrađena je na sedimentnim slojevima koji pokrivaju Valski greben i sa severa su ograničeni masivima Harda-Ižak-Kerekedkaza, a sa juga masivima Tolna-Miška. Šire područje NE Pakš pripada tektonskoj oblasti Drava-Mečck-Nađkereš, koja je ograničena sa severa i zapada dubokim rasedima. Tektonski greben i stene, koji su formirani u miocenu, usmerem su na severo-istok, severo-zapad. Lokacija NE Pakš ima trusnost od 5 stepeni MKS, pri čemu su za projektovanje usvojeni sledeći seizmički uslovi:

- Učestanost zemljotresa (nezavisno od intenziteta) 3,4 h 10^{-6} zemljotresa/ km^2 /god. za radijus od 50 km, (N/T = 0.267 zemljotresa/ god.);
- 5,2 stepeni MKS sa povratnim periodom od 100 godina;
- 6,0 stepeni MKS sa povratnim periodom od 1000 godina i
- 7,8 - 8,0 stepeni MKS sa povratnim periodom od 10000 godina.

NE Pakš je projektovana za protočno hlađenje, pri čemu je dozvoljeno da koristi 35% protoka Dunava. Nije predviđen rezerni rashladni sistem sa povratnim hlađenjem.

NE Kozloduj je locirana, takođe na desnoj obali Dunava, u Bugarskoj u blizini grada Kozloduj, na oko 85 km od naše granice i na udaljenosti 100-115 km od Negotina, Zaječara, Pirota i Knjaževca [12]. Ova NE je izgrađena na lesnim naslagama, čiji je gornji sloj pri gradnji skinut i zamenjen betonskim pločama debljine 1,2-2,5 m. Posle zemljotresa od 4. marta 1977.godine izvršena je seizmička prekvalifikacija teritorije Bugarske, prema kojoj je seizmičnost područja NE Kozloduj procenjena na 7,0 stepeni MKS sa povratnim periodom od 10 000 godina i 6,0 stepeni MKS sa povratnim periodom od 100 godina.

NE Kozloduj je projektovana za protočno hlađenje vodom iz Dunava. Nije predviđen rezervni rashladni sistem sa povratnim hlađenjem.

3. KARAKTERISTIKE NADGRAĐENE SIGURNOSTI

Najveći deo nadgrađene sigurnosti NE ostvaruje se kroz projektna rešenja sistema za sprečavanje pojavljivanja i sprečavanje širenja udesa. Zbog toga se težište analize sigurnosti NE stavlja na razmatranja projektnih rešenja i funcionisanje ovih sistema.

NE Kozloduj

Sistemi sigurnosti ugrađeni u pojedine blokove NE Kozloduj pripadaju trima generacijama nuklearnih standarda [11]. Naime, sistemi sigurnosti I i II bloka projektovani su na osnovu sigurnosnih propisa SSSR iz 1968, blokovi III i IV na osnovu propisa iz 1973, blokovi V i VI na osnovu propisa iz 1982. godine. Treba istaći da su blokovi I i II projektovani za nisku seizmičnost, u skladu sa tada važećom seizmičkom klasifikacijom Bugarske, dok su blokovi III-VI projektovani su za višu seizmiku, na osnovu izvršenih promena seizmičke klasifikacije teritorije Bugarske.

Sistemi sigurnosti za blokove I-IV projektovani su na osnovu sigurnosnog zahteva da maksimalni projektni udes predstavlja dvostrani prekid spojnog cevovoda ϕ 100 mm, a da je verovatnoća prekida primarnog cevovoda najvećeg prečnika, ϕ 500 mm, zanemarljivo mala, pa se kao takva ne uzima u obzir. Međutim, sistemi sigurnosti na blokovima V-VI projektovani su na osnovu sigurnosnog zahteva da je maksimalni projektni udes - dvostrani prekid primarnog cevovoda najvećeg prečnika, ϕ 850 mm.

Na osnovu sigurnosnih uslova, kritetijuma i zahteva projektovani su sigurnosni sistemi reaktora koji obuhvataju: sistem za udesno zaustavljanje reaktora, sistem za udesno hlađenje jezgra reaktora, sisteme za lokalizaciju radioaktivnih efluenata u slučaju udesa, sistem za napajanje električnom energijom u slučaju udesa, sigurnosni sistem napojnih pumpi sekundarnog rashladnog sistema i sistem ultimativnog toplotnog ponora.

Sa stanovišta delovanja nuklearne elektrane na okolinu poseban značaj ima sistem za lokalizaciju koji obuhvata podsisteme, uređaje i komponente čija je funkcija da sprečavaju i ograničavaju širenje radioaktivnog materijala koji se u toku maksimalnog projektnog udesa oslobađa iz primarnog kola. Sistem se sastoji od zaštitnog omotača i podsistema za obaranje pritiska, temperature i prečišćavanje vazduha. Kod VVER-440 zaštitni omotač izveden je u obliku hermetičnih prostorija (boksova), a kod VVER-1000 u obliku zaštitne zgrade (kontejmenta). Za obaranje pritiska i kondenzaciju pare koriste se aktivni i pasivni podsistemi. Aktivni podsistemi obuhvataju sisteme za tuširanje koji ubacuju rasprašeni rastvor vode sposoban da veže radiaktivne materije, dok pasivni podsistemi vrše kondenzaciju pare, izdvajanje i hlađenje vazduha. Detaljan prikaz projektovanih i izvedenih sigurnosnih sistema za blokove VVER-440 i VVER-1000 dat je u [11].

Pošto su sigurnosni sistemi na blokovima I-IV projektovani na osnovu propisa i standarda iz perioda 1968-1973. godine to postoje određena neusaglašenosti projektnih rešenja tih sistema za blokove VVER-440 sa savremenim zahtevima obezbeđenja sigurnog i pouzdanog rada nuklearnih elektrana. U cilju prevazilaženja nastale situacije formirane su, u okviru MAAE, međunarodne

ekspertske radne grupe koje su u više navrata razmatrale stanje sigurnosti i pouzdanosti pogona NE Kozloduj. Na osnovu izvršenih ekspertiza, ove radne grupe su konstatovale: zastarelost projektnih rešenja, a posebno sigurnosnih sistema, nizak nivo korišćenja raspoloživih tehničkih rešenja i nedovoljnu tehničku kulturu vođenja i upravljanja pogonom, pa su preporučile: da se NE Kozloduj odmah zaustavi; da se odluka o daljoj sudbini blokova I i II, starih 16-17 godina, donese kasnije (odluka o zatvaranju); da se blokovi III i IV, stari 9-10 godina, dovedu na viši stepen sigurnosti; da se za blokove V i VI, koji zadovoljavaju savremene sigurnosne standarde obezbedi potrebna međunarodna pomoć u vezi sa tehnološkim problemima pogona.

Sa ovom preporukom, a posebno sa zaustavljanjem NE Kozloduj i zatvaranjem blokova I i II, Bugarska se nije složila, jer bi to dovelo do energetskog kolapsa zemlje i privrede. Zbog toga se prišlo postupnoj realizaciji ovih preporuka. Blokovi I i II zaustavljeni su septembra, odnosno, novembra 1991. godine i posle dvogodišnje rekonstrukcije pušteni ponovo u pogon krajem 1993. godine. Obim i detalji izvršenih rekonstrukcija nisu dati u dostupnoj literaturi.

NE Pakš

Reaktori VVER-440 NE Pakš predstavljaju blokove druge generacije reaktora VVER-440 (model V-213), projektovane prema nuklearnim standardima SSSR, iz 1971-1973. godine [11]. Ovom regulativom uvedeno je aseizmičko projektovanje sistema, komponenti i opreme od značaja za sigurmost i projektovanje sistema sigurnosti za slučaj maksimalnog udesa u obliku dvostranog prekida primarnog cevovoda najvećeg prečnika ϕ 500 mm.

U odnosu na reaktore prve generacije, sistemi sigurnosti NE Pakš su upotpunjeni, tako da sistem za udesno hlađenje aktivne zone (SAOZ) sadrži aktivne podsisteme, visokog i niskog pritiska i pasivni podsistem hidroakumulatora. Aktivni podsistemi izvedeni su sa redundantnošću 3 x 100%. Kod lokalizacirajućih sistema, zadržan je sistem bokseva za smeštaj svih osnovnih komponenti primarnog kola, ali je ukupna hermetizovana zapremina povećana i uveden je novi pasivni podsistemom za obaranje pritiska i kondenzaciju pare u obliku barbotažno-vakuumskog sistema smeštenog u posebnoj zgradi.

NE Pakš ispunjava savremene zahteve sigurnosti nuklearnih elektrana. Pokazatelji dosadašnjeg rada elektrane su veoma dobri. Udesa sa realizacijom radioaktivnosti iznad dozvoljenih granica nije bilo. Novembra 1988. godine misija OSART, izvršila je inspekciju NE Pakš prema programu MAAE za povećanje sigurnosti nuklearnih elektrana posle udesa na IV bloku NE Černobilj. Rezultati inspekcije ocenjeni su kao vrlo korisni i sve primedbe uprava elektrane je prihvatila, bez obzira na postojeće razlike u koncepcijama pristupa obezbeđenju sigurnosti NE.

4. KARAKTERISTIKE POGONSKOG ISKUSTVA I POUZDANOSTI

U periodu od puštanja u rad prvog bloka do 1. januara 1991. NE Kozloduj proizvela je ukupno 160 TWh, od čega u 1990. godine 15 TWh, što predstavlja oko 33% ukupne proizvodnje električne energije u Bugarskoj. Udeo pojedinih blokova bio je u osnovi ravnomeran: za blokove VVER-440, od 18% na bloku-2, do 19%, na bloku-3, a na bloku-5, VVER-1000 25% (tabela 1). Faktor iskorišćenja snage za blokove VVER-440 iznosio je u periodu 1974-1990 od 73% do 82%, dok je faktor vremenske raspoloživosti bio u istom periodu od 85%, do 92% [3,4,7].

TABELA 1. OSNOVNI POKAZATELJI RADA BLOKOVA NE KOZLODUJ

Reaktor	Puštanje u rad	Proizvodnja u periodu		Ukupni faktor iskorišćenja snage 1974-90. (%)	Vremenski faktor raspoloživosti 1974-90. (%)	Broj nepl. zaustavlj. /relevant. za sigurn. 1974-1990.
		1974-90 (TWh)	1990. (TWh)			
Blok-1, VVER-440	1974-07	45,914	2,748	82,34	84,55	89/21
Blok-2, VVER-440	1975-11	44,716	2,643	78,89	86,57	67/16
Blok-3, VVER-440	1981-01	30,549	2,827	75,95	88,18	57/9
Blok-4, VVER-440	1982-06	27,536	2,783	72,76	91,53	31/5
Blok-5, VVER-1000	1988-07	11,710	3,663			
Blok-6, VVER-1000	1992-07					
Ukupno		160,426	14,665			244/51

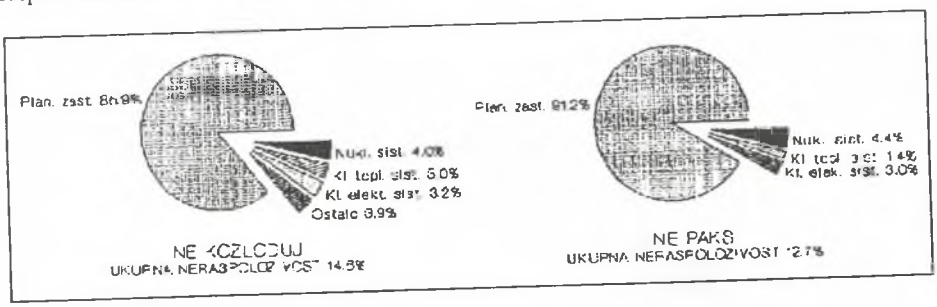
NE Pakš, u periodu od puštanja u rad prvog bloka do 1990. proizvela je ukupno oko 58 TWh električne energije, od čega u toku 1989. godine oko 14 TWh, što predstavlja 47.5% ukupne proizvodnje u Mađarskoj. Udeo pojedinih blokova u proizvodnji električne energije kretao se od 24% na trećem bloku do 26% na četvrtom bloku (tabela 2). Faktor iskorišćenja instalisane snage, za ceo period iznosi 84%, a za 1989. godinu 89%. Sopstvena potrošnja elektrane u 1989. god. bila je 6%.

TABELA - 2: OSNOVNI POKAZATELJI RADA BLOKOVA NE PAKŠ

Reaktor	Puštanje u rad	Proizvodnja u periodu		Ukupni faktor iskorišćenja snage 1983-89. (%)	Broj nepl. zaustav. 1983-89.	Kolek. doza pri zameni goriva 1989 (mSv)
		1983-89. (TWh)	1989. (TWh)			
Blok-1, VVER-440	1983-08	21,559	3,407	79,7	46	610
Blok-2, VVER-440	1984-11	17,138	3,507	86,5	38	183
Blok-3, VVER-440	1986-12	11,027	3,340	87,7	29	152
Blok-4, VVER-440	1987-11	8,140	3,636	88,6	14	87
Ukupno		58,464	13,890		127	

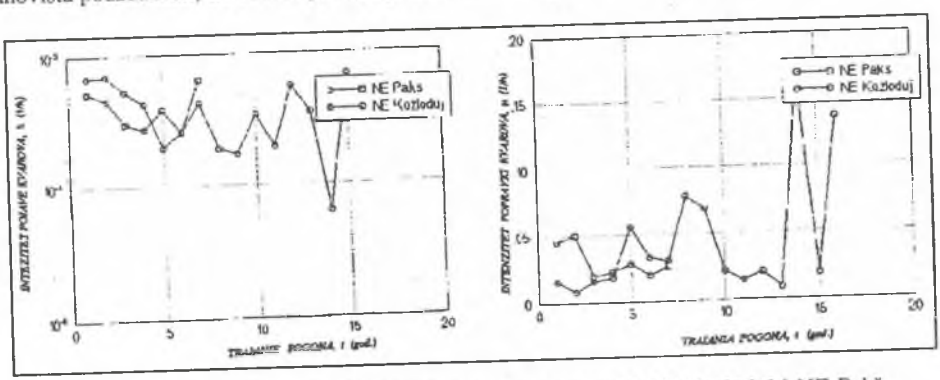
Za procenu sigurnosti i pouzdanosti pogona NE u okruženju SR Jugoslavije, razvijen je originalan matematički model i računarski program BOGRAP [9]. Ovaj model je zasnovan na kontinualnom praćenju, sistematskoj obradi i analizi pogonskih zastoja, a naročito neplaniranih zastoja zbog kvarova (otkaza) i grešaka. Posebna pažnja je posvećena razradi postupka za ocenu mogućeg

udela kvarova / otkaza pri pogonu NE na pojavu pogonskih poremećaja koji mogu dovesti do udesa. Podlogu za ova razmatranja čini koncepcija sigurnosti zasnovana na principu "odbrana po dubini"; pri tome se analizom pogonske raspoloživosti i pouzdanosti komponenti, sistema i opreme na odgovarajućim nivoima "odbrane", uključujući i greške operatora kao subjektivni faktor, procenjuje mogućnost nastanka udesa. Sa stanovišta pogonskih zastoja analiziran je dosadašnji rad NE Kozloduj i NE Paks. Ova analiza je sprovedena na osnovu izvornih podataka koje objavljuje MAAE. Pokazalo se [10] da neplanirani otkazi i kvarovi komponenti, sistema i opreme doprinosi pogonskoj neraspoloživosti sa 10-15%, pri čemu je učešće kvarova i otkaza sigurnosnih sistema 3-7% (sl.2).



Slika 2. Struktura neraspoloživosti NE Kozloduj i NE Paks

Veliki udesi na NE TMI-2 (1979) i NE Černobilj-4 (1986) stavili su u prvi plan značaj ljudskog faktora, odnosno, istakli su značaj nivoa znanja, obučenosti i efikasnosti operatora u vođenju pogona NE. U okviru rada na ovom programu naše aktivnosti bile su usmerene na razvijanje postupka za akviziciju podataka i praćenje pogonskih karakteristika razmatranih NE. Pogonski podaci o interakciji čovek-mašina (greške operatora) u pogonu NE, obrađeni su korišćenjem statističkih metoda i razvijenog računarskog programa. Dobijene su godišnje promene vrednosti karakteristika grešaka operatora u toku pogonskog veka razmatranih NE i kumulativni tok tih karakteristika. Promene vrednosti karakteristika grešaka operatora ukazuju na opšti trend vrednosti intenziteta pojavljivanja grešaka (λ, čas^{-1}) i intenziteta popravki (μ, čas^{-1}) tokom pogonskog veka NE (sl.3). Prema uočenim tokovima promene parametara λ i μ, koji su potvrđeni odgovarajućim kumulativnim tokovima, treba očekivati da se za razmatrane NE λ ustali na vrednosti oko 8,0 h 10^{-5} čas^{-1} i μ na oko 1,3 h 10-2 čas^{-1}. Preliminarno poređenje sa karakteristikama neplaniranih zastoja ukazuje, sa stanovišta pouzdanosti, na znatno povoljnije karakteristike grešaka operatora [10].



Slika 3. Promena intenziteta kvarova i intenziteta popravki NE Kozloduj i NE Paks

5. TERITORIJA IZLOŽENA DELOVANJU NUKLEARNIH ELEKTRANA

NE Kozloduj, preko rashladnog sistema, ispušta u ekosferu više od 7500 MWt toplotne snage, što predstavlja značajno toplotno opterećenje. Međutim, više od 90% ove toplote, kao i radioaktivne efluente ispuštene iz sekundarnog rashladnog sistema odnosi vodotok Dunava. Imajući u vidu lokaciju ove NE, efekte ovih ispuštanja, sa stanovišta delovanja na teritoriju naše zemlje, nije potrebno posebno analizirati [15].

Analiza meteoroloških merenja na stanicama Negotin i Zaječar pokazuje da istočni i jugo-istočni (iz pravca NE Kozloduj) vetrovi na godišnjoj ruži vetrova na ovim stanicama nisu tako dominantni, ali u hladnijem delu godine su nešto učestaliji (oko 20% vremena).

Demografsku sliku područja izloženog delovanju NE Kozloduj karakteriše nešto niža gustina naseljenosti. Veća gradska naselja u ovom području su Zaječar, Negotin, Bor, Pirot, Knjaževac i dr., tako da na rastojanjima manjim od 120 km od ove NE živi preko 150.000 stanovnika naše zemlje.

Privrednu aktivnost područja izloženog delovanju NE Kozloduj karakteriše relativno razvijena ratarsko-voćarska proizvodnja sa dosta bogatim stočnim fondom.

NE Paks ispušta u vodotok Dunava više od 3400 MWt toplotne snage, što sa radiaktivnim efluentima ispuštenim u rashladnu vodu, s obzirom na lokaciju ove NE, predstavlja značajno opterećenje ekosistema. Ovo opterećenje i pri normalnom režimima rada NE Paks, stiže do teritorije naše zemlje.

Statistička analiza četrdesetogodišnjih meteoroloških merenja na stanicama Palić i Sombor, pokazuje da su u godišnjim ružama vetrova za ove dve stanice, dominantni (30% ukupnog vremena) vetrovi srednje jačine sa severa i severo-zapada, tj. iz pravca NE Paks [14].

Osnovna demografska karakteristika teritorije SR Jugoslavije izložena delovanju NE Paks je relativno velika gustina naseljenosti. Tako oko 300.000 stanovnika naše zemlje živi na rastojanjima manjim od 100 km od NE Paks. Ovo područje obuhvata Sombor sa oko 100.000 i Suboticu sa oko 150.000 stanovnika.

Privrednu aktivnost teritorije naše zemlje izložene delovanju NE Paks karakteriše razvijena ratarsko-poljoprivredna proizvodnja. Samo opštine Subotica i Sombor imaju zajedno oko 200.000 ha poljoprivrednih površina i razvijenu prehrambenu industriju.

Konačno, na području SR Jugoslavije, na rastojanju 80 - 120 km od NE Paks i NE Kozloduj, koje imaju ukupno 10 blokova NE sa reaktorima VVER tipa i toplotnu snagu oko 160.000 MWt, živi oko 700.000 stanovnika.

6. ISPUŠTANJA RADIOAKTIVNIH EFLUENATA

Dozvoljen nivo ispuštanja radioaktivnih (r/a) efluenata iz NE s reaktorima VVER tipa, zadat je sigurnosnim kriterijumima, uslovima i zahtevima (tabela 3), čiju realizaciju treba da obezbede projektna rešenja, izvođenje i tehničko održavanje filtro-ventilacionih sistema.

TABELA 3: PROJEKTNI ZAHTEVI I USLOVI ZA NE SA REAKTORIMA VVER TIPA

Uslovi rada	Učestanost pojave	T oC	Pritisak MPa	Rel.vlažnost %	Aktivnost 10^6 Bq/m^3	Trajanje čas	Postakcid uslovi
Normalni režimi	stalno	15 - 70	0,1	do 90	74	-	-
Lom toplo voda	jednom godišnje	30 - 90	0,12	do 100	74	do 15	
Malo curenje hladioca	jednom u dve godine	do 90	0,17	voda, para	5600	do 5	T=90oC r=0,05-0,12
Veliko curenje hladioca	jednom u radno veku	do 150	do 0,5	voda, para	$46 \cdot 10^6$	do 10	T=20-60°C r=0,05-0,12

U režimima normalnog rada NE ispuštaju male količine r/a efluenata u hidrosferu i preko ventilacionog sistema u atmosferu. U tabeli 4 date su procenjene količine ukupnog godišnjeg ispuštanja r/a efluenata iz NE Paks i NE Kozloduj. U poslednje vreme intenzivira se modernizacija filtro-ventilacionih sistema ovog tipa NE [13].

Orijentaciona procena očekivanih ispuštanja r/a efluenata iz razmatranih NE u slučaju udesa na njima, izvršena je na sledeći način: klapne ventila na reaktorskoj zgradi (boksu) blokova NE Kozloduj se otvaraju pri natpritisku od 0,1 MPa, a na hermetičnom boksu NE Paks, pri natpritisku od 0,15 MPa. Budući da se na osnovu analize sigurnosti NE sa reaktorima VVER tipa, za udes malog curenja primarnog hladioca daje natpritisak 0.17 MPa, a za udes velikog curenja primarnog hladioca natpritisak 0,5 MPa. Ovo pokazuje da će u slučaju udesa malog curenja primarnog hladioca iz NE Kozloduj cela količina oslobođenih r/a efluenata biti ispuštena. U slučaju udesa velikog curenja primarnog hladioca kod obe NE dolazi do ispuštanja celokupnog inventara oslobođenog r/a sadržaja. Poređenjem ovako procenjenih vrednosti sa projektnim zahtevima, dobija se da u slučaju udesa malog curenja primarnog hladioca ispušta se oko 75 puta više r/a efluenata nego pri normalnim radnim režimima, dok u slučaju udesa velikog curenja primarnog hladioca ovo povećanje je 6 x 10^5 puta veće. Ovo za NE Paks iznosi oko 2 x 10^5 puta više joda i 6 x 10^5 puta više aerosola, dok za NE Kozloduj to iznosi 6 x 10^5 puta više za jod, a 16 x 10^5 puta više za aerosole [13].

TABELA 4: ISPUŠTANJE RADIOAKTIVNIH EFLUENATA NE PAKŠ I NE KOZLODUJ

	NE PAKŠ		NE KOZLODUJ	
	voda	vazduh	voda	vazduh
Plemeniti gasovi	-	48840	-	99939
Jod	-	1,63	-	3,34
Aerosoli (bez joda)	-	1,95	-	3,99
Tricijum	< 5861	> 1320	< 11993	> 2701
Proizvodi fisije i aktivacije	< 3,26	-	< 6,67	-

Zbog položaja na Dunavu uzvodno od naših granica i zbog blizine, svi izlivi iz NE Paks su relevantni za našu zemlju, do koje stiže sav r/a tečni otpad ispušten u rečni vodotok. S obzirom da se NE Kozloduj nalazi na Dunavu nizvodno od naših granica izliv r/a otpada u vodotok ne ugrožava direktno životnu sredinu u našoj zemlji.

Na osnovu navedenih meteoroloških karakteristika područja izloženih delovanju razmatranih NE može se zaključiti da je oko 30% godišnjeg r/a ispuštanja iz NE Paks i oko 20% r/a ispuštanja u zimskom periodu iz NE Kozloduj usmereno ka teritoriji naše zemlje [14].

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu kratkog prikaza sprovedenih analiza može se zaključiti i/ili konstatovati sledeće:

(1) U okruženju Jugoslavije izgrađeno je šesnaest blokova NE (u Bugarskoj 6 blokova VVER, u Mađarskoj 4 bloka VVER, u Slovačkoj 4 bloka VVER, u Sloveniji 1 blok PWR i u Rumuniji 1 blok

PHWR), ukupne toplotne snage oko 25.000 MWt;

(2) Na rastojanjima manjim od 100 km od naše državne granice locirano je na Dunavu deset blokova NE (u Bugarskoj 6 blokova VVER, u Mađarskoj 4 bloka VVER) ukupne toplotne snage oko 16.000 MWt;

(3) NE Kozloduj i NE Pakš, pri normalnom radu, ispuštaju u obliku plemenitih gasova aktivnost od oko $1,5 \cdot 10^{15}$ Bq/god, dok bi u slučaju većih udesa na ovim NE ova emisija bila viša i za nekoliko stotina puta;

(4) Na osnovu meteoroloških karakteristika područja izloženih delovanju razmatranih NE, može se zaključiti da je oko 30% godišnjeg ispuštanja r/a efluenata iz NE Pakš i oko 20% ispuštanja r/a efluenata u zimskom periodu iz NE Kozloduj, usmereno ka našoj zemlji;

(5) Na rastojanjima manjim od 120 km od NE Pakš, odnosno, NE Kozloduj, na području sa razvijenom poljoprivredom, stočarstvom i prehrambenom industrijom, živi oko 700.000 stanovnika naše zemlje.

(6) Države koje poseduju RAO materijale moraju imati definisanu nacionalnu politiku u oblasti tretmana RAO materijala, koja respektuje fundamentalne principe sigurnosti [16,17,18,19].

8. LITERATURA

[1] V.I.Grimshovskij, i dr. "Ocenka radiacionnyh posledstvij vozmozhnyh gipoteticheskih avarij na AES s VVER", Atomnaya energiya, t. 67, v. 4, okt. 1989.

[2] A.M.Kirichenko, i dr. "Vozmozhnost' i celesoobraznost' rekonstrukcii ustarevshih energoblokov VVER-440", Atomnaya energiya, t. 74, v. 1, okt. 1993.

[3] Kozloduj, nuclear power station: Advance information package for WWER-440/230, Safety review mission, January 1991.

[4] Report of the ASSET mission to the Kozloduj NPP, Units 1-4, VVERs 440 MW, model 230, Bulgaria, 12-23 novembar 1990.

[5] INTERATOMENERGO: "Specializirovannoe oborudovanie AES s unificirovannymi blokami VVER-440, model' V-213, Al'bom", Moskva, aprel' 1983.

[6] D.Spasojević, V.Jović, S.Milivojević, L.Jović, "Analiza aktivnosti na usavršavanju sigurnosnih karakteristika nuklearnih elektrana VVER tipa", 36.Konferencija ETAN, Kopaonik, sep.1992. Zbornik radova, Sveska 12., str. 167-174.

[7] D.Spasojević, V.Jović, "Nuklearne elektrane u blizini Jugoslavije - lokacijske i sigurnosne karakteristike", "Nuklearna tehnologija", br.1, 1995.

[8] S.Milivojević, D.Spasojević, V.Jović, J.Riznić, "Analysis of Human Error Probabilitiesin Nuclear Power Plants Operation", TOPFORM '95, 23-27 April 1995, Avignon, France.

[9] S.Milivojević, J.Riznić, D.Spasojević, N.Dinić: "Računarski program "BOGRAP" za određivanje granica poverenja Bajesovom metodom", 37.Konferencija ETAN, Beograd, 20-23 sept.1993. Zbornik radova, Sveska 12.-N, str. 123-128

[10] S.Milivojević, D.Spasojević, V.Jović, "Analiza pogonskih zastoja nuklearnih elektrana u okruženju Jugoslavije", 38. Konferencija ETAN, Niš, 7-9 juni 1994. Zbornik radova, Sveska 4., str. 155-156.

[11] V.Jović, "Projektne karakteristike sigurnosti blokova VVER-440/230/213 i VVER-1000/320 NE Kozloduj i NE Pakš", Elaborat, Vinča 1994., strana 70.

[12] L.Jović, "Prikaz osnovnih karakeristika lokacija NE Kozloduj i NE Pakš", Elaborat, Vinča 1994., strana 15.

[13] Lj.Vujisić, "Zavisnost adsorpcionog kvaliteta uglja u filtrima nuklearnih elektrana od koncentracije trovača", 38. Konferencija ETAN, Niš, 7-9 juni 1994. Zbornik radova, Sveska 4., str. 153-154.

[14] A.Vehauc, "Ugroženost ekosfere Srbije efluentima nuklearnih elektrana u njenom okruženju 38. Konferencija ETAN, Niš, 7-9 juni 1994. Zbornik radova, Sveska 4., str. 151-152.

[15] A.Vehauc, "Karakteristike teritorija naše zemlje koje su najizloženije uticaju nuklearnih elektrana Elaborat, Vinča 1994., strana 35.

[16] IAEA, 1993, "The Principles of Radioactive Waste Management", RADWASS, Safety Series No 111-F.

[17] ICRP 1991, 1990 "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", ICRP Publication 60, Pergamon Press.

[18] IAEA, 1994, "International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources", Attachment to Gov./2715.

[19] IAEA 1994, "Establishing a National Legal System for Radioactive Waste Management". Safety series No 111-S-I, RADWASS Programme.

EXPOSIBILITY OF YUGOSLAV TERRITORY TO NUCLEAR POWER PLANTS IN HER SURROUNDINGS

Dušan Spasojević, Valerije Jović, Ilija Plećaš

Abstract

In the surroundings of Yugoslavia sixteen blocks of Nuclear Power Plants are located with total thermal power of 25000 MW and total operating experience of 200 reactor-years. On the sites of these power plants there are more than 2000 t of fuel elements out of which about 800 t are highly radioactive spent nuclear fuel.

This paper presents a short review of results of analysis of safety and reliability characteristics of all blocks of NP Pakš and NP Kozloduj which are located in our closer surroundings. The analysis comprise investigation of characteristics, projected safety, sites, reliability emission of radioactive effluents as well as characteristics of our country exposed to the effects of nuclear power plants. Based on this analysis it is concluded about needs and importance of continual following of operating behaviour, variation of safety characteristics and emission of radioactive effluents from these, analyzed power plants.

Key words: nuclear power plant, site, safety, surroundings, radioactivity, (r/a) effluent.

ДЕЛОВАЊЕ У СЛУЧАЈУ УДЕСА СА ИЗВОРИМА ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА

Милан Орлић[#], *Драгољуб Ристић*[*], *Срђко Марковић*[*], *Тома Тасовац*[*], *Душан Ђуракић*[⊕] *Марко Шимурина*[$]
[#]Војнотехнички институт ВЈ, Београд, Катанићева 15
[*]Институт безбедности, Београд
[*]Институт "Винча", Београд
[⊕]Војномедицинска академија, Београд
[$]Министарство заштите животне средине Републике Србије

Резиме

У раду је приказана оптимална организација на нивоу државе за деловање у случају великих удеса са изворима јонизујућег зрачења, а пре свега на нуклеарним (енергетским) постројењима у иностранству и земљи. Организација је дата по вертикали - од владе до установа које користе изворе и по хоризонтали - на нивоу државе, републике, округа и општине.

Кључне речи: *јонизујуће зрачење, извори, нуклеарни реактори, удеси, деловање*

1. У в о д

За потребе Министарства заштите животне средине Републике Србије формирана је експертска група са циљем да изради Упутство о поступцима у случају удеса са изворима јонизујућег зрачења. Током 1994. године такво упутство је урађено. Циљ овог рада је да покаже основне елементе тог Упутства са посебним нагласком на потребну организацију друштва и функционисање те организације.

Упутство о поступцима у случају удеса са изворима јонизујућих зрачења урађено је на основу чланова 75. и 77. Закона о заштити животне средине[1].

План мера и активности које је неопходно спроводити у случајевима удеса и уклањања последица удеса са знатнијим количинама радиоактивних материјала (према члану 77 Закона о заштити животне средине) доноси Министарство на основу овог Упутства и на предлог Комисије за заштиту од зрачења.

Под појмом удес са извором јонизујућих зрачења подразумева се такав догађај при којем је дошло или може доћи до озрачења становништва и професионално експонираног особља изнад нивоа дефинисаних законом (Закон о заштити од јонизујућих зрачења и о нуклеарној сигурности[2].

Предмет овог Упутства су: удеси који су се десили ван земље, а угрожавају и нашу земљу; удеси на постројењу у земљи чије последице или могуће последице прелазе границе постројења и удеси на постројењу у земљи чије последице или могуће последице не прелазе границе постројења, али у постројењу нема могућности за спречавање удеса или отклањање последица.

Овим Упутством не дефинишу се мере и поступци које предузима предузеће које поседује изворе јонизујућих зрачења у случају унутрашњих удеса са изворима зрачења (члан 76. Закона о заштити животне средине).

Циљ овог Упутства је успостављање организације у друштву по вертикали, од Владе државе до установе која користи изворе јонизујућег зрачења и хоризонтали на сваком од ових нивоа, која може да обезбеди оптималну заштиту становништва и територије ван објекта, као и заштиту особља у објекту и самог објекта. Осим тога, ово Упутство дефинише кадрове, техничку и материјалну базу за испуњење овог циља. Оно је и у сагласности са најновијим међународним препорукама из ове области[3].

2. Организација

Организација друштва потребна за заштиту од удеса са изворима јонизујућих зрачења условљена је: постојећом организацијом државе; потребом што ранијег утврђивања да се удес десио; спречавању могућих последица у складу са организованошћу и могућностима друштва и што ефикаснијем санирању насталих последица по становништво и животну средину. Начелна организација активирања и деловања дата је на сл. 1.

Основни елементи организације су:

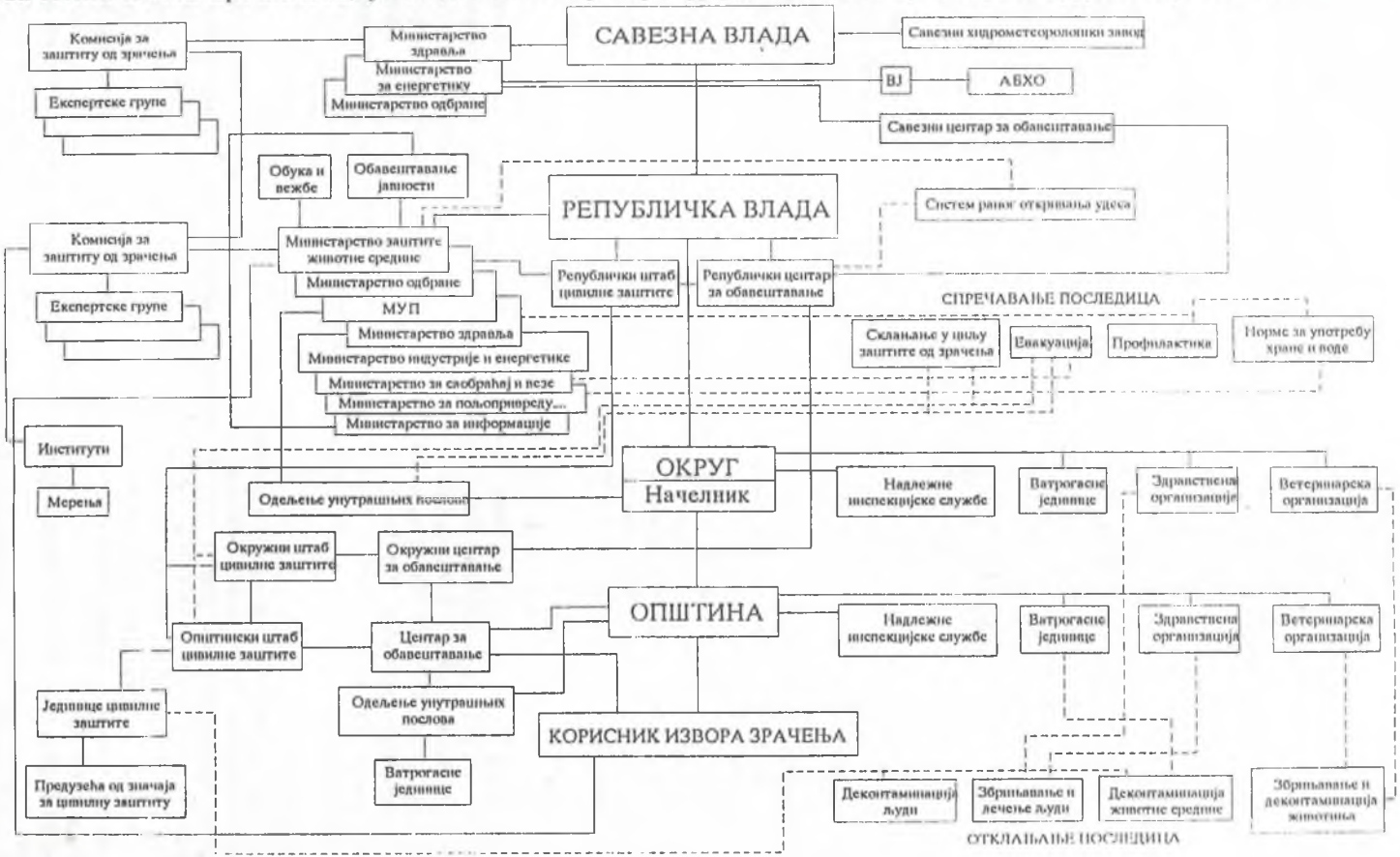
- Органи власти - дефинисани Уставом земље (Савезна влада, Републичка влада, округ, општина)
- Предузеће - корисник извора зрачења (ако се удес деси у земљи)
- Уз органе власти паралелно су везани: министарства (према шеми са слике), ВЈ (преко Министарства војске), милиција (преко МУП-а), институти (дају стручњаке за комисије везане за републичку и савезну владу), цивилна заштита (преко Савезног, односно Републичког Министарства одбране; овде је укључена и противпожарна служба)
- Линија откривања удеса: систем раног откривања удеса и непосредна линија (од руководиоца постројења које користи изворе до републичке и савезне владе)
- Мерења у случају удеса:
  1. појачавају се мерења која се у мирнодопско време врше према закону (члан 79. Закона о заштити животне средине)
  2. уводе се специфична мерења и ангажовање експертских тимова и појединаца (појединих института и ВЈ)
- Мере за спречавање последица удеса - доносе се на основу Правилника о интервентним нивоима ... (Сл. лист СФРЈ број 18/92). Такве мере су: склањање људи, профилактика (нпр.употреба таблета јода), постављање норми за забрану или одобравање употребе хране и воде, евакуација и друго
- Отклањање последица - врши се у складу са Правилником о интервентним нивоима ... (Сл. лист СФРЈ број 18/92). Могуће мере су: деконтаминација људи, деконтаминација животиња, деконтаминација терена, збрињавање и лечење људи, збрињавање животиња и биљне хране
- Обавештавање јавности - у надлежности је Владе, а уз непосредне консултације са Комисијом за заштиту од зрачења, односно одговарајућом експертском групом
- Обука и увежбавање екипа за деловање у случају удеса
- Едукација становништва о мерама заштите.

3. Функционисање система

Систем започиње функционисање утврђивањем да се десио нуклеарни удес. То може бити или директним јављањем из предузећа (установе) која користи изворе јонизујућег зрачења од стране директора, или на основу промптног мониторинга (углавном када се удес десио у иностранству). Ова информација треба најкраћим путем да доспе до Републичке владе.

Републичка влада активира рад Комисије за заштиту од зрачења и ставља јој на располагање све до тада познате чињенице о удесу. Комисија, у складу са својим обавезама, утврђује карактеристике удеса. Уколико она утврди да при удесу неће доћи

Начелна шема организације за деловање у случају удеса са изворима јонизујућих зрачења



до нежељног озрачавања становништва и територије, она ће о томе обавестити владу и тиме се сматра да је удес завршен. Уколико Комисија пак утврди да при удесу није могуће озрачавање становништва, али да ће доћи до озрачавања особља које ради у датој установи где се десио удес или да установа није у могућности да самостално санира удес, Комисија ће удес декларисати као локални и предложити потребна стручна тела, мерну опрему и начин санирања удеса (из организационе шеме у Прилогу).

Уколико Комисија пак утврди да постоји значајна вероватноћа да при том удесу дође до озрачења становништва у ближој и даљој околини места удеса, она ће предложити Републичкој влади да декларише нуклеарни удес и да се даље предузимају потребне мере у складу са организационом мрежом.

Прва мера је стављање Система мониторинга животне средине у режим непрекидног мерења. Сви резултати мерења треба да се непосредно и што брже достављају Комисији. На основу тих мерења Комисија сагледава стање удеса и предлаже Влади потребне мере. Прве мере тичу се спречавања могућих последица. Ако Комисија то установи за потребно, могу се предузимати следеће мере за спречавање последица: склањање људи, забрана кретања, евакуација, употреба таблета јода, забрана употребе хране и воде, и др. Које ће се од ових мера предузимати зависи од конкретног акцидента, а Комисија их предлаже водећи рачуна о свим аспектима, укључујући и економске и политичке.

Комисија прати спровођење ових мера и контролише даља мерења. Уколико она на основу тога установи да је дошло до штетних последица (контаминација људи, животиња, хране, околине и др.), предложиће Влади да почне са отклањањем последица. То раде институције дефинисане у организационој шеми. Те мере могу да обухвате: деконтаминацију људи, животиња и терена, збрињавање и лечење људи, и др. Које ће се од ових мера применити одлучиће Комисија, опет на основу измерених и процењених карактеристика удеса.

Комисија прати ове послове и утврђује да ли су последице отклоњене у складу са овим Упутством и на оптималан начин. Тада Комисија предлаже Влади да се означи крај удеса, као и потребна мерења у наредном периоду.

Током удеса важан аспект представља обавештавање јавности. То обавља Републичка влада преко свог званичног представника на основу предлога Комисије.

4. Закључак

Предложена организација друштва за деловање у случају удеса са изворима јонизујућег зрачења представља само први корак ка коначном циљу - спремност друштва да ефикасно делује при ванредним догађајима и да последице по становништво и животну средину сведе на прихватљив ниво. Најбољи начин за проверу те способности друштва су вежбе и игре са хипотетичким удесима. На основу реултата тих вежби и игара могу се и морају извршити измене и доградња организације друштва, начин фукционисања те организације и конкретни задаци појединих учесника.

Литература

[1] Закон о заштити животне средине. Службени гласник Р Србије, бр.66/91 и 83/92.

[2] Закон о заштити од јонизујућих зрачења и о нуклеарној сигурности, Сл.лист СФРЈ бр.53/91.

[3] A model national emergency responce plan for radiological accidents, IAEA-TECDOC-718, Vienna, sept.1993.

IONIZING RADIATION ACCIDENT PRACTICE

Милан Орлић, Драгољуб Ристић, Српко Марковић, Тома Тасовац, Душан Ђуракић, Марко Шимурина

Abstract

In this paper the optimal society organization for ionizing radiation sources accident practice has been presented.

Key words: ionizing radiation, sources, nuclear reactors, accident, accident practice

АНАЛИЗА ОСНОВНИХ ЗАХТЕВА СИСТЕМА ЗА РАНО ОТКРИВАЊЕ НУКЛЕАРНИХ УДЕСА

Бркић Д., Орлић М
Војнотехнички институт ВЈ - Београд, Катанићева 15

Резиме

У раду је анализирана потреба увођења и основне карактеристике система за рано откривање нуклеарних удеса (мерна величина, опсег и грешка мерења, време одзива, температурна зависност, пренос података). Приказано је савремено решење оваквог система на бази ПЦ рачунара.

Кључне речи: нуклеарни удес, систем ране најаве, гама зраци

1. Увод

Поред добробити које човечанству пружа нуклеарна енергија, посебно као велики енергетски ресурс, она представља и опасност по здравље људи и загађење животне средине. Једна од опасности је могућност радиолошке контаминације човекове околине. У нормалним условима рада нуклеарног објекта ризик од контаминације је знатно испод нивоа дефинисаног законским прописима. Међутим у акцидентним ситуацијама то не мора да буде тако. То је најбоље потврдио удес у Чернобилу. Главне карактеристике оваквих великих удеса су:

- велике површине контаминације и
- дуготрајна експозиција становништва.

У таквим ситуацијама главни задатак јесте спречавање спољашње и унутрашње контаминације људи. Мере које стоје на располагању су врло комплексне. Оне нису само техничке, већ и социјалне, економске и политичке. Трошкови спровођења тих мера могу бити изузетно високи. Из тих разлога мере се морају спроводити оптимално.

Мере могу да буду оптималне само ако је удес детектован врло рано. То је разлог зашто треба да постоји систем раног откривања нуклеарних удеса (промптни систем мониторинга). Посебно је важан уколико се удес десио ван граница земље, када информације о удесу могу да касне или намерно да изостану.

Информација промптног система мониторинга да се негде десио удес је основа за активирање укупног система мониторинга и система за спречавање и отклањање последица нуклеарног акцидента.

Због великог значаја промптног система мониторинга у овом раду анализиране су неке његове карактеристике: мерна величина, опсег и грешка мерења, време одзива, температурна зависност, пренос података.

2. Карактеристике промптног система мониторинга

Најбржи и најпогоднији начин за промптни мониторинг заснива се на мерењу јачине дозе гама зрачења на нивоу природног фона. Доња граница мерног опсега одређена је тим нивоом. Његова вредност зависи од више фактора, а најважнији су састав земљишта, надморска висина, метеоролошка ситуација, доба дана итд. Вредност 100 nGy/h задовољава али је пожељно користити и нижу вредност уколико сензор то омогућава.

Горња граница мерног опсега треба да буде изнад варијација природног фона. Те варијације изазване су првенствено метеоролошким условима. На пример, топљење снега повећава ниво фона просечно за око 20 %. Други прилаз за одређивање горње границе мерног опсега може да буде базиран на вредностима изодозних линија при хипотетичким и/или реалним удесима. Типичан пример је Чернобилски удес. У том случају горња граница достиже вредност од 1 cGy/h или више. Те више вредности нису неопходне, јер се на тим местима удес констатује и на друге начине.

Тачност мерења јачине дозе зависи од нивоа развијености коришћене мерне технике (детектор и електроника), функције система и толерантних трошкова. Компромис свих тих захтева доводи до дозвољене грешке мерења од ±20%. Ради се о основној грешци мерења у пољу гама зрачења ^{60}Co при стандардним условима температуре притиска и влажности. Поред ове постоје и додатне грешке мерења. Најзначајније су: грешка услед енергетске зависности, угаоне зависности и статистичких флуктуација. Енергетска зависност од ±30% у опсегу енергија гама зрака од 0,1 - 2,5 MeV (одговара спектру фисионих продуката) је прихватљива. Промптни систем мониторинга мери јачину дозе гама зрачења у фиксној геометрији па угаона карактеристика није критична.

Статистичке флуктуације треба да се разматрају заједно са ефикасношћу детектора и временом одзива. Вредност грешке услед статистичких флуктуација од ±20% је задовољавајућа.

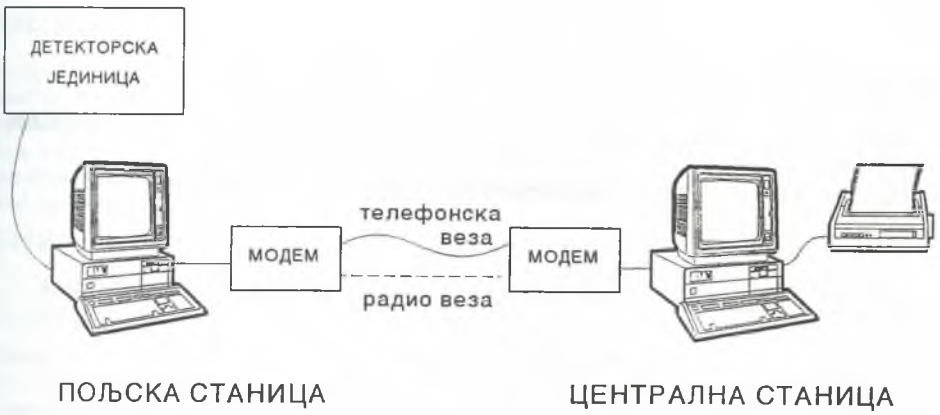
Време одзива система састоји се од времена одзива пољске станице и времена одзива централног система. Природа ширења зрачења не захтева изузетно брзе одзиве. Неколико секунди је идеално време одзива детекторског дела, али је и време од неколико десетина секунди задовољавајуће време одзива. Много критичније и важније је време одзива осталих делова система као што су: трансмисија података до централног рачунара и анализа података. То време зависи од броја станица и квалитета софтвера за интерпретацију и анализу података.

Делови система промптног мониторинга треба да раде исправно и у пољским условима. То значи да температурни опсег њиховог рада мора бити прилагођен датим климатским условима. Приликом градње система морају се узети у обзир и ови фактори.

3. Структура промптног система

Минимална конфигурација система промптног мониторинга састоји се од централне станице и више пољских станица лоцираних на различитим локацијама контролисане територије (слика 1). Пренос података треба да буде аутоматизован, Веза између пољских станица и централне станице треба да буде радио и/или телефонска веза. На захтев централне станице пољске станице треба да шаљу податке о вредности последње измерене јачине дозе. Уколико резултат мерења на пољској станици указује да је дошло до удеса (вредност јачине дозе изнад дефинисаног прага и/или одговарајућа брзину

пораста јачине дозе) та станица треба да самосталио достави информацију централној надзорној јединици. Централна станица састоји се од одговарајућег рачунара са периферним јединицама као што су квалитетан графички дисплеј, штампач. Ради рационализације система централна станица такође може бити конфигурисана са детекторским системом.



Слика 1. Основни елементи промптног система мониторинга

Софтверска подршка система треба да се састоји од: подсистема за рад пољске станице и подсистема за рад централне станице.

Кључни део софтвера у пољској станици је експертски систем одлучивања о природи ва-ријације фона. Овај систем подржан је базом података о претходним резултатима мерења фона на датој локацији. Систем одлучивања је самокорпгујући, што је обезбеђено уграђеним алгортмима за статистичку обрада претходно измерених и текућих података. Саставни део софтверског пакета пољске станице је комуникациони подсистем који треба да омогући успостављање везе са централном јединицом по захтеву централне јединице или по одлуци експертског система одлучивања. Централна станица треба да обезбеди пријем и упоређење измерених података пољских станица. Алгоритми за одлучивање су исти као код пољске станице, али су допуњени са логиком за упоредну анализу података са више станица.

4. Закључак

На основу изложене анализе може се закључити:

1. Промптни систем мониторинга је од великог значаја за рано откривање акцидената на нуклеарним постројењима.
2. Он иницира остале елементе система за мониторинг, спречавање и отклањање последица нуклеарног акцидента.
3. Најбољи начин реализације промптног система мониторинга базиран је на мерењу јачине дозе гама зрачења на нивоу природног фона.
4. Карактеристике система изнете у овом раду су минимална основа за конципирање савременог система промптног мониторинга.

Литература

[1] Per-Einar Kjelle. Fallout in Sweden from Chernobyl, Part I, SSI-Report 86-20, Stockholm, Sweden, 1986.

[2] Digitalgammameter DG 14, Technical information, Studsvik, Sweden, Novembar 1986.

ANALISYS OF BASIC CHARACTERISTICS OF PROMPT SYSTEM FOR GAMMA MONITORING

Brkić D., Orlić M., Vujasinović D.

Abstract

The needs for and characteristics of Prompt system gamma monitoring are analysed. The basic structure of PC based system is presented.

Key words: nuclear accident, prompt system monitoring, gamma rays

KONTEJNER ZA PRIVREMENO ODLAGANJE ZATVORENIH RADIOAKTIVNIH IZVORA Eu-152,154

Rajko Dobrijević, Jurij Vučina, Andrija Janković
Institut za nuklearne nauke "VINČA"
Laboratorija za za radioizotope "RI"
P.P. 522, 11001 BEOGRAD

REZIME:

Zatvoreni izvori radioaktivnog zračenja Eu-152,154 koji se demontiraju sa radioaktivnih gromobrana mogu se privremeno odlagati u poseban kontejner prikazan u ovom radu. Proračun i konstrukcija kontejnera sa olovnom zaštitom su uradjeni za 1500 izvora ukupne aktivnosti do 8,5 /TBq/. Dimenzije i konstrukcija kontejnera prilagodjeni su manipulativnim sistemima koji se već nalaze u Institutu.

Ključne reči: Eu-152,154, zatvoreni izvori zračenja, olovni kontejner, odlaganje radioaktivnih izvora

1. UVOD

Jedan od problema koji prati demontažu radioaktivnih izvora Eu-152,154 sa gromobranskih instalacija je njihovo bezbedno odlaganje. Institut za nuklearne nauke "VINČA", Laboratorija za radioizotope je proizvodjač svih radioaktivnih izvora koji se nalaze na gromobranima. Koristeći dugogodišnje iskustvo u radu na razvoju, proizvodnji i primeni zračenja a uzimajući u obzir postojeće uredjaje i opremu autori su se odlučili za konstrukciju univerzalnog kontejnera u koji se može smestiti 1500 radioaktivnih izvora Eu-152,154, ukupne aktivnosti do 8,5 /TBq/. Pored privremenog odlaganja ovaj kontejner treba da omogući i bezbedno vadjenje, odnosno uzimanje odredjenog broja izvora radi eventualne "reciklaže", tj. prerade za neku drugu namenu.

2. REZULTATI I DISKUSIJA

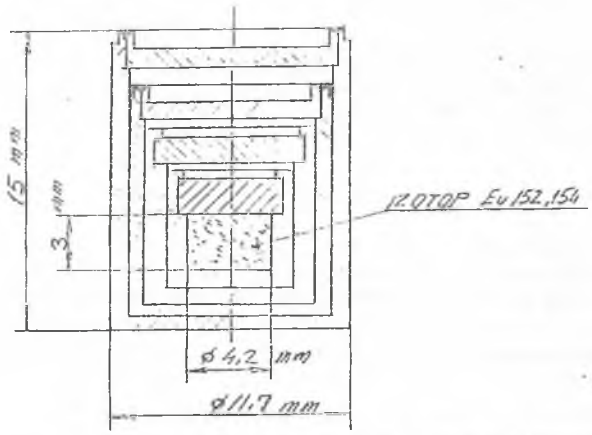
Na gromobranskim instalacijama na teritoriji današnje Jugoslavije ugradjeno je oko 3000 radioaktivnih izvora Eu-152,154. Najveći broj imao je početnu radioaktivnost 14,8 /TBq/ dok se na oko 10% instalacija ugradjeni izvori početne radioaktivnosti 7,4 /TBq/.

Uzimajući u obzir dinamiku ugradnje, ugradjenu radioaktivnost i vreme poluraspada može se zaključiti da je trenutno prosečna radioaktivnost izvora oko 5.5/TBq/, a ukupna radioaktivnost oko 15,5 /TBq/.

Radioaktivni izvor Eu-152-154 prikazan je na slici 1.

Kao meta kod (n,γ) reakcije korišćen je sinterovani prah Eu_2O_3 zapertlovan u dvostruku čauru od vrlo čistog Al. Nakon ozračivanja u nuklearnom reaktoru meta je zavarivanjem zatvorena u dvostruku čauru od nerdjajućeg čelika. Ovako strogi uslovi zatvaranja radioaktivnog materijala diktirani su samom namenom iz-

vora. U uslovima eksplotacije moguća su termomehanička oštećenja usled el. pražnjenja odnosno hemijska oštećenja u agresivnoj sredini. Pre montaže izvori su podvrgnuti testovima na kontaminaciju i hermetičnost po propisima ISO/TR 4826. Na izvorima su ugravirane oznake proizvodjača (YVGEu) i serijski broj.



SL.1 PRESEK IZVORA

3. KONSTRUKCIJA I OPIS KONTEJNERA

Kontejner predstavljen u ovom radu namenjen je za privremeno odlaganje izvora Eu-152,154 koji nisu pretrpeli termotehnička oštećenja i kod kojih nije došlo do kontaminacije površine usled eventualnog "curenja" radioaktivnog materijala. Ovo se proverava vizuelnom kontrolom i testom na kontaminaciju metodom brisa.

Poprečni presek kontejnera sa naznačenim dimenzijama prikazan je na slici 2.

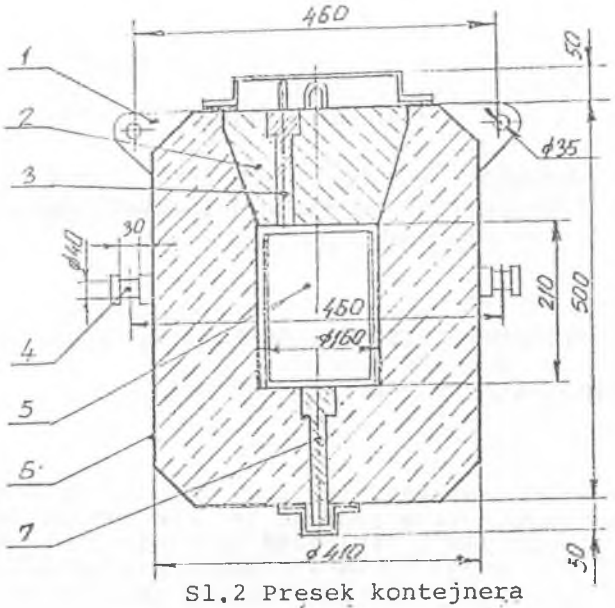
Gabariti kontejnera preračunati su tako da se u njega može smestiti 1500 izvora ukupne aktivnosti oko 8,5 /TBq/. Popunjenost zapremine rupe kontejnera je predpostavljena veličina, data je odnosom zapremine rupe i zapreminom svih 1500 izvora, faktor K=1,7.

Kod proračuna debljine olovne zaštite pošlo se od predpostavke da je jačina ekspozicione doze na 1/m/ od izvora 8,9 10^{-11} /$Ckg^{-1}s^{-1}$/ i da je izvor tačkastog oblika.

Ekspoziciona doza bez ekrana na 1/m/ za radioaktivnost od 8,5 /TBq/ iznosi 7,7x10^{-6} /$Ckg^{-1}s^{-1}$/.

Za faktor slabljenja 10^5 i srednju vrednost svih energija γ-zračenja 0,7 /MeV/ iz tablica (N.G.Gusev 6.1) se može uzeti da debljina zaštitnog ekrana od Pb iznosi 11 /cm/.

U realnim uslovima izvor nije tačkastog oblika a takodje ni izliveno olovo nije kompaktno te je usvojena debljina od 12,5/cm/. Usled slabljenja zaštite na otvorima debljina čepova je povećana za dodatnih 1,5 /cm/. Masa kontejnera iznosi 660 /kg/.



Sl.2 Presek kontejnera

Izliveni olovni ekran se nalazi u oklopu od običnog čeličnog lima (6) debljine 4 /mm/. Unutarnji oklop je od nerdjajućeg čelika. Na kontejneru se nalaze tri otvora. Mali otvor (3) u velikom čepu služi za stavljanje ili vadjenje samo po jednog izvora. Veliki čep (2) se vadi samo prilikom eventualne manipulace sa ukupnom količinom izvora. Otvor i poluga na donjoj strani kontejnera (7) služe za izbacivanje poluge sa izvorima (5) teleskopskim sistemom.

Izvori u kontejneru smešteni su u posudi od nerdjajućeg čelika. Predvidjeno je da prostor u kontejneru bude potpuno zaptiven i tako zaštićen od vlage i gasova.

Za manipulaciju sa kontejnerom predvidjene su ušice /1/ i dve ručke /4/.

4. ZAKLJUČAK

Prednosti ovakvog kontejnera su što se na relativno malom prostoru može smestiti veliki broj radioaktivnih izvora. Kontejner se preko malog otvora može jednostavno puniti uz minimalno ozračenje operatera. Vadjenje izvora pneumatskim sistemom je jednostavno i bezbedno. Predvidjeni materijali i izvori ne zahtevaju velika ulaganja. Ulaganja se dodatno smanjuju i time što je kontejner prilagodjen postojećoj opremi koja se koristi za demontažu i raspakivanje radioaktivnih izvora. Konstruktivno rešenje kontejnera je prihvatljivo i za odlaganje drugih radioaktivnih izvora γ-zračenja pri čemu gabariti zavise od energije zračenja i ukupne aktivnosti.

LITERATURA

1 B.Radosavljević, Dj.Nemoda, T.Memedović, Lj.Birčanin "Proizvodnja radioaktivnih izvora u IBK" Konferencija o korišćenju nuklearnih reaktora u Jugoslaviji, Beograd 17-19. maj 1978.g.

2 INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY SAFETY SERIES N^{O} 6 "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials", 1195 Edition

CONTAINER FOR THE TEMPORARILY DISPOSAL OF Eu-152,154 SEALED RADIOACTIVE SOURCES

Rajko Dobrijević, Jurij Vučina, Andrija Janković

ABSTRACT

The specially cnstructed container for the temporatily disposal of Eu-152,154 sealed radioactive sources is referred in the paper. The container is provided by the lead shielding thus enabling the torage of 1500 sources of total radioactivity of about 8,5 /TBq/. The dimensions and construction are adapted to the present systens for manipulations which already exist in the Institute.

Key words: Eu-152,154 sealed radioactive sources, disposal of radioaktive sources.

DIZAJN I PRORAČUN DEBLJINE ZAŠTITNIH ZIDOVA BUNKERA BRAHITERAPIJSKIH APARATA SA IZVORIMA ZRAČENJA VISOKIH AKTIVNOSTI

Jovan Stanković, Milan Sarić, Predrag Trbojević, Ljiljana Jelić
Institut za onkologiju i radiologiju Srbije, Pasterova 14, 11000 Beograd
Miroslav Tomašević, Duško Košutić
UKC Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr D. Karajović", Pasterova 2, 11000 Beograd

Rezime

Proračun debljine primarnih zaštitnih barijera brahiterapijskih uređaja sa izvorima visokih aktivnosti (preko 370GBq) izvršen je na osnovu meteodologije koja se koristi kod proračuna zaštite za aparate koji proizvode jonizujuća zračenja visokih energija (2-25 MeV). Na osnovu procene radno-doznog opterećenja u vremenskom periodu od jedne nedelje, vremenskog faktora usmeravanja primarnog snopa zračenja ka barijeri i vremenskog faktora korišćenja prostora iza zaštitnih barijera, izračunata je minimalna potrebna debljina betonske zaštite, koja omogućuje bezbedno korišćenje uređaja u skladu sa važećim propisima o zaštiti od jonizujućih zračenja. Eksperimentalna merenja potvrđuju ispravnost primenjene metodologije.

Ključne reči: zaštitni zidovi, brahiterapija, terapijski bunkeri, izvori zračenja, medicina

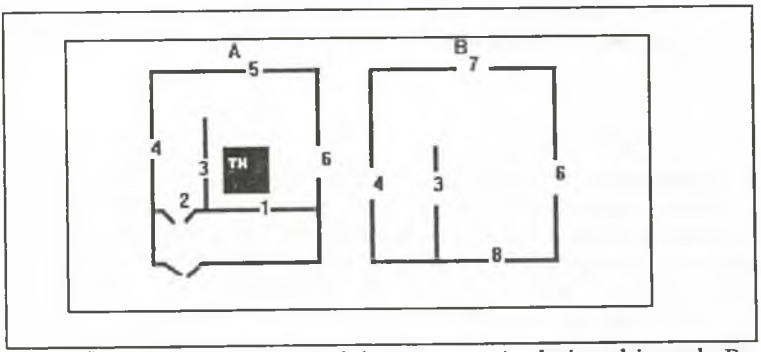
1. Uvod

Terapija na savremenim brahiterapijskim uređajima sa visokim jačinama terapijske doze u referentnom terapijskom volumenu ($[D/t]_R$ > 0,2 Gy/min), obavlja se u posebno konstruisanim brahiterapijskim bunkerima ili bunkerima teleterapijskih aparata [1]. Korišćenje terapijskih bunkera teleradioterapijskih aparata (kobalt bombe i linearnog akceleratora) u ove svrhe ima određene nedostatke prvenstveno vezane za organizaciju rada (ograničenje-smanjenje broja polja po jednoj smeni), važeću zakonsku regulativu (Zakon ne dozvoljava smeštanje dva terapijska aparata iste ili različite namene u isti terapijki bunker), probleme izvođenja potrebne instalacije (posebno instalacije zaštitnih i sigurnosnih sistema) itd. S obzirom na sve to, za smeštaj brahiterapijskog uređaja za automatsko uvođenje iridijumskog (^{192}Ir) izvora zračenja početne aktivnosti od 370 GBq (dimenzija: prečnika 1,1 mm i dužine 3,5 mm) u predhodno "na hladno" aplikovane vodiče, Microselectron HDR (Nucletron-Oldelft B.V., Holandija), konstruisan je poseban zaštitni terapijski bunker. Raspoloživost prostora i specifičnost terapije na Microselectron HDR brahiterapijskom uređaju (od aplikacije vodiča izvora do samog ozračivanja), zahtevala je drugačiji pristup rešavanju problema nego što je to u slučaju organizacije prostora za smeštaj brahiterapijskih uređaja za intrakavitarnu brahiterapiju tumora ginekološke regije [2].

Osnovni problemi zaštite pri konstrukciji brahiterapijskog bunkera za ovakav tip uređaja, su vezani za izbor vrste materijala i debljine primarnih i sekundarnih barijera i ulaznih vrata bunkera, a u direktnoj su vezi sa veličinom korisne površine bunkera, pozicijom bunkera u okviru radioterapijskog-brahiterapijskog odeljenja, organizacijom korišćenja okolnog prostora, cenom i mogućnošću nabavke materijala za izradu zaštitnih zidova itd. Poseban problem predstavlja i procena udela stvarnog vremena zračenja u odnosu na ukupno vreme zadržavanja kako, profesionalno izloženog osoblja, tako i pojedinaca iz stanovništva i stanovništvo uopšte (okolina).

Osnovne postavke arhitektonskog rešenja. Bunker Microselectron HDR brahiterapijskog uređaja je smešten u okviru radioterapijskog odeljenja u već postojeći prostor (rekonstruisan). Veličina korisne površine bunkera iznosi 16 m^2 odnosno 20 m^2, uključujući ulazni lavirint. Ulazni lavirint je izgrađen u cilju zaklanjanja ulaznih vrata, povećanja broja refleksija i smanjenja energije i intenziteta zračenja na vratima (smanjenje potrebne debljine zaštite na vratima - smanjenje težine vrata) i pojedinim zidovima, koji se u tom slučaju mogu tretirati kao sekundarne barijere. Kao najpodesniji materijal za izradu zidova izabran je običan beton, a ulazna vrata bunkera su izrađena od drveta i obložena olovnim limom debljine 2 mm. Na Slici 1. dat je šematski prikaz bunkera i njegovog okruženja.

U bunker je uvedena ventilacija (sa klima sistemom), a broj izmena ukupne zapremine vazduha u bunkeru i komandnoj sobi iznosi 6. Pri uvođenju ventilacionih cevi, gde god je to bilo potrebno, izgrađene su posebne betonske "zaštitne terase" potrebnih dimenzija i debljine od minimum 25 cm, koje zaklanjaju otvore kroz koje prolaze ventilacione cevi od primarnog snopa zračenja.



Slika 1. Šematski prikaz bunkera i okolnog prostora: A - horizontalni presek; B - vertikalni presek (1-komandna soba (zid - primarna barijera); 2-ulazna vrata bunkera (sekundarna barijera); 3-zid lavirinta; 4-zid ka trafostanici (sekundarna barijera); 5-spoljni zid zgrade (primarna barijera; ka dvorištu, parkingu, saobraćajnici);6-mašinska soba linearnog akceleratora (već postojeća primarna barijera debljine-baritni beton debljine 135cm); 7-plafon ka dečijem odeljenju-bolesničkim sobama (primarna barijera); 8-pod (na zemlji)).

Metoda proračuna debljine primarnih barijera

Proračun debljine barijera za brahiterapijski bunker Microselectrona HDR vršen je za najnepovoljnije uslove (bez apsorpcije u pacijentu). S obzirom da se iridijumski izvor zračenja samo u toku terapije izvlači iz kontejnera (sastavni deo uređaja), proračun debljine primarnih barijera barhiterapijskog bunkera izvršen je analogno proračunima debljine zidova kod linearnih elektronskih akceleratora [3] i megavoltažnih tele-radioterapijskih uređaja [4], jedn.(1).

$$d = (\mu/\rho)_t^{-1}\, \rho^{-1} \ln (W\, U\, T\, B\, H^{-1}\, r^{-2}) \qquad (1)$$

gde je: $(\mu/\rho)_t$ - totalni maseni atenuacioni koeficijenat; ρ - gustina izabranog zaštitnog materijala; W - radno-dozno opterećenje (workload) u određenom vremenskom periodu; U - vremenski faktor usmeravanja primarnog snopa zračenja ka barijeri u toku terapije (usage factor); T - vremenski faktor korišćenja prostora iza zaštitne barijere (occupational factor); B - faktor nagomilavanja (dose build up factor); H - granična ekvivalentna ili apsorbovana doza zračenja u vazduhu za profesionalno izloženo osoblje (H_p = 1 mG/ned.) ili pojedince iz stanovništva (H_s = 0,02 mGy/ned.)[5]. Za pacijente i pratioce na dečijem odeljenju (iznad bunkera) korišćen je faktor sigurnosti jednak 2; r - minimalno rastojanje

između izvora zračenja i mesta merenja (iza barijere). Za slučaj incidenta u smislu ispadanja izvora iz uređaja (kontejnera), planirana je intervencija pri kojoj se izvor zračenja odlaže u specijalno za tu namenu određen kontejner od olova, debljine zida 8 cm. Mesto merenja na dečijem odeljenju (pozicija B-7) se nalazi na 30 cm vertikalno od poda prostorije.

Srednja energija u spektru fotonskog zračenja ^{192}Ir koji je inkapsuliran u čeličnu košuljicu debljine 0,5 mm iznosi oko 300keV (334 i 260 keV respektivno) [6]. Totalni maseni atenuacioni koeficijenat za običan beton gustine ρ = 2,35 g cm^{-3} i gama zračenje energije oko 500 keV iznosi $(\mu/\rho)_t$ = 0,0870 cm^2g^{-1} [7]. Nedeljno radno - dozno opterećenje W = 750Gy cm^2 $ned.^{-1}$ (prosečno: 15 pacijenata na dan; 10 Gy/pac.; 5 radnih dana nedeljno; dozirano na rastojanju 1 cm od izvora zračenja) tj. W= 75 mGy m^2 $ned.^{-1}$. Dozni faktor nagomilavanja (B) za tačkasti izotropni izvor gama zračenja energije od 500 keV izračunat je korišćenjem jedn. (2) [8,9] i iznosi B = 39,3 za običan beton,

$$B = A\, e^{-\alpha 1\, \mu\, d} + (1-A)\, e^{-\alpha 2\, \mu\, d} \qquad (2)$$

gde A, $\alpha 1$ i $\alpha 2$ predstavljaju konstante (A = 38,225; $\alpha 1$ = -0,14824; $\alpha 2$ = -0,10579) [7,8]; μ - linearni apsorpcioni koeficijent za običan beton; d - procenjena srednja debljina betona (oko 35 - 45 cm).

U Tabeli I. prikazani su osnovni parametri korišćeni za proračun kao i izračunate debljine barijera od običnog betona.

TABELA I. Izračunate debljine barijera za brahiterapijski bunker uređaja Microselectron HDR (jedn.(1)) i na osnovu izmerenih vrednosti procenjene maksimalne vrednosti godišnje apsorbovane doze zračenja za osobe koje se nalaze u prostorijama u okolini brahiterapijskog bunkera uređaja Microselectron HDR (H_{proc}) (Slika 1.).

	POZICIJA A-1	POZICIJA A-5	POZICIJA B-7
H_i (mGy/ned.)	1,00	0,02	0,01
r_{min} (m)	1,20	4,00	4,03
U	1	1	1
T	1	0,0625	1
d (cm)	37	31	48
STANJE (cm)**	ob.40 + m.4	c.25 + ob.25 + m.2	ob.45
$H_{proc.}$ (mGy/god.)*	5,1	1,1	0,3

* - procena izvršena na osnovu merenja sa prospekcionim dozimetrom (Victoreen Model 450P); prosečno vreme provedeno na dečijem odeljenju 13 nedelja godišnje; prosečno radno angažovanje radioloških tehničara 44 nedelja godišnje (po dva radiološka tehničara u smeni).

** - ob. - običan beton; c. - puna cigla; m. - malter. Debljine date u cm.

Zaključak

U periodu od decembra 1994. godine do danas, na ličnim TL dozimetrima (Harshaw TLD) registrovane apsorbovane doze zračenja za profesionalno izloženo osoblje (radiološke tehničare) ne prelaze 0,5mGy/mesec, što ukazuje na izrazito dobar kvalitet ugrađene zaštite, a posledica je efektivnog povećanja udaljenosti tehničara za vreme rada aparata na oko 2,5m od izvora, tj. 2,1 put u odnosu na planirano rastojanje (sa spoljnje strane zida bunkera). Procenjene maksimalne vrednosti godišnje apsorbovane doze zračenja za osobe koje se nalaze u prostorijama u okolini brahiterapijskog bunkera uređaja Microselectron HDR (H_{proc}) se dobro slažu sa, u proračun unesenim, graničnim

vrednostima (Tabela I.).

Primenjena metoda proračuna, za razliku od metode proračuna kada se kao osnovni parametar koristi jačina ekspozicione doze jonizujućih zračenja u tački, omogućuje dobijanje kvalitetnih i u praksi primenljivih rezultata, u uslovima kada se po prirodi posla, ozračivanje ne sprovodi kontinuirano, a vreme rada produžava u skladu sa raspadom radioaktivnog izotopa, posebno u slučajevima kada se koriste izvori zračenja kraćih vremena poluraspada (nekoliko meseci).

S obzirom na dobijene rezultate, identična metodologija proračuna debljine primarnih barijera, se može primeniti za sve uređaje koji poseduju izvore zračenja ili proizvode jonizujuća zračenja.

Literatura

[1] Young P., Radiation Protection Survey of a ^{60}Co Teletherapy Room for Prospective Use with an ^{192}Ir High Dose Rate Afterloader, Activity Vol.4., No.1., 1990,pp. 17-19.

[2] Vujnić V., Merkaš Z., Milenković M., Bekerus M., Radiolška zaštita kod uređaja za brahiterapiju sa izvorima visokog aktiviteta, VII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi, 20-30, 1975., str.111-115.

[3] International Atomic Energy Agency, Technical Report Series No.188., Radiological Safety Aspects of Operation of Electron Linear Accelerators, IAEA Vienna 1979.

[4] Giese R., Shielding Calculations for Megavotage Gamma & X-ray Therapy Facilities, In Radiotherapy Safety, American Association of Physicists in Medicine, Symposium Proceedings No.4., Ed. B. Thomasden, Publ. American Institute of Physics, New York USA 1984,pp.35-44.

[5] IAEA, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and the Safetyof Radiation Sources, Safety Series No. 115-I (interim edition), IAEA, Vienna 1994,pp.91-95

[6] Meli J., Meigooni A. and Nath R., On the Choice of Phantom Material for the Dosimetry of Iridium-192 Sources, Int.J. radiation Oncology Biology Physics, 14(1988)587-594.

[7] Goldstein H. and Wilkins E. Jr., Calculations of the Penetration of Gamma Rays, USAEC Report NYO-3075, Nuclear Development Associates Inc., June 1954.

[8] Goldstein H., Fundamental Aspects of Reactor Shielding, Reading Mass: Addison-Wesley, New York USA 1959.

[9] Paić V. i Paić G., Osnove radijacione dozimetrije i zaštite od zračenja, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb 1983.,str.258-276.

DESIGN AND SHIELDING CALCULATIONS FOR HDR BRACHYTHERAPY AFTERLOADER FACILITIES

J. Stanković[1], M. Sarić[1], M. Tomašević[2], D. Košutić[2], P. Trbojević[1], Lj. Jelić[1]

[1] Institute of Oncology and Radiology, Pasterova 14, 11000 Belgrade, Yugoslavia

[2] UCC Institute of Occupational and Radiological Health "Dragomir Karajović", Pasterova 2, 11000 Belgrade, Yugoslavia

Abstract. Barchytherapy treatment room shielding was designed and calculated according with a therapy room for external beam units. This methodology was useful especially when short life radioisotopes and sources of high activity were used. The minimum thickness of the primary barriers were calculated, designed and experimentally tested.

Key words: Shielding Barriers, Brachytherapy, Treatment Room, Radiation Protection, Medicine

MODERNIZACIJA SIGURNOSNOG SISTEMA RADIJACIONE JEDINICE ZA INDUSTRIJSKU STERILIZACIJU

Vujo Drndarević, Danko Djurić, Aleksandar Koturović, Miroljub Arandjelović, Ratko Mikić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", P. fah 522, 11001 Beograd

Rezime - *Izvršena je modernizacija postojećeg sigurnosnog sistema radijacione jedinice za industrijsku sterilizaciju u Institutu za nuklearne nauke " Vinči". U cilju povećanja radijacione bezbednosti postrojenja realizovane su najnovije preporuke i zahtevi IAEA. U radu je data koncepcija i postupak modernizacije sigurnosnog sistema. Opisani su novi elementi sigurnosnog sistema i ukazano je na poboljšanja koja se modernizaciom sigurnosnog sistema postižu.*

Ključne reči: sigurnosni sistem, radijaciona jedinica, ^{60}Co.

1. Uvod

U radijacionoj jedinici u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" obavlja se industrijski proces sterilizacije medicinske opreme za jednokratnu upotrebu i konzerviranje prehrambenih, farmaceutskih, kozmetičkih i drugih proizvoda i sirovina. Za sterilizaciju se koristi jonizujuće zračenje, a kao izvor ovog zračenja izotop ^{60}Co. Aktivnost primenjenog izvora je $9.25 \cdot 10^{15}$Bq. Jedinica je projektovana tako da se može bezbedno primeniti izvor maksimalne aktivnosti $3.7 \cdot 10^{16}$Bq [1].

Izvor ^{60}Co je dvostruko inkapsuliran i kada nije u radnom položaju, odlaže se u bazen sa vodom na dubinu od 6.5m. Izvor se u radni položaj dovodi podizanjem uz pomoć odgovarajućeg uredjaja, elektromotornog vitla i užeta. Vraćanje izvora u bezbedan položaj moguće je i pri nestanku električnog napajanja, pod dejstvom zemljine teže. Pristup prostoru (ćeliji) u kome se vrši ozračivanje strogo je kontrolisan.

U cilju sperečavanja mogućnosti uvećanog izlaganja jonizujućem zračenju i izbegavanja ozleda operatera i drugih lica, kao i sprečavanja oštećenja opreme, jedinica za industrijsku sterilizaciju opremljena je autonomnim sigurnosnim sistemom. Sigurnosni sistem, u akcidentalnim situacijama ili u slučaju neispravnog rada nekog svog elementa, automatski zaustavlja proces ozračivanja i izvor vraća u bezbedan položaj.

S obzirom na konstrukciju jedinice i princip primenjen za odlaganje izvora ovo postrojenje se svrstava u grupu IV postrojenja za industrijsku sterilizaciju [2].

2. Opis postojećeg sigurnosnog sistema

Postojeći sistem radijacione sigurnosti, osiguravao je u dugom vremenskom periodu od 1978. godine, siguran i po osoblje i okolinu bezbedan rad postojenja. U cilju opisa principa rada i načina delovanja postojećeg sigurnosnog sistema, potrebno je klasifikovati režime rada postrojenja.

Radijaciona jedinica može se nalaziti u jednom od sledećih režima rada:

a) Normalan rad; izvor je u radnom ili bezbednom položaju, ili na putu izmedju ta dva položaja.
b) Posebni uslovi; zamena ili rekonfiguracija izvora.
c) Akcidentalni uslovi.

U normalnom radu, ako je ozračivanje proizvoda u toku, sigurnosni sistem je aktivan (armiran) i osoblju nije omogućen ulaz u ćeliju za ozračivanje. Kada se izvor nalazi u bezbednom položaju, osoblje može ući u ćeliju za ozračivanje samo ako je sigurnosni sistem dezarmiran.

Zamena ili rekonfiguracija izvora zračenja obavlja se u posebnim uslovima i pod

rukovodstvom ovlašćenog lica. Ovo lice odgovara za kompletnu radijacionu bezbednost operacije, pri čemu na raspolaganju stoje dozimetrijski merni kanali i prenosni monitor zračenja.

Akcidentalni uslovi mogu nastati kao posledica neradijacionih ili radijacionih uzroka. Postojeći sistem sigurnosti reaguje na nestanak električnog napajanja kao neradijacioni uzrok i eventualno ispadanje izvora ^{60}Co iz nosača, ili na pokušaj ulaska lica kroz tehnološke prolaze kao radijacioni uzrok. Reakcija sigurnosnog sistema na neispravnost u funkcionisanju ili na detekciju pojave akcidentalnih uslova je spuštanje izvora u bezbedan položaj.

Postojeći sigurnosni sistem sadrži sledeće elemente: dva merna kanala sa jonizacionim komorama za merenje intenziteta zračenja u ćeliji za ozračivanje i lavirintu za transport materijala koji se steriliše, nagazne ploče na oba tehnološka prolaza, potezno uže i tastere za urgentno zaustavljanje koji su postavljeni u ćeliji za ozračivanje, sklop za generisanje vremenske zadrške za inspekciju ćelije tokom sekvence pripreme za rad i elektromagnetnu bravu na vratima ćelije.

Pomoću jonizacione komore koja se nalazi u ćeliji za ozračivanje merenjem zračenja detektuje se položaj izvora. Kada se izvor nalazi u radnom položaju onemogućen je ulaz u ćeliju. Druga jonizaciona komora, koja se nalazi u lavirintu za transport materijala, služi da detektuje akcidentalno iznošenje izvora iz ćelije. Kvar bilo kog mernog kanala prouzrokuje urgentno zaustavljanje procesa i spuštanje izvora u bezbedan položaj.

Transport proizvoda u ćeliju i iz ćelije obavlja se kroz odgovarajuće tehnološke otvore - prolaze a uz pomoć konvejerskog sistema sa visećim metalnim kabinama. Na oba prolaza postavljene su nagazne ploče koje registruju svaki pokušaj prolaska lica kroz ove prolaze. Aktiviranjem nagazne ploče proces ozračivanja se zaustavlja a izvor spušta u bazen.

U toku pripreme za puštanje postrojenja u rad, operater vrši inspekciju ćelije za ozračivanje i u kratkom vremenu, definisanom preko sklopa za generisanje vremenske zadrške, zatvara i zaključava vrata ćelije. Za slučaj da neko lice ostane u ćeliji za ozračivanje ili u transportnom prolazu, na raspolaganju mu stoje potezno uže i tasteri za urgentno zaustavljanje procesa i vraćanje izvora u bezbedan položaj.

Za potrebe rutinske kontrole nivoa zračenja u prostorijama jedinice, osoblju na raspolaganju stoji prenosni monitor zračenja. I pored pisanih procedura i zahteva za korišćenjem ovog monitora, u slučajevima akcidenata do kojih je došlo na sličnim postrojenjima u svetu, prenosni monitor je bio neispravan ili uopšte nije korišćen [3].

3. Modernizacija sigurnosnog sistema

U cilju povećanja radijacione sigurnosti postojenja kao i usaglašavanja karakteristika sigurnosnog sistema sa najnovijim zahtevima i preporukama Medjunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) [2,4], pristupilo se modernizaciji postojećeg sistema radijacione sigurnosti.

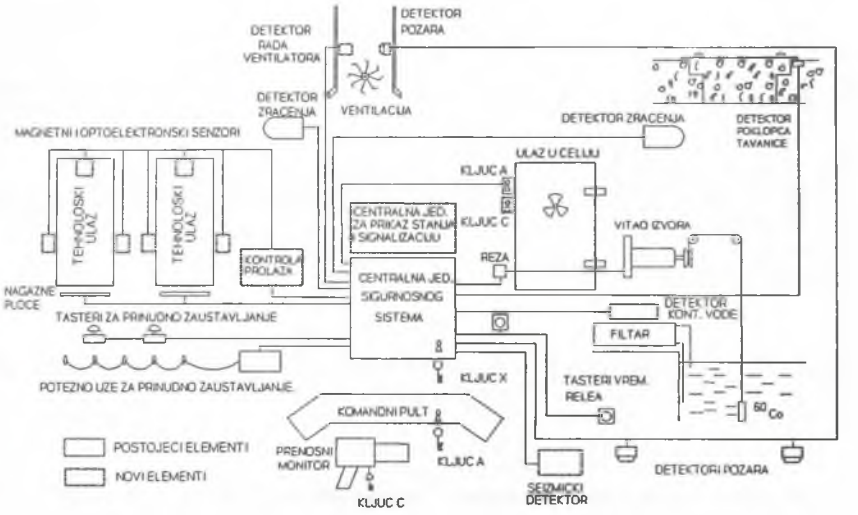
Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred modernizovani sigurnosni sistem odnose se na proširenje mogućnosti detekcije kako neradijacionih tako i radijacionih uzroka akcidentalnih stanja uz zadržavanje koncepcije, načina delovanja i svih elemenata postojećeg sigurnosnog sistema. Takodje, zahteva se pregledniji prikaz stanja i uzroka delovanja sigurnosnog sistema, kao i mogućnost povezivanja ovog sistema na centralni procesni računar.

Modernizovanim sistemom obuhvata se detekcija pojave požara u bilo kom delu jedinice i detekcija zemljotresa. Modernizacija sigurnosnog sistema odnosi se i na mogućnosti detekcije prskanja inkapsulacije izvora ^{60}Co kao i uvodjenje dodatnog optoelektronskog sistema kontrole tehnoloških prolaza. Ovi prolazi su u postojećem sistemu bili obezbedjeni nagaznim pločama.

Sigurnosni sistem proširen je novim elementima [5]:

- centralna jedinica za prikaz stanja i signalizaciju,
- elektronski sistem za kontrolu tehnoloških prolaza,
- detektor kontaminacije vode bazena,
- detektor požara,
- seizmički detektor,
- uključivanje prenosnog monitora zračenja u sigurnosni sistem.

Svi postojeći i novododati elementi povezani su na novu centralnu jedinicu za prikaz stanja i signalizaciju. Sada je u sigurnosni sistem povezan i prenosni monitor zračenja. Blok šema modernizovanog sistema radijacione bezbednosti radijacione jedinice data je na slici 1.



Sl. 1 Modernizovani sistem radijacione sigurnosti

Detektor kontaminacije vode bazena nalazi se neposredno uz filtar u sistemu za demineralizaciju i prečišćavanje vode. Ovim detektorom bilo bi registrovano eventualno "curenje" radioaktivnosti inkapsuliranog ^{60}Co. S obzirom na veliku osetljivost merenja od 1 μSv/h, moguće je otkriti prisustvo veoma niske radioaktivnosti u vodi (0.1mSv/h), čime bi bila omogućena pravovremena intervencija osoblja.

U slučaju detekcije požara sigurnosni sistem automatski zaustavlja proces ozračivanja a izvor biva spušten u bezbedan položaj. Istovremeno zaustavlja se ventilacija.

Seizmički detektor, koji se nalazi na zaštitnom zidu ćelije, registruje potrese najavljujući zemljotres koji bi mogao da ošteti zaštitni zid. U slučaju detekcije zemljotresa izvor se, slobodnim padom, spušta u bezbedan položaj.

Nova centralna jedinica za prikaz stanja i signalizaciju pruža operateru potpunu informaciju o stanju u kome se pogon trenutno nalazi kao i uzrok sigurnosnog zaustavljanja procesa. Sve informacije ispisuju se na alfanumeričkom LCD displeju od 2X20 karaktera. Na displeju se pojavljuju poruke tipa:

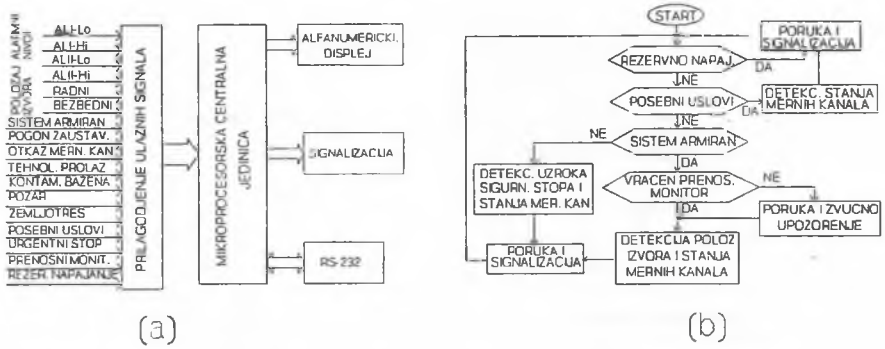
ZABRANJEN ULAZ OZRAČIVANJE U TOKU	,	SAMO OVLAŠĆENA LICA POSEBNI USLOVI	ili	SIGURNOSNI STOP OTKAZ MERNOG KANALA

Odgovarajućim skupom poruka obuhvaćena su sva stanja u kojima sistem može da se nadje. Svaka promena na displeju propraćena je kratkotrajnim zvučnim signalom koji skreće pažnju operatera na to da je nastupila promena.

Centralna jedinice opremljena je interfejsom RS-232. On je predvidjen za povezivanje centralne jedinice sa personalnim računarom koji treba da objedini sve monitorske i upravljačke funkcije radijacione jedinice. Na slici 2 data je blok šema (a) i program rada (b) centralne jedinice za prikaz stanja sigurnosnog sistema i signalizaciju.

Posebna pažnja u sistemu radijacione sigurnosti posvećena je obezbedjenju pristupa ćeliji za ozračivanje. Ova prostorija treba da bude tako obezbedjena da se osoblju onemogući pristup kada je izvor u radnom položaju ili ako su ispunjeni uslovi za njegovo dovodjenje u radni položaj (sistem armiran).

Najosetljiviji pristup ćeliji za ozračivanje su otvori za konvejersko unošenje i iznošenje proizvoda koji se ozračuju. Ovi otvori namenjeni su samo prolasku metalnih kabina kojima se transportuju proizvodi a na samim ulazima nalazi se svetlosna upozorenja i table sa natpisima



Sl. 2 Blok šema (a) i program rada (b) centralne jedinice za prikaz stanja sigurnosnog sistema i signalizaciju

upozorenja da prolaz osoblju nije dozvoljen. Osnovno obezbedjenje ovih prolaza ostvareno je pomoću nagaznih ploča koje i pri vrlo malim pritiscima aktiviraju sigurnosni sistem. I pored toga, u svetu su zabeleženi teži akcidenti zbog neregularnog ulaska lica u ćeliju za ozračivanje kroz tehnološke otvore.

Praktično, moguće je kroz tehnološke otvore u ćeliju ući preskakanjem nagazne ploče ili kačenjem na metalnu kabinu koja se kreće prema ćeliji. U cilju sprečavanja i ovih mogućnosti ulaska u zonu visokog zračenja konstruisan je kao dodatni, elektronski sistem za kontrolu tehnoloških ulaza.

Dodatni elektronski sistem zaštite "prepoznaje" i dozvoljava ulaz u lavirint samo metalnim kabinama. Ovaj sistem detektuje pokušaj prolaska osobe individualno, ili okačene na metalnu kabinu. I u jednom i u drugom slučaju zaustavlja se proces ozračivanja, a izvor vraća u bezbedan položaj.

Literatura

[1] Arandjelović M., "Radijaciona jedinica za industrijsku sterilizaciju u Institutu u 'Vinči'", Plastika i guma, Vol. 14, No. 4, oktobar 1994, str.208-217.
[2] Radiation Protection Procedures, IAEA - Safety series No. 107, 1992.
[3] Mohlmann H., New Safety Device for the Entry Procedure of a Radiation Facility, Beta-gamma, No. 1, 1993, p. 18.
[4] Practical radiation safety manual on: Panoramic Gamma Iradiators (Categories II i IV), Draft, 1992, IAEA.
[5] Djurić D., Drndarević V., "Novi elementi sigurnosnog sistema jedinice za industrijsku sterilizaciju", XXXIX Konferencija o ETRAN-u, Zlatibor, 6-9. jun 1995 (biće saopšteno).

MODERNIZATION OF SAFETY SYSTEM FOR THE RADIATION FACILITY FOR INDUSTRIAL STERILIZATION

Vujo Drndarević, Danko Djurić, Aleksandar Koturović, Miroljub Arandjelović, Ratko Mikić

Abstract - Modernisation of the existing safety system of the radiation facility for industrial sterilisation at the "Vinča" Institute of nuclear science is done. In order to improve radiation safety of the facility, the latest recommendations and requirements of IAEA have been implemented. Concept and design of the modernised system are presented. The new elements of the safety system are described and the improvements achieved by means of this modernisation are pointed out.

Key words: safety system, radiation facility, ^{60}Co.

POUZDANOST KARAKTERISTIKA PRENAPONSKIH DIODA U USLOVIMA RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA

Ivan Krivokapić, Boris Lončar i Predrag Osmokrović, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*

Sadržaj - *Cilj ovog rada je ispitivanje pouzdanosti karakteristika prenaponskih dioda izloženih dejstvu $n_+\gamma$ zračenja. Stabilnost karakteristika prenaponskih dioda je posebno značajna u uslovima rada visokog rizika, kao što je rad pod dejstvom radioaktivnog zračenja. Zbog specifičnosti primene (vojna industrija, svemirska tehnologija) ovoj problematici je u postojećoj literaturi posvećeno dosta radova. U radu su izloženi rezultati snimanja Volt-Amperskih, Volt-Omskih karakteristika, karakteristika probojnog napona i karakteristika koeficijenta nelinearnosti u funkciji fluensa zračenja.*

Ključne reči - Prenaponska dioda, prenaponska zaštita, radioaktivno zračenje, fluens zračenja, pouzdanost karakteristika.

1. UVOD

Prenaponske diode su nelinearni zaštitni elementi elektronskih uređaja. One su najbrži prenaponski zaštitni elementi čija je brzina odziva reda veličine 10ps. Koriste se za zaštitu od prenapona intenziteta 5-300V. Za razliku od klasičnih Zener-dioda imaju veću površinu PN spoja, bolje hlađenje, manju inverznu struju zasićenja i manju otpornost provođenja. Njihove loše osobine su osetljivost na veće intenzitete struje i relativno visoka kapacitivnost PN spoja reda nekoliko nF.

Princip rada prenaponskih dioda zasniva se na proboju PN barijere u oblasti inverzne polarizacije. U slučaju kada napon inverzne polarizacije pređe određenu vrednost dolazi do naglog porasta struje koja više nije praćena porastom napona. Vrednost napona pri kome dolazi do skokovitog porasta struje naziva se probojnim naponom U_{pr} i njegova vrednost zavisno od tehnologije izrade varira od 2 do 800V. Do proboja PN barijere dolazi usled dva efekta: Zenerovog i lavinskog proboja. Kod vrlo uskih barijera dolazi do Zenerovog proboja, odnosno tunelovanja valentnih elektrona kroz barijeru. Ova pojava objašnjava se talasnom prirodom elektrona. Kod širih barijera manjinski nosioci pri jačim poljima dobijaju dovoljno velike brzine tako da razbijaju valentne veze unutar barijere. Tako se stvaraju dodatni parovi elektron-šupljina koji dovode do porasta struje. Ovaj tip proboja naziva se lavinski proboj i mnogo je češći od Zenerovog proboja.

Prag reagovanja prenaponske diode definiše se preko koeficijenta nelinearnosti

$$\alpha = \frac{\log(I_2 / I_1)}{\log(U_2 / U_1)}$$

gde su U_1, I_1 odnosno U_2, I_2 kordinate tačaka sa Volt-Amperske krive.

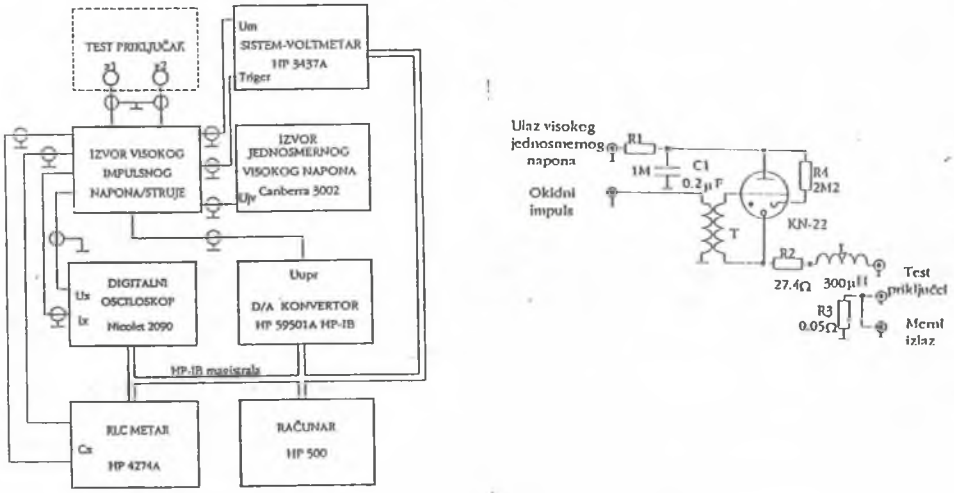
2. OPIS EKSPERIMENTA

U procesu ozračivanja prenaponske diode korišćen je izotop kalifornijuma ^{252}Cf čiji fisioni spektar sadrži neutronsku i γ komponentu. Fisioni neutronski spektar za 4π geometriju ima oblik

$$Sn(E) = 1.98 \cdot e^{-0.88} \sinh\sqrt{2E} \cdot 10^9 ns^{-1} / 4\pi$$

gde je E - energija u MeV. Ovaj spektar je prikazan na slici 1a dok je sumarni γ spektar kalifornijumskog izvora prikazan na slici 1b.

Slika 1. *(a) Fisioni neutronski spektar kalifornijumskog izvora ^{252}Cf, (b) γ spektar kalifornijumskog izvora*



Slika 2. *(a) Blok šema mernog sistema, (b) Uprošćena šema kola za formiranje strujnog impulsa*

Pri ispitivanju prenaponskih dioda korišćena je sledeća konfiguracija: strujni izvor sa maksimalnim naponom na krajevima X1 i X2 od 3kV, osciloskop, izvor jednosmernog visokog napona kojim se napaja strujni izvor i računar. Blok šema mernog sistema korišćenog u eksperimentu je prikazana na slici 2a. Preko A/D konvertora računar selektuje odgovarajući režim rada strujnog izvora. Nakon toga sledi zadavanje napona na izlazu izvora visokog jednosmernog napona. Od njega zavisi vrednost maksimalne jednosmerne struje. Potom se vrši punjenje kondenzatora C1 koje traje 2s. Posle toga se vrši okidanje krajatrona KN-22. Konačno, na prenaponskoj diodi se posredstvom kola formiranog od kondenzator C1, otpornika R2 i kalema L formira strujni impuls 8×20μs. Sa naponske sonde koja je vezana paralelno prenaponskoj diodi i strujne sonde R3 mereni signal se vodi na digitalni osciloskop. Iz digitalnog osciloskopa podaci se šalju u računar na dalju obradu i korekciju. Uprošćena šema kola za formiranje strujnog impulsa data je na slici 2b. Ozračivanje je vršeno na temperaturi od 20°C na prenaponskim diodama čiji je probojni napon iznosio 250V a maksimalna vrednost trajne jednosmerne struje je 1A. Za ispitivanje karakteristika prenaponske diode korišćen je jedan standardni duploeksponencijalni strujni impuls (T1 = 8μs, T2 = 20μs). Ovaj impuls je dovodjen na prenaponsku diodu i sniman je njen naponski odziv. Svakoj vrednost tako dobijenog napona pridružena je odgovarajuća vrednost struje I_m (I_m = 13A) do vrednosti 0.1 I_m na opadajućem delu impulsa. Snimanje

karakteristika diode je izvršeno u inverzno polarisanom spoju diode i zaravnjenoj oblasti Volt-Amperske karakteristike. Iz Volt-Amperske lako je dobijena Volt-Omska karakteristika, vrednost probojnog napona i koeficijenta nelinearnosti α u funkciji fluensa zračenja.

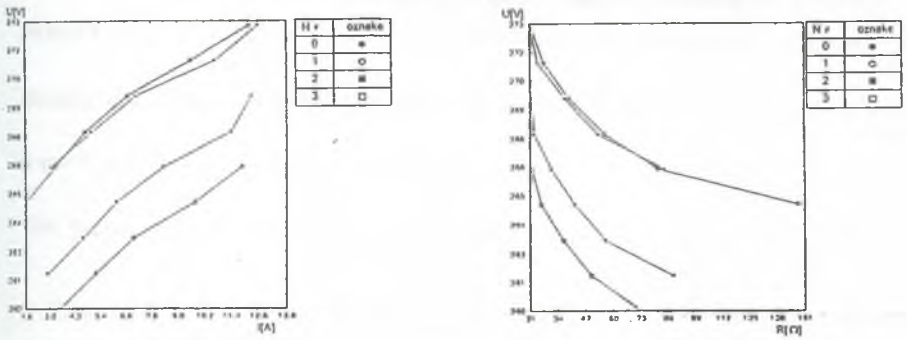
3. REZULTATI

U tabeli I su date vrednosti neutronskog i γ fluensa koje odgovaraju vrednosti Nf u čijoj su funkciji zbog preglednosti date promene odgovarajućih parametara dioda.

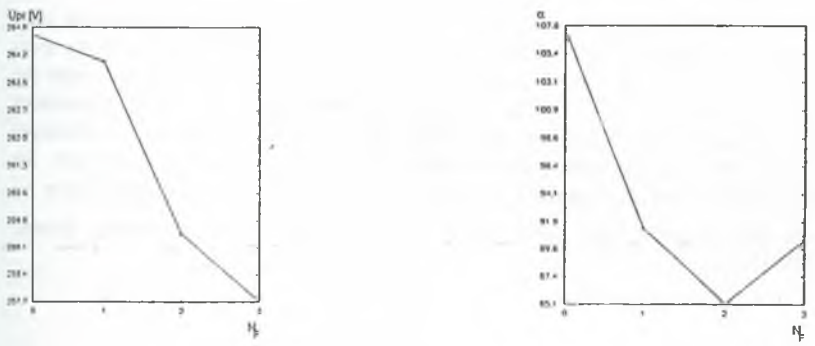
Nf	Fn(n/cm^2)*10^{10}	Fγ(γ/cm^2)*10^{13}
0	0	0
1	3.55	8.66
2	7.10	17.3
3	10.66	26

Tabela 1. *Vrednosti n i γ fluensa u funkciji Nf*

Na slici 3a date su promene Volt-Amperskih a na slici 3b promene Volt-Omskih karakteristike u funkciji promene fluensa zračenja. Oblik ovih karakteristika tumači se uticajem radioaktivnog zračenja na 'omekšavanje' kolena inverzne karakteristike odnosno pomeranje karakteristike ka nižim naponima (povećanje inverzne struje, smanjenje širine oblasti osiromašenja u blizini pasivizacionog sloja tj. smanjenje inverzne otpornosti diode).



Slika 3. *(a) Promena Volt-Amperskih karakteristika diode u funkciji promene fluensa zračenja. (b) Promena Volt-Omskih karakteristika diode u funkciji promene fluensa zračenja*



Slika 4. *(a) Promena probojnog napona diode u funkciji fluensa zračenja (b) Promena koeficijenta nelinearnosti α u funkciji fluensa zračenja*

Na slici 4a date su promene probojnog napona, a na slici 4b promene koeficijenta nelinearnosti α u funkciji fluensa zračenja.

4. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ukazuju da prenaponske diode imaju relativno visok stepen osetljivosti na n,γ komponentu zračenja u pogledu sniženja probojnog napona i pogoršanja zaštitnih karakteristika. Konstatovano je pomeranje Volt-Amperskih i Volt-Omskih karakteristika u oblast nižih napona odnosno znatan pad probojnog napona. Vidljivo je relativno veliko smanjenje koeficijenta nelinearnosti odnosno pogoršanje zaštitnih svojstava prenaponskih dioda koje je izazvano povećanjem strmine Volt-Amperske karakteristike usled povećanja dinamičke otpornosti

LITERATURA

[1] Markov Ž., *Prenaponska zaštita u elektronici i telekomunikacijama*, Tehnička knjiga, 1983.

[2] Markov Ž, 'Uporedjenje savremenih prenaponskih zaštitnih elemenata', *Elektrotehnika 10*, 1987, pp. 961-963

[3] Juzbašić B., *Elektronički elementi*, Školska knjiga, Zagreb, 1978.

[4] Радиационные дефкты в твердых телах, сборник, Академия наук Украинской ССР, Институт физики, Киев, 1977

[5] Устюжанинов Н.В., Чепиженко З.А., 'Радиационные еффекты в биполарных интегралных микросхемах', *Радио и связь*, Москва, 1989

[6] Костюков Н.С., Антонова Н.П., *Радиационное материаловедение*, Атомиздат, Москва, 1979

[7] Вавилов В.С., Горин Б.М., 'Радиационные методы в твердотельной електронике', *Радио и связь*, Москва, 1990

[8] Ricketts L.W., Bridges J.E., Milleta J., *EMP Radiation and Protective Techniques*, John Willey & Sons, NewYork 1976.

[9] Atomic Energy Commision: Guide for Fabricating and handling ^{252}Cf sources, USA, January 1972

THE RELIABILITY OF CHARACTERISTICS OF THE OVER-VOLTAGE DIODES UNDER THE INFLUENCE OF THE RADIOACTIVE RADIATION

Ivan Krivokapić, Boris Lončar i Predrag Osmokrović

Abstract - The aim of this work is the examination of the reliability of characteristics of the over-voltage diodes, under the influence of n,γ radiation. The stability of the characteristics of the over-voltage diodes is most important, when working under high risk conditions where the work under the influence of radiation is included. This field is very important because of its specific applications (military industry and space technology). In this work, the results of the research Volt-Amper characteristics, Volt-Ohm characteristics, characteristics of the break-down voltages and the characteristics of the coefficient of nonlinearity α are exposed in the function of the radiation fluence.

Key words - Over-Voltage diode, Over-Voltage protection, radioactive radiation, radiation fluence, reliability of the characteristics

Sekcija 3.

DOZIMETRIJA I INSTRUMENTACIJA

POLUPROVODNIČKI DOZIMETRIJSKI SISTEM ZA GAMA I NEUTRONSKO ZRAČENJE

Zoran Savić, Vojnotehnički institut, Katanićeva 15, 11000 Beograd
Zoran Pavlović, Ei - Poluprovodnici, Bul. Cara Konstantina 80-82, 18000 Niš

Rezime

Realizovan je poluprovodnički dozimetrijski sistem za gama i neutronsko zračenje, na bazi namenskog MOS tranzistora i namenske PIN diode, namenjen ratnoj i akcidentalnoj dozimetriji. Dat je opis tehnološke izrade komponenata i njihovo temperaturno ponašanje. Opisani su rezultati odziva na gama i neutronsku dozu i feding navedenog sistema. Precizirani su zahtevi koji se postavljaju pred hardver i softver njegovog čitača kako bi se postigla potrebna tačnost merenja.

Ključne reči: radijacioni dozimetri, MOS dozimetar, PIN dozimetar, lična dozimetrija

1. Uvod

Principijelna mogućnost realizacije poluprovodničkog dozimetrijskog sistema namenjenog dozimetriji mešovitog gama-neutronskog zračenja postoji već više godina [1]. Dozimetrija gama zračenja, u takvom sistemu, realizovala bi se namenskim MOS tranzistorom, a neutronskog zračenja namenskom PIN diodom. Ovakav dozimetrijski sistem posebno je interesantan za ratnu i akcidentalnu ličnu dozimetriju, gde može imati niz prednosti u odnosu na klasične dozimetrijske sisteme. Najizrazitija prednost bila bi u njegovoj ceni. Analize pokazuju da on može biti jeftiniji nekoliko puta od cene komparativnih sistema, posebno zbog niske cena njegovog čitača. Pored ove prednosti on bi mogao imati mali feding, dobru ugaonu zavisnost, povoljan energetski odgovor, malu veličinu i težinu i veliku robusnost. Posebno treba naglasiti da ovaj sistem ima nedestruktivno očitavanje i mogućnost razdvojenog odredjivanja gama i neutronske doze mešovitog gama-neutronskog zračenja, što omogućava odredjivanja ukupne ekvivalentne doze prema različito definisanim RBE faktorima.

Mada je namenska PIN dioda kao dozimetar brzih neutrona odavno realizovana [2] i čini sastavnu komponentu komercijalno najuspešnijih sistema ratne dozimetrije u svetu [3], poluprovodnički dozimetarski sistem do sada nije nigde ostvaren. U tehničkom pogledu glavni problem realizacije je bila mala osetljivost namenskih MOS tranzistora i inherentna nestabilnost njihovih karakteristika. Ovo je onemogućavalo merenja gama doze u akcidentalnoj [4] i ratnoj [5] dozimetriji, gde se postavlja zahtev za donju granicu opsega merenja od 10 cGy u odnosu na meko tkivo, uz grešku od $\pm 20\%$ odredjenu sa pouzdanošću 95%. Poslednjih godina ostvareni su namenski MOS tranzistori povećane osetljivosti [6,7] i time su prevazidjene teškoće realizacije poluprovodničkog dozimetra za navedenu namenu.

Polazeći od tehno-ekonomske analize cene dozimetrijskih sistema i rezultata početnih istraživanja u VTI u Beogradu iniciran je razvoj novog dozimetrijskog sistema za potrebe ratne dozimetrije na bazi poluprovodničkog dozimetra. Tokom poslednje godine u saradnji sa Ei-Poluprovodnici iz Niša realizovan je namenski MOS tranzistor i namenska PIN dioda objedinjeni u zajedničkom kućištu prilagodjenom načinu nošenja i metodi očitavanja ličnog dozimetra.

U ovom radu biće dat kratak opis tehnoloških postupaka izrade poluprovodničkog dozimetra, rezultati nekih temperaturnih i dozimetrijskih ispitivanja, kao i osnovni zahtevi koji se postavljaju pred hardver i softver čitača kako bi se postigla potrebna tačnost merenja.

2. Uzorci i metode ispitivanja MOS i PIN dozimetara

Za merenje doze gama zračenja razvijen je namenski MOS tranzistor kod koga pod dejstvom gama zračenja dolazi do stvaranja pozitivnih zahvaćenih naelektrisanja u oksidu gejta. Tranzistor je

realizovan u "pi" topologiji sa širinom kanala 630 μm i dužinom od 9 μm. Polazni materijal bio je Si n tipa, orjentacije (100) i specifične otpornosti 4-7 Ωcm. Oksid gejta, koji je aktivna zapremina dozimetrijskog efekta, izradjen je mokrom termičkom oksidacijom preko koje je dodatno izvršena oksidacija dobijena hemijskom parnom depozicijom. Po navedenoj oksidaciji izvršeno je radijaciono omekšavanje oksida postupkom odžarivanja u atmosferi N_2. Ukupna debljina oksida gejta bila je 1.07 μm. Aluminijumska elektroda gejta realizovana je katodnim raspršavanjem i zatim legirana. Tranzistori su montirani u standardna DIL kućišta izradjena od alumine, bondovani Al žicom i zatvoreni zatapanjem u atmosferi N_2.

Za merenje neutronske doze razvijena je namenska PIN dioda kod koje pod dejstvom brzih neutrona dolazi do strukturnih defekata u kristalu poluprovodničkog materijala što dovodi do pojave novih rekombinacionih centara. Polazni materijal bio je Si n tipa, orjentacije (111) i specifične otpornosti 130-160 Ωcm. Dimenzije diode su 1.4 × 1.4 mm^2, a nominalna debljina 800 μm. Difuzije bora i fosfora izvršene su na temperaturi 1275°C tako da su debljine p^+ i n^+ oblasti bile respektivno 61 μm i 47 μm. Nakon postupka difuzije bio je primenjen postupak programiranog dugotrajnog hladjenja. Omski kontakti izvedeni su hemijskim niklovanjem, a potom elektrolitičkim nanošenjem zlata. Diode su bile zapakovane u standardno plastično kućište tipa DO-15.

Krajnji efekat složenih interakcija gama ili neutronskog zračenja respektivno na MOS tranzistor ili PIN diodu manifestuje se promenom njihovih naponsko-strujnih karakteristika. Pogodan dozimetrijski parametar i kod jedne, i kod druge komponente jeste promena napona pod uticajem zračenja pri nekoj konstantnoj struji. Treba pri ovome naglasiti da je tranzistor pri merenju vezan sa kratko-spojenim drejnom i gejtom i kratko-spojenim sorsom i substratom, odnosno da je meren kao dvokrajnik. Struje pri kojima su mereni pomeraji napona usled ozračenja iznosile su 10 μA za MOS tranzistor i 100 mA za PIN diodu. Merenje parametara MOS tranzistora i PIN diode izvršeno je na istom mernom sistemu korišćenjem strujnog izvora Keithley 224, voltmetra HP 3457A i uz programsku kontrolu računarom HP VECTRA ES/12. Procenjeno je da je tačnost metode merenja bila bolja od ±200 ppm. Tokom svih navedenih merenja bila je merena temperaturan okoline termoparom bakar-konstantan.

Ozračavanje tranzistora vršeno je gama zračenjem Co-60 na uredjaju GAMATRON u Metrološkoj laboratoriji ML05 Instituta "VINČA". Doze pri kojima je ozračavanje vršeno referisane su na meko tkivo i date su sa tačnošću boljom od ±5%. Ozračavanje dioda bilo je izvršeno na nuklearnom reaktoru RB u Laboratoriji NET Instituta za nuklearne nauke "VINČA". Neutronska doza referisana je takodje u odnosu na meko tkivo, a odredjena je proračunom korišćenjem konverzionih faktora fluens-doza za 25 energetskih grupa neutrona u opsegu energija od 0.465 eV do 6.5 MeV. Korišćeni konverzioni faktori su uobičajeni u radiološkoj zaštiti za profesionalce i preuzeti su iz literature.

3. Rezultati

Pre dozimetrijskih ispitivanja izvršena je temperaturna karakterizacija MOS tranzistora [8] i PIN diode merenjem njihovih naponsko-strujnih karakteristike u opsegu -20°C do +60°C. Utvrdjeno je da obe komponente imaju tačku u kojoj napon i odgovarajuća struja diode nisu funkcija temperature. Ona se nalazi približno izmedju 100 i 200 μA za MOS tranzistor i izmedju 30 i 40 mA za PIN diodu. Za ostale struje napon pri konstantnoj struji linearno zavisi od temperature i može se predstaviti sa

$$V = V_0 + \alpha T \qquad (1)$$

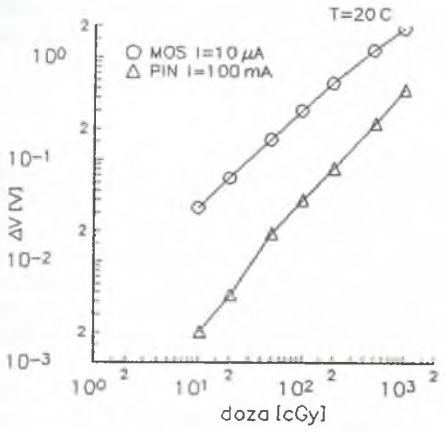
gde je V napon u V pri temperaturi T u °C, a V_0 napon pri $T = 0°C$. Napon V_0 i linearni temperaturni koeficijent α zavise od struje. Za predhodno navedene dozimetarske parametre nadjeno je da α iznosi 4.58 mV/°C za MOS tranzistor i 0.84 mV/°C za PIN diodu. Primećeno je da se temperaturna zavisnost ovih komponenti ozračenih do 10 Gy kvalitativno ne menja ali da dolazi do manje promene α.

Zavisnost dozimetrijskih parametara namenskog MOS tranzistora i namenske PIN diode u funkciji primljene doze prikazani su na sl.1. Zavisnost je dobijena na uzorku od po 30 komada ovih komponenata. Ovde je potrebno napomenuti da su pri ozračavanju svi izvodi tranzistora bili kratko spojeni. Prikazane zavisnosti svedene su na nominalnu temperaturu od 20°C korišćenjem relacije (1).

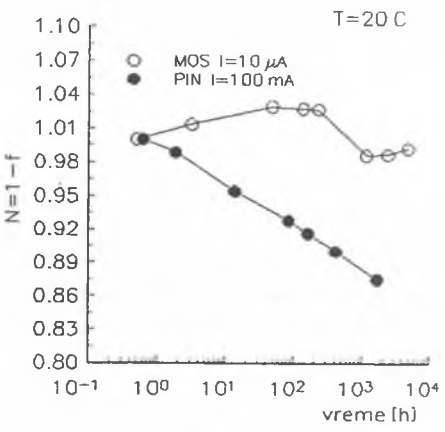
Prema sl.1 vidi se da je dozna zavisnost ΔV za namenski MOS tranzistor sublinearna, posebno pri dozama višim od 500 cGy. Pri nižim dozama ova zavisnost je približno linearna i u ovoj oblasti

može se definisati osetljivost MOS dozimetra kao $S=\Delta V/D$, gde je ΔV dozimetrijski parametar a D primljena doza. Ova osetljivost iznosi približno 3.31 mV/cGy i komparativna je sa najboljim objavljenim rezultatima [6]. Standardna greška za pojedine vrednosti doza data je u tabeli 1. Iz ove tabele se vidi da je u domenu doza od 10 cGy do 1000 cGy ona manja od 10%. Tako se može izvući zaključak da se na bazi baždarne krive prikazane na sl.1 može u domenu doza od 10 cGy do 1000 cGy postići manja greška merenja od 10% sa pouzdanošću većom od 95%.

Zavisnost doznog parametra namenske PIN diode prema sl.1 je približno linearna u domenu neutronskih doza od 10 cGy do 1000 cGy. Osetljivost PIN neutronskog dozimetra može se definisati na sličan način kao i za MOS gama dozimetar. Ona iznosi približno 0.485 mV/cGy i komparativna je sa osetljivošću referisanom kod komercijalnih PIN dozimetara namenjenih ratnoj dozimetriji [3].



Sl.1 Zavisnost doznog parametra od doze



Sl.2 Feding poluprovodničkog dozimetra

Standardna greška za pojedine vrednosti doza data je u tabeli 1. Iz tabele se vidi da je u domenu doza od 10 cGy do 1000 cGy standardna greška PIN dozimetra veća od 10%. Rasturanja rezultata su u

Tabela 1. Standardna greška izražena u [%] za uzorak MOS i PIN dozimetara.

doza [cGy]	10	20	50	100	200	500	1000
MOS	9.5	6.4	5.3	5.3	5.7	5.4	6.3
PIN	96	47	21	18	12	12	12
PIN-red.	174	57	21	10	5	4	4

toliko veća što je doza niža i pri 10 cGy standatdna greška dostiže vrednost od oko 100%. Ova greška se može značajno redukovati na bazi utvrdjene linearne korelacije osetljivosti PIN diode i vrednosti napona na neozračenoj diodi. Zato je moguće na bazi klasiranja dioda i uvodjenja baždarnih krivih, koje odgovaraju odredjenim klasama, smanjiti rasturanja rezultata. Ilustracija ovog postupka data je u tabeli 1 gde je, u vrsti PIN-red., data maksimalna standardna greška kada se izvrši klasiranje početnog uzorka od 30 komada dioda u 4 klase. Iz ovoga se može zaključiti da je opisanim postupkom moguće, u domenu doza od 100 cGy do 1000 cGy, postići manju grešku merenja od 10% sa pouzdanošću većom od 95%. Za uže klasiranje dioda postižu se bolji rezultati. Izborom PIN dioda sa vrednošću napona izmedju 1.4 i 1.5 V pstignuta je predhodno pomenuta tačnost merenja u domenu 50 cGy do 1000 cGy.

Na sl.2 prikazan je feding namenskog MOS tranzistora i namenske PIN diode. Na ovoj slici prikazana je promena srednje vrednosti tzv. aniling faktora N, definisanog relacijom

$$N=\frac{V(t)-V(t_0)}{V(t_1)-V(t_0)}=1-f \qquad (2)$$

u funkciji vremena t. Veličine $V(t)$, $V(t_0)$ i $V(t_1)$ su naponi na navedenim komponentama posle, pre i neposredno posle izvršenog ozračenja respektivno a f predstavlja feding dozimetra. Tranzistori u ovom ispitivanju bili su ozračeni gama dozom od 1000 cGy a diode neutronskom dozom od 571 cGy. Komponente su bile čuvane na sobnoj temperaturi. Sve vrednosti napona korišćenih za formiranje zavisnosti na sl.2 svedene su na nominalnu temperaturu preko relacije (1).

Sa sl.2 se vidi da je feding MOS gama dozimetra izvanredno mali i iznosi svega nekoliko % u toku godine dana od izvršenog ozračenja. Na slici se može zapaziti, u prvim danima posle ozračenja, obratni feding od takodje nekoliko %. Feding PIN diodnih dozimetara prikazan na sl.2 je umeren i dostiže vrednost od 12% tri meseca posle ozračenja. Sa slike se može uočiti njegova izvanredna pravilnost. Faktor N opada približno linearno sa logaritmom vremena proteklog od odozračenja. Ovo daje mogućnost računske eliminacije gubitka dozimetrijske informacije ako je vreme ozračenja poznato.

4. Zaključak

Izneti rezultati temperaturnih i dozimetrijskih ispitivanja realizovanog poluprovodničkog dozimetrijskog sistema pokazuju da je sa njim moguće merenja gama i neutronske doze mešovitog gama-neutronskog zračenja sa prihvatljivom greškom, bar u opsegu od 50 do 1000 cGy. Da bi se merenje sa ovakvom tačnošću ostvarilo čitač dozimetra mora imati podatak o temperaturi pri kojoj se merenje napona vrši, kao i informaciju o vrednostima napona na MOS tranzistoru i PIN diodi pre izvršenog ozračenja za svaki dozimetar. Obrada izmerenih vrednosti napona na ovim komponentama podrazumeva poznavanje kalibracionih krivih za MOS tranzistor i PIN diodu i korelacionih parametara za PIN diodu. Dalja popravka rezultata moguća je na bazi poznavanja vremena proteklog od ozračenja brzim neutronima i podataka o fedingu PIN diode. Podaci o individualnim vrednostima predoznih veličina mogu biti saopštene čitaču veoma efikasno pomoću bar koda a ostala obrada može biti rešena bez većih teškoća pogodnim mikrokontrolerom uz relativno nisku cenu čitača.

Zahvalnost - Autori se zahvaljuju saradnicima iz fabrike "Ei-Poluprovodnici" iz Niša na izradjenim uzorcima korišćenim u ovom ispitivanju i Instituta "VINČA" na obezbedjenju uslova ozračavanja.

Literatura

[1] Z.Savić, Zbornik radova XVI JSZZ, Neum, 28-31. maj 1991. 338
[2] J.M.Swartz and L.Browne, IEEE Trans.Nucl.Sci., NS-10(3), 63-69, 1963.
[3] "Personal dosimetry system" Fisher Controls Limited Publication NSI1, 1980.
[4] American National Standard - Dosimetry for criticality accidents, ANSI N13.3-1969
[5] S.Kronenberg:"Tactical radiation dosimetry in the U.S. army", Health Phys.,14, 41-44, 1968.
[6] G.Ensel, A.Holmes-Siedle, L.Adams, Nucl.Sci.Meth.Phys.Res., A269, 655-658, 1988.
[7] Z.Savić, D.Petković, Zbornik radova XVII JSZZ, Vinča, 25-28. maj 1993., 139
[8] Z.Savić, Zbornik radova XXXVIII konferencije ETRAN, sveska IV, Niš, 7-9. jun 1994.,29

SEMICONDUCTOR DOSIMETRY SYSTEM FOR GAMMA AND NEUTRON RADIATION

Zoran Savić, Zoran Pavlović

Abstract
The semiconductor dosimetry system for gamma and neutron radiation based on pMOS transistor and PIN diode is described. It is intended for tactical or accidental personal dosimetry. The production steps are given. The temperature, dose and time (fading) response are reported. Hardware and software requirements which are needed for obtaining the desired measurement error are pointed.
Key words: Radiation dosimeters, MOS dosimeters, PIN dosimeters, personal dosimetry

ЕНЕРГЕТСКА ЗАВИСНОСТ РАДИОФОТОЛУМИНЕСЦЕНТНОГ СТАКЛА КАО ГАМА ДОЗИМЕТРА

Славица Богданов, Милан Орлић
Војнотехнички институт ВЈ, Београд, Катанићева 15

Резиме

На реализованим узорцима радиофотолуминесцентног стакла као гама дозиметрима извршено је мерење енергетске зависности. Добијени резултати упоређени су са рачунским за случај дебелог детектора.

Кључне речи: *доза, гама зраци, радиофотолуминесцентно стакло, енергетска зависност*

1. У в о д

Радиофотолуминесцентни (РПЛ) дозиметри су у употреби последњих тридесетак година јер су се по многим дозиметријским својствима показали бољим у односу на друге (широк опсег мерења, трајно "памћење" измерене дозе, могућност вишекратне употребе, мали фединг).

У оквиру покушаја реализације РПЛ дозиметра синтетизовани су узорци дозиметарског стакла на бази метафосфата са додатком сребра и испитивана њихова дозиметријска својства[1,2,3]. У овом раду су приказани резултати одређивања енергетске зависност на узорцима синтетизованог РПЛ стакла и поређени са литературним подацима.

С обзиром да РПЛ дозиметри показују зависност РПЛ ефекта од енергије упадних фотона, ради адекватне компензације, потребно је познавање енергетске зависности. Као мера ове зависности узима се однос РПЛ одговора при максималној осетљивост и РПЛ одговора при минималној осетљивост. Према опсегу енергија у којима је ефекат изражен у литератури се обично наводи однос интензитета РПЛ емисије при енергији X зрака од 45 keV и енергији зрачења кобалта-60 (1.25 MeV)[4,5].

Променом хемијског састава најраније примењеног дозиметарског стакла коефицијент енергетске зависности је од 30 снижен на 4-5. С обзиром да би промена хемијског састава у циљу снижавања средњег атомског броја Z (а тиме и коефицијента енергетске зависности) битно утицала на осетљивост дозиметра, компензовање енергетске зависности се врши применом одговарајућих филтера. При томе је могуће добити независан РПЛ одговор стакла у оквиру ±10% за опсег енергија зрачења од 30 keV до 2 MeV[3,6].

За синтетизоване узорке стакла експериментално је одређена енергетска зависност при неколико нижих вредности енергија X зрачења у области у којој се очекује максимум криве. Извршено је поређење са вредностима очекиваним на основу прорачуна, као и са литературним подацима.

2. Теорија

Под енергетском зависношћу неког дозиметра подразумева се зависност његовог одзива од енергије (у овом случају гама зрака). Реални дозиметри имају коначне димензије па се за прорачун њиховог одзива у функцији енергије зрачења морају користити сложеније рачунарске методе (нпр. монте карло). У овом случају посматраће се дебео дозиметар. То значи да су домети секундарних наелектрисаних честица (у овом случају електрона) мањи од димензија дозиметра. Типичне димензије РПЛ дозиметра су око 1 cm. Домет електрона у стаклу зависи од њихове енергије. За енергије 0.1 MeB износи око 6 μm, а за енергију 1 MeB око 1.5 mm, што значи да се дозиметар може сматрати као дебео.

У сваком случају теријски добијена енергетска зависност РПЛ дозиметра може послужити као добра основа за компарацију са експериментално измереном зависношћу. Енергетска зависност дозиметра може се изразити као

$$\varepsilon_E = \frac{\mu_e^d}{\mu_e^t}$$

где је μ_e^d - масени коефицијент за апсорпцију енергије зрачења у дозиметру, а μ_e^t - масени коефицијент за апсорпцију енергије у меком ткиву (или у ваздуху).

У случају сложеног састава материјала са више врста атома, масени коефицијент се рачуна по формули

$$\mu_e = \sum_{i=1}^{n} p_i \mu_{e_i}$$

где је n - број различитих атома, p_i - њихов тежински удео у дозиметру, а μ_{e_i} - одговарајући масени коефицијент за апсорпцију енергије. Енергетска зависност се нормализује према кобалту-60, па се дефинише коефицијент енергетске зависности на некој енергији E као однос енергетске зависности на енергији E и енергетске зависности на енергији зрачења кобалта-60 (1.25 MeV)

$$\varepsilon_E^n = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_{1.25}}$$

За познати састав дозиметра израчунат је коефицијент енергетске зависности у опсегу 0.001 - 10 MeV према горњем изразу и приказан на слици 1. Део криве испод 0.02 MeV није интересантан за практичну примену.

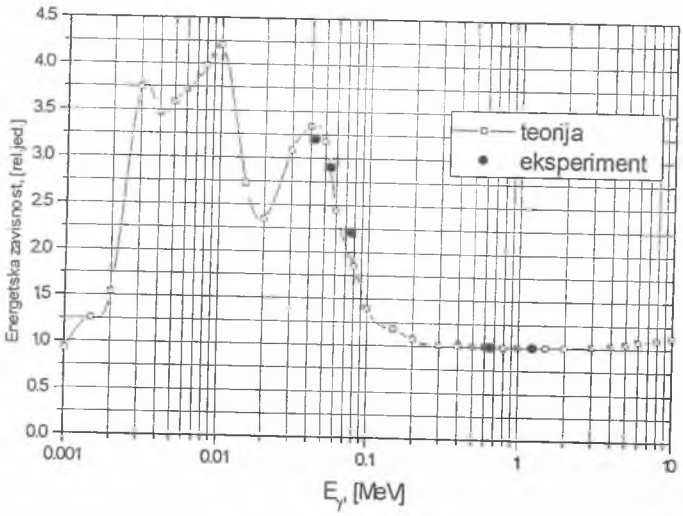
3. Експеримент

Узорци РПЛ стакла су синтетизовани топљењем смеше метафосфата натријума и алуминијума уз додатак сребра (0.3%)[1]. Узорци су припремљени у облику транспарентних плочица димензија 10x10x3 mm.

Озрачивање узорака је вршено гама зрачењем радиоизотопа кобалт-60 (на уређају Гаматрон) и цезијум-137, као и x - зрачењем на рендген апарату (Philips MG320) у Лабораторији "Заштита" Института за нуклеарне науке "Винча".

Мерење интензитета радиофотолуминесцентне емисије плочица су вршена на флуориметру (Perkin-Elmer 204A). С обзиром на претходно одређене ексцитационе и емисионе спектре РПЛ стакла, одабране су таласне дужине ексцитације, односно емисије од 370 nm и 540 nm[2,3].

За сваку тачку озрачене су по две плочице при укупној дози од 1 Gy. Експерименталне тачке су такође дате релативно, као однос интензитета РПЛ емисије на енергији E и интензитета РПЛ емисије на енергији 1.25 MeV.



Сл.1 Енергетска зависност РПЛ стакла

4. Резултати мерења

Резултати одређивања зависности интензитета РПЛ емисије од енергије гама и X зрачења (при константној апсорбованој дози) дати су упоредо са теоријски израчунатим вредностима на сл.1. При максималној осетљивости РПЛ стакла на 43 keV вредност коефицијента енергетске зависности износи 3.2. Добијена вредност овог коефицијента може се сматрати веома повољном и ниском. Такође са слике је очигледна и сагласност са теоријски израчунатим вредностима. У литературн[4] се наводи и зависност између коефицијента енергетске завнсности и средњег атомског броја Z за стакла различитог хемијског састава. За синтетизовано стакло чије је Z 12.4. коефицијент енергетске зависности би према литератури износио 3.4, што је такође у сагласности са резултатима мерења.

5. Закључак

На синтетизованим узорцима РПЛ стакла теоријски и експериментално је одређена енергетска зависност. Добијена је вредност коефицијента енергетске зависности при максималној осетљивости 3.2, што је у доброј сагласности са литературним подацима и резултатима прорачуна.

И овако ниска вредност коефицијента енергетске зависности захтева одговарајућу енергетску компензацију уз употребу једног или два материјала са или без перфорације. Енергетска компензација се може успешно обавити и за случај знатно вишег коефицијента енергетске зависности. То омогућава повећавање осетљивости РПЛ стакла варирањем хемиског састава стакла (повећањем садржаја сребра).

Литература

[1] Богданов,С.,Младеновић,В., Савић,С., Митровски,С., Радиофотолуминесцентно стакло на бази метафосфата са сребром као активатором, XXVI саветовање СХД, Зборник симпозијума о керамици и стаклу, Арапђеловац, стр. 78-81,1994.

[2] Богданов,С.,Младеновић,В.,Шутуловић,Љ., Рашуо,Ф., Сребром активирано метафосфатно стакло као елемената личног дозиметра за мерење гама компоненте апсорбованог зрачења, Зборник XVII Југословенског симпозијума заштита од зрачења, стр.191-195, Београд, мај 1993.

[3] Богданов,С., Мандић,М., Николић,М.,Орлић,М., Дејство гама зрачења на сребром активирано метафосфатно стакло, Зборник II саветовања Друштва физикохемичара Србије, стр.289-290, Београд, 1994.

[4] Becker.K., Health Phys., Vol 14,pp.17-32,1968.

[5] Perry,J.A., RPL Dosimetry: Radiophotoluminescence in Health Physics, Adam Hilger, Bristol, 1987.

[6] Yokota,R., Muto,J., Health Phys.20, pp.662-663, 1971.

ENERGY DEPENDENCE OF RADIOPHOTOLUMINESCENT GLASS

Slavica Bogdanov,Milan Orlić

Abstract

On realized radiophotoluminescent glass the energy dependence from 0.04 to 1.25 MeV has been measured. The results have been compared with theoretical calculation for large model of dosimeter. The experimentally obtained coefficient of energy dependence at maximum sensitivity of 3.2 is in good agreement with theoretical calculated (3.3) and literature published (3.4) data.

Key words: energy dependence, radiophotoluminescent glass, dosimeter, x-rays

Утицај дозе зрачења на деконволуцију криве исијавања

Вејновић Здравко, Бендерац Радоман, Ристић Драгољуб
Институт безбедности, Београд, Краљице Ане б.б.
Давидовић Милорад
Институт за нуклеарне науке "Винча", Винча

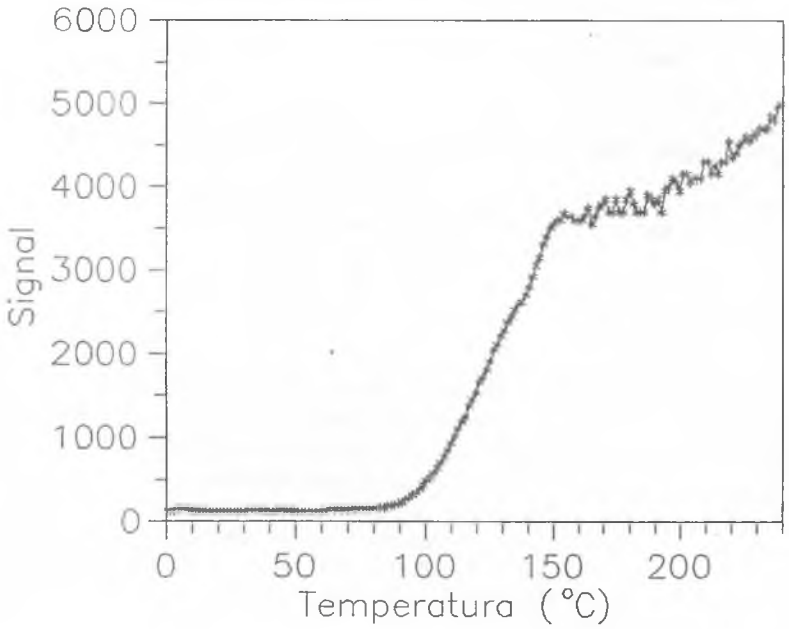
Резиме
Испитивана је могућност деконволуције пикова код термолуминисцентних спектара дозиметара типа $MgB_4O_7:Dy$ са познатом радијационом историјом. У претходним циклусима укупно озрачење појединих дозиметара није прелазило 60[mSv]. Ови дозиметри су затим озрачавани познатим дозама гама зрачења у опсегу од 0.2 до 9[mSv]. Нумеричком методом Chi-sqare фитовања, на основу теоријског модела, издвојени су пикови од сигнала шума. Коришћени су апроксимативни модели за представљања кинетике првог и другог реда. Резултати су приказани графички и табеларно. Они указују на несумњиву предност коришћења нумеричких метода за обраду података криве исијавања.

Кључне речи: термолуминисценција, крива исијавања, Chi-squre фитовање

1. Увод

Познато је да структура и облик криве исијавања зависе од великог броја параметара. У важније факторе се могу урачунати припрема дозиметара, процедура очитавања, апаратура на којој се врши мерење, радијациона историја дозиметра, итд. Минимална доза коју је могуће регистровати износи $1.5\sigma_B$ где је σ_B стандардна девијација сигнала шума изражена преко еквивалентне дозе зрачења [1]. Сигнал шума садржи неколико компоненти чија се величина повећава са растом темпаратуре и због тога веома зависи од облика темпаратурног циклуса и преноса топлоте кроз дозиметар. Са друге стране резидуални сигнал шума се појављује као последица озрачавања дозиметара са високим дозама зрачења и немогућности да се у нормалном процесу анилинга ослободе сви захваћени носиоци наелектрисања. Из тог разлога термолуминисцентни дозиметар који је примио дозу већу од 100[mSv] није погодан за мерење ниских доза зрачења [2].

Поступком деконволуције врши се издвајање једног или више пикова од сигнала шума према теоријском (задатом) моделу облика пика и облика сигнала шума. Функција која се подешава је нелинеарна функција која садржи до 10 параметара који могу да се фитују са великим бројем експерименталних тачака (око 500). Методом Chi-sqare фитовања подешавају се сви параметри док се не добије минимални chi-квадрат [3,4]. Ово омогућава да се нумеричким метода прошири поље примене термолуминисцентних дозиметара за мерења екстремно ниских доза зрачења и за коришћење дозиметара који из неког разлога показују високи ниво сигнала шума. Код ТЛ дозиметара који су у предходним циклусима озрачавани појављује се висок ниво резидуалног шума (сл.1.).



Слика 1. Облик сигнала шума

2. Експериментални рад

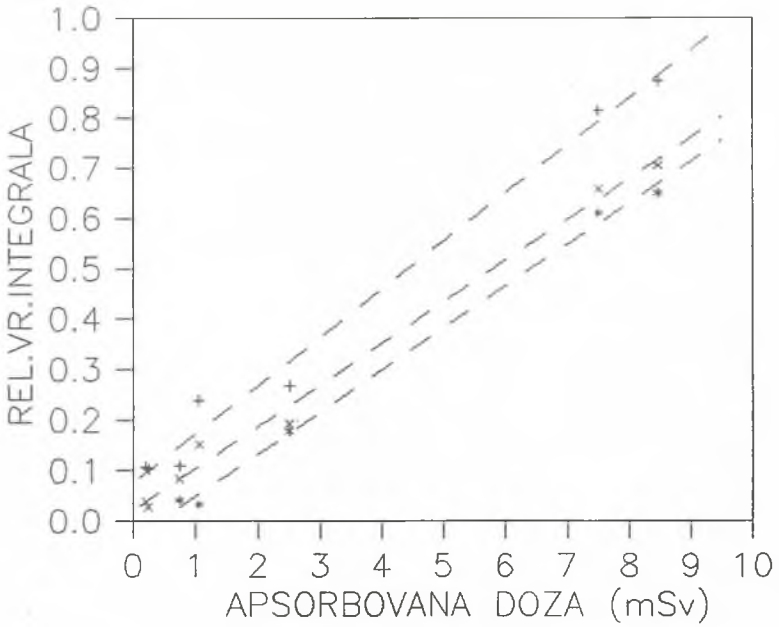
Термолуминисцентни дозиметри типа MgB_4O_7:Dy су излагани дозама гама зрачења из извора зрачења Co-60. Вредности апсорбованих доза зрачења су износиле: 0.21, 0.25, 0.75, 1.06, 2.5, 7.5 и 8,46[mSv]. Криве исијавања су добијене аквизицијом података у темпаратурном опсегу од 50[^{0}C] до 240[^{0}C]. Брзина промене темпаратуре је износила 0.85[^{0}C/s]. Сви дозиметри коришћени у експериментима раније су излагани различитим дозама фотонског зрачења чија укупна апсорбована доза није прелазила 60[mSv]. Добијене вредности криве исијавања су затим нумерички обрађиване методом Chi-square фитовања [3]. Облик пика је подешаван са гаусовом симетричном функцијом и са несиметричном функцијом која је изведена према теоријском моделу који важи за први ред кинетике [5]:

$$P_{mi}(x) = I_{mi} \exp\left[1 + W_i\left(x - x_{0i}\right) - \exp\left[W_i\left(x - x_{0i}\right)\right]\right] \qquad (1)$$

Функција $P_{mi}(x)$ је генералисана и експлицитно приказује зависност од параметра W_i који карактерише ширину пика за први ред кинетике. Величина I_{mi} представља висину пика, а величина x_{0i} његову позицију.

доза у много већој мери доприносе вредности укупног релативног квадратног одступања то су ове вредности нешто ниже за фитовање према теоретском моделу изведеном за први ред кинетике.

Са сл.1. јасно се види да се за описивање сигнала шума може користити степ функција. Подешавање у том случају је могуће само када се максимум пика јасно издваја. У супротном добијени експериментални подаци се у програму третирају као флуктуације сигнала шума.



Слика 3. Резултати добијени фитовањем према моделу несиметричне функције и са шумом у облику: *- степ функције, +- степене функције и x- збиром степ и степене функције

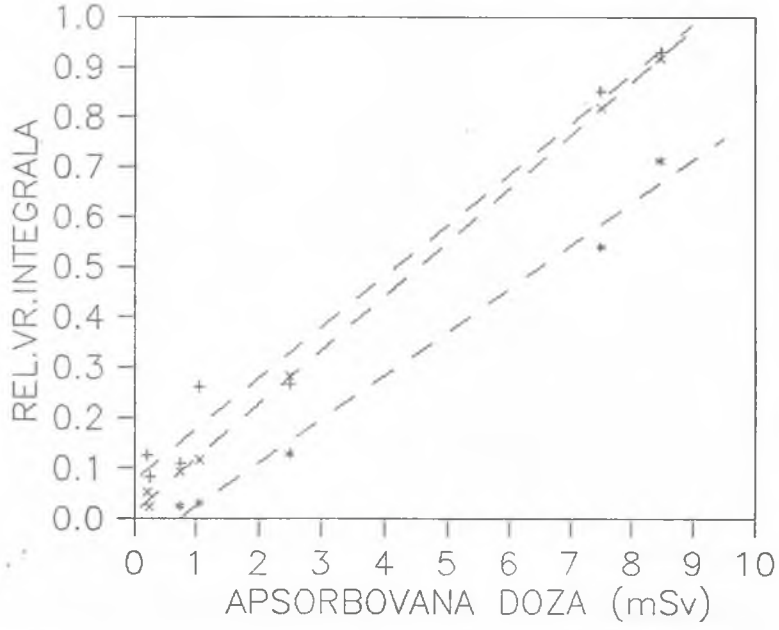
Табела бр.1.

OBLIK PIKA	OBLIK ŠUMA	VREDNOST LINEARIZACIJE	UKUPNO RELATIVNO KVADRAT. ODSTUPANJE
GAUSOVA FUNKCIJA	STEP FUNKCIJA	0.9873	116.1812
	STEPENA FUNKCIJA	0.9832	0.3979
	OBE FUNKCIJE	0.9993	0.4335
NESIMETRIČNA FUNKCIJA	STEP FUNKCIJA	0.9962	0.3650
	STEPENA FUNKCIJA	0.9883	0.4289
	OBE FUNKCIJE	0.9924	0.3082

Вредност сигнала шума је подешавана помоћу степ функције са линеарном променом између константних вредности , затим помоћу степене функције као и са збиром ове две функције.

3. Резултати

Добијени резултати фитовања експерименталних података су екстраполирани да би добили линеарну зависност површине пика од апсорбоване дозе зрачења (сл.2. и сл.3.). У табели бр.1. приказани су коефицјент линеарне регресије који показује квалитет извршене линеаризације података и коефицјент тоталног квадратног одступања (Chi-squre), који је мера подешености података према линеарној функцији.



Слика 2. Резултати добијени фитовањем према моделу гаусове функције и са шумом у облику: *- степ функције, +- степене функције и x- збиром степ и степене функције

4. Дискусија

Постигнуте вредности линеаризације и квадратног одступања указују на оправданост примењених модела деконволуције. Према резултатима фитовања на теоријски модел, за први ред кинетике, запажена су одступања експериментално добијених података када су у питању апсорбоване дозе зрачења изнад 2[mSv]. Подешавањем према моделу гаусове криве за апсорбоване дозе зрачења испод 2[mSv] запажен је знатнији утицај сигнала шума на процес деконволуције у односу на фитовање са несиметричном функцијом. За ниске дозе зрачења до 2[mSv] одступања од линеарне функције су значајнија и крећу се до 100% што се може објаснити чињеницом да у том случају интеграл сигнала шума вишеструко премашује вредност интеграла пика. Пошто вредности квадратног одступања од ниских апсорбованих

5. Закључак

Добијени резултати указују да примењени модели деконволуције омогућавају издвајање пикова и добија се задовољавајућа линеарност њихових интегралних вредности. На основу добијених резултата није могуће генерално дати предност неком од модела. За апсорбоване дозе зрачења испод 1[mSv] модел несиметричне функције комбинован са збиром степене и степ функција омогућава фитовање у мереном опсегу и даје боље резултате, док је за веће вредности апсорбованих доза погодније користити модел гаусове криве комбинован са степ и степеном функцијом.

Ниво сигнала шума не утиче битније на мерене вредности за дозе зрачења изнад 0.25[mSv]. За мерење екстремно ниских вредности апсорбованих доза зрачења, са повећаном прецизношћу, потребно је смањити утицај података од сигнала шума на процес деконволуције. То је могуће урадити или квалитетнијом припремом дозиметара или прецизним одређивањем облика и нивоа шума.

6. Литература

[1] ECC reccommendations for the use of TLD in individual monitoring for photons and electrons from external source, (9th drafth), pp. 1-20, 1974.

[2] Robertson M.E.A. "Identification and Reduction of Errors in Thermoluminescence Dosimetry Systems", D.A.Pitman LTD. Weybridge, Surrey, pp.212-230, 1978.

[3] Vukadin Z., "Chi-kvadrat fitovanje", (interna publikacija)Vinča, s.1-23., 1989.,

[4] Moscovitch M., Horowitz Y.S. and King S.W., "LIF-TLD via Computerized Glow Curve Deconvolution into Component Glow Peaks", 17th Midyear Topical Symposium of the Health Physics Society, Washington, pp.1-7,1984.

[5] Horowitz Y.S., Moscovitch M. and Wilt M., "Computerized glow curve Deconvolution applied to ultralow dose LiF thermoluminiscence dosimetry" , Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Reas., A244, pp.556-564, 1986.

The Dependance of Dose on Glow Curve Deconvolution

Zdravko Vejnović, Radoman Benderać, Dragoljub Ristić, Milorad Davidović

Abstract

Deconvolution peak glow of MgB_4O_7:Dy thermoluminiscence spectra, known radiation history, was investigatied. Dosimeters haven't received doses in excess of about 60[mSv] in its radiation history. Dosimeter were irradiated by Co-60 g-ray source from 0.2[mSv] to 9[mSv] absorbed dose. Glow peak deconvolution separated from backround by a numerical analyzes chi-sqare fitting of the experimental data with theoretical models. Approximative models of first and second order of kinetics were used. Results were shown by graphics and table. By these results the advantages of numerical metthods using were clearly shown.

Key words: thermoluminiscence, glow curve, chi-sqare fitting

Analiza krive isijanja za TLD tip LBG-0110 u zavisnosti od vremena posle ozračivanja

Olivera Marinković
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu,
"Dr Dragomir Karajović", Beograd, Deligradska 29

Kratak sadržaj

Ispitivana je linearna zavisnost količnika intenziteta drugog i petog kao i trećeg i petog pika u zavisnosti od log t (t je vreme proteklo od trenutka ozračivanja dozimetara do očitavanja) za dozimetre tip LBG-0110. Dobijeni su koeficijenti korelacije 0.92 i 0.94.

Ključne reči: TLD, pik, vreme

Uvod

Ozračeni termoluminiscentni materijal pri zagrevanju emituje apsorbovanu energiju u opsegu vidljivog dela spektra elektromagnetnog zračenja. Maksimum emisije odvija se na karakterističnoj temperaturi (temperatura očitavanja) ali emisija se odvija i na nižim temperaturama. Tako je rezultujuća kriva isijanja zbir nekoliko pikova. Za dozimetre LiF (tip LBG-0110) karakteristično je postojanje pet pikova. S obzirom da je polu-život petog pika procenjen na 81 godinu, a za ostale pikove je znatno kraći, to se on može uzeti kao referentna tačka za ostale pikove.

Metod rada

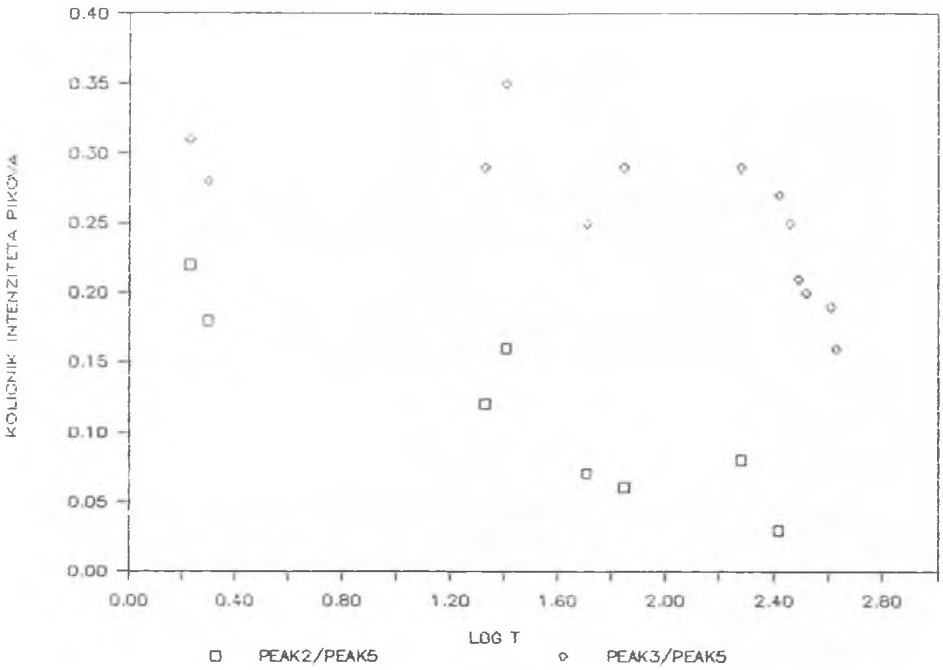
Ozračeno je 82 dozimetra jednokratno. Dozimetri su očitavani po isteku različitih vremenskih intervala (od 1,7 sati do 431,4 sata) na čitaču HARSHAW Model 6600. Zatim su analizirane krive isijanja po programu istog proizvođača - Computerized Glow Curve Dekonvolution. Na osnovu dobijenih rezultata normirani su intenziteti drugog i trećeg pika prema intenzitetu petog pika kao jediničnom.

Rezultati i diskusija

Izračunate su srednje vrednosti za peak2/peak5 i peak3/peak5. Prikazane su na Slici 1. Određivanje linearne zavisnosti ovih veličina od logaritma vremena proteklog između ozračivanja i očitavanja urađeno je metodom najmanjih kvadrata. Dobijeni rezultati predstavljeni su na graficima 1 i 2. Vremenski intervali u kojima je posmatrana linearna zavisnost određeni su prema rezultatima sa slike 1.

Koeficijent korelacije za Grafik 1 iznosi 0.92 a za Grafik 2 0.94 što odgovara dobroj linearnoj zavisnosti.

SLIKA 1



Zaključak

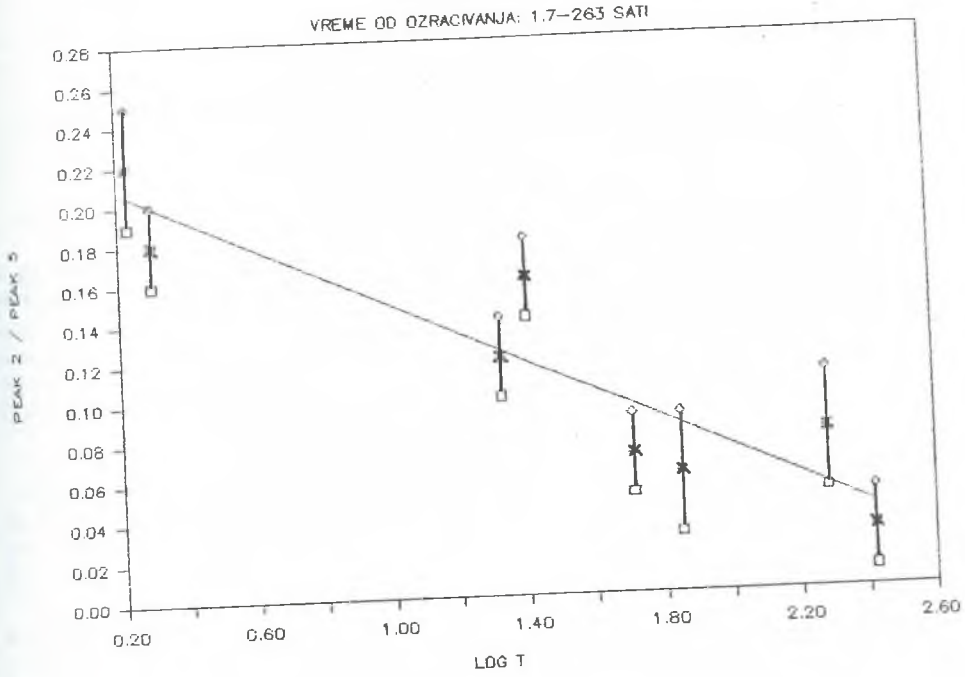
Na osnovu analize krive isijanja moguće je odrediti da li je dozimetar ozračen ravnomerno u vremenu; ili je ozračivanje bilo jednokratno kao i vreme takvog ozračivanja.

Literatura

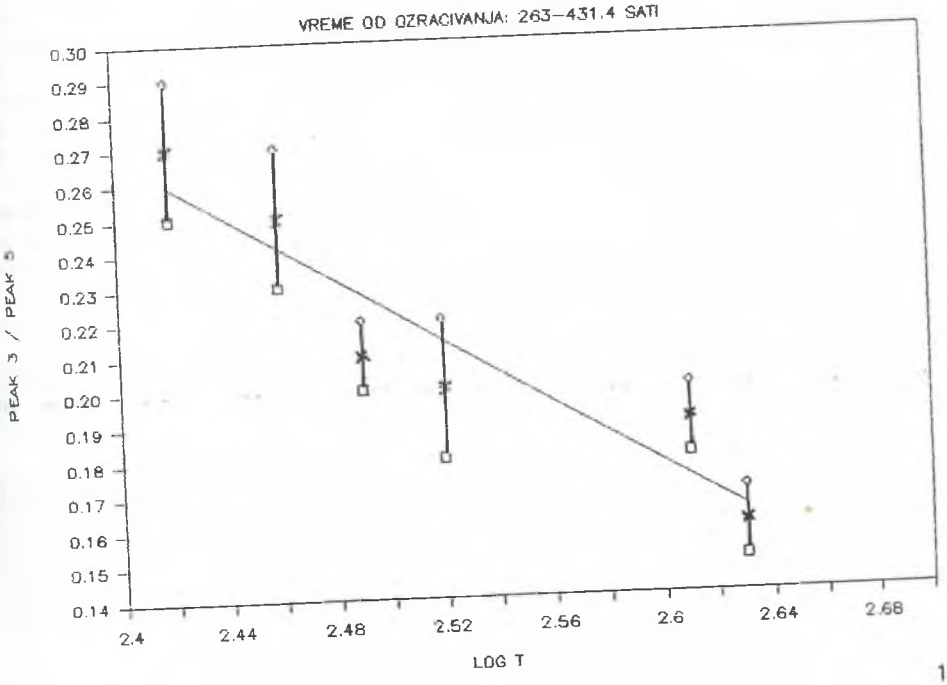
[1] Computerized Glow Curve Deconvolution; HARSHAW Manual

[2] S. Vukadinović; Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike Beograd, 1973

GRAFIK 1



GRAFIK 2



Time Dependence Analysis of Glow Curve for TLD type LBG-0110

Olivera Marinković
Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović", Belgrade, Deligradska 29

Abstract

It was examined the relation between peaks 2 and 5 and peaks 3 and 5 against log t (t is the time from one-shot exposure to readout cycle). The relations are linear with correlation coefficient 0.92 and 0.94.

Key words: TLD, peak, time.

ISPITIVANJE DOZIMETARA TIPA CaF_2:Mn ZA POTREBE LIČNE DOZIMETRIJE

Dr.Milan Mišović, Zoran Bošković
Zavod za preventivnu medicinu Vojnomedicinske akademije, Beograd , Crnotravska 17
Dr.Vesna Spasić Jokić
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd, Mike Alasa 14

Rezime: U radu su prikazani rezultati ispitivanja dozimetara tipa CaF_2:Mn za potrebe lične dozimetrije. Izvršena su tri tipa ozračivanja u cilju provere svih relevantnih karakteristika TLD. Na osnovu izvršenih ispitivanja zaključeno je da se pomenuti tip dozimetra moze koristiti za potrebe lične dozimetrije.

Ključne reči: ispitivanje, TLD

1. Uvod

Ispitivanje termoluminescentnih dozimetara tipa CaF_2:Mn izvršeno je u cilju njihovog odobravanja za primenu u ličnoj dozimetriji. Ovaj tip dozimetra je odabran zbog svojih dobrih karakteristika, koje se odnose na visoku osetljivost, kao i dobru linearnost u širokom opsegu doza od μGy do reda kGy.

2. Materijal i metode

Ovde su prikazani rezultati ispitivanja samo jedne šarže dozimetara od 600 komada (korekcioni faktor šarže je 1.08), proizvođač Institut "Jozef Stefan" iz Ljubljane.

Izvršena su tri tipa ozračivanja i to [1,2,3];

1) Rutinsko laboratorijsko ozračivanje radi provere uniformnosti šarže. Ovaj tip ozračivanja je pogodan zbog postojanja fiksne geometrije, fiksiranog numeričkog odnosa sa kalibracionim kvalitetima, kao i pogodnosti rukovanja. Za ovaj tip ozračivanja korišćen je automatski TLD ozračivač Vinten model 623 sa izvorom ^{90}Sr-^{90}Y (beta energije 0.61 i 2.2 MeV), u 4π geometriji.

2) Kalibraciono ozračivanje je izvršeno u snopu gama zračenja ^{60}Co(aktivnosti oko 5.5 x 10^{10} Bq) i u snopu 100 kV X-zračenja (100 kV, filtracija 0.4mm Cu + 1mm Al, HVL je 4mm Al efektivna energija 37 keV)

3) Ispitno (merno) ozračivanje je izvršeno u cilju provere linearnosti odziva TLD, zavisnosti odziva od jačine apsorbovane doze i tačnosti odziva pojedinačnog dozimetra.

Svi dozimetri su očitavani pod identičnim uslovima, propisanim od strane proizvođača, i to: predgrevanje na 160°C (22s) i očitavanje na 290°C(22s)[4] . Dozimetri su pakovani tako da je ostvarena elektronska ravnoteža u toku kalibracije.

3.Rezultati

Ispitivanje uniformnosti šarže izvršeno je rutinskim ozračivanjem grupe od 30 dozimetara podeljenih u pet grupa po 6 dozimetara na kalibratoru, a rezultati su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati provere uniformnosti šarže

TLD odziv						$Y_0 \pm \sigma$	σ/Y_0	max $(Y_0-Y_i)/Y_0$
2228	2316	2346	2199	2112	2324			
2166	2311	2200	1919	2176	2313	2229.2 ± 121.9	0.05	0.18
2190	2157	2357	2139	2074	2289			
2157	2276	2138	2288	2249	2295			
2203	2122	2314	2179	2205	2633			

Kako je rasipanje rezultata očitavanja pojedinačnih dozimetara manje od ±5% to je ispunjen uslov iz člana 9. Pravilnika [5], čime je zadovoljen uslov uniformnosti šarže. Maksimalno odstupanje pojedinačnog dozimetra od srednje vrednosti je 18% čime je zadovoljen uslov da ono ne sme biti veće od 30%.

Provera kalibracije i linearnosti odziva izvršena je u snopu gama zračenja ^{60}Co i 100 kVX. Za 100 kVX snop zračenja grupa od 110 dozimetara je podeljena u 11 grupa po 10 dozimetara, a rezultati ispitivanja su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2, Rezultati provere kalibracije i linearnosti odziva šarže TLD (100 kVX)

apsorbovana doza [mGy]	srednja vrednost TLD odziva	kalibracioni faktor [μGy/imp]
0.33	286.8±28	1.15
0.66	581.3±33	1.14
0.90	764.8±45	1.18
1.15	988±82	1.16
1.31	1410±118	1.03
1.81	1847±245	0.98
4.27	4259±361	1.00
8.29	8591±342	0.97
18.47	19503±1380	0.96
26.31	27293±2330	0.96
46.38	46250±1041	1.00

Odziv šarže se moze aproksimirati pravom: $y = 1010.2\ x + 70.2$,

gde su: y - odziv TLD u impulsima, a x - apsorbovana doza u mGy. Faktor linearnosti je $r = 0.9996$, što zadovoljava uslove linearnosti TLD odziva u posmatranom opsegu doza.

Kalibracioni faktor šarze je: $M = (1.048 \pm 0.09)$ μGy/imp

U snopu gama zračenja ^{60}Co je ozračivano 100 dozimetara podeljenih u 10 grupa po 10 dozimetara, a rezultati provere kalibracije i linearnosti su dati u tabeli 3.

Tabela 3 Rezultati provere kalibracije i linearnosti odziva TLD šarze (^{60}Co)

apsorbovana doza [mGy]	srednja vrednost TLD odziva	kalibracioni faktor [μGy/imp]
0.10	9.25±0.5	10.81
0.20	17.80±0.9	11.20
0.30	27.80±1.9	10.81
0.50	43.50±2.1	11.31
0.75	62.80±2.1	11.90
1.00	82.30±3.1	11.73
2.00	158.50±13	12.60
3.00	252.50±14	11.88
5.00	362.75±33	13.78
8.05	646.80±37	12.44

Odziv šarze se moze aproksimirati pravom: $y = 84.49\ x + 3.42$,

gde su: y - odziv TLD u impulsima, a x - apsorbovana doza u mGy. Faktor linearnosti je $r = 0.9980$, što zadovoljava uslove linearnosti odziva TLD u posmatranom opsegu. Kalibracioni faktor šarze je $M = (11.85 \pm 0.9)$ μGy/imp

Provera tačnosti odziva pojedinačnih dozimetara izvršena je prema tački 3.3.11.Uputstva[3], U cilju provere tačnosti odziva pojedinačnog dozimetra 44 dozimetra je podeljeno u 11 grupa po 4 dozimetra u grupi. Rezultati provere su prikazani u tabeli 4., a odnose se samo na snop 100 kVX-zračenja.

Tabela 4. Rezultati provere tačnosti odziva pojedinačnog dozimetra (100 kVX)

X_v [mGy]	X_v/X_a	X_a [mGy]	$1- 2X_0/(X_0+X_a)$	$1+ X_0(2X_0+X_a)$
0.33	0.95	0.35	0.66	1.54
0.33	1.21	0.27	0.65	1.55
0.33	1.11	0.30	0.65	1.55
0.33	1.06	0.31	0.66	1.55
0.66	1.07	0.61	0.68	1.52
0.66	0.98	0.67	0.68	1.52
0.66	1.09	0.61	0.68	1.52
0.66	1.11	0.59	0.68	1.52
0.90	1.20	0.75	0.68	1.52
0.90	1.04	0.87	0.68	1.52
0.90	1.07	0.84	0.68	1.52
0.90	1.11	0.81	0.68	1.52
1.15	1.19	0.96	0.69	1.52
1.15	0.98	1.17	0.69	1.51
1.15	1.09	1.05	0.69	1.51
1.15	1.11	1.04	0.69	1.51
1.31	0.78	1.69	0.70	1.51
1.31	0.92	1.42	0.69	1.51
1.31	0.87	1.51	0.69	1.51
1.31	0.92	1.42	0.69	1.51
1.81	1.08	1.69	0.70	1.51
1.81	0.95	1.90	0.69	1.51
1.81	0.79	2.30	0.69	1.51
1.81	0.89	2.04	0.69	1.51
4.27	0.99	4.29	0.70	1.50
4.27	0.98	4.36	0.70	1.50
4.27	0.83	5.13	0.70	1.50
4.27	0.96	4.46	0.70	1.50
8.29	0.85	9.71	0.70	1.50
8.29	0.94	8.86	0.70	1.50
8.29	0.91	9.14	0.70	1.50
8.29	0.92	9.06	0.70	1.50
18.47	0.98	18.75	0.70	1.50
18.47	0.88	20.96	0.70	1.50
18.47	0.85	21.85	0.70	1.50
18.47	0.84	21.91	0.70	1.50
26.31	0.93	28.19	0.70	1.50
26.31	0.97	26.99	0.70	1.50
26.31	0.91	28.87	0.70	1.50
26.31	0.80	32.76	0.70	1.50
46.38	0.94	49.38	0.70	1.50
46.38	0.96	49.26	0.70	1.50
46.38	0.94	48.31	0.70	1.50
46.38	0.91	51.00	0.70	1.50

Ovde je prikazan samo mali deo veoma obimnih ispitivanja, koji služi kao ilustracija postupka ispitivanja tipa dozimetra.

4.Zaključak

Na osnovu rezultata ispitivanja zaključeno je da se pomenuti tip TLD može koristiti za potrebe lične dozimetrije. Postupak ispitivanja tipa, kao i rezultati predstavljaju praktičnu realizaciju Metrološkog uputstva za pregled termoluminescentnih dozimetara.

VERIFICATION OF CaF_2:Mn TYPE OF DOSEMETERS FOR PERSONAL DOSIMETRY PURPOSES

Abstract: Verification results of CaF_2:Mn type of dosemeters for personal dosimetry purposes are presented in this paper. Tree types of iradiations are proceded due to verification of relevant features of TLD. It is concluded that meantioned tupe of dosemeter can be used for purpose of personal dosimetry.

Key words: verification, TLD

Literatura:

[1] Oberhofer M., Scharman A.:"Applied thermoluminescence dosimetry", Brusseles and Luxemburg,1981.;

[2] ANSI 545:"Performance, testing and procedural specifications for thermoluminescence dosimetry, ANSI, New York,1987.;

[3] Metrološko uputstvo za pregled termoluminescentnih dozimetara, Glasnik br. 4/92

[4]Uputstvo proizvodača

[5] Pravilnik o metrološkim uslovima za termoluminescentne dozimetre,"Službeni list SRJ,br47/92;

PROPORCIONALNA JONIZACIONA KOMORA

M. Kovačević, D. Novković, I. Avramović, S. Stanković, M. Vukčević
Institut za nuklearne nauke "Vinča", p.p. 522, Beograd

Rezime

U radu je dat opis jonizacione komore koja radi u proporcionalnoj oblasti. Odredjena su pojačanja za N_2, Ar, He i CH_4 i mešavine CH_4 i He na različitim pritiscima. Ispitan je i uticaj jačine doze na gasno pojačanje.

Dobijeni rezultati pokazuju da je moguće konstruisati jonizacionu komoru koja bi radila u proporcionalnoj oblasti i imala značajno gasno pojačanje.

Ključne reči: jonizaciona komora, proporcionalni brojač, gasno pojačanje

1. Uvod

Merenje doza zračenja u okolini postaje sve značajnije. Doze zračenja u životnoj sredini menjaju se u zavisnosti od sastava stena i zemljišta, vrste gradjevinskog materijala i konstrukcija zgrade. Dozimetri koji se koriste za ove namene moraju imati dobru rezoluciju kako bi mogli pratiti ove promene [1]. S druge strane nove preporuke koje su smanjile granične vrednosti doza zahtevaju veću pouzdanost merenja. Za ovu svrhu koristi se više vrsta detektora. Ograničavajući faktori kod svih vrsta detektora vezani su za grešku merenja, osetljivost detektora i cenu. Ukoliko su zadovoljewni uslovi u pogledu greške merenja i osetljivosti detektora onda su cene ograničavajući faktor.

Najpouzdaniji instrument za ovu namenu je jonizaciona komora pod pritiskom koja se odlikuje visokom osetljivošću i malom greškom merenja ali je zbog čeličnog oklopa neosetljive na niskoenergetsko zračenje. Pored toga zbog svoje glomaznosti ova vrsta dozimetara nije pogodna za prenošenje a i cena je relativno visoka. U slučaju standardne jonizacione komore električno polje se bira da bude takvo da kolektuje svo stvoreno naelektrisanje. Kod merenja jačina doza reda 1 pC/kgs, što je u granicama prirodnog fona, sa komorama čije su zapremine 1 l potrebno je meriti struje koje su reda fA. Merenje ovih struja je složeno pa je poželjno pojačati ovaj signal.

Cilj ovog rada je da se razvije detektor koji bi imao zadovoljavajuću osetljivost, dobru energetsku zavisnost i relativno nisku cenu.

2. Opis jonizacione komore sa gasnim pojačanjem

Ispitivana jonizaciona komora se sastoji od cilindra prečnika 40 mm i dužine 140 mm. Kao kolektorska elektroda korišćena je čelična žica presvučena zlatom čije dijametar 100 μm. Na kolektorsku elektrodu se dovodi pozitivni potencijal. Pod dejstvom električnog polja elektroni stvoreni u gasu se kreću ka kolektorskoj elektrodi. Kako se radi o radijalnom električnom polju to je ono jače što su elektroni bliži kolektorskoj elektrodi tako da dobijaju sve veće ubrzanje. Kada dobiju dovoljnu energiju elektroni su sposobni da jonizuju gas u komori. Na taj način pod dejstvom električnog polja dolazi do multiplikacije elektrona odnosno dolazi do pojačanja primarnog signala [2].

3. Eksperimentalna provera i rezultati merenja

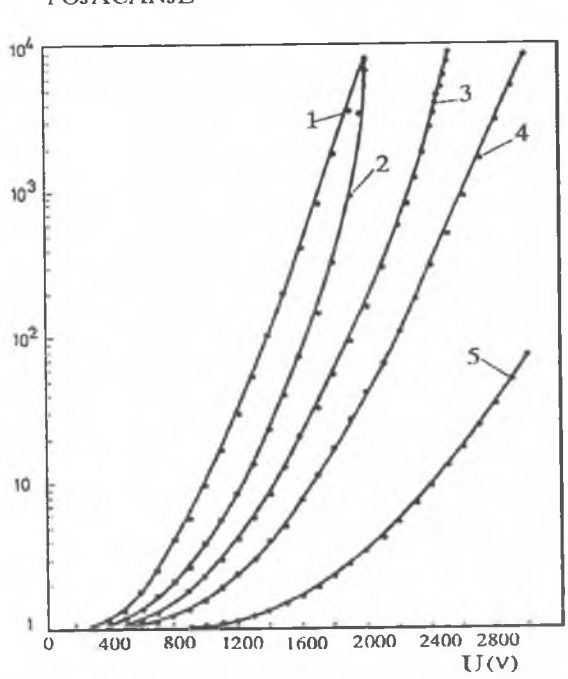
Ispitivana su dva osnovna faktora: gasno pojačanje za različite gasove pod različitim pritiscima i uticaj jačine doze na gasno pojačanje.

3.1. Merenje gasnog pojačanja

Jonizaciona komora je punjena čistim helijumom, azotom argonom i metanom i mešavinom 10 % metana i 90 % helijuma i 20% metana i 80% helijuma. Pre svakog punjenja komora je evakuisna ispod 0.5 μbara. Da bi izbegli efekat degaziranja komora je izmedju punjenja držana pod vakumom 24 časa. Gasno pojačanje jonizacione komore je definisano kao:

$$A = i/i_0$$

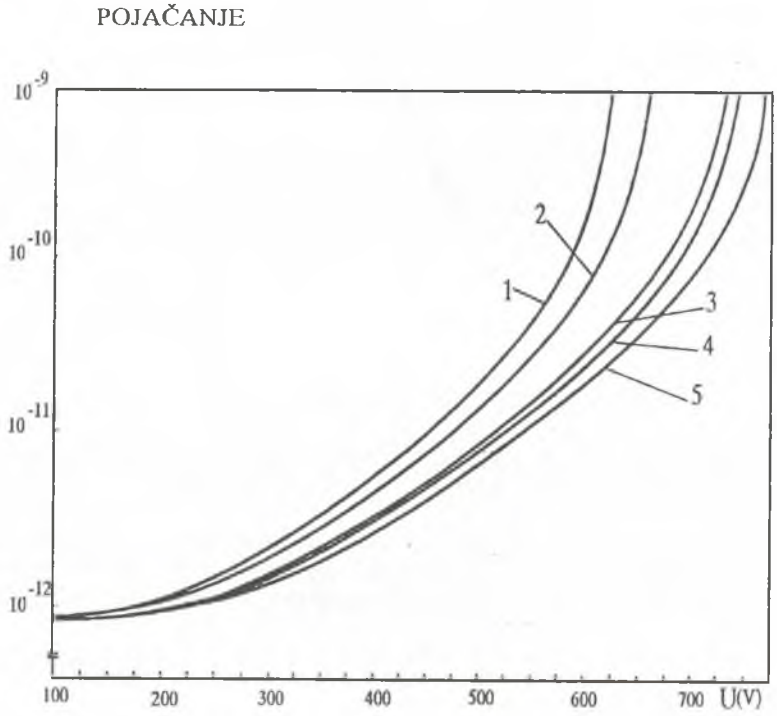
gde je: i_0 - jonizaciona struja bez gasnog pojačanja
i - jonizaciona struja sa gasnim pojačanjem pod istim uslovima ozračivanja,
Odnos je meren u funkciji primenjenog napona i konstantne temperature. Struja je merena sa greškom manjom od ± 1 %. Zavisnost gasnog pojačanja od napona data je na slici 1.



Slika 1. Zavisnost gasnog pojačanja od napona za različite gasove:
1. 0.2CH_4 + 0.8 He, p=1013 mbar; 2. Ar, p=1013 mbar; 3. N_2 , p=1013 mbar;
4. CH_4, p=587 mbar; 5. CH_4, p=1013 mbar.

Dobijeni rezultati pokazuju da jonizaciona komora radi u proporcionalnoj oblasti do pojačanja 100 za Ar i 1000 za N_2 za čiste gasove dok je za mešavine sa CH_4 pojačanje bilo od 1000 pa čak do 10000. Izuzetak je čist helijum gde je moguće dostići pojačanja do 50.

Kod čistog helijuma zapažen je efekat da gasno pojačanje zavisi od vremena koje je proteklo od punjenja jonizacione komore do merenja. Zavisnost gasnog pojačanja od vremena data je na slici 2.

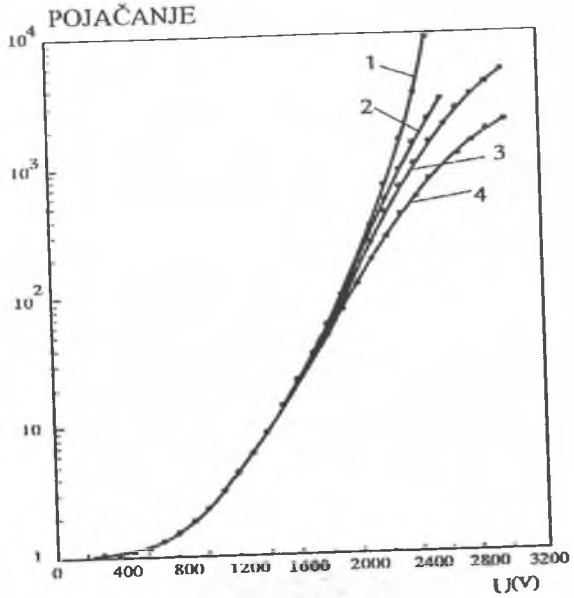


Slika 2.Gasno pojačanje u funkciji napona za helijum mereno za različito vreme posle punjenja komore: 1. t = 0 h; 2. t = 4 h 3. t = 22 h; 4. t = 27 h; 5. t = 45 h

Ovakvo ponašanje je najverovatnije posledica degaziranja nečistoća iz zida komore. Helijum je jako osetljiv na prisustvo nečistoća zbog visokog potencijala jonizacije pa svaka nečistoća bitno utiče na ovu veličinu.

3.2. Ispitivanje zavisnosti pojačanja od jačine doze

Jedan od ispitivanih parametara je zavisnost gasnog pojačanja od jačine doze. Ispitivan je uticaj gustine prostornog naelektrisanja na pojačanje. Ovaj efekat je ispitivan sa jonizacionom komorom koja je punjena azotom pri čemu je pritisak bio od 1013 mbar. Jonizacona komora je postavljena u polje jačine 30 nC/kgs, 250 nC/kgs, 1.6 μC/kgs i 4.5μC/kgs. Zavisnost gasnog pojačanja od jačine doze data je na slici 3.



Slika 3. Gasno pojačanje u funkciji napona za različite jačine ekspozicione doze: 1. 30 nC/kgs; 2. 250 nC/kgs; 3. 1.6 μC/kgs, 4. 4.5 μC/kgs

Dobijeni rezultati pokazuju da za najveću vrednost doza koja je iznosila 4.5 μC/kg s efekat prostornog naelektrisanja dolazi do izražaja za pojačanja A>200. Za niže vrednosti doza ovaj efekat dolazi do izražaja na većim pojačanjima dok za jačinu doze od 30 pC/kg s efekata nije zapažen.

4. Zaključak

Ispitivanja gasnog pojačanja su pokazala da je ovaj tip jonizacione komore pogodan za merenje niskih doza. Adekvatnim izborom zidova jonizacione komre može se postići i dobra energetska zavisnost. Ispitivanja su pokazala da se za čiste gasove može dobiti pojačanje do 200 dok je za mešavine gasova moguće dobiti pojačanja do 10000. Medjutim za praktičnu upotrebu potrebno je izvršiti dodatna ispitivanja stabilnosti i uticaj drugih parametara na gasno pojačanje.

Literatura

1. Spiers, F.W., "Measurement of the Background Gamma-Ray Dose at a Particular Site", A code of Practice prepared for BCRU, AERE Harwell.
2. Attix,F.H., Roesch,W.C., "Radiation dosimetry", Vol II, Academic Press, 1966.

Abstract:

The aim of the investigation was to study the increase of sensititvity of ion chamber operated in the internal gas multiplication voltages range. Gas gain were determined for a proportional-counter-like device filled with various pure gases and gases mixtures at the different voltages and preassures.

KOREKCIONI FAKTORI ZA SUMACIONI EFEKAT KOD POLUPROVODNIČKIH HPGe DETEKTORA

Aleksandar Kandić
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd, Mike Alasa 14

Rezime

U gama-spektrometriji sa poluprovodničkim HPGe detektorom treba uzimati u obzir i sumacioni efekat, naročito na malim rastojanjima izvor-detektor. Međutim, značaj ovog efekta je često potcenjen. Korekcije su neophodne, ako se dva ili više fotona nastalih pri istom raspadu detektuju simultano. U ovom radu biće prikazani korekcioni faktori za sumacioni efekat za pojedine radionuklide u različitim matricama.

Ključne reči: poluprovodnički detektori, kalibracija detektora

1. Uvod

Savezni zavod za mere i dragocene metale poseduje poluprovodnički HPGe detektor proizveden u EG&G ORTEC, SAD. Tokom 1991. godine izvršena je kalibracija detektora.

Kod kalibracije poluprovodničkog HPGe detektora vrše se dve vrste kalibracija potrebnih za kvalitativnu i kvantitativnu analizu gama-spektra: enrgetska kalibracija i kalibracija na efikasnost. Prilikom kalibracije na efikasnost najvažniji zadatak je odrediti krivu efikasnosti za različite geometrije merenja i za različite matrice.

2. Kalibracija detektora

Za kalibraciju detektora korišćeni su uzorci referentnih radioaktivnih materijala nabavljeni od Nacionalnog biroa za mere (OMH) iz Mađarske, i to: mleko u prahu, zemlja i vodeni rastvor, koji su bili kontaminirani sledećim radionuklidima: ^{22}Na, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{88}Y, ^{133}Ba i ^{137}Cs. Uzorci su bili raspoređeni na sledeći način: mleko u prahu u dve marineli posude (236,71 g i 236,10 g), zemlja, takođe, u dve marineli posude (500,38 g i 504,70 g), dok je vodeni rastvor prvo bio razblažen na 999,95 g, a zatim smešten u tri plastične bočice zapremina od po 250 ml (196,21 g, 196,52 g i 198,11 g), kao i u plastičnu bočicu zapremine 50 ml (50,43 g). [1]

Da bi se odredila kriva efikasnosti, potrebno je prvo odrediti apsolutnu efikasnost u funkciji energije, ε(E), za veći broj radionuklida, odnosno energija. Apsolutna efikasnost u funkciji energije, ε(E), određuje se na sledeći način:

$$\varepsilon(E)=\frac{N(E)}{P(E)At} \qquad (1)$$

gde su: N(E) - broj impulsa ispod površine fotopika energije E korigovan za fon;
P(E) - verovatnoća emisije fotona energije E u jednom raspadu radionuklida;

A - aktivnost radionuklida;

t - vreme merenja.

Dobijene podatke za apsolutnu efikasnost u funkciji energije, ε(E), možemo da prikažemo grafički, a eksperimentalne tačke glatko spojene daju krivu efikasnosti, koja nam je i potrebna za kalibraciju na efikasnost.

Prilikom određivanja apsolutne efikasnosti korišćene su sledeće korekcije: za fon, za mrtvo vreme, za raspad tokom merenja kao i za sumacioni efekat. U ovom radu biće prikazani samo korekcioni faktori za sumacioni efekat.

3. Korekcioni faktori za sumacioni efekat

Prilikom određivanja korekcionih faktora za sumacioni efekat pošlo se od rezultata K. Debertina i U. Schötziga [2], koji su u svom radu dali prikaz metode određivanja korekcionih faktora za sumacioni efekat, kao i same korekcione faktore za niz radionuklida i za različite geometrije merenja. Prilagođavanjem tih rezultata matricama i geometrijama merenja korišćenim prilikom kalibracije poluprovodničkog HPGe detektora Saveznog zavoda za mere i dragocene metale, određeni su korekcioni faktori za sumacioni efekat, koji su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Korekcioni faktori za sumacioni efekat kod poluprovodničkih HPGe detektora

matrica		mleko u prahu	zemlja	vodeni rastvor (1)	vodeni rastvor (2)
radio-nuklid	energija [keV]				
^{133}Ba	80,99	1,080	1,100	1,130	1,181
^{57}Co	122,06	1,000	1,000	1,000	1,000
^{57}Co	136,48	1,000	1,000	1,000	1,000
^{133}Ba	276,39	1,033	1,040	1,085	1,127
^{133}Ba	302,85	1,016	1,020	1,045	1,068
^{133}Ba	356,00	1,016	1,020	1,043	1,069
^{133}Ba	383,84	0,984	0,980	0,967	0,950
^{22}Na	511,00	1,067	1,080	1,035	1,043
^{137}Cs	661,66	1,000	1,000	1,000	1,000
^{88}Y	898,02	1,061	1,070	1,048	1,059
^{60}Co	1173,24	1,071	1,080	1,028	1,037
^{22}Na	1274,53	1,161	1,180	1,092	1,146
^{60}Co	1332,50	1,072	1,080	1,028	1,038
^{88}Y	1836,01	1,075	1,080	1,049	1,064

U tabeli 1. je sa (1) označen vodeni rastvor u plastičnoj bočici zapremine 250 ml, a sa (2) vodeni rastvor u plastičnoj bočici zapremine 50 ml.

Korekcije za sumacioni efekat uvodimo tako što podatke za apsolutnu efikasnost u funkciji energije ε(E), dobijene na osnovu jednačine (1) množimo odgovarajućim korekcionim

4. Rezultati i diskusija

Korigovana kriva efikasnosti primenjena je u softverskom programu OMNIGAM da bi se odredila aktivnost radionuklida u uzorku. Da bi se dobile korigovane vrednosti za aktivnost radionuklida u uzorku, dobijene nekorigovane vrednosti za aktivnost množimo odgovarajućim korekcionim faktorima za sumacioni efekat. Odstupanja dobijenih vrednosti za aktivnost radionuklida od deklasrisanih vrednosti iz sertifikata dobijenog od OMH, prikazana su u tabeli 2. (odstupanja su izražena u procentima). U kolonama označenim slovom B, data su odstupanja od deklarisanih vrednosti kada je korišćena nekorigovana kriva efikasnosti, a u kolonama označenim slovom S, kada je korišćena korigovana kriva efikasnosti. Odstupanja su data na osnovu srednjih vrednosti većeg broja merenja.

Tabela 2. Odstupanja dobijenih vrednosti za aktivnost radionuklida od deklarisanih vrednosti

matrica	mleko u prahu		zemlja		vodeni rastvor (1)		vodeni rastvor (2)	
radionuklid	B	S	B	S	B	S	B	S
^{22}Na	- 8,53	+ 0,12	- 9,50	- 0,07	- 7,49	- 1,85	- 9,19	- 0,91
^{57}Co	+ 1,48	- 0,16	+ 1,75	- 0,19	+ 4,53	- 0,14	+ 9,31	+ 1,41
^{60}Co	- 1,01	+ 0,04	+ 0,88	+ 0,10	- 0,74	- 0,93	- 0,14	- 0,29
^{88}Y	+ 0,87	- 0,37	+ 0,24	- 0,77	+ 0,38	+ 0,29	+ 0,46	+ 2,12
^{133}Ba	+ 1,63	- 0,39	+ 1,26	+ 0,58	- 0,38	+ 0,14	- 0,14	- 0,78
^{137}Cs	+ 3,61	- 0,11	+ 4,22	- 0,58	+ 3,79	+ 0,32	+ 6,45	+ 1,16

Iz tabele se vidi da su korišćenjem korigovane krive efikasnosti dobijeni znatno bolji rezultati, naročito za ^{22}Na, ^{57}Co i ^{137}Cs. Treba napomenuti da je u malom broju slučajeva dobijeno odstupanje veće nego što je to slučaj kada je korišćena nekorigovana kriva efikasnosti, naročito kod vodenog rastvora (2), ali i pored toga svi rezultati se nalaze u opsegu od ± 3 %, što nije slučaj kada se radi sa nekorigovanom krivom efikasnosti, gde se odstupanja nalaze u opegu od čak ± 10 %.

Literatura

[1] Kandić, A., Spasić-Jokić, V., Todorović, D., Pantelić, G., Trajić, I., Milovanović, V., Manić, G., Interkalibracija poluprovodničkih HPGe detektora, Zbornik radova XVII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Beograd - Vinča, 25.-28.05.1993., str,195-198

[2] Debertin, K., Schötzig, U., "Bedeutung von Summationskorrektionen bei der Gammastrahlen-Spektrometrie mit Germaniumdetektoren", PTB-Bericht Ra-24, Braunschweig,1990.

SUMMING EFFECT CORRECTIONS FOR HPGe SEMICONDUCTOR DETECTORS

Aleksandar Kandić

Abstract

In gamma-ray spectrometry with germanium detectors summing effects have to be taken into account, in particular at low source-detector distances. The importance of these effects is frequently underestimated. Corrections become necessary, if two or more photons originating from the same decay are detected simultaneously. In this paper will be present summing effect corrections for some radionuclides in different matrixes.

Key words: semiconductor detectors, detectors calibration

OPTIMIZACIJA DIFUZIONE KOMORE ZA MERENJE RADONA

Dragoslav Nikezić, Dragana Krstić, Dragana Kostić,
Prirodno - matematički fakultet, Kragujevac, R. Domanovića 12
Đorđe Bek-Uzarov
Institut za nuklearne nauke, Vinča

Rezime

U ovom radu dati su rezultati teorijskog i eksperimentalnog rada na optimizaciji difuzione komore za merenje radona. Pokazano je da se neodređenost koju u rezultat unosi efekat taloženja radonovih potomaka na unutrašnjim zidovima komore, može izbeći, korišćenjem uskih komora.

Ključne reči: radon, LR 115, difuziona komora.

1.Uvod

U naučnoj zajednici široko je priihvaćeno mišljenje da radon i njegovi kratkoživeći potomci doprinose polovini ukupne doze jonizujućih zračenja koju stanovništvo prima u toku jedne godine. Najveći deo ozračivanja dogodi se u zatvorenim prostorijama gde je koncentracija radona obično veća nego van. Iako, oko krajnjeg efekta ove doze još uvek ima diskusija i kontraverzi, razvijen je znatan interes za merenje radona u zatvorenim prostorijama. Koncentracija radona pokazuje znatne varijacije u toku vremena, koje su uglavnom u vezi sa meteorološkim parametrima. Međutim, za procenu radijacionog rizika potrebno je odrediti koncentraciju radona u dužem intervalu vremena što je izazvalo razvoj pasivnih integracionih mernih tehnika, koje su zasnovane na tzv. trag detektorima.

Radon i njegovi kratkoživeći potomci emituju alfa čestice, koje izazivaju intenzivno oštećenje materijala u kome se usporavaju. Ovo oštećenje je lokalizovano u uskom prostoru oko putanje čestice i to se naziva latentni trag. Ako je ozračeni materijal izolator, on se može tretirati hemijski ili elektrohemijski, čime se tragovi povećavaju i mogu se videti pod optičkim mikroskopom. To je princip rada tzv. trag detektora. Ako su detektori izlagani u atmosferi koja sadrži radon, oni nose informaciju o ukupnom ozračivanju, tj. o proizvodu srednje koncentracije radona (i potomaka) i vremena. Merenjem gustine tragova može se odrediti koncentracija radona u periodu izlaganja detektora.

Ovakav metod određivanja koncentracije radona ima više nedostataka, od kojih je najznačajniji zavisnost gustine tragova (tj. odgovora detektora) od faktora ravnoteže između radona i njegovih potomaka. Kako je faktor ravnoteže promenljiv u toku vremena, i od lokacije do lokacije, merenje radona na ovaj način može biti netačno. To je razlog za primenu tzv. "pokrivenih" ili filtriranih detektora; detektor se stavi u određenu posudu ("čašu ili šolju"), koja se sa otvorene strane zatvori filter papirom ili nekim drugim materijalom koji je propustljiv za radon. Ovakav

uređaj je nazvan difuziona komora, jer radon iz spoljašnjeg prostora difunduje u nju. Raspadanjem radona u komori, uspostavlja se ravnoteža između radona i njegovih potomaka. Uslovi ozračivanja detektora u komori su "bolje" definisani nego u slučaju otkrivenog - nefiltriranog detektore, čime je omogućeno merenje sa manjom neodređenošću. Međutim, radonovi potomci stvoreni u komori se talože na njenim unutrašnjim zidovima. "Deo" nataloženih potomaka može da se menja u zavisnosti od raznih parametara u toku izlaganja, čime se menja geometrija ozračivanja detektora, što opet unosi novu neodređenost u proces merenja koncentracije radona. Određivanje prerespodele radonovih potomaka unutar zatvorene komore može se obaviti preko Jakobi-jevih jednačina, tj. prediktivnog modela ponašanja radonovih potomaka u zatvorenom prostoru. Ovakav teorijski pristup je opisan u radu [1]. Dobijeno je skoro potpuno taloženje radonovih potomaka unutar difuzione komore. Slabost ovog teorijskog modela je nedovoljno dobro poznata vrednost konstanti koje ulaze u model, pre svega brzine depozicije radonovih potomaka. Ova veličina je određivana za zatvorene prostorije (sobe) u mnogim radovima, i kreće se u širokim granicama od 0.05 do 1 cm/s.

Drugi, semiteorijski pristup određivanja raspodele radonovih potomaka u difuzionoj komori opisan je u [2] i [3], i zasnovan je na poređenju teorijske i eksperimentalno dobijene raspodele gustine tragova na detektoru. Ovaj pristup je doveo do zaključka da je nataloženi deo ^{218}Po između 0.4 i 0.6, dok je za ^{214}Po uzeto potpuno taloženje u komori. Neslaganje ova dva pristupa navelo nas je na detaljnije ispitivanje celokupnog problema taloženja radonovih potomaka na unutrašnjim zidovima difuzione komore.

2. Metod

Problem koji je napred iznet je ispitivan u dva koraka. Prvi korak je bio računanje osetljivosti detektora LR 115 II na dnu difuzione komore. Za ovo računanje korišćen je program opisan u [2] i [4]. Pri tome, sistematski su varirani poluprečnik i visina komore cilindričnog oblika [5]. Računanja su obavljana za ekstremne slučajeve: a) potpunog taloženja radonovih potomaka i b) odsustva bilo kakvog njihovog taloženja. Međuslučajevi, koji najverovatnije i odgovaraju realnosti, se mogu tretirati prostim množenjem osetljivosti u ekstremnim slučajevima, sa delom nataloženog ^{218}Po.

Drugi deo rada sastojao se u eksperimentalnom određivanju osetljivosti komora različitih poluprečnika i visina i poređenju sa teorijskim predviđanjima. Detektori u ovakvim komorama izloženi su visokoj koncentraciji radona od 16 600 Bq/m^3. Nakon izlaganja u trajanju od 165 h detektori su nagrizani 120 min. u 10 % rastvoru NaOH na temperaturi 60 ^oC. Očitavanje detektora, odnosno određivanje gustine tragova, je obavljeno optičkim mikroskopom.

3. Rezultati

Od većeg broja rezultata teorijskog proučavanja osetljivosti LR 115 II detektora u komorama raznih dimenzija, dati su rezultati za komoru visine 4 cm, na slici 1.

Sa ove slike jasno je da depozicija radonovih potomaka umanjuje osetljivost detektora. Dodatno, nejednaka depozicija u raznim komorama, može uneti neodređenost u merenje radona. Rastojanje između krivih, koje pretstavljaju totalno taloženje

i slučaj bez taloženja potomaka, je sve veće ako je visina komore veća. Smanjivanjem visine komore rastojanje između ovih krivih je sve manje, a time se i neodređenost merenja izazvana nepoznatim delom nataloženih potomaka smanjuje. (Ove rezultate ne prikazujemo zbog ograničenog prostora).

Kao značajan rezultat ovih računanja može se navesti sledeće: odgovor detektora je skoro nezavisan od "dela nataloženih" potomaka za uske komore čiji je poluprečnik manji od 1.5 cm. Treba zapaziti da je u tom slučaju ukupna osetljivost komore manja, čime će se povećati statistička neodređenost merenja usled manjeg broja tragova na detektoru. Rezultat eksperimentalnog rada je dat na slici 2. Na apscisi je dat poluprečnik difuzione komore, a na ordinati osetljivost detektora u (m). Ova jedinica potiče od fizičkog smisla osetljivosti trag detektora za merenje radona, gustine tragova po jediničnom izlaganju tj. $(trag/m^2)/(Bq\ s/m^3)$.

4. Zaključak

Kao zaključak ovog rada može se izneti da pitanje dela radonovih potomaka koji se talože na unutrašnjim zidovima komore u suštini i nije bitno za merenje radona i pretstavlja lažnu dilemu. Neodređenost merenja koja potiče od taloženja može se praktično svesti na minimalnu vrednost, korišćenjem uskih komora. Ovaj zaključak proističe iz teorijskih razmatranja, a u ovom radu je potvrđen i eksperimentalno.

Literatura

[1] Mc Laughlin, J. P., Fitzgerald, B.,Intern. Workshop. Indoor Radon Remedial Action, Rimini, Italy, 1993.
[2] Nikezić, D., Marković, P., Bek-Uzarov, Đ., Health Physics,64, pp. 628, 1993.
[3] Nikezić, D., Veličković, D., Radiation Measurements, 23, pp. 219, 1994.
[4] Nikezić, D., Marković, P., Bek-Uzarov Đ., Health Physics, 62, pp. 239, 1992.
[5] Nikezić, D., Baixeras, C., podneto u Nuclear Instruments & Methods in Physics Research.

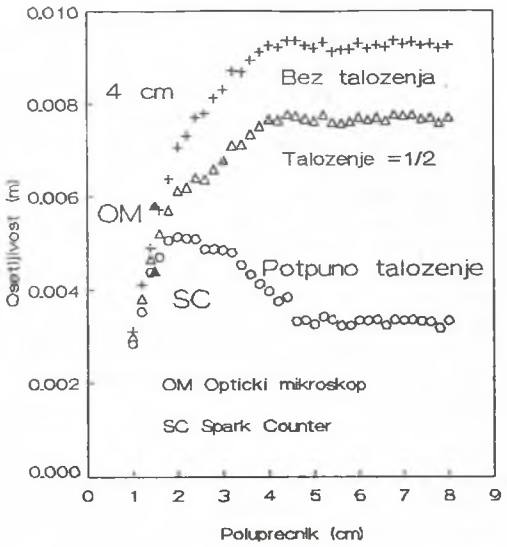
OPTIMISATION OF DIFFISION CHAMBER FOR RADON MEASUREMENTS

Dragoslav Nikezić, Dragana Krstić, Dragana Kostić,
Đorđe Bek-Uzarov

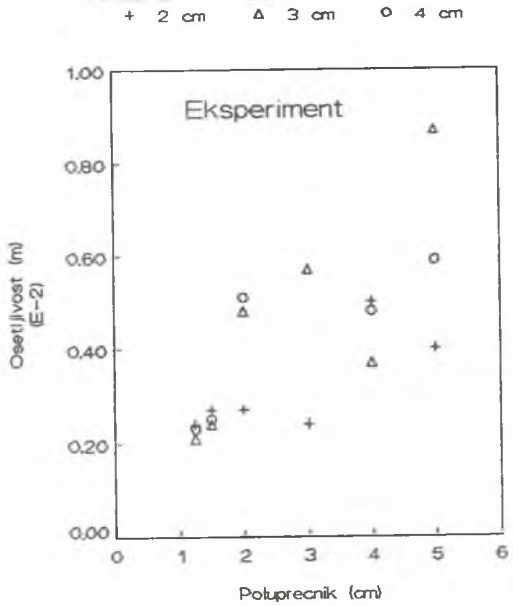
Abstract

In this report, preliminary results of theoretical and experimental efforts on optimisation of diffusion chamber for radon measurements are presented. The uncertainty of radon measurements, which originated by uknown fraction of deposited radon progeny on inner chamber´s walls is possibile avoid, if the narrow be used in practice.

Key words: radon, LR 115, diffusion chamber.



Slika1. Teorijske vrednosti osetljivosti cilindrične komore



Slika 2. Osetljivosti komora različitih visina za merenje radona

OPTIMIZACIJA OBLIKA IMPULSA IZ SCINTILACIONIH DETEKTORA U SPEKTROMETRIJI GAMA ZRAČENJA PRI VELIKIM BRZINAMA BROJANJA

Vujo Drndarević
Institut za nuklearne nauke "Vinča", POBOX 522, 11001 Beograd

Rezime

Pokazano je da se impuls iz scintilacionog detektora mogu učiniti kraćim nego što je trajanje njihovog generisanja. Na taj način ostvareni su početni uslovi za kvalitetnu spektrometriju gama zračenja pri velikim brzinama brojanja korišćenjem relativno sporih detektora kao što su NaI(Tl) i BGO. Pogoršanje energetske rezolucije, do koga dolazi usled skraćivanja impulsa, može se značajno redukovati selektivnim produžavanjem vremena integracije skraćenih impulsa. Eksperimentalno je potvrdjeno da se sa porastom energije zračenja smanjuje negativan uticaj skraćivanja impulsa na energetsku rezoluciju.

Ključne reči: obrada signala, spektrometrija, velika brzina brojanja

1. Uvod

Veliki broj radova posvećen je problemu optimizacije oblika signala u cilju obezbedjenja maksimalne energetske rezolucije spektrometarskog sistema kada su prisutni paralelni (*step*) i serijski (*delta*) šum. Dobro je poznato da se filtrom sa *cusp* oblikom funkcije prenosa postiže maksimalan odnos signal/šum u ovakvim primenama, pri čemu je neophodno koristiti veoma duge vremenske konstante filtriranja, reda 100 μs [1]. U primenama u kojima je velika brzina brojanja esencijalni zahtev, ovako duge vremenske konstante oblikovanja signala neprihvatljive su sa stanovišta koje efekat preklapanja ima na energetsku rezoluciju i ukupan kvalitet merenja.

Pored odnosa signal/šum, pri izboru tipa filtersko-uobličavačkih kola neophodno je voditi računa i o efektima oblika impulsa na degradacije kvaliteta energetskog spektra usled preklapanja, osetljivosti amplitude izlaznog signala na promene u vremenu uspostavljanja ulaznog signala kao i o pogodnosti oblika signala za precizno merenje amplitude. Relativni značaj pobrojanih faktora zavisi od osnovnih zahteva primene.

Deformacije energetskog spektra pri velikim brzinama brojanja poglavito zavise od ukupne širine impulsa [2]. Pogodnim kolima moguće je impuls učiniti kraćim nego što je trajanje fizičke pojave koja se odigrava u detektoru, redukujući na taj način verovatnoću preklapanja impulsa. U ovom radu data su rešenja elektronskih kola za skraćivanje impulsa korišćenjem linije za kašnjenje. Takodje, analizirani su efekti skraćivanja impulsa na energetsku rezoluciju mernog sistema i dati su teoretski i eksperimentalni rezultati.

2. Analiza oblika signala iz scintilacionih detektora

Kod scintilacione sonde za rad pri velikim brzinama brojanja po pravilu se koristi anodni signal, pri čemu je anoda preko male otpornosti povezana na masu. Oblik anodnog signala iz fotomultiplikatora scintilacionog detektora zavisi kako od vremenske konstante anodnog kola, tako i od vremenskih karakteristika samog detektora.

Strujni impuls na izlazu iz anode fotomultiplikatora je [3]:

$$i(t) = \frac{\theta}{\lambda - \theta} \lambda Q \left(e^{-\theta t} - e^{-\lambda t}\right), \qquad (1)$$

pri cemu je sa λ označena konstanta opadanja fluoroscencija scintilatora, dok je θ reciprocna vrednost vremenske konstante anodnog kola, $\theta = 1/RC$. U izrazu (1) Q predstavlja ukupno sakupljeno naelektrisanje koje odgovara jednom impulsu a C je ukupna kapacitivnost anodnog kola.

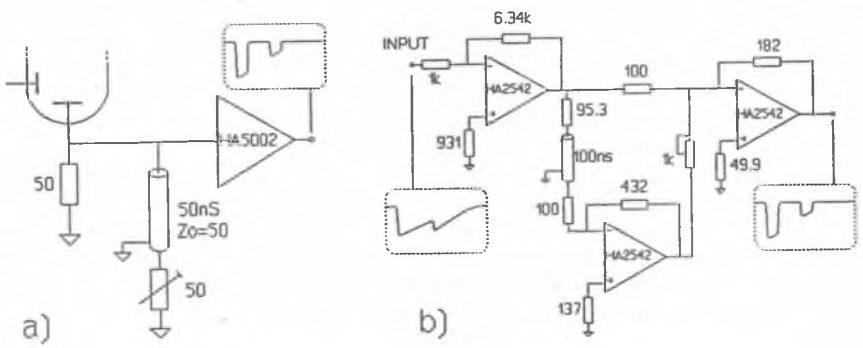
U spektrometriji gama zračenja pri velikim brzinama brojanja teži se, kao što je u uvodu naglašeno, dobijanju što kraćeg impulsa. Pri korišćenju scintilacionih detektora to se postiže izborom kratke vremenske konstante anodnog kola. U tom slučaju važi $\theta >> \lambda$, te jednačina (1) dobija oblik:

$$i(t) = \lambda Q \left(e^{-\lambda t} - e^{-\theta t}\right). \qquad (2)$$

Na osnovu jednačine (2) mogu se doneti sledeći opšti zaključci. Vremenska zavisnost prednje ivice impulsa (oblast $t << 1/\lambda$) definisana je preko $(1-\exp(-\theta t))$, te je vreme uspostavljanja impulsa poglavito odredjeno vremenskom konstantom anodnog kola. Vreme opadanja impulsa (oblast $t >> 1/\theta$) definisano je preko $\exp(-\lambda t)$, odnosno identično je vremenu opadanja fluoroscencija u scintilatoru.

3. Redukovanje preklapanja skraćivanjem impulsa

Impuls opisan jednačinom (2) može se učiniti kraćim nego što je trajanje njegovog generisanja u detektoru, što omogućuje redukovanje verovatnoće preklapanja impulsa. Skraćivanje impulsa moguće je obaviti pomoću linije za kašnjenje ili pogodnim kolima za diferenciranje. Dva ulazna kola za skraćivanje anodnih impulsa na bazi linije za kašnjenje predstavljena su na slici 1. Potrebno je naglasiti da je dužina trajanja impulsa skraćenog kolom sa slici 1a definisana dvostrukom vrednošću kašnjenja upotrebljene linije za za kašnjenje, s obzirom da se za skraćenje impulsa koristi njegova reflektovana i oslabljena frakcija. Rešenje sa slike 1b je fleksibilnije, naročito sa stanovišta prilagodjenja linije za kašnjenje na izlaz detektora.



Sl. 1 Dve konfiguracije kola za skraćivanje anodnih impulsa korišćenjem linije za kašnjenje

Trajanje skraćenog impulsa odredjeno je vremenom uspostavljanja impulsa i dužinom upotrebljene linije za kašnjenje. Vreme uspostavljanja impulsa, uz uslov da je vremenska

konstanta anodnog kola mala, postaje inherentna karakteristika detektora i na nju se ne može uticati. Ostaje mogućnost da se za dobijanje što kraćeg impulsa koristi što kraća linija za kašnjenje. Donja granica dužine linije za kašnjenje odredjena je vremenom uspostavljanja samog impulsa, pri čemu se pokazuje neefikasnim korišćenje linije za kašnjenje kraće od vremena uspostavljanja impulsa [4].

4. Efekti skraćivanja impulsa na energetsku rezoluciju

Skraćivanjem impulsa gubi se deo signala, pri čemu nivo šuma ostaje isti. Ovo za posledicu ima smanjenje odnosa signal/šum odnosno pogoršanje energetske razolucije sistema.

Za iznalaženje veze izmedju relativnog pogoršanja energetske rezolucije i vremena skraćivanja impulsa biće korišćen uprošćen oblik signala:

$$i(t) = Nq\lambda e^{-\lambda t} \qquad (3)$$

kojim se, za potrebe ove analize, dovoljno dobro aproksimira strujni impuls na izlazu scintilacionog detektora. U izrazu (3) sa N je obeležen ukupan broj elektrona sakupljen na anodi fotomultiplikatora koji odgovara jednom dogadjaju interakcije zračenja sa detektorom, q je naelektrisanje elektrona a λ konstanta opadanja scintilacija detektora.

Integrisanjem prethodno skraćenog signala, srednja vrednost integrisanog signala biće konstantna nakon trenutka $t=t_i$ koji odgovara dužini trajanja impulsa i iznosiće:

$$V = Nq(1-e^{-\lambda t_i}) . \qquad (4)$$

Imajući u vidu statističku prirodu procesa generisanja signala u detektoru, broj elektrona koji stiže na anodu fotomultiplikatora fluktuira, u skladu sa *Poisson*-ovim zakonom raspodele, oko srednje vrednosti N koja figuriše u jednačini (4), pa samim tim fluktuira i srednja vrednost V integrisanog signala.

Pretpostavljajući da je amplituda integrisanog signala merena u trenutku $t_m(>t_i)$ i imajući u vidu princip skraćivanja impulsa korišćenjem linije za kašnjenje, lako se dolazi do srednje kvadratne vrednosti odstupanja amplitude integrisanog signala,

$$V_s\big|_{t=t_m} = Nq(1-e^{-\lambda t_i})\,(1-e^{-\lambda t_i}+e^{-\lambda t_m}) . \qquad (5)$$

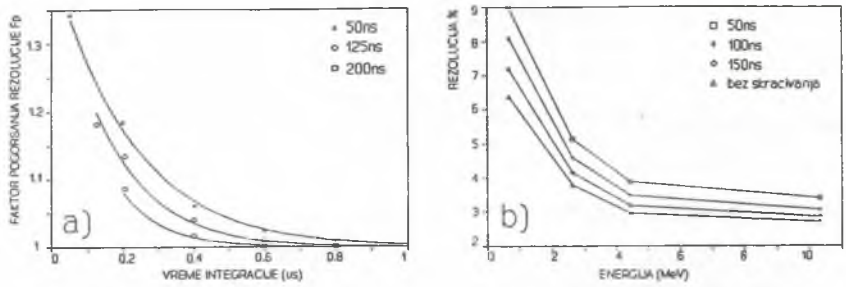
S obzirom da je standardna devijacija integrisanog originalnog signala srazmerna sa $1/\sqrt{N}$, faktor pogoršanja energetske rezolucije može se izraziti kao:

$$F_p = \frac{\sqrt{V_s/V}}{1/\sqrt{N}} = \left(1+\frac{e^{-\lambda t_m}}{1-e^{-\lambda t_i}}\right)^{1/2} . \qquad (6)$$

Na osnovu jednačine (6) može se primetiti da se energetska rezolucija pogoršava smanjenjem vremena skraćivanja odnosno dužine trajanja impulsa t_i.

Na slici 2a predstavljena je zavisnost faktora pogoršanja energetske rezolucije F_p za NaI(Tl) detektor od vremena integracije impulsa za različite vrednosti dužine linije za kašnjenje koja je korišćena za skraćivanje impulsa i to 50, 125 i 200 ns. Diskretne vrednosti odnose se na eksperimentalno dobijene podatke. Pored uočljive podudarnosti teorijskih i eksperimentalno dobijenih rezultata sa slike 2a se može izvući i jedan važan zaključak. Produžavanjem vremena integracije skraćenog impulsa F_p se smanjuje i, kada je t_m dovoljno dugo, praktično ne dolazi do gubitka energetske rezolucije. Ova činjenica korišćena je u realizaciji vremenski zavisnog filtra u okviru procesora signala opisanog u lit. [5].

Na slici 2b predstavljeni su rezultati merenja energetske rezolucije Harshow 3"x3" NaI(Tl) detektora u zavisnosti od energije upadnog gama zračenja a za različita vremena



Sl. 2 (a) Faktor pogoršanja rezolucije u funkciji vremena integracije impulsa i (b) energetska rezolucija u zavisnosti od energije zračenja za različita vremena skraćivanja impulsa.

skraćivanja impulsa. Sa slike 2b može se zapaziti da kod viših energija upadnog gama zračenja pogoršanje razlaganja usled skraćivanja impulsa postaje manje izraženo, jer pri visokim energijama uneta - statistička komponenta energetske rezolucije ima dominantnu ulogu.

Literatura

[1] Goulding F., Landis D., Signal Processing for Semiconductor Detectors, *IEEE Transaction on Nuclear Science*, Vol. NS-29, No. 3, June 1982. pp. 1125-1141.

[2] Blatt S. L., Characteristics of Random-Sum Peaks in Nuclear Radiation Spectra, *Nuclear Instruments and Methods* 128 (1975) pp. 277-281.

[3] Knoll F. G., Radiation Detection and Measurement, *John Wiley and Sons*, 1979.

[4] Chaminade R., Pain J., Cross M., Short Shaping of Slowly Rising Pulses, with Integrated Pole Cancelation, *Nuclear Instruments and Methods*, 73 (1969) p. 122-124.

[5] Drndarevic V., Elimination of distortion of nuclear energy spectra caused by pulse pile-up, *Measurement Science and Technology* 5 (1994), pp. 1573-1575.

PULSA SHAPE OPTIMIZATION OF PULSES FROM SCINTILLATION DETECTORS IN HIGH COUNTING RATE GAMMA RAY SPECTROSCOPY

Vujo Drndarevic

Abstract

It has been shown that pulse from scintillation detector can be made shorter than the duration of physical phenomenon of pulse generation. Using this approach, quality gamma ray spectroscopy is made possible by relatively slow NaI(Tl) and BGO detectors . Loss of energy resolution caused by pulse shortening could be significantly reduced by selective extension of time for integration of shortened pulses. It has been confirmed experimentally that the worsening of the resolution due to the pulse shortening becomes less important as the energy increases.

Key words: signal processing, spectroscopy, high counting rate.

REALIZACIJA TRANSMISIONOG CT SKENERA - *TETRIS* ZA NEDESTRUKTIVNU ANALIZU MATERIJALA

Predrag Marinković
Elektrotehnički fakultet u Beogradu, B. Revolucije 73, Beograd
Vladan Ljubenov
Institut "Vinča", Laboratorija "NET", p.p. 522, Beograd

Rezime

Merenjem slabljenja radijacije prilikom prolaska kroz objekat (transmisiona tomografija) procesom skeniranja može se nedestruktivno dobiti slika raspodele merenog parametra (lineranog koeficijenta slabljenja zračenja) unutar jednog sloja. Jeftin CT skener - TETRIS je realizovan u Laboratoriji za nuklearnu tehniku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i u radu su prikazani rezultati proračuna i preliminarnih merenja. TETRIS skener može se koristiti za odredjivanje prostorne raspodele efektivnog atomskog broja i mape raspodele gustine materijala unutar objekta. Polje aplikacija je široko, a primenljiv je i za testiranje i ispitivanje materijala i komponenti fisionih i fuzionih reaktora.

Ključne reči: transmisiona tomografija, skener, konvolucija, gama

1. Uvod

Realizovani tomograf na bazi skenera pripada klasi industrijskih skenera prve generacije namenjenih za nedestruktivnu analizu materijala[1], komponenti i sklopova. Prednost ovog uredjaja, koji je namenjen za laboratorijske uslove, sem niske cene je mogućnost dobre kvantifikacije gustine materijala i efektivnog atomskog broja sa minimalnim lažnim detaljima u slici sloja. Pogodnost je i mogućnost korišćenja različitih izvora zračenja (od X zračenja do monohrmatskih gama izvora). Osnovni nedostatak je dugo vreme merenja u poredjenju sa tomografima viših generacija (korišćenih u medicinske svrhe) koje je limitirano maksimalno mogućom vrednošću aktivnosti izvora čije zračenje mora biti kolimisano u vrlo uzanom snopu reda 1 mm i manje u cilju postizanja visoke prostorne rezolucije.

2. Teorijske osnove CT

Konvencionalna CT (transmisiona tomografija) bazira se na merenju slabljenja uzanog snopa X ili gama zračenja unutar objekta koji se ispituje. U slučaju da je snop zračenja monoenergetski energije E_0 i intenziteta $I_0(s,\theta)$, iza objekta za projekciju pod uglom θ i snop na rastojanju s, važi

$$I(s,\theta) = I_0(s,\theta)e^{-p(s,\theta)}, \tag{1}$$

gde je $p(s,\theta)$ Radonova slika linearnog koeficijenta slabljenja snopa X ili gama zračenja $\mu(x,y,E_0)$ unutar objekta radijusa a data sa

$$p(s,\theta) = \int_{-\sqrt{a^2-s^2}}^{\sqrt{a^2-s^2}} \mu(s\cos\theta - t\sin\theta, s\sin\theta + t\cos\theta, E_0)\,dt. \tag{2}$$

Pri ovome je smatrano da je efikasnost detekcije nepromenljiva za vreme procesa detekcije (i iznosi

100 %) i da je slabljenje snopa zračenja van objekta (u vazduhu) zanemarljivo. Takodje, uzeto je da se izvor i detektor zračenja (koji su savršeno kolimisani i otvori oba kolimatora su u pravcu jedne linije) pomeraju translatorno duž pravca s pod uglom θ. Treba imati u vidu da važi $I(s,\theta) = I^{tot}(s,\theta) - I^{fon}$ i $I_0(s,\theta) = I_0^{tot}(s,\theta) - I^{fon}$, gde je I^{fon} vrednost fona pri merenju.

3. Teorijske osnove rekonstrukcije slike

Jedan od veoma praktičnih načina rekonstrukcije 2D slike u paralelnoj geometriji je metod konvolucije sa filtriranjem[2]. Pogodnosti ove metode su izbegnuta interpolacija u kompleksnom domenu (kao kod Fourierove metode), mogućnost a priori odredjivanja impulsnog odziva, uračunavajući i proces filtriranja, i izbegavanje izračunavanja u kompleksnom domenu. Pre postupka rekonstrukcije slike treba izračunati impulsni odziv sistema prema $q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} |\omega| W(\omega) e^{i2\pi\omega t} d\omega$, gde je $W(\omega)$ prenosna karakteristika filtra, a ω prostorna učestanost [1/m]. Integralna slika se dobija konvolucijom Radonove transformacije projekcije p(s,θ) i impulsnog odziva prema $I(s',\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} p(s,\theta) q(s'-s)\, ds$. Proces inverznog projektovanja daje konačnu sliku $f(x,y) = \int_0^{\pi} I(s',\theta) d\theta$, pri čemu treba imati u vidu da je $s' = x\cos\theta + y\sin\theta$.

U slučaju rekonstrukcije slike sa pikselima dimenzije Δx i Δy kojih ima KxL, gornji postupak rezultira izrazom oblika

$$f(k\Delta x, l\Delta y) = \Delta 0 \sum_{n=1}^{N} I(k\Delta x\cos\theta_n + l\Delta y\sin\theta_n, \theta_n), \tag{3}$$

gde je $\theta_n = n\Delta\theta$, n=1,...,N, a N broj projekcija. Integralna slika se može odrediti na osnovu

$$I(m', \theta_n) = \Delta \sum_{\substack{m=M^- \\ M^- \le m' \le M^+}}^{m=M^+} p(m\Delta s, \theta_n) q[(m'-m)\Delta s], \tag{4}$$

gde je $M=2M^+ +1$ broj tomografskih zraka po projekciji (M^- i M^+ su minimalna i maksimalna vrednost indeksa tomografskog zraka), a funkcija $q[(m'-m)\Delta s] = q(\nu\Delta s)$ je u slučaju linearnog filtra data sa

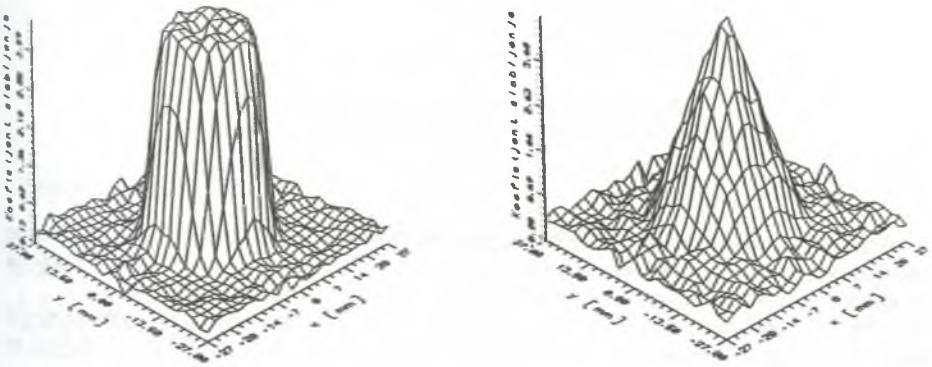
$$q(\nu\Delta s) = \begin{cases} \dfrac{3-2\epsilon}{12(\Delta s)^2} & \nu = 0 \\ -\dfrac{\epsilon}{\pi^2(\nu\Delta s)^2} & \nu = parno,\ \nu \neq 0 \\ -\dfrac{1-\epsilon}{\pi^2(\nu\Delta s)^2} & \nu = neparno. \end{cases} \tag{5}$$

Mogu se uzeti razne vrednosti za ϵ izmedju 0 i 1. Ako je $\epsilon=0$, tada se radi o Ramachadran-Lakshmirayananovom filtru. U praksi osim ovog filtra primenjuju i drugi ako se želi intezivnije filtriranje, a najpoznatiji su Shepp-Loganov i Butterworthov filtar.

Da bi se smanjila količina proračuna u praktičnim izračunavanjima integralna slika I se odredjuje samo u 2xM tačaka, a potrebne vrednosti u KxL tačaka se dobijaju obično linearnom interpolacijom.

4. Rezultati proračuna i merenja

Realizovan je računarski program u Fortranu - **KONVOLA**[3] za rekonstrukciju slike na bazi metode konvolucije sa filtriranjem. Program omogućava dobijanje slike u 54x54 piksela, dok je maksimalni broj projekcija 40. Vreme potrebno za obradu jednog piksela na IBM-486-66 računaru je 500 μs.

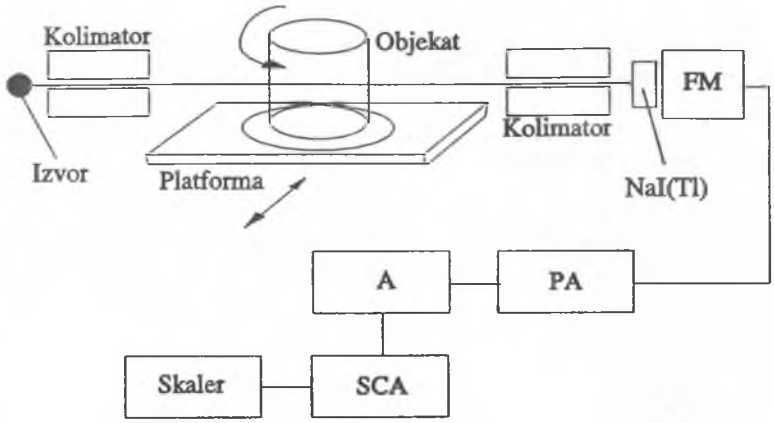


(a) (b)

Slika 1. Raspodela linearnog koeficijenta slabljenja gama zračenja u jednom sloju valjkastog objekta. (a) Na osnovu podataka dobijenih simulacijom. (b) Na osnovu merenja na TETRIS-u.

U cilju testiranja programa metodom Monte Carlo simulirani su podaci za 40 projekcija sa po 27 tomografskih zraka po projekciji za predmet oblika valjka od Fe radijusa 19 mm. Uticaj filtriranja je ispitivan za različite vrednosti parametra ϵ linearnog filtra, kao i za Shepp-Loganov filtar. Na slici 1a je prikazana rekonstruisana slika, koja daje raspodelu linearnog koeficijenta slabljenja gama zračenja u jednom sloju ispitivanog objekta. Korišćen je linearni filtar (ϵ=0.4), koji se pokazao kao najoptimalniji u smislu minimalne deformacije izgleda predmeta i maksimalnog potiskivanja šuma.

Uradjena su i preliminarna merenja na realizovanoj aparaturi **TETRIS** (blok šema je na slici 2) sa predmetom istog oblika i strukture za koji je vršena simulacija. Korišćeni su kolimatori izvora i detektora oba dijametra 3 mm i dužine 50 mm od Pb. Izvor je bio ^{60}Co aktivnosti 50 kBq, dok je kao detektor korišćen NaI(Tl) 5x5 cm. Brojani su samo impulsi koji odgovaraju foto-pikovima gama fotona iz ^{60}Co koji su odabrani podešavanjem gornjeg i donjeg nivoa jednokanalnog aplitudskog analizatora. Time se umnogome eliminiše uticaj rasejanih fotona. Zbog niske aktivnosti raspoloživog izvora gama zračenja potrebno vreme merenja po projekciji je bilo jako dugo (27 min). Translaciono i rotaciono pomeranje objekta je vršeno manuelno sa dovoljnom preciznošću. Broj merenih projekcija je N=40 ($\Delta\theta$=4.5°), dok je broj zraka M=27. Slika, rekonstruisana na osnovu izmerenih rezultata, koja predstavlja raspodelu koeficijenta slabljenja u jednom sloju ispitivanog objekta je data na slici 1b. Merenja su pokazala da se uspešno može reprodukovati vrednost koeficijenta slabljenja gama zraka, što se vidi na slici 1. Lošija prostorna rezolucija je posledica prevelikog otvora kolimatora, čije korišćenje je bilo uslovljeno slabim intenzitetom raspoloživog izvora zračenja.



Slika 2. Blok šema TETRIS skenera.

5. Zaključak

Preliminarna merenja na TETRIS skeneru su potvrdila očekivane osobine. Korišćenje monohromatskih izvora zračenja omogućava kontrolu energetske rezolucije detektora i rasejanja fotona. Kvantifikacija u odredjivanju Z_{eff} i gustine je moguća poznavajući energiju zračenja.

U daljem radu treba povećati intezitet izvora (u cilju smanjenja vremena merenja) i smanjiti veličinu otvora oba kolimatora (u cilju povećanja prostorne rezolucije). Takodje, planira se automatizacija pokretanja objekta.

Literatura

[1] Martz, H.E., Robertson, G.P., Schneberk, D.J., Azevedo, S.G., "Nuclear-Spectroscopu-Based, First-Generation, Computerized Tomography Scanners", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.38, No.2, pp.623-635, April 1991.

[2] Lewitt, M.R., "Reconstruction Algoritms: Transform Methods", Specialissue on computerized tomography, Proceedings of the IEEE, Vol. 71, No. 3, pp.390-408, March 1983.

[3] Marinković, P. "Program KONVOLA", Programska biblioteka ETF - Beograd, 1995.

REALIZATION OF TRANSMISSION CT SCANNER-TETRIS FOR NONDESTRUCTIVE MATERIAL ANALYSIS

Predrag Marinković, Vladan Ljubenov

Abstract. Measuring atenuation of radiation throughout an object (transmission imaging) by a scanning process, a section (slice) image could be calculated providing distribution of a measured parameter nondestructively. Inexpensive CT (computerized tomography) scanner - TETRIS was built at Laboratory for nuclear technic at Belgrade Faculty of Electrical Engineering and results of preliminary testing calculation and measurements were presented in this paper. TETRIS scanner could be used to determine an internal, spatially distributed, effective atomic number and density map within the object. Field of applications is wide, and it could be used for fission and fusion reactor materials and components testings too.

Key words: transmission tomography, scanner, convolution, gamma

Јачина апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у Београду и Кладову

Гордана Пантелић, И. Петровић, М. Томашевић, Б. Вулевић

Клинички центар Србије, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Карајовић"

Резиме

Јонизациона комора RSS-112 *се користи за мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у Београду и Кладову. Мерења се врше аутоматски сваких* 5 s, *а просечне измерене вредности се меморишу сваких 15 минута. Обе јонизационе коморе су повезане модемом са републичким центрима за обавештавање. Измерене вредности у току* 1992-1994 *године кретале су се у границама природних варијација основног фона.*

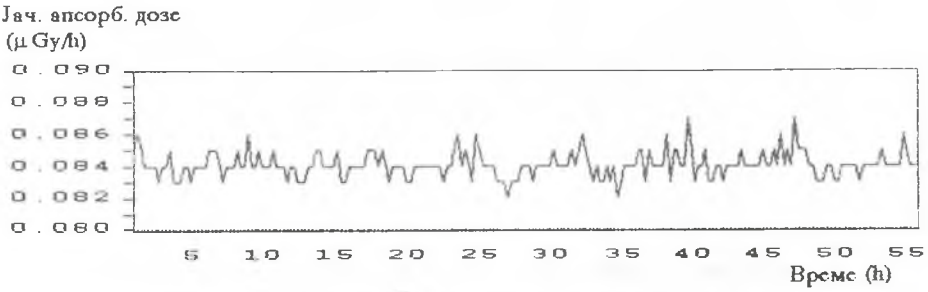
Кључне речи: јонизациона комора, јачина апсорбоване дозе

1. Увод

Мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху јонизационим коморама врши се континуирано у Београду и Кладову у складу са законским прописима [1]. Мерења се изводе на висини 1 м изнад травне поршине. Обе јонизационе коморе су повезане модемом са градским односно републичким центрима за обавештавање, чиме је обезбеђена потпуно аутоматизована рана најава нуклеарне опасности у случају да вредност јачине апсорбоване дозе гама зрачења пређе задату вредност унету у меморију уређаја.

2. Метода

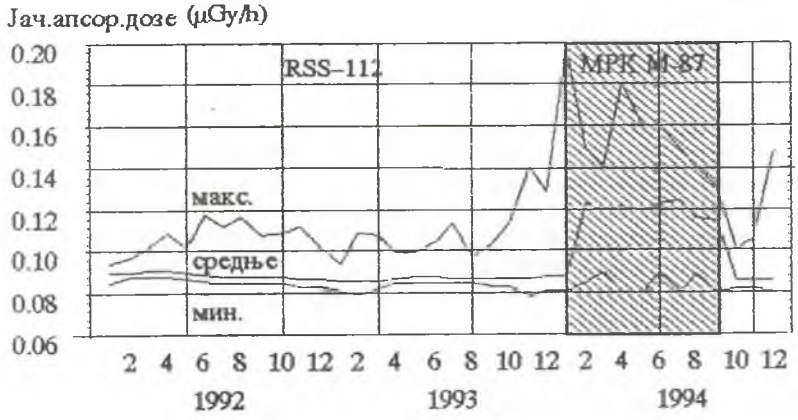
Јонизациона комора RSS-112 фирме Reuter–Stokes се састоји од две главне компоненте: сферна јонизациона комора запремине 81 и одговарајуће електронике. Мерења се изводе аутоматски сваких 5 s, а по жељи се може изабрати интервал у коме се меморишу просечне измерене вредности. Број меморисаних вредности је 220, па уколико је изабрани интервал 15 минута, онда се у сваком тренутку на уређају могу очитати вредности измерене у последњих 55 часова, као што је приказано на слици 1. Уређај је повезан са рачунаром, на који се меморисане вредности могу аутоматски пребацити и трајно сачувати. Тачност показивања јонизационе коморе је 5%.



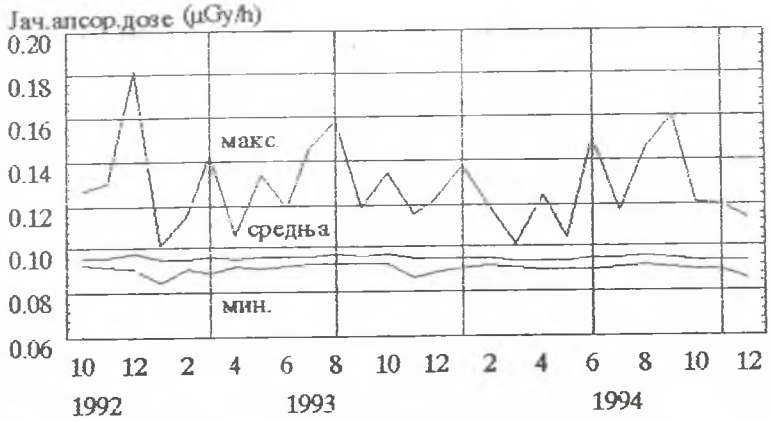
Слика 1. Јачина апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху
- приказ на монитору јонизационе коморе

3. Резултати и дискусија

Резултати мерења јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у Београду и Кладову у току 1992-1994 године приказани су на сликама 2 и 3. У Кладову је мерење вршено само јонизационом комором RSS-112 , а у Београду је због квара на комори, у току неколико месеци у 1994 години, мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху вршено мерачем радиоактивне контаминације МРК М-87. Јачина апсорбоване дозе гама зрачења је мерена овим уређајем на свака 2 h, са грешком мерења ± 0.03 μGy/h. Због малог броја мерења у току дана постоји велико одступање између минималне, средње и максималне вредности. Одступање средње вредности мерења јачине апсорбоване дозе МРК-ом у односу на мерење јонизационом комором је реда величине наведене грешке мерења ± 0.03 μGy/h.



Слика 2. Јачина апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у Београду
(минималне, средње и максималне месечне вредности)



Слика 3. Јачина апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у Кладову (минималне, средње и максималне месечне вредности)

4. Закључак

Измерене вредности јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у току 1992-1994 године, у Београду и Кладову, кретале су се у границама природних варијација основног фона.

Литература

[1] Правилник о местима и временским интервалима систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини, раном откривању и обавештавању радиоактивне контаминације животне средине, Службени лист СФРЈ бр. 84/91

Abstract

Gamma dose rate in the air in Belgrade and Kladovo

Gordana Pantelić, I. Petrović, M. Tomašević, B. Vulević

Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović", Beograd

Environmental Gamma Radiation Monitor RSS–112 for gamma dose rate in the air in Belgrade and Kladovo is used. The measurements are automatic, evry 5 s, but averaged values are stored in 15 minutes interval. Both monitors are connected through modems with Republic information centers.

ОДРЕЂИВАЊЕ ЈАЧИНЕ АПСОРБОВАНЕ ДОЗЕ ГАМА ЗРАЧЕЊА У ЦЕНТРУ СИСТЕМА ХЕРБЕ

Милан Пешић, Тања Миловановић, Сава Миловановић, Миодраг Милошевић
Институт за нуклеарне науке "ВИНЧА",
Лабораторија за нуклеарну енергетику и техничку физику

Садржај -

Озрачавање узорака у централном каналу брзе зоне система ХЕРБЕ захтева тачно познавање јачине апсорбоване дозе гама и неутронског зрачења у зависности од снаге на којој ради реактор. Како су раније добро одређене апсорбоване дозе неутронског зрачења [1]*, циљ ових мерења био је да се експериментално одреди јачина апсорбоване дозе гама зрачења у централном експерименталном каналу система ХЕРБЕ, где се озрачују поменути узорци.*

Кључне речи: апсорбована гама доза, ХЕРБЕ, јонизациона комора

1. УВОД

Апсорбована доза је дефиниисана као укупна енергија јонизујућег зрачења предата материјалу одређене запремине, подељена са масом те запремине. Јачина апсорбоване дозе је однос апсорбоване дозе у материјалу и времена за које је та апсорбована доза примљена.

Постоје апсолутна и релативна мерења апсорбоване дозе. Апсолутна мерења су, на пример, помоћу калориметара – узорак се термички изолује, подвргне јонизујућем зрачењу, а затим измери количина развијене топлоте у њему. Претпоставка је да се сво зрачење претвара у топлоту, што је углавном тачно [2]. Апсорбована доза се онда одређује по дефиниционој релацији. Још један начин апсолутног мерења апсорбоване дозе и јачине апсорбоване дозе је помоћу јонизационих комора, које претходно морају да се калибришу позиатим извором гама зрачења (нпр. ^{60}Co).

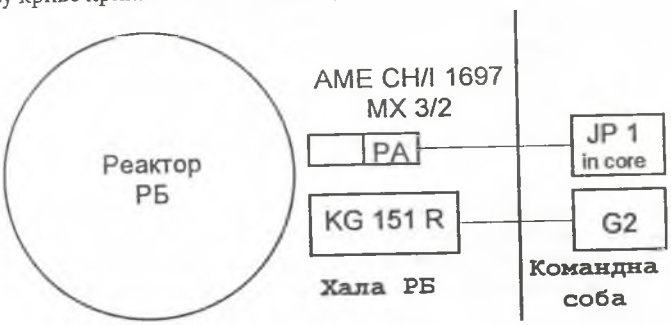
2. МЕРЕЊЕ ЈАЧИНЕ АПСОРБОВАНЕ ДОЗЕ ГАМА ЗРАЧЕЊА У ЦЕНТРУ СИСТЕМА ХЕРБЕ

Мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у центру система ХЕРБЕ (централни вертикални експериментални канал ВКХ) је извршено са малом јонизационом in-core комором, типа МХ 3/2 француске фирме АМЕ. Комора је израђена од дуралуминијума, цилиндричног је облика (пречника 60 mm, укупне дужине 152 mm и активне запремине 0,09 l), и испуњена ваздухом на атмосферском притиску. Радни напон коморе је 165 V, а декларисана осетљивост износи 1,14 A/Gy/h (калибрација је извршена са извором гама зрачења ^{60}Co активности 890 MBq, чија јачина експозиционе дозе износи 105,6 μGy/h на 50 cm од центра детекције). Једносмерна струја из коморе МХ 3/2 се појачава у претпојачавачу и једносмерном струјном појачавачу ЈР1 (произ. Ниш) који се налази у командној соби реактора РБ. Као референтни мерни канал је коришћен канал G2 из стационариог гама дозиметријског система РБ, чије је показивање калибрисано од стране произвођача (сертификат) и верификовано у досадашњем раду на реакторима SNEAK, СР Немачка и РБ.

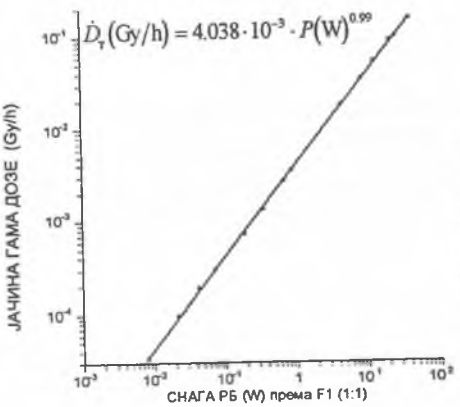
Калибрација мерног, "in - core" (ГМК) канала је извршена у односу на показивања KG 151 R детектора стационарног дозиметријског канала G2 реактора РБ. Гама детектор KG 151 R је јонизациона струјна комора [3] немачке фирме "Hartman & Braun", са кућиштем од челика масе 12 kg, цилиндричног облика (пречник 15 cm, укупна дужина 59 cm и активна запремина 5,7 l) пуњена аргоном под притиском од 26 bar. Радни напон је у опсегу од 800 V до 1200 V, декларисапа осетљивост $(280 \pm 30) \cdot 10^{-9}$ A kg s/C, опсег гама доза од $260 \cdot 10^{-6}$ C/(kg h) до $260 \cdot 10^{2}$ C/(kg h), опсег гама енергија од 80 keV до 10 MeV. Коморе оба канала су постављене на бочној страни реакторског суда. Мерна шема за наведену калибрацију је приказана на *слици 1*.

Калибрација је извршена на снагама реактора од: 10mW, 40mW, 100mW, 250mW, 450mW, 550mW, 750mW, 1W, 5W, 10W, 15W, 25W, 30W, 35W, 40W и 45W.

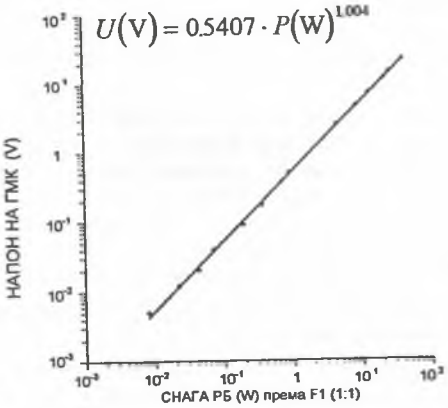
Добијене су криве приказане на *сликама 2, 3* и *4*.



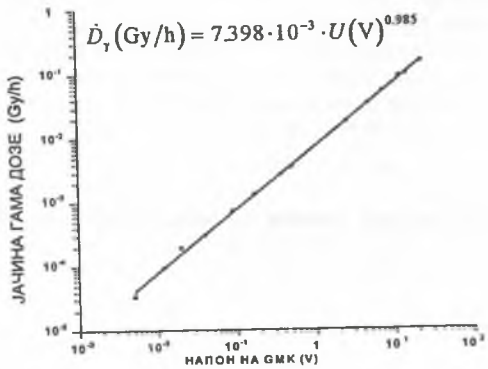
Слика 1. Мерна опрема за калибрацију коморе MX 3/2



Слика 2. Показивање дозиметријског канала G2 на бочној страни реактора РБ са системом ХЕРБЕ

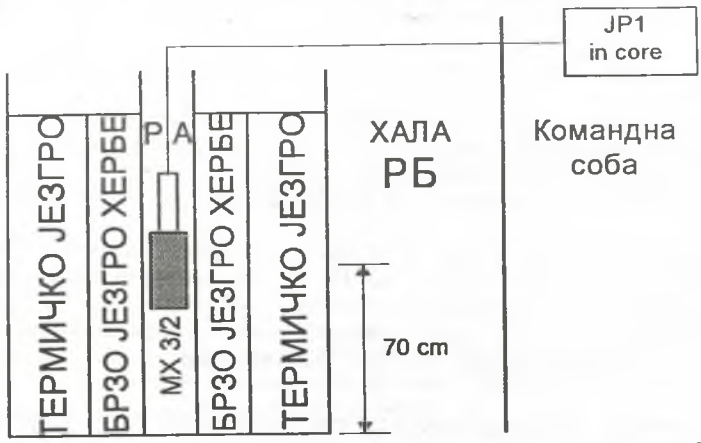


Слика 3. Гама мерни (IN – CORE) канал на бочној страни реактора са системом ХЕРБЕ



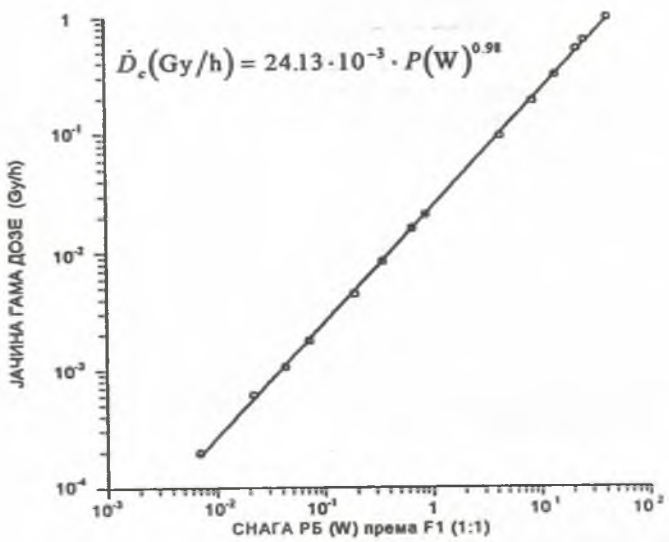
Слика 4. Калибрациона крива за GMK

Након калибрације гама јонизационе коморе извршено је мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у центру ВКХ у зависности од снаге реактора РБ. Мерна опрема [4] је постављена према *слици 5.*



Слика 5. Мерна опрема за мерење јачине дозе гама зрачења у центру ВКХ

Мерење је вршено у односу на показивање мерног канала F1 на истим снагама на којима је извршена калибрација. Линеарни струјни мерни канал F1 чине јонизациона неутронска комора CC52 компензована на гама зрачење и једносмерни струјни појачавач SACLISB1 са припадајућим блоковима. Канал је повезан са писачем за праћење снаге реактора. Неутронска струјна комора CC52 има борну превлаку од 92 % ^{10}B и пуњена је азотом са 1% He. Декларисана осетљивост јој је $3{,}1 \cdot 10^{-14}$ A/nv за неутроне, односно 0,14 mC/kg/s за гама зраке. Канал је калибрисан, према апсолутним мерењима снаге реактора тако да његово показивање представља фиснону снагу реактора (1:1). Добијена завнсност је приказана на *слици 6.*



Слика 6. Јачина гама дозе у центру ВКХ система ХЕРБЕ у зависности од снаге реактора

4. ЗАКЉУЧАК

Одређена је зависиост јачине апсорбоване дозе гама зрачења у центру система ХЕРБЕ од снаге реактора која је неопходна за поуздану информацију о врсти и интензитету зрачења коме је изложен узорак у току озрачавања.

5. РЕФЕРЕНЦЕ

[1] М. Шокчић - Костић, М. Пешић, Д. Антић, *Апсорпционе дозе у ваздушним шупљинама брзих поља на реактору РБ,* XVII југословенски симпозијум за заштиту од зрачења, зборник радова, стр. 151 – 154, Београд - Винча (1993)

[2] Tech. Rep. Series No. 127., *Determination of Absorbed Dose in Reactors*, IAEA, Vienna, (1971).

[3] M.Pešić, N.Zavaljevski, M.Milošević, D.Stefanović, D.Popović, D.Nikolić, P.Marinković, S.Avdić, *A Study on Criticality of Coupled Fast-Thermal Core HERBE at RB Reactor*, Annals of Nuclear Energy, UK, Vol. **18, No.7**, pp. 413-420 (1991).

[4] С. Миловановић, М. Пешић, *Мерење спектра и брзине апсорбоване дозе гама зрачења у центру система ХЕРБЕ,* Винча - НЕТ - 85, Београд (1995).

DETERMINATION OF ABSORBED DOSE IN THE CENTRE OF THE HERBE SYSTEM

Milan Pešić, Tanja Milovanović, Sava Milovanović, Miodrag Milošević

Abstract

Irradiation of samples in reactor requires exact values of the absorbed dose or dose rate with the respect of reactor power. The aim of this paper is to describe experimental results for dose rate due to gamma – rays in the centre of experimental vertical canal of HERBE system, where samples were irradiated.

Key words: absorbed gamma dose, HERBE, ionization chamber

ОДРЕЂИВАЊЕ СПЕКТРА ГАМА ЗРАЧЕЊА У ЦЕНТРУ СИСТЕМА ХЕРБЕ

Сава Миловановић, Милан Пешић, Тања Миловановић, Владан Љубенов
Институт за нуклеарне науке "ВИНЧА",
Лабораторија за нуклеарну енергетику и техничку физику

Резиме

При озрачавању разних узорака у централном каналу брзе зоне система ХЕРБЕ, битна информација је могућност одвојеног посматрања последица озрачавања који потичу од неутронског и гама зрачења. То захтева познавање енергетских спектара гама и неутронског зрачења. Спектар неутронског зрачења је добро познат. Циљ ових мерења био је да се експериментално одреди спектар гама зрачења у централном експерименталном каналу система ХЕРБЕ, где се озрачују поменути узорци.

Кључне речи: гама спектар, реактор, ХЕРБЕ

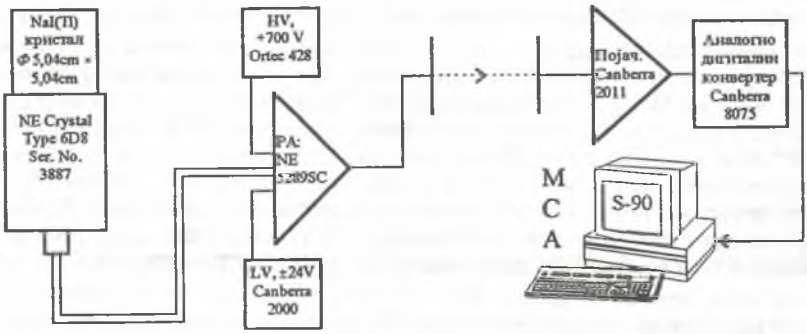
1. УВОД

Реакторски спектри гама зрачења нису тачно познати. Док су методи прорачуна и мерења спектара неутронског зрачења у реакторском суду доста добри, дотле није до сада на задовољавајући начин теоријски одређен математички модел за прорачун спектра гама зрачења. Зато је експериментално одређивање реакторског гама спектра незаобилазно.

Главна потешкоћа при мерењу спектра гама зрачења у реактору је присуство неутронског зрачења. Због великог интензитета зрачења и сложеног гама спектра немогуће је раздвојити спектар гама зрачења у реакторском суду од гама зрачења генерисаног неутронским интеракцијама у материјалу детектора. Мерење спектра гама зрачења у условима истовременог неутронског и гама зрачења може се остварити применом гама спектрометра неосетљивог на неутронско зрачење или помоћу неколико гама детектора са познатом и различитом ефикасношћу на неутронско зрачење.

2. МЕРЕЊЕ ГАМА СПЕКТРА У ЦЕНТРУ ХЕРБЕ

Мерни систем за експериментално одређивање гама зрачења у реакторском систему ХЕРБЕ је приказан на *слици 1*. На основу ранијих искустава [1] [2] изабран је детектор са



Слика 1. Мерни систем за мерење гама зрачења у реакторском систему ХЕРБЕ

кристалом од NaI(Tl), јер коришћење полупроводничког детектора није могуће због велике осетљивости полупроводника на гама зрачење и због потребе коришћења течног азота за хлађење детектора. Енергетска калибрација мерног система са вишеканалним анализатором *Canberra S - 90* је извршена калибрационим изворима ^{22}Na, ^{60}Co, ^{137}Cs.

Добијени су резултати приказани у *табели 1.*

Табела 1. Енергетска калибрација мерног система

Ch (Број канала)	*E* [keV]	Извор
68,01	511,0	^{22}Na
83,96	661,6	^{137}Cs
149,2	1173,2	^{60}Co
162,9	1274,6	^{22}Na
170,1	1332,5	^{60}Co
229,2	1785,6	^{22}Na
318,2	2505,7	^{60}Co

Зависност између енергије гама кванта [keV] и броја канала [ch] на MCA S - 90 је одређена провлачењем оптималне криве (полином другог реда) методом најмањих квадрата:

$$E[\text{keV}] = -8.993 \cdot 10^{-6} Ch^2 + 7.907\, Ch - 13.90 \qquad (1)$$

Зависност је претпостављена до 8 MeV, а помоћу извора ^{232}Th је проверена до 2,6 MeV. Ефикасност система за дато мерење није могла да буде одређена помоћу калибрационих извора који су коришћени при енергетској калибрацији из два разлога. *Прво*, расположиви извори покривају опсег до око 2,5 MeV, а мерни систем је намењен мерењу енергија гама зрачења из реакторског суда до 8 MeV. Екстраполација измерене ефикасности у делу мерног опсега на цео мерни опсег не би била коректна. *Друго*, ефикасност кристала NaI(Tl) за две различите геометрије мерења је различита. Прва геометрија је када се мери зрачење калибрационог тачкастог извора, а друга када се мери гама зрачење из реакторског суда који има много веће димензије, па гама зрачење доспева у кристал из просторног угла од 4π и са различитих растојања. Зато је ефикасност мерног система прорачуната помоћу програма из лабораторијске библиотеке програма [3]. Програм је написан за цилиндричну геометрију кристала NaI(Tl) који је окружен сферно–симетричним изотропним извором гама зрака. Подаци о коефицијентима слабљења гама зрачења у кристалу NaI(Tl), који се користе у програму, су преузети из референце [4].

Мерење гама спектра у центру брзе зоне система ХЕРБЕ одвија се у тзв. "мешовитом пољу зрачења", односно у присуству неутронског зрачења. Због тога је потребно оценити утицај неутронског зрачења на измерени гама спектар, односно одредити утицај и прииос гама зрака који настају неутронским активирањем материјала детектора, NaI(Tl).

Енергетска расподела густине неутронског флукса на месту где се налазио детектор NaI(Tl) је добро позната [1] у енергетским групама BNAB структуре [2].

Подаци за природни нуклидски састав материјала кристала детектора NaI(Tl) и његове димензије су преузети из референце [5]. Пре мерења спектра гама зрачења у ВКХ каналу реакторског система ХЕРБЕ, измерен је фон NaI(Tl) детектора у току 63300 s у мерној соби реактора. Затим је мерен спектар гама зрачења у центру ВКХ канала реакторског система ХЕРБЕ у току t_{live} = 1465 s. Након времена хлађења t_{hlad} = 13 min поново је мерен фон са активираним кристалом NaI(Tl) у мерној соби зграде реактора РБ током t_{live} = 1500 s. Још једном је фон измерен након времена хлађења t_{hlad} = 99 min. И сутрадан је фон мерен два пута, након времена хлађења t_{hlad} = 1235 min у току t_{live} = 1500 s и након t_{hlad} = 1460 мин у току t_{live} = 1500 s. Временски ток мерења је приказан у *табели 2.*

Измерени гама спектар у центру ВКХ је прво коригован на ефикасност NaI(Tl) детектора. У реакторском суду је кристал NaI(Tl) изложен и неутронском зрачењу и тиме и сам активиран. Анализа реакција које би могле да допринесу активацији детектора показује да основни допринос активирању кристала детектора потиче од (n,γ) реакција на *Na* и *I*, док се допринос гама спектру од осталих реакција може занемарити, било због малог пресека за интеракцију или због високог енергетског прага где неутрона у спектру има релативно мало [6]. Највећи допринос гама зрака је у нискоенергетском делу спектра

(испод ~ 2 MeV), што је и потврђено овим експериментом приликом мерења гама спектра у центру система ХЕРБЕ до енергија гама зрачења од 8 MeV. Подаци за продукте активације материјала кристала NaI(Tl) су узети према референци [5].

Табела 2. Временски ток мерења

Редни број	Мерен	почетак мерења	t_{live} [s]
1	фон	21.11. 14:30	63300
2	гама спектар ВКХ	22.11. 10:45	1465
3	фон	22.11. 11:31	1500
4	фон	22.11. 12:57	1500
5	фон	23.11. 8:53	7200
6	фон	23.11. 11:38	7200

Утицај активације детектора на измерени спектар ВКХ је одређен на следећи начин. Измереним спектрима фона са активираним детектором (мерења број 3 и 4, *табела 2*) је одузет спектар фона неактивираног детектора сведен на исти временски интервал (мерење 1 из *табеле 2*). Претпостављено је да укупни број импулса који потичу од активности NaI(Tl) зависе од времена t протеклог од краја озрачивања по закону:

$$I = I_0 e^{-\bar{\lambda} t} \tag{2}$$

где су

I – укупан број импулса детектован у тренутку t после озрачивања;

I_0 – укупан број импулса детектован у тренутку престанка озрачивања;

$\bar{\lambda}$ – усредњена константа радиоактивног распада.

Ако се са I_1 означи укупан број детектованих импулса који потичу од активности NaI(Tl) (без фона) у тренутку $t_1 = 13$ min, а са I_2 у тренутку $t_2 = 99$ min после престанка озрачавања, онда може да се израчуна $\bar{\lambda}$ по изразу:

$$\bar{\lambda} = \frac{\ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right)}{t_2 - t_1} \tag{3}$$

$$\bar{\lambda} = 4.64 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\bar{\lambda}} = 1493\ \mathrm{s} = 24\ \mathrm{min}\ 53\ \mathrm{s} \tag{4}$$

Поређењем израчунатог средњег времена полураспада радионуклида из активираног кристала NaI(Tl) са подацима из референце [5], види се да израчунато $T_{1/2}$ одговара вредности времена полураспада ^{128}I ($T_{1/2}^{128I} = 25$ min) који се добија у реакцији $^{127}I\,(n,\gamma)\,^{128}I$. Зато се може сматрати да ова реакција има највећи допринос при активацији овог детектора.

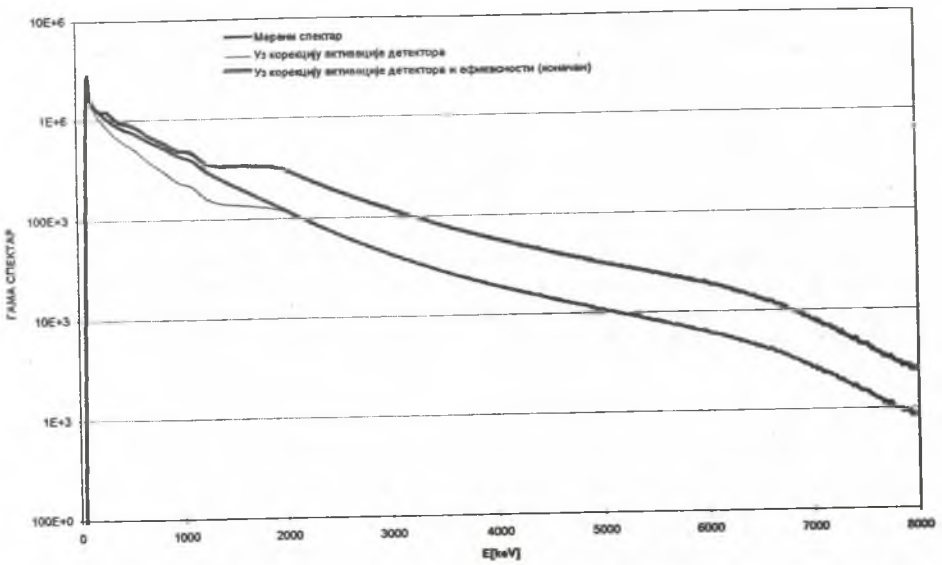
Свођењем спектра који потиче од активности NaI(Tl) (без фона) измереног након времена хлађења $t_1 = 13$ min на тренутак престанка мерења гама спектра ВКХ ($t_1 = 0$) по формули (где се индекс k односи на k-ти канал):

$$I_{0k} = I_{1k} e^{\bar{\lambda} t_1} \tag{5}$$

добија се спектар који потиче од активности детектора, а који треба одузети од измереног спектра (мерење 2, *табела 2*) како би се добио стваран изглед реакторског спектра гама зрачења у ВКХ система ХЕРБЕ. Активација кристала NaI(Tl) након 24 h се не може утврдити у мереном фону (мерење 6, *табела 2*).

Измерени спектар гама зрачења у ВКХ, коригован на ефикасност и активност детектора кристала NaI(Tl) је приказан на *слици 2*. Може се уочити да је утицај активације детектора, кристала NaI(Tl), до око 2 MeV, па се за више енергије не мора узимати у обзир. Такође је могуће уочити да се на енергијама испод 1200 keV утицај активације детектора и утицај ефикасности детектора на мерење гама спектра у знатној мери међу-

собно поништавају, па за наведени опсег енергија гама зрака измерени спектар (без корекција) врло добро онисује стварни спектар.



Слика 2. Реакторскн гама спектар у ВКХ система ХЕРБЕ

4. ЗАКЉУЧАК

Измерен је реакторски гама спектар у центру ВКХ система ХЕРБЕ и утврђен је утицај ефикасности и (n,γ) активације детектора NaI(Tl) при мерењу спектра гама зрачења. Познавање овог спектра омогућава поуздано праћење последица гама зрачења при озрачивању различитих узорака у ВКХ система ХЕРБЕ.

5. РЕФЕРЕНЦЕ

[1] M.Pešić, N.Zavaljevski, M.Milošević, D.Stefanović, D.Popović, D.Nikolić, P.Marinković, S.Avdić, *A Study on Criticality of Coupled Fast-Thermal Core HERBE at RB Reactor*, Annals of Nuclear Energy, UK, Vol. 18, No.7, pp. 413-420 (1991)

[2] Л.П.Абагян, Н.О.Базазянц, М.Н.Николаев, А. М. Цибуля, *Групповые константи для рашчета реакторов и защити*, приручник у редакцији М. Н. Николаева, Энергоиздат, Москва (1981)

[3] Милошевић, М., *Програм за прорачун ефикасности мерног система за мерење гама зрачења у реакторском систему ХЕРБЕ*, Винча (1994)

[4] Ю. А. ЕГОРОВ., *Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения и быстрых нейтронов*, ГОСАТОМИЗДАТ, Москва (1963)

[5] О. Ф. Немец, Ю. В. Гофман, *Справочник по ядерной физике*, Приручник на руском, Издательство "Наукова Думка", Киев (1975)

[6] С. Миловановић, М. Пешић, *Мерење спектра и брзине апсорбоване дозе гама зрачења у центру система ХЕРБЕ*, Винча - НЕТ - 85, Београд (1995)

DETERMINATION OF GAMMA SPECTRUM IN THE CENTRE OF THE HERBE SYSTEM

Sava Milovanović, Milan Pešić, Tanja Milovanović, Vladan Ljubenov

Abstract

It is important to know influence of neutron and gamma radiation on sample during irradiation in centre of the reactor system HERBE. It was the reason that gamma energy spectrum, was measured. In this paper results of the experiments are shown.

Key words: gamma spectrum, reactor, HERBE

ODREDJIVANJE APSORBOVANE NEUTRONSKE DOZE ZA ^{241}Am-α-Be IZVOR NEUTRONA

S.Avdić, M.Pešić, P.Marinković, N.Zavaljevski*
Institut za nuklearne nauke - 'Vinča', P.p. 522, 11001 Beograd
*Elektrotehnički fakultet, Bulevar revolucije 73, 11000 Beograd

Rezime

Poluprovodnički detektor sa ^{3}He u koincidentnoj konfiguraciji je primenjen za merenje spektra ^{241}Am-α-Be neutronskog izvora. Evaluacija spektra neutrona je izvršena na osnovu izmerene amplitudske raspodele impulsa pomoću razvijenog računarskog programa HE3. Dobijeni rezultati su pokazali zadovoljavajuću saglasnost sa rezultatima drugih autora. Koristeći izmerene apsolutne vrednosti gustine neutronskog fluksa i spektra neutrona izvora i izračunate faktore konverzije odredjene su jačine apsorbovane neutronske doze u tkivu.

Ključne reči: ^{241}Am-α-Be neutronski spektar, apsorbovana neutronska doza, poluprovodnički ^{3}He detektor

1. Uvod

Za merenje energetskog spektra ^{241}Am-α-Be neutronskog izvora je korišćen poluprovodnički ^{3}He detektor visoke energetske rezolucije. Osnovni princip rada detektora je baziran na nuklearnoj reakciji ^{3}He(n,p)T i koincidentnoj detekciji produkata reakcije u dve Si diode sa površinskom barijerom, koje su postavljene jedna nasuprot drugoj. Doprinos neželjenih impulsa je u značajnoj meri redukovan korišćenjem koicidentne jedinice sa kratkim vremenom rezolucije. U cilju odredjivanja odziva spektrometra na ^{241}Am-α-Be neutronski izvor, čiji je neutronski spektar dobro poznat, izvršena su merenja neutronskog spektra i proračun jačine apsorbovane neutronske doze u tkivu čoveka.

2. Eksperimentalna procedura

Linearnost i energetska kalibracija detektora i elektronskih modula mernog sistema su provereni nezavisno koristeći impulsni generator i spore neutrone dobijene okruženjem ^{241}Am-α-Be izvora polietilenom. Najbolja energetska rezolucija celog mernog sistema za termičke neutrone (FWHM = 93 keV na pritisku gasa ^{3}He od 0.53 MPa) je postignuta za vreme rezolucije od 30 ns na koincidentnom modulu i dobro se slaže sa deklarisanom vrednošću datoj u specifikacijama proizvodjača detektora [1]. Kao referentna tačka za neutrone nulte energije usvojen je kanal pika termičkih neutrona koji odgovara energiji Q-vrednosti reakcije (0.764 MeV).

U cilju izbora optimalne vremenske rezolucije za merenje spektra brzih neutrona, meren je odnos signal/fon (S/F) za pik termičkih neutrona pri različitim vrednostima vremena rezolucije koincidentne jedinice. Na osnovu tih merenja, za merenje spektra brzih

neutrona izabrana je vremenska rezolucija od 60 ns, pošto pri toj vrednosti odnos S/F dolazi u saturaciju, a ispod te vrednosti brzina brojanja impulsa značajno opada.

Osnovne karakteristike korišćenog ^{241}Am-α-Be neutronskog izvora su date u tabeli 1. Pri merenju, izvor je postavljen aksijalno u pravcu ose detektora, na rastojanju 1 mm, tako da se može pretpostaviti, u prvoj aproksimaciji, da emitovani neutroni u vidu paralelnog snopa padaju normalno na detektorske Si diode. Da bi se ostvarili zadovoljavajući statistički uslovi za obradu eksperimentalnih podataka, spektri brzih neutrona, dobijeni pomoću detektora koji je punjen ^{3}He gasom i vakumiranim detektorom su mereni, svaki, po 6.67 dana. Zbog male brzine svih nuklearnih interakcija u aktivnoj zapremini detektora, pile-up impulsa indukovanih termičkim neutronima i gama fotonima je zanemarljiv.

Tabela 1. Specifikacije ^{241}Am-α-Be neutronskog izvora

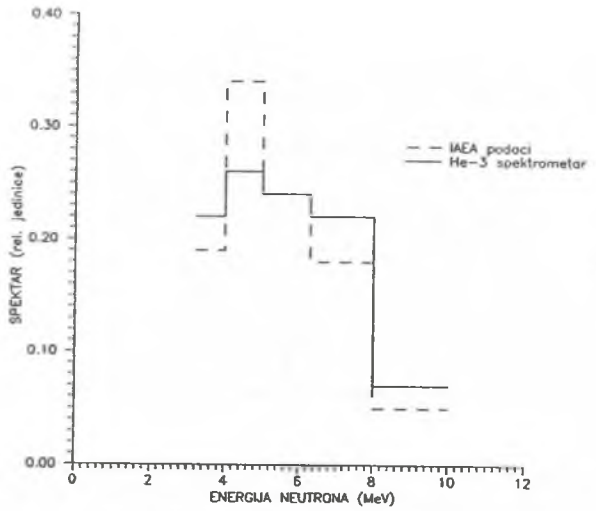
Aktivnost ^{241}Am [Bq]	Intenzitet [n/s]	$T_{1/2}$ [a]	γ-energije [MeV]
$3.7\ 10^{9}$	$2.5\ 10^{5}$	432.7 ± 0.5	0.06, 4.43

3. Evaluacija neutronskog spektra i jačina neutronske doze

Izvor neutrona ^{241}Am-α-Be je napravljen od radioaktivnog alfa emitera (^{241}Am) koji je homogeno izmešan sa metom izradjenom od nuklida ^{9}Be. Energetski spektri neutrona takvih izvora zavise od mehaničke konstrukcije izvora i ostvarene 'geometrije' izmedju alfa izvora i berilijumske mete. Spektar energija emitovanih neutrona je složen jer su za odredjenu energiju alfa čestica moguće razne energije neutrona zbog različitih uglova emitovanja neutrona kao i činjenice da (α,n) reakcija na Be vodi ne samo na osnovno stanje jezgra ^{12}C nego i na prvo i drugo eksitovano stanje.

Neutronski spektar korišćenog ^{241}Am-α-Be izvora je evaluiran iz izmerene amplitudske raspodele impuisa koristeći razvijeni računarski program HE3 [2]. Podaci za mikroskopske neutronske preseke za ^{3}He gas su uzeti iz biblioteke nuklearnih podataka ENDF/B-6 [3]. Posle oduzimanja spektra fona, eksperimentalni podaci su 'ispeglani' ('smooting') i korigovani za doprinose usled ^{3}He(n,d)D reakcije. U tako dobijenom neutronskom spektru korišćenog ^{241}Am-α-Be izvora, izmerenom pomoću ^{3}He poluprovodničkog Si detektora, identifikovana su četiri izražena neutronska pika na energijama od 4.0, 4.9, 6.5 i 9.9 MeV. Evaluirani spektar je uporedjen (slika 1) sa referentnim spektrom neutrona iz izvora istog tipa [4]. Rezultati merenja energetskog spektra brzih neutrona iz izvora korišćenog u Laboratoriji 'NET' pokazuju najbolju saglasnost sa rezultatima koje su objavili autori Rubbino (detektor: nuklearna emulzija) i Miller (NE213 scintilacioni detektor). Razlike izmedju dobijenog spektra neutrona u Laboratoriji 'NET' i spektara koje su publikovali drugi autori (tabela 2, [5]) su posledica, pre svega, razlika u konstrukciji i sastavu korišćenih izvora, kao i inherentne greške primenjene merne metode.

Odredjivanje jačine apsorbovane neutronske doze korišćenog izvora je bazirano na izmerenim vrednostima gustine neutronskog fluksa i spektra neutrona izvora (prikazanim na slici 1 u datim energetskim grupama) i izračunatim faktorima konverzije gustina neutronskog fluensa - apsorbovana doza (u tkivu 'standardnog čoveka') [4]. Dobijeni rezultati, odredjeni u datim energetskim grupama, prikazani su u tabeli 3. Ovako odredjena ukupna jačina absorbovane neutronske doze od 8.895 ± 0.001 mGy/h je u dobroj saglasnosti sa vrednostima koje su za ovakve izvore odredjene drugim metodama [4].



Slika 1. Izmereni i referentni neutronski spektar ^{241}Am-α-Be neutronskog izvora

Tabela 2. Energija [MeV] neutronskih pikova ^{241}Am-α-Be neutronskog izvora

Autor	Pik A	Pik B	Pik C	Pik D	Pik E	Pik F
Anderson i Bond	3.2	-	4.7	-	7.7	9.7
Broek i Anderson	3.2	-	4.5	-	7.5	9.5
Medveczky	-	-	4.4	-	7.2	-
Stewart	3.2	-	4.3	-	7.0	9.5
Huber	3.0	-	-	5.0	-	-
Endres	3.3	-	-	5.2	7.2	10.1
Kenney	3.0	-	4.5	-	7.9	9.6
Silk	3.3	-	4.6	-	7.2	-
Rubbino	-	4.1	4.8	-	6.5	9.8
Lehman	3.3	-	4.7	5.5	6.7	9.9
Miller	3.2	3.9	4.6	-	6.5	9.8
ovaj rad	-	4.0	4.9	-	6.5	9.9

Tabela 3. Jačina apsorbovane neutronske doze u datim energetskim grupama za ^{241}Am-α-Be neutronski izvor

Energetski opseg [MeV]	D_n [mGy/h]
3.16 - 3.98	1.678 ± 0.001
3.98 - 5.01	1.399 ± 0.001
5.01 - 6.31	1.355 ± 0.001
6.31 - 7.94	1.694 ± 0.001
7.94 - 10.0	2.769 ± 0.001

4. Zaključak

Ukupna greška merenja spektra neutrona ^{241}Am-α-Be izvora uključuje greške zbog statističke fluktuacije broja registrovanih impulsa u datim neutronskim grupama, greške energetske kalibracije i primenjene 'unfolding' tehnike. Najveći izvor grešaka su neodredjenosti sa kojima su dati podaci za mikroskopske neutronske preseke. S obzirom na razlike u konstrukciji i sastavu ^{241}Am-α-Be neutronskih izvora, izmereni i referentni neutronski spektar ne pokazuju značajnija odstupanja u okviru merenog opsega energija. Odredjena jačina apsorbovane neutronske doze (u tkivu standardnog čoveka) izmerena ovom metodom je u saglasnosti sa rezultatima merenja izvršenim drugim metodama.

Reference

[1] Instruments for Research and Applied Sciences, EG&G ORTEC, Catalogue 1986/87

[2] S.Avdić, P.Marinković, M.Pešić, *HE3-računarski program za izračunavanje efikasnosti ^{3}He poluprovodničkog spektrometra*, IBK-NET programoteka, Vinča 1990.

[3] C.Dunford et all., *ENDF/B-6 - The U.S. Evaluated Nuclear Data Library for Neutron Reaction Data*, National Nuclear Data Center, BNL - Upton, New York 1990.

[4] R.V.Griffith, et. all., *Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes*, Technical Report Series 318, IAEA, Vienna 1990.

[5] M.G.Silk, *The Determination of the Fast-Neutron Spectrum in Thermal Reactors by using Lithium-6 and Helium-3 Semiconductor Spectrometers*, AERE-R 5183, Harwell, Berkshire UK, 1966.

DETERMINATION OF ABSORBED NEUTRON DOSE OF ^{241}Am-α-Be NEUTRON SOURCE

S.Avdić, M.Pešić, P.Marinković, N.Zavaljevski

Abstract

A high-resolution semiconductor neutron spectrometer filled with ^{3}He gas, in diode coincidence arrangement, is used for the neutron spectrum measurement of $_{41}$Am-α-Be neutron source. The neutron spectrum is evaluated from measured pulse-height distribution by using the HE3 computer code. Experimental results are compared with the spectra published by other authors. The measured spectrum provides a sufficient overlapping with the calculated one. Absorbed neutron dose rate (in tissue od 'standard man') is determined by measuring source neutron spectrum and absolute neutron flux and calculated conversion factors in given energy groups.

Key words: ^{241}Am-α-Be neutron spectrum, absorbed dose, semiconductor ^{3}He detector

ПРОЦЕНА ГОДИШЊИХ ДОЗА КОД КАБИИНСКОГ ОСОБЉА ЈАТ-а

Драгољуб Антић

Институт за нуклеарне науке "Винча", п.ф. 522, 11001 Београд

Резиме

Анализирани су сви летови одабраних узорака кабинског особља ЈАТ-а током једне календарске године. На основу израчунатих доза за појединачне летове, за сваког од одабраних узорака одређена је укупна годишња еквивалентна доза. Узорци су одабрани тако да буду заступљене све карактеристичне групе кабинског особља ЈАТ-а (узимајући у обзир и специфичности компаније). Резултати су упоређени са резултатима претходних анализа за летачко особље ЈАТ-а и са подацима из сличних студија из литературе.

Кључне речи: еквивалентна доза, јачина дозе, налет, дозиметријски профил, кабинско особље, персери, стјуардесе-стјуарди

1. Увод

Питање безбедности путника и особља поставља се као основни предуслов у цивилном авио саобраћају. Међу потребне сигуриосне анализе спада и анализа изложености особља и путника. Овај проблем је истраживао већи број институција и стручних тимова у свету, углавном државне институције и удружења, а у мањој мери су се тим питањем позабавиле и саме авио компаније. "Југословеиски Аеротранспорт" (ЈАТ) спада у те малобројне авио компаније, [1-2]. Досадашње анализе су рађене на примерима одабраног броја узорака пилота. Овај рад је посвећен анализама за кабинско особље ЈАТ-а. Потреба за оваквом анализом наметнута је структуром летова, јер пилоти по правилу лете на једном типу авиона, док кабинско особље лети на различитим типовима.

Изложеност путника и особља радијацији ириликом лета зависи од висине и приближно експоненцијално расте у области висина комерцијалних летова. На уобичајеним висинама лета јачииа еквивалентне дозе изиоси око 1-4 μSv/h. Осим висине лета, на дозу утице и периода сунчеве активности и земљино магнетско поље (постоји зависност од географске ширине).

2. Избор узорака за анализу и резултати прорачуна

За анализу је одабран 41 узорак кабинског особља. Сврстани су у две макро и пет микро група, према радним местима у авиону, са по 7-9 узорака у свакој микро групи. Одабрани узорци су третирани "безимено". Подаци о летовима (тзв. налет) преузети су из званичне евиденције ЈАТ-а. Обрађена је временски интервал од једне године, а одабрана је 1989. година, као последња година нормалног пословања ЈАТ-а (заузимао је 35. место у свету). Анализирано је укупно 7726 појединачних летова одабраних узорака.

Прву макро групу одабраних узорака кабинског особља чине персери, у које спадају тзв. "шефови кабина" (директори лета - интерна ознака у ЈАТ-у), "чек персери" и "персери". Другу макро групу чине стјуардесе (стјуарди), који се такође у ЈАТ-у деле на

старију у млађу групу. Одабраним узорцима су на основу идентификационих бројева селектовани подаци о налету и третирани су "безимено", као нумерисани узорци.

Код прорачуна доза током појединачног лета, коришћена је идентична методологија као у иретходним студијама, [1-2], заснована на коришћењу података о дозиметријском профилу у атмосфери (зависност јачине доза од висине лета, географске ширине и соларне активности) и на основу вертикалног профила сваког појединачног

Табела 1. Подаци о налету и прорачунате годишње еквивалентне дозе за три групе персера ЈАТ-а ("шефови кабина" - узорци 1-7, "чек персери" - узорци 8-15, "персери" - узорци 16-23)

Број узорка персера	Укупан налет [h:min]	Проценат налета на авиону					Годишња еквивалентна доза [mSv]
		DC-9	DC-10	B-727	B-737	ATR-42	
1	420:37	5	95				1,38
2	563:33	2	82	6	10		1,77
3	487:23		66	34			1,38
4	481:58		100				1,66
5	452:33		100				1,57
6	449:19		100				1,60
7	163:57		100				0,57
8	397:57	10	87	3			1,25
9	505:11	11	56	27	6		1,25
10	429:44	10	74	5	11		1,25
11	511:21	3	67	26	4		1,37
12	603:11	3	57	39	1		1,51
13	286:15	22	47	28	3		0,58
14	166:54		84	16			0,54
15	284:58		76	24			0,88
16	545:16	1	56	43			1,40
17	379:10	25	69	5	1		1,03
18	474:25	1	55	43	1		1,18
19	485:01	34	62	3	1		1,22
20	633:34	42	48	5	4	1	1,28
21	492:09	5	60	35			1,27
22	525:12	4	59	4	17	16	1,25
23	385,16	1	62	37			0,99

лета. Подаци о дозиметријском профилу, преузети из литературе, [3], урачунавају ефекте различитих честица у космичком зрачењу (теже честице, неутроне, електроне итд.), при чему је утицај на људско биће одређен коришћењем посебног модела људског тела (тзв. "фантом"). Сабирањем израчунатих доза за појединачне летове израчунате су укупне годишње еквивалентне дозе.

Подаци о налету за одабране узорке приказани су заједно са прорачунатим вредиостима годишњих еквивалентних доза у Табелама 1. и 2.

Табела 2. Подаци о налету и прорачунате годишње еквивалентне дозе за две групе стјуардеса (стјуарда) JAT-а ("млађе стјуардесе-стјуардн" - узорци 24-32, "старије стјуардесе-стјуарди" - узорци 33-41)

Број узорка STW/STD	Укупан налет [h:min]	Проценат налета иа авиону					Годишња еквивалентна доза [mSv]
		DC-9	DC-10	B-727	B-737	ATR-42	
24	510:30	2	63	1	34		1,27
25	350:10	26	5	69			0,47
26	348:02	1	11	3	67	18	0,41
27	501:19	1	77	2	20		1,48
28	507:55	1	58	4	19	18	1,19
29	430:09	27	70	1	2		1,14
30	449:23	20	78	2			1,33
31	470:39	1	52	38	2	7	1,16
32	424:09		71	24		5	1,14
33	521:45	2	4	92	2		0,77
34	131:12	3		9	88		0,13
35	243,19	2	56	41		1	0,60
36	526:05	9	78	12	1		1,55
37	473:17	1	53	5	21	20	1,07
38	461:57		69	1	15	15	1,20
39	449:20		73	8	8	11	1,23
40	348:43		56	2	23	19	0,79
41	295:53		74	1	18	7	0,85

3. Закључци

Резултати прорачуна су у складу са резултатима из литературе, [4-6]. У поређењу са пилотима JAT-а, [1-2], кабинско особље може да има око 20% већи налет, али су прорачунате годишње дозе равномерније расподељеие и у просеку ниже од летачког

особља на авиону DC-10. То је логичан резултат, јер кабинско особље по правилу лети на више типова авиона током године, док летачко особље лети на једном типу авиона. Лет на интерконтиненталним летовима авнонима DC-10 највише доприноси дозама, јер се ради о дугим летовима на максималној висини, где су дозе највише. Карактеристичан је пример узорка бр. 33, где је укупна доза релативно мала и поред великог налета, јер готово и да нема интерконтиненталних летова.

Прорачунате вредности годишњих еквивалентних доза се крећу претежно у опсегу од 0,80 до 1,20 mSv, са тачношћу процене од око 20%. Изузетак чине тзв. "шефови кабина" (директори лета), који углавном у тој функцији лете на авнонима DC-10, па достижу дозе које могу бити и више од доза пилота на овом типу авнона (могућ је већи налет). Укупне дозе су доста далеко од граничне годишње дозе од 5 mSv годишње за лица која професионално раде са изворима јонизујућег зрачења, али су упоредљиве са просечним нивоом излагања становништва и границама доза код многих категорија стручњака који професионално раде са јонизујућим зрачењем. С обзиром на то да летачко особље у JAT-у не премашује у годишњем налету 450 сати, а кабинско за око 20% вишу вредност, нивои годишњих доза у JAT-у су осетно нижи од одговарајућих доза код особља авио компанија анализираних у референцама [4-6].

Захвалност

Велику помоћ код селекције потребних података за прорачуне пружио ми је г. Павле Марковић из Делатности Информациони системи JAT, за шта му се овом приликом захваљујем. Израда овог рада је делимично финансирана средствима Фонда за науку МНТ Србије.

Литература

[1] D.Antić, P.Marković,Ž.Petrović: *"Radiation Exposure of the Crew in Commercial Air Traffic"*, Proc. of Asia Congress on Rad. Prot. (ACRP), Paper 170, pp. 1-4, Beijing, 1993.

[2] D.Antić, Ž.Petrović: *"Analysis of the Radiation Exposure of the Crews of Yugoslav Airlines"* Book of Abstracts of 1st Mediterranean Congress on Rad. Protection, p. 94, Athens, 1994.

[3] K.O'Brien, J.E.McLaughlin: *"The Radiation Dose to Man from Galactic Cosmic Rays"* Health Physics, v.22, pp. 225-232, 1972.

[4] K.E.Duftschmid: *"Aircrew Radiation Exposure"* Rad. Symp.of IFALPA, Frankfurt, 1994.

[5] H.-J.Lebuser: *"Radiation Exposure of Air Crews and the associated health risk"* IFAA 10th World Congress, Nicosia, 1993.

[6] S.Watanabe et al.: *"Radiation Exposure of Civil Aviation Crew Members"* IFAA 10th World Congress, Nicosia, 1993.

ANNUAL DOSES ASSESSMENT FOR THE CABIN CREWS IN "JAT"

Dragoljub Antić

Abstract

The flights of selected cabin crew members of Yugoslav Airlines (JAT) have been studied during one year. The flights of the 41 selected cabin crew members during one year have been studied. Data from 1989 are used. Calculations of the annual exposures and dose equivalents are based on the annual cosmic-ray dosimetric profile in the lower atmosphere for the solar minimum, taken from literature, [3]. The results of the calculation are compared with the similar results from the literature and with the results of the analyzis realized for the pilots in JAT,[1-2].

Key words: equivalent dose, dosimetric profile, cabin crew, purser, steward

UTICAJ KOREKCIONIH FAKTORA JONIZACIONE KOMORE NA TAČNOST ODREĐIVANJA KERME U VAZDUHU U SNOPU 300kVX-ZRAČENJA

Dr.Vesna Spasić Jokić
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd, Mike Alasa 14
Darko Lalić, Dr.Branislav Pantić
Institut za radiologiju Vojnomedicinske akademije, Crnotravska 17

Rezime: U radu je prikazan značaj određivanja korekcionih faktora jonizacione komore pri određivanju radioterapijske doze u snopu 300 kVX-zračenja. Terapijska doza određena uz primenu korekcionih faktora razlikuje se od one određene bez korekcionih faktora za 1,3 %.

Ključne reči: korekcioni faktori, kerma u vaduhu, 300 kVX

1. Uvod

Uspešna radioterapija zahteva mogućnost aplikacije doze na volumen mete sa mernom nesigurnošću boljom od ± 5 %, pri čemu nisu uzete u obzir varijacije doze u volumenu mete, što znači da se doza mora meriti sa mernom nesigurnošću reda ± 3 %. Ovaj osnovni terapijski postulat zahteva stroži dozimetrijski pristup uz određivanje relevantnih korekcionih faktora komore i proveru ili određivanje kalibracionog faktora u snopu istog kvaliteta kao snop koji će se koristiti za radioterapiju. Korekcioni faktori su posledica postavki i pretpostavki uvedenih u teorije šupljine, kao i posledica uticaja konstrukcije komore, prateće opreme i kvaliteta snopa zračenja.

Ispitivanja u ovom radu vezana su za radioterapijski snop 300 kVX-zračenja, koji se koristi za tretman tumora na dubini oko 4 cm, kao i za tretman nekih nekancerogenih oboljenja.

2. Metrijal i metode

Budući da se radi o početnim istraživanjima korišćen je sekundarni etalon, jonizaciona komora sa šupljinom tipa ND 1006, zapremine 0.27 cm^3(zid komore je od vazduhuekvivalentne smeše, debljine 0.44 mm; jedna originalna kapa je od delrina debljine 8 mm, a četiri kape su posebno urađene za ovu komoru i njihove debljine su: 7 mm, 10 mm, 15 mm, 23 mm). Uz komoru je korišćen strujni integrator NP 3000.

Izvor zračenja je radioterapijski rendgen tipa RT 305, sa naponom cevi 300 kV, HVL je 2,7mmCu, efektivne energije oko 150 keV, struja 10 mA. Uz rendgen je korišćen tubus 20x24 cm, a merenja su obavljena na rastojanju 40 cm, što odgovara uobičajenoj terapijskoj distanci, prema preporuci međunarodnih protokola. [1]

Kalibracioni faktor jonizacione komore je određen u odgovarajućem snopu zračenja u primarnoj laboratoriji za dozimetriju Nacionalnog biroa za mere Mađarske.

Korekcioni faktori su određeni prema metodama publikovanim u brojnoj literaturi, ili su korišćene literaturne vrednosti,kao u slučaju k_h [1,2,3,4],

Geometrija merenja je prilagođena bolničkoj praksi, uz vreme merenja od 60 s.

3. Rezultati

Rezultati određivanja korekcionih faktora i kerme u vazduhu prikazani su u tabeli1.

Tabela 1. Rezultati merenja

	vrednost	merna nesigurnost [%]
kalibracioni faktor komore M [Gy/C]	11.4×10^7	2.000
kapacitet kondenzatora C [nF]	0.9986	0.001
k_s (korekcija za rekombinaciju)	1.0025	0.300
k_h (korekcija za vlažnost vazduha)	0.9970	0.030
k_{at} (korekcija za slabljenje u zidu komore)	1.0180	0.100
k_{an} (korekcija za aksijalnu neuniformnost snopa)	0.9940	0.100
k_m (korekcija za radijalnu neuniformnost snopa)	1.0016	0.100
k_{pt} (korekcija za nereferentni pritisak i temperaturu)	1.0170	0.150
Q(srenja vrednost merene količine naelektrisanja)[nC]	6.084±0.03	0.300
$K = QMk_{pt}$ (kerma u vazduhu bez primene korekcionih faktora komore) [cGy]	70.540	2.028
$\Pi k = k_s k_h k_{at} k_{an} k_m$	1.0130	0.348
$K_{kor} = K\Pi k$(kerma u vazduhu uz primenu korekcionih faktora) [cGy]	71.457	2.058

4. Zaključak

Prezentirani rezuitati predstavljaju početna istraživanja primene korekcionih faktora jonizacione komore i u rutinskoj praksi kliničke dozimetrije u cilju realizacije osnovnog terapijskog postulata da se doza mora aplikovati na tumor sa memom nesigurnošću boljom od ± 5%.Dalja istraživanja će se bazirati na određivanju korekcionih faktora i kalibracionog faktora jonizacionih komora koje su u rutinskoj primeni u kliničkoj dozimetriji.

IONIZATION CHAMBER CORRECTION FACTORS INFLUENCE ON ACCURACY OF AIR KERMA DETERMINATION IN 300 kVX RADIATION BEAM

Abstract: Importance of ionization chamber correction factors determination for the purpose of radiotherapy dose in 300 kVX radiation beam determination is pointed in this paper. Therapy dose determined by using correction factors differs from that determined without factors for 1.3%.

Key words: correction factors, air kerma, 300 kVX

Literatura

[1] IAEATechnical reports series No.277, "Absorbed dose determination in photon and electron beam", International code of practice, IAEA, Wien,1987;

[2] Boutillon M., Niatel M-T., "A study of a graphite cavity chamber for absolute exposure measurements of ^{60}Co gamma rays", Metrologia No.9, 139-146, 1973;

[3] Almeida C., Niatel M-T., "Comparison between IRD and BIPM exposure and air kerma standards for cobalt-60 gamma rays", Rec.de.Trav.Vol.10, 1985-1986;

[4] Rogers D.W., Ross C., The role of humidity and other correction factors in the AAPMTG-21 dosimetry protocol", Med.Phys.15(1), 40-48, 1988.

DRUGA JUGOSLOVENSKA INTERKOMPARACIJA LIČNIH DOZIMETARA

Dr.Vesna Spasić Jokić
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd, Mike Alasa 14
Dr.Milan Mišović, Zoran Bošković
Zavod za preventivnu medicinu Vojnomedicinske akademije,
Beograd, Crnotravska 17

Rezime: U radu su prikazani rezultati Druge nacionalne interkomparacije ličnih dozimetara za 70 kVX zračenje relevantno za radiološku dijagnostiku. Rezultati su pokazali veliko rasipanje, koje je posledica korišćenja više tipova dozimetara različitih proizvođača i neujednačenih uslova kalibracije.

Ključne reči: interkomparacija, lični dozimetri

1.Uvod

Primena jonizujućih zračenja u svim oblastima zahteva adekvatnu ličnu dozimetriju lica koja rade sa izvorima zračenja. Adekvatna lična dozimetrija se može sprovesti jedino ako se radi po utvrđenim metodama i sa, u metrološkom smislu, ispravnim dozimetrima. Prva jugoslovenska interkomparacija ličnih dozimetara je organizovana na inicijativu Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja i sprovedena je tokom 1991.godine. Druga jugoslovenska interkomparacija je organizovana na inicijativu nadležnih saveznih i republičkih ministarstava za zdravlje, kao i zainteresovanih ustanova koje sprovode ličnu dozimetrijsku kontrolu. Interkomparacija je bila organizovana po metodi interkomparacije instrumenata na dobrovoljnoj osnovi.[1] U interkomparaciji su učestvovali: Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr.Dragomir Karajović", Institut za bezbednost, Institut za radiologiju VMA i Zavod za preventivnu medicinu VMA, svi iz Beograda. Interkomparaciju je organizovao i sproveo Savezni zavod za mere i dragocene metale po utvrđenom planu i programu.

2. Materijal i metode

U interkomparaciji su učestvovali sledeći tipovi dozimetara: LiF (HARSHAW), LiF (Pitman Ltd.), CaF_2:Mn ("Jozef Stefan") i MgB_4O_7:Dy (Institut za nuklearne nauke "Vinča"). Svi dozimetri su bili pakovan i u standardnom bedžu, koji se koristi za potrebe lične dozimetrije. Ozračivanje je izvršeno na ploči od stiropora debljine 3cm, na rastojanju 104cm od izvora zračenja , a dimenzije polja bile su 42cm x 37cm. Ozračivanje je izvršeno na rendgen aparatu RT IOO pri uslovima ozračivanja: napon cevi od 70 kV, HVL od 1.25mm Al i efektivna energija oko 30 keV. Ekspoziciona doza je određena sekundarnim etalonom - jonizacionom komorom ND 1006. Uslovi ozračivanja su dati u tabeli 1.

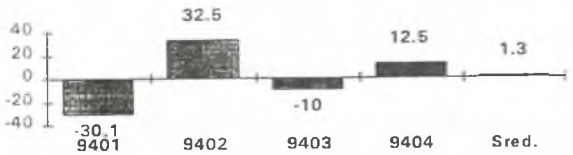
Tabela 1. Uslovi ozračivanja

redni broj	[mAs]	ekspozicija [μC/kg]	ekvivalentna doza [mSv]
I	16	11.7	0.40
II	50	36.2	1.24
III	125	133.1	4.54

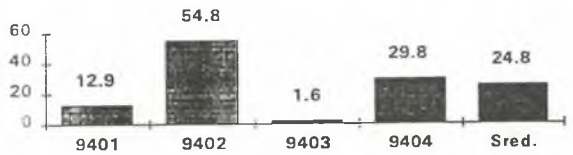
Interkomparacija je sprovedena po metodi interkomparacije instrumenata u kojoj učesnici dostavljaju svoje dozimetre centralnoj laboratoriji, koja ih ozračuje tačno specificiranom, za učesnike nepoznatom dozom, i dostavlja ih natrag učesnicima na očitavanje, a rezultati se porede u odnosu na srednju ili referentnu vrednost u zavisnosti od broja učesnika.

3. Rezultati

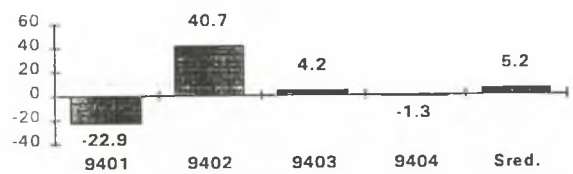
Učesnici u interkomparaciji su bili šifrirani i u toj formi su prikazani njihovi rezultati, a što je u skladu sa protokolom o interkomparaciji. Rezultati su prikazani na slikama 1, 2 i 3.



Slika 1. Odstupanje pojedinačnih rezultata od referentne vrednosti (70 kVX, 0.40 mSv)



Slika 2. Odstupanje pojedinačnih rezultata od referentne vrednosti (70 kVX, 1.24 mSv)



Slika 3. Odstupanje pojedinačnih rezultata od referentne vrednosti (70 kVX, 4.54 mSv)

Rezultati očitavanja, kao i odstupanja srednjih vrednosti od referentnih su dati u tabeli 2.[2]

Tabela 2. Rezultati očitavanja dozimetara

ekvivalentna doza [mSv]		0.40	1.24	4.54
šifra učesnika :	9401 [mSv]	0.28	1.40	3.50
	9402 [mSv]	0.53	1.92	6.39
	9403 [mSv]	0.36	1.26	4.73
	9404 [mSv]	0.45	1.61	4.48
srednja vrednost [mSv]		0.405	1.548	4.775
standardna devijacija [mSv]		0.10	0.30	1.20
odstupanje srednje vrednosti [%]		1.3	24.8	5.2

Analizom rezultata interkomparacije ustanovljeno je da:

1) Odstupanja srednjih vrednosti rezultata merenja od referentnih vrednosti ekvivalentne doze su manja od očekivanih.
2) Postoji veliko rasipanje rezultata merenja iskazano kroz standardnu devijaciju prikazanu u tabeli 2., a koje je verovatno posledica korišćenja više tipova dozimetara, različitih proizvođača kao i neujednačenih uslova kalibracije.
3) Odstupanja pojedinih učesnika su čak veća od dozvoljenih.

4. Zaključak

Iskustva dve dosad sprovedene interkomparacije su pokazala da su one veoma korisne i da ukazuju na potrebu sprovodenja korekcionih programa kod pojedinih učesnika. Rezultati ukazuju na potrebu unifikacije uslova kalibracije ličnih dozimetara, kao i pridržavanja uslova i protokola o interkomparaciji, koje je potrebno i administrativno regulisati.

THE SECOND NATIONAL INTERCOMPARISON OF PERSONAL DOSEMETERS

Abstract: Results of the second national intercomparison of personal dosemeters are presented. We have chosen only results for 70 kVX radiation quality that is relevant for radiological diagnostics. All results show dispersions that are probably caused by using various dosimeter types of various producers as well as by using nonuniform calibration conditions.

Key words: intercomparison, personal dosimeters

Literatura:

[1] Oberhofer M.Scharman A "Applied thermoluminescence dosimetry", Brusseles and Luxemburg,1981;
[2] Nacrt Izveštaja o dugoj nacionalnoj interkomparaciji ličnih dozimetara.

Sekcija 4.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI

DOZIMETRIJSKA KONTROLA GENERATORA RENDGENSKOG ZRAČENJA I ZAŠTITA PACIJENATA U RENDGENDIJAGNOSTICI

(predavanje po pozivu)

Miroslav Tomašević
Klinički centar Srbije
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu:
"Dr Dragomir Karajović" Beograd, Deligradska 29

Rezime

Na osnovi Saveznih zakonskih propisa sprovodi se redovna dozimetrijska kontrola svih izvora jonizujućih zračenja. Dozimetrijskom kontrolom koja se vrši najmanje jednom godišnje obuhvaćeni su i generatori rendgenskog zračenja koji se koriste u rendgendijagnostici.

Rezultati dosadašnjih ispitivanja generatora ukazuju da su procedure kontrole nedovoljne jer mnogi skriveni nedostaci ostaju neodkriveni. Zbog toga prilikom donošenja zakonskih propisa posebnu pažnju treba posvetiti usvajanju procedura kontrole u skladu sa međunarodnim preporukama i IEC standardima.

Posebno zabrinjavaju podaci da se zaštita pacijenata ne sprovodi. Ovaj podatak treba imati u vidu i zbog toga što se svakodnevno povećava broj izvora zračenja u privatnim lekarskim praksama koji su po pravilu van redovne dozimetrijske kontrole.

Klučne reči: Rendgen dijagnostika, zaštita, pacijent

Uvod

Od okrića X zračenja, kako ga je nazvao Rentgen, prošao je jedan vek. Vek pun novih otkrića, unapređivanja rentgen tehnike i nastojanja da se ostvari zadovoljavajuća zaštita od posledica izlaganja zračenju. Prva iskustva sa X zračenjem ukazala su da se rendgensko zračenje može uspešno koristiti u medicini posebno u dijagnostici ali da se sem koristi po pacijenta izlaže i riziku kako po zdravlje pacijenta tako isto i po osoblje koje sprovodi dijagnostičku proceduru. Granice doza zračenja koje su još na samom početku korišćenja rendgentskog zračenja ustanovljene za profesionalno izložena lica ne odnose se na pacijente tako da je neophodno da se za primenu svake dijagnostičke procedure u svakom pojedinom slučaju bez obzira da li se vrši snimanje zuba, šake i pluća ili se pacijent izlaže visokim dozama zračenja pri mamografiji ili snimanju kičme pravilno izvrši procena koristi i štete. Osim toga zahvaljujući tehničkim inovacijama moguće je koristiti mnoge postupke kontrole samih generatora kako bi se uz najmanje moguće ozračivanje pacijenta i osoblja postigla visoka vrednost dijagnostičkih informacija.

Napori koji se čine u nas usmereni su u tom pravcu. Postoje značajne izmene zakonskih propisa radi njihovog usaglašavanja sa međunarodnim normama i standardima.

Zakonsi propisi

Oblast zaštite od rendgenskog zračenja koje se primenjuje u medicinskoj rendgen dijagnostici regulisana je pre svega Saveznim propisima i to:

1. Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i nuklearnoj sigurnosti [1]
(Službeni list SFRJ, br. 53/1991)
2. Pravilnik o stavljanju u promet i korišćenju radioaktivnih materija iznad odredjene granice aktivnosti, rendgen aparata i drugih aparata koji proizvode jonizujuća zračenja i o merama zaštite od zračenja tih izvora (Službeni list SFRJ, br.40/1986; br. 45/1989) [2]

3. Pravilnik o načinu vodjenja evidencije o izvorima jonizujućih zračenja i o ozračenju stanovništva i lica koja su pri radu izložena dejstvu jonizujućih zračenja (Službeni list SFRJ, br.40/1986) [3]

4. Pravilnik o uslovima za primenjivanje izvora jonizujućih zračenja u medicini (Službeni list SFRJ, br.40/1986) [4]

5. Pravilnik o stručnoj spremi, zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja (Službeni list SFRJ, br.40/1986) [5]

6. Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju biti izloženi ozračivanju i o merenjima stepena izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima tih zračenja i o proveravanju kontaminacije radne sredine. (Službeni list SFRJ, br.31 od 1989) [6]

Republika Srbija donela je sledeće propise, koji samo u pojedinim svojim delovima dotiču ovu oblast, kao što su:

–Republički Zakon o zaštiti životne sredine (Službeni glasnik RS, br.66/1991),
–Zakon o zdravstvenoj zaštiti (Službeni glasnik RS, br. 17/1992),

Navedeni republiči propisi uglavnom se odnose na ispitivanje radioaktivnosti u životnoj sredini, zaštitu lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja i pacijenata koji se upućuju na ispitivanja uz primenu izvora zračenja.

Zastupljenost generatora

Na teritoriji SR Jugoslavije pod kontrolom službe za dozimetriju zračenja Kliničkog Centra Srbije – Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr. Dragomir Karajović" iz Beograda, nalazi se 1266 dijagnostičkih generatora rendgenskog zračenja koji se koriste u medicinskoj dijagnostici na koje je priključeno 1522 rendgenske cevi. Ovi generatori se koriste u zdravstvenim ustanovama i u privatnim lekarskim, pre svega stomatološkim ordinacijama.U narednim tabelama dat je pregled dijagnostičkih generatora.

Tabela 1. Ukupan broj dijagnostičkih generatora

TERITORIJA	GENERATORI	RENDGEN. CEVI
Republika Srbija	1228	1478
Republika Crna Gora	38	44
Ukupno	1266	1522

Tabela 2. Zastupljenost generatora prema njihovoj nameni

	REPUBLIKA SRBIJA		REPUBLIKA CRNA GORA	
NAMENA	Generatori	Rendgen. cevi	Generatori	Rendgen. cevi
Prosvetljavanje	119	125	4	4
Snimanje	855	897	25	26
Pros. i snim.	254	456	9	14
UKUPNO	1228	1478	38	44

Tabela 3. Zastupljenost generatora prema njihovom spoju

	Republika Srbija		Republika Crna Gora	
SPOJ	Generatori	Rendgen. cevi	Generatori	Rendgen. cevi
Monopulsni	405	405	9	9
Dvopulsni	371	466	12	13
Šestopulsni	332	449	12	17
Dvanaestopulsni	81	109	3	3
Visokofrekventni	34	44	2	2
Kondenzatorski	5	5	0	0
UKUPNO	1228	1478	38	44

Na teritoriji SR Jugoslavije koristi se 144 generatora rendgenskog zračenja u privatnoj stomatološkoj praksi. Broj neprijavljenih je daleko veći.

Navedeni broj generatora nije konačan jer se oko 15% generatora nalazi pod kontrolom Instituta za nuklearne nauke "Vinča" i oko 10% pod kontrolom Instituta za fiziku PMF iz Novog Sada. Svakako da se izvestan broj nalazi i van bilo čije kontrole.

Prikazani podaci su dati na osnovu "Godišnjeg izveštaja o sprovodjenju zaštite od jonizujućih zračenja u zdravstvenoj zaštiti na teritoriji R. Srbije u 1993. godini". Izveštaj je dostavljen Ministarstvu za zdravlje Republike Srbije i odnosi se samo na one generatore rendgenskog zračenja koji se nalaze pod kontrolom Kliničkog Centra Srbije koji je Rešenjem Ministarstva za zdravlje odredjen za referentnu zdravstvenu ustanovu za zdravstvenu zaštitu radno sposobnog stanovništva i za zaštitu od jonizujućih i nejonizujućih zračenja u zdravstvenoj zaštiti.

Iz podataka iznetih u tabeli vidi se da je najveći broj generatora je u dvopulsnom spoju, ukoliko se ne posmatraju stomatološki generatori koji su u monopulsnom spoju. U šestopulsnom spoju je manji broj generatora a visokofrekventni generatori i generatori sa TV lancem su najmanjezastupljeni. Polije na bazi retkih zemalja koriste se samo kod 21 generatora.

Podaci iz 1994. godine ukazuju da se naglo povećava broj sto matoloških generatora koji se koriste u privatnoj stomatološkoj praksi. Broj stomatoloških generatora u privatnoj praksi koji je van kontrole takodje se stalno povećava. Nabavljaju se preko preprodavaca koji ih ilegalno uvoze i od starih delova sklapaju. Za ove generatore ne postoji dekumentacija koja je prema postojećim propisima obavezna.

Dozimetrijska kontrola

Dozimetrijska kontrola generatora rendgenskog zračenja koji se koriste u medicini sprovodi se na osnovu saveznih propisa a po Metodologiji koja je data u Pravilniku o granicama iznad kojih stanovništvo i lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju biti izloženi ozračivanju i o merenjima stepena izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima tih zračenja i o

proveravanju kontaminacije radne sredine (Službeni list SFRJ, br. 31 /1989). Procena stepena izloženosti jonizujućim zračenjima obuhvata proveru:

–ponovljivosti doza zračenja (reproducibilnost)
–razlučivanja
–usaglašenost osvetljenog i ozračenog polja (kongruencije)
–linearnosti
–debljine sloja poluslabljenja
–veličine fokusa
–visine tačke rotacije rendgenske cevi pri tomografiji.

Ispitivanja se sprovode pod definisanim uslovima. Provere generatora prema navedenoj metodologiji ne vrše sve ovlašćene ustanove.

Dozimetrijsku kontrolu generatora rendgenskog zračenja na teritoriji SRJ na osnovu republičkih i pokrajinskih rešenja obavlja više ustanova stim da odgovarajuće službe na Kosovu ne funkcionišu.

Lična dozimetrija

Pravilnikom o granicama iznad kojih stanovništvo i lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju biti izloženi ozračivanju i o merenjima stepena izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima tih zračenja i o proveravanju kontaminacije radne sredine. (Službeni list SFRJ, br. 31 od 1989), propisano je da se stepen izloženosti spoljašnjem ozračenju lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja meri ličnim dozimetrima i merilima jačine doze. Propisom je predvidjena upotreba termoluminescentnih (TLD) dozimetara i film dozimetara. U SRJ od pre nekoliko godina koriste se isključivo TLD. Stepen izloženosti radnika na radnim mestima u zoni zračenja meri se jedanput mesečno bez obzira na dozu zračenja kojoj se radnici izlažu.

Posedovanje i redovna zamena ličnih dozimetara je jedan od uslova da se korisnicima izvora zračenja odobri korišćenje izvora i rad sa njim. Zbog toga svi vlasnici izvora zračenja prihvataju ličnu dozimetriju ali su vrlo neodgovorni kada je reč o pravilnom korišćenju dozimetara. Dozimetri se pogrešno nose, postavljaju se na različita mesta prema nahodjenju korisnika ne vraćaju se na vreme radi očitavanja i slično. Iz toga razloga procena ozračenosti lica koja rade sa izvorima zračenja a posebno izveštaji, koji se na kraju godine dostavljaju nadležnim organima, nisu potpuni. Interkomparacija ličnih dozimetara na teritoriji SRJ se sprovodi pre svega zbog izuzetnog zalaganja Saveznog zavoda za mere i dragocene metale. Medjutim interkomparaciju ne prihvataju sve ustanove.

Zdravstvena kontrola

Zdravstvena kontrola lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja obavezna je, sprovodi se na osnovu Pravilnika o stručnoj spremi, zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja (Službeni list SFRJ, br.40/1986), vrši se najmanje jedanput godišnje i to u ovlašćenim zdravstvenim ustanovama. Na teritoriji SRJ ovlašćeno je više ustanova.

Na zdravstvenu kontrolu posebno poslednjih godina dolazi sve manji broj radnika koji rade sa izvorima jonzujućih zračenja. Posebno biodozimetrija ne sprovodi se nad svim radnicima koji podležu ovoj kontroli

Zaštita lica koja rade sa izvorima zračenja i pacijenata

Može se reći da je zaštita lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja bolje regulisana i da se bolje sprovodi u praksi od zaštite pacijenata. Ali i pored toga smatramo da zaštita posebno lica koja povremeno rade sa izvorima zračenja ili sprovode specijalne procedure (lekari hirurzi, urolozi) kao i

pomoćnog osoblja (u hiruškim salama, pridržavanje dece, rad u bolesničkim sobama) mora biti mnogo uspešnija.

Zaštita pacijenata je nezadovoljavajuća i pored toga što ovu oblast pored ostalih propisa reguliše i Pravilnik o uslovima za primenjivanje izvora jonizujućih zračenja u medicini (Službeni list SFRJ, br.40/1986). Čest je slučaj da zaštitna sredstva postoje ali su u takvom stanju da se ne mogu koristiti.

Zaštita i pacijenata i lica koja rade sa izvorim azračenja nije adekvatna i zbog nedovoljne osposobljenosti lica koja rade sa izvorima zračenja koji vrlo često ne poznaju karakteristike generatora koje koriste, nisu u stanju da sprovedu odgovarajuću proceduru, nisu upućeni u zakonske propise i mogućnosti sprovodjenja zaštite.

Postupci propisani Programom osiguranja kvaliteta u medicinskoj dijagnostici u dovoljnoj meri nisu poznati ni stručnjacima radiološke zašti te što takodje utiče na kvalitet zaštite i osoblja i pacijenata. Mnogi generatori posebno poslednjih godina nalaze se u vrlo lošem stanju a ima dosta i generatora koji su u kvaru više meseci.

Pojačavačke folije na bazi retkih zemalja koriste se vrlo skromno u samo nekoliko zdravstvenih ustanova. Kao razlog nekorišćenja ovih folija naj češće se navodi njihova viša cena.

Predlog mera

Na osnovu dugogodišnjeg iskustva možemo sa sigurnošću da tvrdimo da je rendgendijagnostika uzrok visokom i vrlo često nepotrebnom ozračivanju lica koja rade sa izvorima zračenja, pacijenata koji se upućuju na ispitivanja što rezultira u takodje velikom ozračivanju cele populacije. Razlozi za to su mnogobrojni ali je dovoljno navesti samo neke od njih:

–Generatori rendgenskog zračenja su zastareli, samo se u malom broju zdravstvenih ustanova koriste savremeni generatori novije proizvodnje

–Dozimetrijska kontrola generatora se ne sprovodi u svim slučajevima prema propisanoj metodologiji

–Ne primenjuje se Program osiguranja kvaliteta

–Dozimetrijska kontrola se ne vrši redovno i njom nisu obuhvaćeni svi generatori

–Ličnom dozimetrijom nisu obuhvaćena sva lica koja rade sa izvorima zračenja. Zamena dozimetara nije redovna.

–Zdravstvena kontrola nije redovna. Biodozimetrijom nisu obuhvaćeni svi koji rade sa izvorima zračenja

–Evidencija izvora zračenja i ozračivanja pacijenata se ne sprovodi

–Procena ozračenosti lica koja rade sa izvorima zračenja kao i stanovništva se ne sprovodi.

–Edukacija zdravstvenih radnika nije adekvatna. Potrebno je periodično upućivanje radnika koji rade sa izvorima zračenja na redovne seminare iz ove oblasti.

Procena radijacionog rizika

Osnovna svrha dozimetrijske kontrole, lične dozimetrije kao i evidentiranja dijagnostičkih procedura i ozračivanja pacijenata je pribavljanje podataka radi stalne procene ozračenosti populacije i procene radijacionog rizika. Kako se dozimetrijska kontrola ne sprovodi po jedinstvenoj metodologiji i njom nisu obahvaćeni svi generatori, a evidencija uopšte ne sprovodi ni o ozračivanju pacijenata ni o izvorima zračenja, nemoguće je dobiti uvid u stvarno ozračivanje ni pojedinaca ni populacije.

Do sada su uz velike teškoće izvršene dve procene i to:

–u toku 1973. godine izvršena je procena gonadnih i genetski značajnih doza zračenja za staanovništvo većih gradova u Srbiji i

–u toku 1982/1983. godine potpuna procena radijacionog rizika za stanovništvo Republike Srbije usled primene radionuklida u medicinskoj dijagnostici (nuklearna medicina).

Procene je u okviru svojih programa sproveo Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" iz Beograda.

Nedostaci sadašnjeg načina kontrole i evidentiranja izvora zračenja
i procene radijacionog rizika

Pravilnikom o načinu vodjenja evidencije o izvorima jonizujućih zračenja i o ozračenju stanovništva i lica koja su pri radu izložena dejstvu jonizujućih zračenja (Službeni list SFRJ, br.40/1986), propisano je da su organizacije udruženoga rada i ostali koji proizvode, stavljaju u promet, uvoze ili koriste izvore zračenja obavezne da vode evidenciju o ovim izvorima. Organizacije korisnici izvora zračenja obavezne su, prema istom propisu, da vode evidenciju o izvorima i o ozračivanju pacijenata. Zatim i ovlašćene organizacije koje vrše kontrolu izvora zračenja obavezne su da vode odgovarajuće evidencije i da redovno izveštavaju nadležne savezne i republičke organe. Medjutim kako se ovaj zakonski propis nije primenjivao svi poslovi u vezi praćenja ozračenosti populacije su dovedeni u pitanje.

Propis se nije sprovodio iz sledećih razloga:
–propisom nije jasno odredjeno kojoj se ovlašćenoj organizaciji dostavljaju podaci radi konačne obrade
–nije utvrdjeno na koji se način registruju ozračivanja pacijenata (unošenjem podataka u zdravstvenu knjižicu ili drugi dokumenat)

Mišljenja smo da je potrebno što je moguće brže razrešiti ove dileme na taj način što bi se u Republikama ili na saveznom nivou odredila jedna zdravstvena ustanova koja bi bila zadužena da vrši procenu ozračivanja populacije. Takodje, bilo bi korisno da dozimetrijsku kontrolu izvora koji se koriste u medicinskoj dijagnostici i terapiji obavlja po jedinstvenoj usvojenoj metodologiji jedna referentna zdravstvena ustanova a da se njoj dostavljaju i svi potrebni podaci kako o ozračivanju pacijenata tako i o ličnoj dozimetriji i zdravstvenoj kontroli lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja.

Za sada to nije bilo izvodnljivo jer je dozimetrijsku kontrolu izvora zračenja vršilo 5 organizacija, zdravstvenu kontrolu 5 zdravstvenih ustanova i ličnu dozimetriju dva Instituta. Takav način rada uticao je na efikasnost sistema zaštite kako u pojedinim Republikama tako i na teritoriji cele SRJ.

Trenutno, dozimetrijsku kontrolu kao i druga ispitivanja snose korisnici izvora zračenja – zdravstvene ustanove i privatne lekarske prakse. Zbog toga su ovlašćene ustanove bile obavezne da sklapaju ugovore sa korisnicima izvora zračenja odnosno da od njih traže saglasnost pre izvršavanja odredjenih merenja i ispitivanja. Kako mnogi korisnici nisu bili voljni da pozivaju radi izvršavanja odredjenih poslova odnosno imali su mogućnost da na osnovu ponudjene cene biraju izvršioca posla ne ulazeći u to šta će za dati iznos i dobiti dešavalo se da se poslovi ne obavljaju prema zakonskim propisima i da veći broj korisnika bude van svake kontrole. Zdruge strane zbog toga ni jedna od ovlašćenih ustanova nije mogla da ima pouzdane podatke na osnovu kojih bi se radile odgovarajuće procene.

I to ide u prilog našem mišljenju da ove poslove treba da obavlja jedna referentna ustanova kojoj bi se omogućilo da na osnovu ustaljenog programa i plana vrši kontrolu bez saglasnosti korisnika. Drugim rečima da ovlašćena organizacija ima veća ovlašćenja i da ne bude finansijski zavisna od strane korisnika izvora.

Imajući u vidu tehničku ispravnost generatora koji se sada koriste mišljenja smo da se kontrola generatora rendgenskog zračenja koji se koriste u zdravstvenim ustanovama mora obavljati najmanje jedanput godišnje a u privatnim ordinacijama najmanje dvaputa godišnje.

Literatura

[1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i nuklearnoj sigurnosti: Službeni list SFRJ, br. 53/1991

[2] Pravilnik o stavljanju u promet i korišćenju radioaktivnih materija iznad odredjene granice aktivnosti, rendgen aparata i drugih aparata koji proizvode jonizujuća zračenja i o merama zaštite od zračenja tih izvora: Službeni list SFRJ, br.40/1986; br. 45/1989

[3] Pravilnik o načinu vodjenja evidencije o izvorima jonizujućih zračenja i o ozračenju stanovništva i lica koja su pri radu izložena dejstvu jonizujućih zračenja: Službeni list SFRJ, br.40/1986

[4] Pravilnik o uslovima za primenjivanje izvora jonizujućih zračenja u medicini: Službeni list SFRJ, br.40/1986

[5] Pravilnik o stručnoj spremi, zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja: Službeni list SFRJ, br.40/1986

[6] Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju biti izloženi ozračivanju i o merenjima stepena izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima tih zračenja i o proveravanju kontaminacije radne sredine: Sl. list SFRJ, br. 31/1989

DOSIMETRIC CONTROL OF X_RAY GENERATORS AND PATIENT PROTECTION IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Miroslav Tomašević

Abstract

Based on the Federal legal regulations, a regular dosimetric control of all sources of ionizing radiation is being carried out. dosimetric control performed at least once a year, involves X–ray generators applied in X–ray diagnostic.

Results of generator investigation to date indicate that control procedures have been insufficient since many hidden lacks remain undetected. Because of that, during the process of passing legal regulations, special attention should be paid to adoption of control procedures in accordance with international recommendation and IEC standards.

Of special concern are the data on patient protection not being carried out. This fact should be borne in mind also due to a daily increasing number of sources of ionizing radiation in private medical practice which, as a rule, are beyond regular dosimetric control.

Key words: Radiology, protection, patient

ANATOMSKE I FIZIOLOŠKE NEPODOBNOSTI KOD ZAŠTITE DECE U RENDGEN DIJAGNOSTICI

Branislav Goldner
Institut za radiološku dijagnostiku Kliničkog centra Srbije,Beograd,Dr Subotića 13
Ljiljana Goldner
Dom zdravlja Rakovica,Beograd,Kraijice Jelene 22

Rezime:
Zaštita dece u rendgen dijagnostici započinje još intrauterino, a nastavlja se postnatalno.Ozračenje ploda može da se završi smrću ili da se ispolji mentalnom retardacijom i malignim bolestima tokom života.U postnatalnom periodu deca su posebno osetljiva na rendgensko zračenje zbog izraženog rasta, povećanog sadržaja vode u tkivima, dominantne skeletne hematopoeze, malog volumena tela, blizine svih organa u malom prostoru, odnosa glave prema trupu i topografije ovarijuma.Specifičnosti dečjeg uzrasta nameću obavezu svim lekarima da indikacije za preglede postavljaju najstrožije, uvek u dogovoru sa radiologom koji će da odredi tehniku pregleda jer najbolje poznaje mali raspon između dopuštene i štetne doze ozračenja.

Ključne reči: Rendgen dijagnostika, dete, zaštita

Obično se misli da se zaštita dece od ozračenja ostvaruje samo u aktuelnom vremenu primene odgovarajuće dijagnostičke porcedure korišćenjem svih poznatih i zakonom odredjenih zaštitnih sredstava.Retko se pomišlja da zaštita treba da počne još intrauterino.Potencijalni štetni efekti na plod posle ozračenje zavise od korišćene energije zračnog snopa, zbirne doze ozračivanja pri pregledu i vremena iradijacije u odnosu na začeće.Ozračenje u vremenu kada je broj ćelija ploda mali i njihova priroda još nije diferentovana i specijalizovana u organogenezi, vodi u smrt ploda.Ozračenje u prve tri nedelje od začeća neće rezultirati u odredjenim ili stohastičkim efektima kod novorodjenčeta uprkos činjenici da se centralni nervni sistem i srce počinju da razvijaju u trećoj nedelji po začeću [1].Ukoliko ozračenje sledi u periodu organogeneze koji je najeklatantniji od navršene treće nedelje do kraja trećeg meseca intrauterinog života, oštećenja mogu da se ispolje raznim malformacijama u organima koji se najbrže razvijaju u vreme ozračenja.Malformacije najčešće pogadjaju centralni nervni sistem, kardiovaskulni sistem, mišiće, zglobove i digestivni trakt.Svakako je vredno pomena iskustvo Macht–a i Lawrence–a [2] koji su utvrdili da je znatno veći broj slučajeva fetalne smrti i dece sa kongenitalnim defektima od roditelja koji rade sa izvorima jonizujućeg zračenja.Dokazano je da su najčešća dva specifična efekta iradijacije na embrion:mentalna retardacija i malignomi uključujući i leukemiju, koji se mogu da ispolje u vreme detinjstva ili u dobu odraslog [1][Tabela 1].

Rizik od mentalne retardacije treba očekivati kod ozračenja ploda izmedju osme i petnaeste nedelje graviditeta.Ukoliko je plod ozračen dozom od 1 Gy u navedenom vremenu, kvocijent inteligencije deteta biće smanjen za 30 ili manje ako je ozračenje bilo u periodu od 16–25 nedelje [2].Kod apsorbovane doze u mozgu ploda od 0,1 Gy nisu registrovane promene u kvocijentu inteligencije, ali ako su apsorbovane veće doze, pojaviće se teška mentalna retardacija.Na sreću, apsorbovane doze od 0,1 Gy ili veće se retko sreću u dijagnostičkoj rendgenologiji.

Ukoliko je ozračenje vezano za intrauterini razvoj ili u detinjstvu tokom prvih 10 godina, rizik od pojave malignih bolesti je višestruko veći nego kod ostale populacije [3].Čak i

male apsorbovane doze u gonadama fetusa ili deteta mogu da indukuju mutacije odgovorne za hereditarne poremećaje u potomstvu [3].

Tabela 1.Efekti ozračivanja ploda

Vreme po oplodjenju	E f e k t i	Postnatalna incidenca
Prve tri nedelje	Bez odredjenih ili stohastičkih efekata	___
Od 3–8 nedelje	Mogućnost malformacije pojedinih organa	0,06 1 na 17
Od 8–25 nedelje	Mogućnost mentalne retardacije	5×10^{-3} 1 na 200
Od 4 nedelje do kraja trudnoće	Karcinom u detinjstvu ili odraslom dobu ili leukemija	1×10^{-3} 1 na 1000

Novorodjenče je naročito osetljivo na rendgensko zračenje u prvim mesecima života.Rast i razvoj tkiva su posebno izraženi tako da dete već posle pet meseci od rodjenja udvostručava težinu koju je imalo na rodjenju, a do kraja prve godine života je utrostručava.Druga osobenost organizma u rastu koja je sa rendgenološkog aspekta od značaja, je povećan sadržaj vode u tkivima kako u fetusu, tako i kod novorodjenčeta, a u odnosu na odraslog [Tabela 2].

Tabela 2.Sadržaj vode u fetusu i odraslom

Fetus 3–4 meseca	93% vode
Fetus 5 meseci	91% vode
Fetus 6 meseci	87% vode
Fetus 7 meseci	86% vode
Prematurus 7 meseci	85% vode
Novorodjenče 9 meseci	82% vode
Odrasli	72% vode

Procentualno veća zastupljenost vode u fetusa i novorodjenčeta u odnosu na odraslog je od značaja jer veći sadržaj vode povlači i veću osteljivost na rendgensko zračenje preko slobodnih OH radikala iz vode [4].

Crvena koštana srž kao hematopoetski organ skeleta je u dece daleko više razvijena nego u odraslih.U novorodjenčeta se crvena koštana srž nalazi u celom skeletu.Pretvaranje crvene u inaktivnu žutu započinje u 4. ili 5. godini života i traje lagano do puberteta, kada se vrednosti sa odraslim izjednačuju.Iako do sada nema pouzdanih dokaza da bi dopustive doze zračenja pri rendgen dijagnostici mogle da dovedu do pojave ireverzibilnih oštećenja mnogi se autori slažu da kod čestih izlaganja niskim dozama iradijacije postoji potencijalni somatski rizik od leukemogeneze i karcinogeneze.Savremena saznanja su podudarna u tvrdjenju da je rizik od pojave leukemije i karcinoma kod ozračenja fetusa 2–10 puta veći nego u odrasle osobe.Bolesnici koji se češće izlažu dejstvu "X" zrakova u dijagnozne svrhe češće oboljevaju od leukemije:deca od akutne mijeloblastne, a odrasli od hronične granulocitne [4].Potvrdjeno je da se u eksponiranih lica stvara patološki hromozom, odnosno menja genom matičnih hematopoeznih ćelija [5].U matičnim ćelijama sa hromozomskim oštećenjima, prodor leukemogenog virusa je olakšan, ili se u njima stvara i bez ulaska virusa nov leukemijski klon [6].Medjutim, nema dokaza da izolovano dejstvo jonizujućeg zračenja kao leukemogenog činioca može samo na osnovu stvaranja izmenjenog klona u matičnim ćelijama koštane srži da indukuje leukemiju.U sprezi više leukemogenih činilaca svaki od njih

pojačava leukemogeni rizik drugog, pa će se leukemogeni efekat jonizujućeg zračenja povećati u dece sa poremećenim imunitetom i sklonostima ka čestim infekcijama [7].

Mali volumen tela u dece čini da ista volumna doza zračenja koja obuhvata čitavo telo novorodjenčeta pogadja samo 20–ti deo odraslog, što sledi iz činjenice da dete na rodjenju ima u proseku telesnu težinu 3,5 kgr, što prema težini odraslog od 70 kgr daje odnos 1:20.Iz ovih se odnosa može da zaključi da je sposobnost oporavka ćelija izloženih zračenju utoliko manja ukoliko je manji odnos zračene i nezračene površine tela.

Mala masa tela deteta čini da su pojedini organi znatno bliži jedan drugome nego kod odrasle osobe.Zbog toga gonade bivaju ozračene iako se obavlja rendgenski pregled nakon drugog, relativnog udaljenog organa, npr. pluća, srca ili jednjaka.

Relativno velika glava novorodjenčeta u odnosu na trup, je od značaja u zaštiti, jer kod snimanja lobanje zbog veličine zračnog snopa bivaju obuhvaćeni i drugi organi, posebno predeo vrata.Interesantni su navodi nekih autora koji su u eksperimentu zračili samo glave miševa uz potpunu zaštitu ostalih delova tela.Prateći potomstvo ozračnih miševa našli su genetske promene kod njih iako su gonade roditelja bile zaštićene, što znači da pored gonada i centralni nervni sistem (hipofiza) u slučaju prekoračenja dopuštene doze može da bude odgovorna za genetske poremećaje.

Za novorodjenčad i decu sa punim reproduktivnim potencijalom rizik od ozračenja gonada pri rendgenskim pregledima je nekoliko puta veći nego kod odraslih.Izvesne anatomske osobenosti u ovom pogledu su od izuzetnog značaja.U toku ontogeneze ovarijumi se spuštaju put kaudalno i ne dospevaju do terminalne linije karlice.Druga topografska osobenost ovarijuma je u tome što se oni u male dece smeštaju pozadi, iza rektuma.Praktična važnost ovih anatomskih modaliteta u devojčica je u tome što pregledom drugih, udaljenijih organskih celina (pluća, srce, digestivni sistem) u zračno polje ulaze i ovarijumi.

Zaštita dece muškog pola je jednostavna i utvrdjena postavljanjem kapsula od olovne gume ili obloženog olovnog lima preko testisa.Kod devojčica je problem zaštite veći, naročito kod urografskih pregleda, kada štitnik od olovne gume prekrivajući gonade zaklanja i distalne delove ekskretornog sistema.

Problem u pedijatrijskoj radiologiji predstavljaju i rendgenska snimanja sa Bucky rešetkom, kojom prilikom se ekspozicione doze uvećavaju za 20–30%.Taj problem je unekoliko rešen korišćenjem folija retkih zemalja kada se ekspoziciona doza upravo za toliko procenata smanjuje, ali je činjenica da u našim uslovima rada retko koje rendgen odeljenje i u većim zdravstvenim centrima poseduje folije retkih zemalja.Razlog je finansijske prirode do momenta kada zakonodavac ne bude uveo obavezu korišćenja folija retkih zemalja.

Izbor tehnike snimanja je bitan činilac u zaštiti.Radiolog je najkompetentniji da odredi način pregleda svakog malog pacijenta i proceni da li je rizik od izlaganju rendgenskim zracima za svaku vrstu traženog pregleda manji ili veći od koristi koju može bolesniku da pruži uspešno obavljen radiodijagnostički postupak.Uloga rendgen tehničara je nezaobilazna u zaštiti jer samo iskusan rendgen tehničar uz to obučen za rad sa decom i koji voli decu može da bude važan činilac zaštite.

Literatura

[1] ICRP, 1993.Protection of the patients in diagnostic radiology.Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Tokyo, 1993, 22 (3).

[2] Macht St H, Lawrence PS.National survey of congenital malformation resulting from exposure to roentgen radiation.Am J Roen, 1955, 73: 442–444.

[3] ICRP, 1991.Recommendation of the International Commisions on radiological protection, ICRP publication 60.Annals of the ICRP 21 (1–3).

[4] Goldner B, Panić I.Klinička rendgenologija urinarnog sistema.Med knjiga Beograd Zagreb, 1985, 542–548.

[5] Baikie AG.Proceedings 11th Cong Internat Soc Hematol, Sidney, 1968, 198.
[6] Stefanović S. i sar.Etiologija leukemije–nova gledišta.Zbornik radova VI Internistički dani, Galenika Beograd 1976,40–47.
[7] Rundles R.in Williams WJ et al.Hematology.McGraw–Hill, New York 1972, 680–688.

ANATOMIC AND PHYSIOLOGIC LIMITATIONS IN PROTECTION OF CHILDREN SUBJECTED TO RADIOLOGICAL DIAGNOSTIC PROCEDURES

Branislav Goldner
Institute of Diagnostic Radiology, Clinical Centre of Serbia,Belgrade, Dr Subotića 13
Ljiljana Goldner
Medical Centre Rakovica, Kraljice Jelene 22

Abstract:
Protection of children subjected to radiological diagnostic procedures is initiated before they are born, and is continued postnatally.Fetus irradiation may have fatal outcome or may result in mental retardation or malignant diseases during lifetime.In the postnatal period children are particularly sensitive to radiation because of rapid growth, increased water content of the tissues, dominant skeletal hematopoesis, small body volume and closeness of all organ in the small area, body / had ratio and ovarian topography.Specificities of pediatric population make it mandatory for all physicians to establish indications for radiation most strictly, always consulting a radiologist who will determine the examination technique since he has the best insight into the very narrow span between an allowed and the noxious irradiation dose.

Key words: X–ray diagnostics, child, protection.

PROFIL X POLJA KOD KOMPJUTERIZOVANOG TOMOGRAFA

M. Vukčević[1], M. Ateljević[2], S. Stanković[1], I. Avramović[1], M. Kovačević[1]
[1] *Institut za Nuklearne nauke "VINČA", Beograd*
[2] *KBC Zemun*

Rezime

U ovom radu određene su konture za različite širine skena na CT. Utvrđeno je da su profili X polja širi od deklarisane debljine skena. To znači da za susedne tomograme dolazi do preklapanja X polja pa se te regije dva puta ozračuju. Da bi se taj efekat nepoželjnih preklapanja smanjio potrebno je povećati širinu skena ili smanjiti broj skenova koji se dodiruju. Data je analiza dijagnostičke relevantnosti takvih programa snimanja.

Ključne reči: kompjuterizovani tomograf, dozna raspodela

1. Uvod

Kompjuterizovani tomograf (CT) postao je glavna dijagnostička mašina na Rö odeljenjima i njihov broj predstavlja merilo zdravstvenog standarda zemlje. Umesto klasičnih rendgenskih snimaka gde su relevantni detalji utopljeni u fonu rasutog zračenja i maskirani neadekvatnim razvijanjem, na CT lekar dobija tomogram sa detaljima i jasnoćom anatomskog preparata. Dijagnoza se dobija brzo i veoma pouzdano i zbog toga skeneri rade bez prestanka. Za takvu opterećenost skenera na zapadu postoji dodatni pritisak zbog neophodne brze amortizacije mašine, a kod nas zbog njihovog nedovoljnog broja.

Međutim, zbog visokih pacijentnih doza CT nije idealno dijagnostičko sredstvo. Ta je činjenica nedovoljno poznata i pacijentima i lekarima. Potrebna rezolucija oblika i gustina se kod CT postiže, pored ostalih programskih zahteva, i "tvrdim" X zračenjem (133 kV, do 475 mAs, vreme ekspozicije do 2.7 s i poludebljine X zračenja veće od 4.5 mm aluminijuma) [1].

Ovo očigledno nije neinvazivna tehnika i sa ovako "tvrdim" spektrom pacijentne doze su visoke i u startu kompromituju svako olako i bezrazložno slanje pacijenata na CT pre nego što se iskoriste druge "mekše" dijagnostičke tehnike.

U ovom radu ispitivana je mogućnost smanjivanja pacijentne doze.

2. Metode

X-polje skenera je sasvim atipično jer ima oblik trouglaste tanke ploče koja rotira u krugu u kojem se nalazi pacijent, koji se sukcesivno pomera ortogonalno na snop. Dozimetrijska merenja u takvom polju zahtevaju više pažnje i pri izboru instrumentacije i pri interpretaciji rezultata. Zbog rotacije polja koriste se isključivo cilindrične komore, međutim u polju širine do 10mm, uobičajenu situaciju sa celom komorom u polju je teško ostvariti jer je većina komora duža od 10 mm. Zbog parcijalnog ozračivanja komore menja se kalibracioni faktor komore,

što se kompenzuje merenjem dozne raspodele i širine snopa. Na ovaj način se određuje doza u polju jednog skena. Ako se nizom sukcesivnih snimanja provuče cela komora kroz snop skenera, dobija se srednja doza po skenu sa uključenim efektom preklapanja polja susednih skenova. Odnos doza meren na ta dva načina daje meru efekta preklapanja polja susednih skenova. Za ovaj rad korišćena je komora od 1000 cm^3, postavljena u položaj pacijenta. Komora se nalazila u cilindričnom fantomu sa zidovima od plastike debljine 1cm. Kako je pri svakom snimanju samo jedan deo komore bio u polju, trebalo je odrediti i profil polja. To je urađeno sa Rö-filmom stavljenim u isti fantom.Pored toga doze su merene i sukcesivnim snimanjem. Medutim. radi zaštite cevi kroz snop nije provučena cela komora.

3. Rezultati

Sa snimka na Rö-filmu se jasno vidi da je u fantomu. odnosno u pacijentu. profil polja znatno širi od deklarisane širine skena. Divergencija nominalnih vrednosti skena data je u Tabeli 1. Zbog rotacije cevi u profilu polja je superponiran snimak upadnog snopa iz svih pravaca kao i snimak rasutog zračenja. Iako su dati najblaži uslovi koji se mogu postaviti na skeneru sve komponente polja su izazvale potpuno zacrnjenje filma tako da se trag rasutog zračenja nije mogao razlikovati od traga centralnog snopa. Zbog toga se nije mogla denzitometrijski odrediti dozna raspodela u profilu snopa. Međutim jasno je da je polje skena šire od sukcesivnog pomeranja stola za naredni tomogram i da zbog toga dolazi do delimičnog preklapanja polja dva susedna skena. To znači da se te regije pacijenta zrače dva puta.

Tabela 1. Divergencija X polja CT

Nominalna širina skena	10 mm	5 mm	2 mm
Širina skena na 1 cm dubine cilindričnog fantoma (C_2H_3Cl)	12 mm	7 mm	4 mm
Širina skena na površini cilindričnog vodenog fantoma	12.5 mm	7.5 mm	4.5 mm

Dozni efekat preklapanja susednih polja određen je nizom sukcesivnih tomograma komore. Odnos doza po skenu za jedan i niz sukcesivnih tomograma dat je u Tabeli 2.

Tabela 2. Doze po skenu na 1 cm dubine fantoma

Nominalna širina skena i kondicije	10 mm 133 kV,350 mAs, 2s	5 mm 133 kV, 350 mAs, 2 s	2 mm 133 kV, 475 mAs, 2.7 s
Doza po skenu bez preklapanja polja	2.8 cGy	4.4 cGy	5.5 cGy
Doza po skenu sa preklapanjem polja	3.2 cGy	5.9 cGy	10.6 cGy

4. Zaključak

Iz rezultata se vidi da preklapanje polja značajno uvećava dozu na CT-u. Jedini način da se smanji efekat preklapanja x-polja bilo bi korišćenje širih skenova ili smanjenje broja sukcesivnih tomograma. Pitanje je koliko se može žrtvovati od mogućnosti CT radi zaštite pacijenta?
U dijagnostičkoj praksi se ustalilo nekoliko principa i preporuka čijom primenom se optimalno rešava dilema dijagnoza-zaštita:

- obavezno iskoristiti klasične metode pre CT pregleda.
- koristiti što deblje slojeve.
- raditi ciljane slojeve po ispitivanom organu uz obavezno prethodno davanje intravenskog kontrasta.
- koristiti preseke od 10 mm, što se pokazalo kao optimalno za pregled pojedinih organa.
- raditi bez nativnog pregleda kad god je to moguće.
- za pregled kranijuma koristiti preseke od 10mm, sa početnom linijom skeniranja koja prolazi kroz tragus i krov orbite.

Literatura

[1] Sistem-Manual, SOMATOM HiQ, Siemens, 1990.

[2] T.Y.Lee et al., "Quantitative computed tomography of the brain with xenon enhancement a phantom study with GE9800 scanner", Phys.Med.Biol.Vol.35-7. pp. 925-935, 1990

[3] B.A.McClean et al., "A special purpose x-ray fan-beam CT scanner for trabecular bone density measurement in the appendicular skeleton", Phys.Med.Biol. Vol.35-1, pp.11-19, 1990

X FIELD CONTOURS FOR CT

M. Vukčević, M. Ateljević, S. Stanković, I. Avramović, M. Kovačević

Abstract:

In this paper X fields contours for various CT scan widths are determined. It´s established that X field profiles are wider than declared scan widths, meaning that X field overlap occurs with neighbouring tomograms and that those regions get X-rayed two times. To lessen that unwanted side-effect, it´s necessary to enlarge scan width, or to decrease the number of neighbouring scans. Also the analysis of diagnostic relevance of such scanning programmes is given.

Key words: CT scanner, dose distribution.

DOZIMETRIJSKA KONTROLA MAMOGRAFSKIH GENERATORA RENDGENSKOG ZRAČENJA

Miroslav Tomašević
Klinički Centar Srbije
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović",Beograd, Deligradska 29

Rezime

Rezultati prvih sistematskih ispitivanja generatora rendgenskog zračenja koji se koriste za snimanja dojki, ukazuju da se u Republici Srbiji koriste vrlo različiti generatori. Njihova starosna struktura je nezadovoljavajuća kao i tehnike snimanja koje se sada primenjuju. Snimanje dojki se izvodi na filmu bez kasete i pojačavačke folije, sa ili bez rešetke a samo u malom broju zdravstvenih ustanova koriste se pojačavačke folije na bazi retkih zemalja.

Kako su u većini zdravstvenih ustanova izmerene vrednosti doza zračenja znatno veće od podataka koji se navode u literaturi kao referentne vrenosti nivoa ozračivanja dojki u mamografiji potrebno je da se posebna pažnja posveti ispitivanju i kontroli generatora, standardizaciji opreme i dijagnostičkih procedura i primeni pojačavačkih folija na bazi retkih zemalja.

Ključne reči: mamografija, zaštita, X–zračenje

Uvod

Prva ispitivanja dojki uz primenu X zračenja izveo je još 1913. godine Solomon. Dosta godina kasnije, 1927. prikazuju se i prvi rendgenski snimci dojki.

Za snimanje dojki razvijeni su specijalni generatori rendgenskog zračenja koji rade sa X zračenjem vrlo male energije (21 – 50 kV) i sa rendgenskim cevima kod kojih su anode od molibdena.

Određivanje apsorbovanih doza X zračenja u vazduhu na rastojanju fokus – koža pacijenta vršena su sve do skora jonizacionim komorama koje nisu bile u potpunosti usaglašene sa energijom X zračenja ovih generatora. Od 1983. godine merenja se vrše termoluminescentnim dozimetrima [1] uz primenu odgovarajućih fantoma ili direktnim merenjem na koži pacijenta "in vivo" [2]. Dobijeni rezultati su ukazivali da se pri snimanju raspoloživim tehnikama dojke ozračuju izuzetno velikim dozama zračenja [3]. Bolje tehnike snimanja i pouzdaniji generatori su neophodni kao i primena pojačavačkih folija na bazi retkih zemalja [4].

Mamografski generatori

U proteklom periodu značajno se nije izmenio ni broj ni starosna struktura generatora rendgenskog zračenja koji se koriste za snimanje dojki na teritoriji Republike Srbije. Na slici 1. i tabeli 1. prikazana je zastupljenost ovih generatora a na osnovu podataka sa kojima raspolažu stručne službe KCS, Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" iz Beograda. Međutim, tek poslednjih godina, izmenio se sistem dozimetrijske kontrole mamografskih generatora. Nabavkom instrumenta NERO 6000M, koji poseduje mogućnost izbora vrste anode u zavisnosti od visokog napona pod kojim radi rendgenska cev (volframska ili molibdenska anoda) dozimetrijska kontrola

ovih generatora je postavljena na sasvim drugoj osnovi. Postupcima koji se sada koriste moguće je odkriti nedostatke samih generatora kao što je nestabilnost ili nepodešenost visokog napona i vremena snimanja a samim tim i promene u dozama zračenja kojima se u toku snimanja ozračuju dojke.

Tabela 1. Zastupljenost mamografskih generatora

MESTO	GENERATOR	PROIZVOĐAČ
BEOGRAD	Mammomat	Siemens
BEOGRAD	Acoma X – Ray	
ZEMUN	Mamex DC Mag	Finska
ZEMUN	Mammo diagnost	Philips
SOMBOR	DG 40 D 240	TuR
SUBOTICA	Senographe CGR	Koch und Sterzel
KIKINDA*	DG 40	TuR
NOVI SAD	Mammomat	Siemens
SREM. KAMENICA	Mammomat	Siemens
SMEDEREVO	Mammo diagnost	Philips
KRALJEVO	DG 40	TuR
ČAČAK	MMX 2	General Electric
ŠABAC	Telemax 1250 AS	General Electric
KLADOVO	Mammo diagnost	Philips
ZAJEČAR	Mammo diagnost	Philips
NIŠ	Mammomat	Siemens
KRAGUJEVAC **	Mammomat	Siemens
KRAGUJEVAC	Mammo diagnost	Philips
LESKOVAC	DG 40	TuR
PRIŠTINA	Tridoros	Philips

* u kvaru; ** privatna lekarska praksa

Zaključak

Na teritoriji Republike Srbije koriste se mamografski generatori rendgenskog zračenja čija je starosna struktura je nezadovoljavajuća. Koriste se različite tehnike snimanja a u samo nekim ustanovama koriste se rešetke i folije retkih zemalja.

Iz tog razloga izmerene vrednosti apsorbovane doze rendgenskog zračenja u vazduhu na rastojanju fokus – film odnosno apsorbovane doze u vazduhu su visoke i kreću se od 0.0684 do 36.5 mGy po ekspoziciji. Odnosno efektivne doze kojima se ozračuju dojke debljine 3 cm iznose od 0.015 mSv po ekspoziciji do 8.03 mSv po ekspoziciji.

Kako su u većini zdravstvenih ustanova izmerene vrednosti znatno veće od podataka koji se navode u literaturi kao referentne vrenosti nivoa ozračivanja dojki u mamografiji [5] to je potrebno da se posebna pažnja posveti ispitivanju i kontroli mamografskih generatora rendgenskog zračenja, standardizaciji opreme i dijagnostičkih procedura i primeni pojačavačkih folija na bazi retkih zemalja.

Izmena zakonskih propisa je neophodna kako bi se novi standardi [6]i nove preporuke međunarodnih agencija na vreme usvojili.

REPUBLIKA SRBIJA
SUBOTICA
1
KIKINDA
1
SOMBOR
1
ZRENJANIN
NOVI SAD
2
PANČEVO
SMED.
1
S.MITROVICA
BEOGRAD
4
POŽAREVAC
1
ŠABAC
1
KLADOVO
VALJEVO
KRAGUJEVAC
2
NEGOTIN
BOR
ČAČAK
1
JAGODINA
ZAJEČAR
1
UŽICE
KRALJEVO
1
KRUŠEVAC
NIŠ
1
PIROT
MITROVICA
PROKUPLJE
LESKOVAC
1
PRIŠTINA
1
VRANJE
PEĆ
GNJILANE
PRIZREN
1994. – 1995.
ZASTUPLJENOST
MAMOGRAFSKIH
GENERATORA
RENDGENSKOG ZRAČENJA

Literatura

[1] Tomašević M., Križanović D., Petrović Dragoljub: Ozračenost dojki pri mamografiji. XII jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja. Ohrid, 31.maj – 3.jun 1983, str. 599–604

[2] Tomašević M., Ristić B., Minevski Z.: Određivanje ozračenosti dojki merenjem "in vivo" termoluminescentnim dozimetrima. XIII jugoslovenski simpozij zaštite od zračenja. Pula 10–13. jun 85. str. 400–402

[3] Vujnić V., Tomašević M., Minevski Z.: Radiološko fizički aspekti mamografije. XIII jugoslovenski simpozij zaštite od zračenja. Pula 10–13. jun 85. str. 407–411

[4] Tomašević M., Minevski Z.: Rendgen aparati koji se koriste za snimanje dojki na teritoriji S.R. Srbije. XIII jugoslovenski simpozij zaštite od zračenja. Pula 10–13. jun 85. str. 481–484

[5] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources; International Atomic Energy Agency, 1994.

[6] Collateral standard: General requirements for radiation protection in diagnostic X–ray equipment. CEI, IEC 601–1–3, 1994.

DOSIMETRIC CONTROL OF X–RAY GENERATORS FOR MAMMOGRAPHY

Miroslav Tomašević

Clinical Center of Serbia
Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović",Belgrade

Abstract
The results of the first systematic studies of generators of X–ray radiation used for breast imaging suggest that different kinds of generators are used in the Republic of Serbia. Their age structure is unsatisfactory, as well as, the currently used imaging techniques. Mammographies are conducted on a film without cassette and intensifying screens, with or without a grid, and only in a small number of health care institutions rare earth intensifying screens are used.

Since in most health care institutions the measured values significantly exceed the referential data for the breast irradiation in mammography, special care should be taken of investigation and control of generators, equipment standardization and diagnostic procedures, as well as application of rare earth intensifying screens.

Key words: Mammography, protection, X–Ray

SISTEMATIZACIJA DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA NA TERITORIJI SR JUGOSLAVIJE

Duško Košutić
Klinički Centar Srbije, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr Dragomir Karajović", Beograd, Deligradska 29

Rezime
U ovom radu je dat prikaz stanja u medicinskoj rendgen dijagnostici, o tome kakvi su generatori rendgenskog zračenja zastupljeni na teritoriji Savezne Republike Jugoslavije i njihova podela po tipu, nameni, prijemu i spoju, sa kratkim osvrtom i komentarom takvog stanja.
Na teritoriji SR Jugoslavije nalazi se najviše generatora rendgenskog zračenja koji su proizvedeni u EI Niš (oko 75%). Najbrojniji su generatori koji se koriste za masovne dijagnostičke procedure (52%) i u stomatologiji (34%) ali ima i onih koji se upotrebljavaju za specijalne dijagnostičke procedure kao što su mamografija, angiografija i druge. Više od 2/3 generatora rendgenskog zračenja se koriste samo za snimanje, a od onih što se upotrebljavaju za prosvetljavanje još uvek ima 1/3 sa kojima se prosvetljavanje vrši bez pojačavača slike, u mraku.

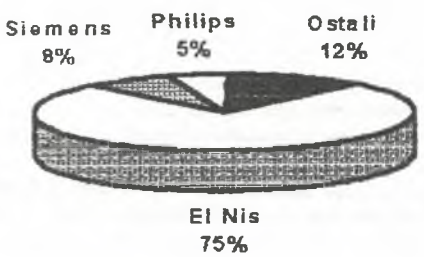
Ključne reči:generator rendgenskog zračenja, prosvetljavanje, snimanje.

1. Uvod

Pod stalnom dozimetrijskom kontrolom Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu, na teritoriji Savezne Republike Jugoslavije nalazi se 1342 generatora rendgenskog zračenja sa 1600 rendgenskih cevi. U laboratoriji za kontrolu izvora zračenja i ličnu dozimetriju formirana je i održava se baza podataka o svim rendgen aparatima sa oko 100 različitih obeležja o uslovima smeštaja, izmerenim dozama zračenja, sredstvima zaštite itd. Ovo nije ukupan broj generatora rendgenskog zračenja na teritoriji SR Jugoslavije, jer se jedan manji deo nalazi pod kontrolom drugih ovlašćenih ustanova (Institut u Vinči, PMF iz Podgorice, PMF iz Novog Sada), a ima i onih koji se ne nalaze pod kontrolom ni jedne ustanove, naročito u privatnim stomatološkim ordinacijama.

2. Podaci o generatorima rendgenskog zračenja

Od proizvođača generatora rendgenskog zračenja na teritoriji SR Jugoslavije najviše su zastupljeni EI Niš, Siemens i Philips. Prikaz zastupljenosti proizvođača dat je na slici 1.

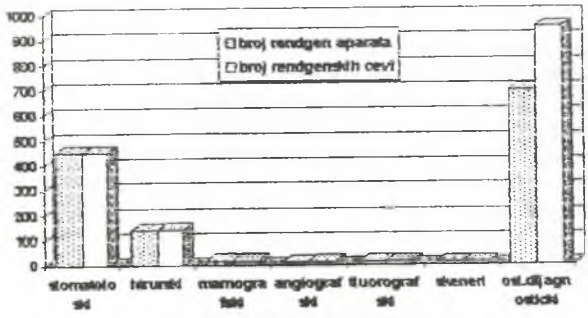


Slika 1. Prikaz zastupljenosti proizvođača generatora rendgenskog zračenja

Naša fabrika je prisutna sa 3/4 svojih generatora, što ima velike prednosti u servisianju i održavanju postojeće oprema.

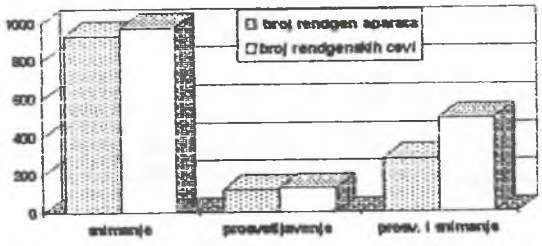
Svi dijagnostički rendgen aparati su podeljeni po tipu u sedam grupa i ta podela je prikazana na slici broj 2.

Pored stomatoloških rendgen aparata i onih za masovne dijagnostičke procedure, kojih ima zajedno oko 86 % , upotrebljavaju se i generatori rendgenskog zračenja za specijalne dijagnostičke procedure , kao što je angiografija, mamografija i drugo, međutim oni se nalaze samo u većim zdravstvenim centrima i nisu ravnomerno raspoređeni na teritoriji SR Jugoslavije.



Slika 2. Prikaz generatora rendgenskog zračenja po tipu

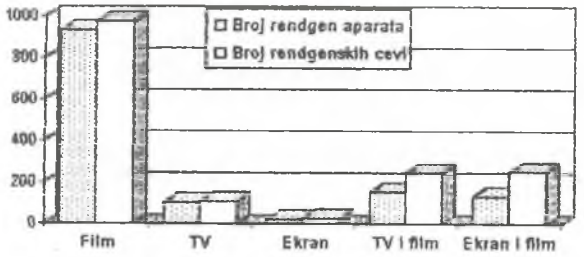
Najveći broj generatora rendgenskog zračenja se koristi za snimanje (70%), zajedno za snimanje i prosvetljavanje (21%), a samo za prosvetljavanje (9%).



Slika 3. Podela genaratora rendgenskog zračenja po nameni

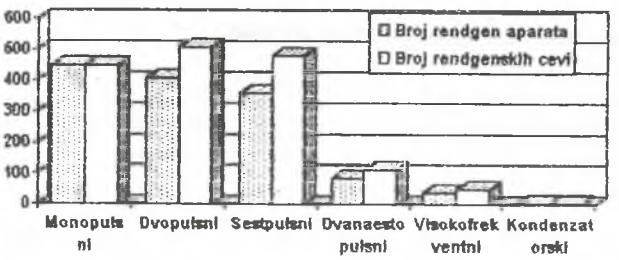
Kako se najveći broj generatora rendgenskog zračenja koristi za snimanje, to se u najvećem broju slučajeva dijagnostička informacija dobija na filmu. Međutim još uvek postoji 151 generator koji se koristi za prosvetljavanje bez pojačavača slike, što čini gotovo 1/3 ukupnog broja generatora koji se koriste samo za prosvetljavanje ili u kombinaciji i za snimanje i za prosvetljavanje. Način dobijanja dijagnostičke informacije prikazan je na slici 4.

Upotreba folija na bazi retkih zemalja je prisutna u jednom veoma malom broju zdravstvenih ustanova, a njihovo korišćeje znatno doprinosi zaštiti lica koja profesionalno rade sa izvorima rendgenskog zračenja, pacijenata i okoline, uz produženje radnog veka generatora.



Slika 4. Prikaz generatora rendgenskog zračenja po načinu dobijanja dijagnostičke informacije

Sve dijagnostičke generatore rendgenskog zračenja u zavisnosti od vrste spoja možemo podeliti u šest grupa, što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Prikaz generatora rendgenskog zračenja u zavisnosti od spoja

Ako se izuzmu stomatološki generatori rendgenskog zračenja koji skoro svi rade u monopulsnom spoju, tada se vidi da je najveći broj generatora u dvopulsnom i šestopulsnom spoju, a da je broj savremenih generatora u dvanaestopulsnom i višepulsnom spoju još uvek mali.

3. Zaključak

Na osnovu podataka iznetih u ovom radu očigledno je da se treba ići na smanjivanje upotrebe dijagnostičih generatora rendgenskog zračenja koji se koriste zaprosvetljavane uz pomoć ekrana (sa perspektivom njihovog potpunog ukidanja), osavremenjivanje dijagnostičkih centara savremenim višepulsnim generatorima, povećanjem broja generatora za specijalne dijagnostičke procedure i postavljanjem na one teritorije Republike gde ih nema.

Podaci o upotrebi folija na bazi retkih zemalja nisu izneti u ovom radu jer još uvek nisu kompletirani, ali činjenica je da se one koriste u veoma malom broju dijagnostičkih centara, a njihova upotreba doprinosi znatnoj zaštiti lica koja profesionalno rade sa izvorima rendgenskog zračenja, pacijenata i okoline uz produženje radnog veka generatora.

SYSTEMATIZATION OF DIAGNOSTIC ROENTGEN APPARATUS AT THE TERRITORY OF FR. YUGOSLAVIA

Duško Košutić
Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health
"Dr Dragomir Karajović", Belgrade, Deligradska 29

Abstract

The paper presents the state of medical roentgen diagnostics, what kind of x–ray generators are prevalent at the territory of Federal Republic of Yugoslavia and their classification with a short review and comment on such state. The majority of x-ray generators used at EI Niš (about 75%). The most numerous are the generators applied for massive diagnostic procedures (52%), as well as stomatology (34%), but there also exist those used for special diagnostic procedures such as mammography, angiography and others. More than 2/3 of x–ray generators are used solely for imaging, and among those applied for transillumination there still exist 1/3 of those by which the procedure mentioned is performed without an image amplifier, that is in the dark.

Key words: x–ray generators, transillumination, imaging

OSIGURANJE KVALITETA U RENDGEN DIJAGNOSTICI I RADIOTERAPIJI

Radmilović Vukašin[1], Tomašević Miroslav[2], Stanković Jovan[3], Jelić Ljiljana[3]

[1]Savezno ministarstvo za rad, zdravlje i socijalnu politiku, 11070 Novi Beograd
[2]Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Pasterova 2, 11000 Beograd
[3]Institut za onkologiju i radiologiju Srbije, Pasterova 14, 11000 Beograd

Rezime

U okviru optimizacije zaštite od jonizujućih zračenja i savremene racionalne primene jonizujućih zračenja u medicini značajno mesto dobija program osiguranja kvaliteta. U tekstu se razmatraju bitne komponente i razlozi za zakonskim regulisanjem obaveze osiguranje kvaliteta u dijagnostičkoj radiologiji i radioterapiji.

Ključne reči: rendgen dijagnostika, radioterapija, osiguranje kvaliteta, zaštita

Uvod

U okviru otimizacije zaštite od jonizujućih zračenja i savremene racionalne primene jonizujućih zračenja u medicini značajno mesto dobija program osiguranja kvaliteta. Svetska zdravstvena organizacija je još osamdesetih godina predložila principe za osiguranje kvaliteta u nuklearnoj medicini, dijagnostičkoj radiologiji i radioterapiji [1,2,3]. UNSECAR je 1993. godine u okviru problema medicinskog izlaganja radijaciji naglasio pozitivan efekat sprovođenja programa osiguranja kvaliteta u redukciji doza zračenja u medicini [4]. U novim sigurnosnim standardima Međunarodne atomske agencije iz 1994. godine, takođe je posebno istaknut značaj sprovođenja sveobuhvatnog programa osiguranja kvaliteta [5]. Načelna opredeljenja relevantnih međunarodnih organizacija o programu osiguranja kvaliteta u svim oblastima primene jonizujućih zračenja su ugrađena u predlog novog saveznog Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja, a predviđa se i izrada posebnog pravilnika. U tekstu se razmatraju bitne komponente i razlozi za osiguranje kvaliteta u dijagnosti koj radiologiji i radioterapiji.

OSIGURANJE KVALITETA U RENDGEN DIJAGNOSTICI

Oblast primene izvora jonizujućih zračenja, a posebno njihova primena u rendgen dijagnostici izuzetno dobro je regulisana saveznim zakonskim propisima. Dozimetrijska kontrola generatora rendgenskog zračenja se sprovodi redovno najmanje jednom godišnje, a posebno pre puštanja u redovan rad, posle opravki ili zamene vitalnih delova.

Od 1989. godine, nakon donošenja novog propisa [7] dozimetrijska kontrola generatora rendgenskog zračenja postavljena je na osnovi nekoliko osnovnih elemenata Programa osiguranja i kontrole kvaliteta. Kontrola mora da obuhvata:

- vizuelan pregled generatora i sastavnih delova,
- ispitivanje ponovljivosti doze zračenja,
- ispitivanje ponovljivosti i pouzdanosti podešavanja visokog napona,
- ispitivanje ponovljivosti i pouzdanosti podešavanja vremena snimanja,
- određivanje debljine sloja poluslabljenja,
- određivanje apsorbovane doze zračenja u vazduhu po jedinici proizvoda mAs,
- određivanje tačke rotacije u tomografiji.

Ispitivanja generatora rendgenskog zračenja u periodu od 1989. godine do 1995. godine potvrdila su da smo bili na dobrom putu kada smo u postojeće zakonske propise ugradili ove elemente Programa osiguranja kvaliteta, jer smo po prvi put bili u stanju da odkrijemo do tada skrivene nedostatke samih generatora. Osim toga došlo se i do podataka koji su ukazivali da sigurnost i pouzdanost generatora ne zavisi toliko od njihove starosti koliko od održavanja i pravilnog rukovanja sa njima.

U toku nekoliko godina sistematskih ispitivanja na osnovi Programa osiguranja i kontrole kvaliteta u rendgendijagnostici stekao se i utisak da osoblje nije u dovoljnoj meri upoznato sa osnovnim odredbama ovog Programa i prednostima koje on nudi. Zbog toga ni do danas osoblje, pre svega lekari, koji sprovode dijagnostičke procedure uz primenu izvora zračenja kao i rendgen tehničari nisu uključeni u realizaciji Programa.

U toku redovnog školovanja, ali na žalost i kasnije u toku specijalizacije i dopunskih osposobljavanja vrlo malo pažnje se poklanja edukaciji u smislu sprovođenja Programa osiguranja i kontrole kvaliteta.

Na ovom mestu treba ukazati i na to da se dijagnostičke procedure u svim dijagnostikama ne sprovode na isti način odnosno da nisu standardizovane zbog čega je i ozračivanje pacijenata različito.

Na osnovi rezultata sa kojima raspolažemo mogu se dati sledeći predlozi:

- revizija postojećih zakonskih propisa mora se izvršiti kako bi se usaglasili ne samo sa novim standardima koji su u međuvremenu doneti [5,8] već da bi se unele i one odredbe koje nisu našle mesto u propisima iz 1989. godine;
- primena Programa osiguranja i kontrole kvaliteta mora biti obavezna i nju moraju da sprovode ne samo ustanove koje vrše dozimetrijsku kontrolu izvora zračenja već se moraju predvideti i obaveze kako proizvođača generatora rendgenskog zračenja tako i samih korisnika;
- osoblje koje rukuje generatorima rendgenskog zračenja mora biti sistematski osposobljavano za sprovođenje osiguranja kvaliteta kroz redovno školovanje, ali se na tome ne sme zadržati (osoblje mora povremeno, kroz seminare, da se upoznaje sa novinama iz ove oblasti);
- ispitivanje generatora rendgenskog zračenja mora da obuhvata sva ispitivanja i provere koje su značajne za pravilno i bezbedno funkcionisanje generatora;
- svi značajni podaci o generatoru moraju biti sastavni deo baze podataka određene referentne ustanove.

OSIGURANJE KVALITETA U RADIOTERAPIJI

Preko 70% ukupnog broja pacijenata obolelih od malignih bolesti se leči radioterapijom (transkutana radioterapija, brahiterapija i kombinovana radioterapija) kao jedinim vidom lečenja ili u kombinaciji sa drugim vidovima lečenja (hirurgija, hemioterapija, imunoterapija itd.). Samo na Institututu za onkologiju i radiologiju Srbije godišnje se radioterapijom leči više od 4000 novo obolelih pacijenata. Aplikovane doze zračenja (apsorbovana doza zračenja na metu-tumor) iznose 10-80Gy frakcionirano u 1-40 seansi. U okviru Službe za radioterapiju Instituta za onkologiju i radiologiju Srbije, razvija se program kontrole i osiguranja kvaliteta koji se bazira na međunarodno priznatim stavovima i preporukama u ovoj oblasti [9,10,11].

Međunarodne studije su pokazale da postoji direktna veza između dobrih kliničkih rezultata (eradikacija tumora uz minimalno oštećenje normalnih tkiva i organa u zračnom volumenu) i

preciznosti u određivanju, preskripciji i aplikaciji apsorbovane doze jonizujućih zračenja u radioterapiji. Kvalitet radioterapije u većini slučajeva ne može biti verifikovan jedino kroz krajnje rezultate terapije, jer je biološki odgovor tumorskih (iste histopatološke forme) i zdravih tkiva (iste histološke forme) na dejstvo zračenja različit (individualan) i zavisi od mnogih još nedovolno poznatih parametara. No bez obzira na individualnost terapijskog odgovora, sigurno je da krajnji rezultati radioterapije zavise od kvaliteta svakog posebnog segmenta, čiji se kvalitet permanentno verifikuje kroz program kontrole i osiguranja kvaliteta.

Osiguranje kvaliteta (QA) u radioterapiji predstavlja plansku i sistematičnu aktivnost koja je neophodna da bi se obezbedila i ispunila konzistentan medicinska preskripcija doze zračenja na tumor uz minimalno ozračivanje okolnog zdravog tkiva i organa, minimalnom ekspozicijom osoblja i adekvatnim praćenjem pacijenata sa ciljem postizanja odgovarajućih rezultata lečenja [3] i baziran je na sledećim postavkama [12]:

- sprovođenje QA programa je obavezno da bi se obezbedila visoka preciznost u radioterapiji;
- struktura radioterapijskog odeljenja mora biti tako koncipirana da obezbedi minimum zahteva za sprovođenje QA programa;
- prvu liniju u ovom programu predstavlja kontrola radiološko-fizičkih i radioterapijskih parametara kao što su: kalibracija mernih uređaja, kalibracija radioterapijskih snopova i izvora zračenja, provera mehaničkih parametara radioterapijskih uređaja, specifikacija doza zračenja, kontrola sistema za planiranje terapije, usklađivanje programa redovnih kontrola sa QA programom itd.;
- razvoj metodologije sprovođenja QA programa;
- implementacija i razvoj QA programa na nivo pacijenta (protokoli lečenja, praćenja rezultata i način obrade rezultata radioterapije);
- razvoj QA programa (razvijanjem novih testova kvaliteta, transferom znanja i metodologija itd.);
- analiza učinka sprovođenja QA programa (u smislu: lokalne kontrole, pojave posleiradijacionih komplikcija - kvalitet života pacijenata i preživljavanja).

U toku dosadašnjeg rada na razvoju i implementaciji programa osiguranja kvaliteta u radioterapiji razvijena je i ustanovljena šema upravljanja kvalitetom (Quality Managemet) čiji su primarni ciljevi: smanjenje mogućnosti pojave grešaka na bilo kom nivou u toku sprovođenja radioterapije, mogućnost identifikacije pojedinih problema i njihovo korigovanje, bolje sagledavanje svih primenjivanih procedura i potencijalnih problema, stvaranje kvalitetne arhive koja će omogućiti analizu rezultata sa ciljem povećanja efikasnosti programa i lečenja uopšte kroz obezbeđenje "dobre prakse" i visokih profesionalnih standarda u radioterapiji.

Zaključak

Rezultati primene medicinskih procedura kod kojih se koriste jonizujuća zračenja zavise od kvaliteta svakog pojedinačnog segmenta. U cilju racionalne primene izvora jonizujućih zračenja u medicini ustanovljeni su programi osiguranja kvaliteta čiji su krajnji ciljevi: poboljšanje rezultata i smanjenje ekspozicije kako samih pacijenata tako i osoblja i okoline. Razvoj i sprovođenje programa osiguranja kvaliteta u dijagnostičkoj radiologiji i radioterapiji danas ne predstavlja samo pojedinačni angažman već i obavezu koje moraju biti svesni svi uključeni subjekti (medicinske ustanove, ovlašćene ustanove, inspektorati, zakonodavac, pacijenti itd.).

Literatura

[1] WHO, Quality Assurance in Diagnostic Radiology, Geneve 1982.
[2] WHO, Quality Assurance in Nuclear Medicine, Geneve 1982.
[3] WHO, Quality Assurance in Radiotherapy, Geneve 1988.
[4] UNSCEAR, Medical Radiation Exposure, Anex C, New York 1993,pp.256-268.

[5] IAEA, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources, Vienna 1994.
[6] Savezno Ministarstvo za rad, zdravstvo i socijalnu politiku i Savezno Ministarstvo za privredu, Predlog Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja, Beograd, marta 1995.
[7] Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju biti izloženi ozračenju, o merenjima stepena izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima tih zračenja i o proveravanju kontaminacije radne sredine. Sl. list SFRJ, broj 31,1989.
[8] Collateral standard: General requirements for radiation protection in diagnostic X-ray equipment. IEC 601-1-3, 1994-07.
[9] Code of Federal Regulations, Title 10., US Government 1992.
[10] American Colege of Radiology, Standards for Radiation Oncology, 1990.
[11] Dawson J., Roy T., Abrath F., Wu T., Haenchen M., Gu J., McDonald R., Kim H., Comprehensive Quality Management Program for Radiation Oncology, Radiother. Oncol. 31(1994)187-188.
[12] Horiot J., Bernier J., Johansson K., van der Schueren E, Bartelnik H., Minimum Requirements for Quality Assurance in Radiotherapy, Radiother.Oncol. 29(1993)103-104.

QUALITY ASSURANCE IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

Radmilović V.[1], Tomašević M.[2], Stanković J.[3], Jelić Lj.[3]

[1]Savezno ministarstvo za rad, zdravlje i socijalnu politiku, 11070 Novi Beograd
[2]Institute of Occupational and Radiolological Health "Dr D. Karajović", Pasterova 2, 11000 Belgrade, Yugoslavia
[3]Institute of Oncology and Radiology, Pasterova 14, 11000 Belgrade, Yugoslavia

Abstract. A rationale for the Quality Assurance Programme in diagnostic radiology and radiotherapy is discussed, pointing out that QA programme is a mandatory prerequisite when aiming high professional quality as well as "good practice".

PREGLED OSNOVNIH PREPORUKA ZA KONTROLU I OSIGURANJE KVALITETA U RADIOTERAPIJI

Svetlana Andrić, Institut za Nuklearne Nauke "Vinča"
Olivera Frim, Institut za onkologiju i radiologiju Srbije

Rezime
Kontrola i osiguranje kvaliteta u radioterapiji predstavlja kompleksnu metodologiju primene odgovarajućih procedura koje su ustanovljene u cilju definicije kriterijuma primenljivih u kliničkoj praksi, kao i osiguranja konzistentnosti i korektnosti fizičkih i tehničkih podataka koji se koriste pri planiranju i realizaciji radioterapije. Dat je pregled osnovnih internacionalnih preporuka i predlog za injiciranje nacionalnog programa.

Ključne reči: radioterapija, kontrola kvaliteta

1. Uvod

Pojam kontrole i osiguranja kvaliteta, QA- Quality Assurance, prvobitno uveden u industriji odnosio se na niz sistematski planiranih akcija neophodnih za obezbeđenje visokog stepena funkcionalnosti, tačnosti i reproducibilnosti korišćenog sistema, a u odnosu na prethodno utemeljene norme i definicije. Na predlog svetske zdravstvene organizacije (WHO) pojam je proširen na područje medicine i to kao obaveza i garancija za izvršavanja odgovarajućih procedura kojima se može obezbediti kontinuitet specificiranog kvaliteta lečenja.

Osnovna svrha QA programa za radioterapiju je da se bolesnicima omogući adekvatno i kvalitetno lečenje metodama i opremom koje su bezbedne kako za bolesnike tako i za osoblje. Da bi se to ostvarilo neophodno je ustanoviti sve moguće greške, minimizirati ih do nivoa prihvaćene devijacije i držati ih pod stalnom kontrolom u okviru regulativa i stručnog nadzora [1,2]. Šansa za preživljavanje i izlečenje bolesnika istog tipa i gradusa bolesti ne sme da zavisi od mesta i ekipe koja će realizovati tretman [3].

QA program obuhvata tehnički, fizički i klinički aspekt kontrole i osiguranja kvaliteta, a podrazumeva niz procedura koje omogućavaju modifikaciju onih parametara koji odstupaju od usvojenih kriterijuma. Primenom dobro razrađenog i redovno korišćenog programa QA ostvaruje se mogućnost za uniformni terapijski tretman u okviru svih radioterapijskih centara, koji takav program primenjuju. Cilj programa QA je da precizira opseg prihvaćenih sistematskih ili povremenih devijacija u postupcima određivanja i dodele terapijske doze u područje tumora [4]. Ove devijacije definisane su u brojnim internacionalnim dozimetrijskim preporukama [5,6,7,8,9,10,11].

U savremenom pristupu primene QA izlazi se iz okvira identifikacije programa sa pojedinačnim principima dozimetrijske kontrole izvora zračenja, kontrole mehaničke i električne sigurnosti uređaja i kontrole kliničkih parametara, već se poentira prošireno, kompaktno i međusobno povezano područje u kome se svi fizički, klinički i tehnički aspekti QA međusobno preklapaju. Svi elementi QA programa su međusobno povezani počev od pripreme terapijskog plana (procesi prikupljanja kliničkih i fizičkih podataka o bolesniku i zračnom snopu) do odluke i realizacije plana, preko pripreme i korišćenja radioterapijskih uređaja i prateće opreme, do realizacije i kontrole u toku tretmana, uz kontrolu prateće opreme i pomagala, kompjuterskog sistema za izodozno planiranje i izračunavanje, procesa individualizacije tretmana, specifikacije izvora zračenja za metode brahiterapije, kao i za kliničke aspekte kontrole rezultata. Međusobna povezanost svih aspekata programa posebno se odnosi na odgovornost za realizaciju svih članova tima (radijacioni onkolog, medicinski fizičar, dozimetrista, tehničar i inženjer), pri čemu se u terminološkom pristupu razlikuju se tri nivoa imperativa: mora, preporučuje i treba [12].

2. Polazne osnove

Jedna od polaznih osnova savremenog QA programa su ICRU preporuke, koje daju osnovnu specifikaciju fizičkih i kliničkih parametara, način međusobnog povezivanja u terapijski plan, optimizaciju procesa planiranja terapije, definišu kriterijume tačnosti podataka i izvore greške [10], detaljnu specifikaciju kliničkih parametara kojom su definisani volumen mete (TV), zračni volumen i absorbovanu terapijsku dozu [9]. U najnovijim ICRU preporukama data je revizija i dopuna tako što je uvoden pojam kliničkog volumena mete (CTV), u kome se precizira razlika između kliničko anatomskih i dopunskih geometrijskih margina nastalih zbog pokretanja organa u toku tretmana, a volumen mete se redefiniše u planirani volumen mete (PTV) [5].

Značajan osnov QA programa čine IAEA preporuke za specifikaciju dozimetrijske opreme u lancu transfera apsorbovane doze od primarnog do radnog etalona [11]; dozimetrijski protokoli AAPM, koji daju detaljno, teorijski i praktično obrađene, procedure kalibracije dozimetara i terapijskih uređaja [13]; i kriterijume za: tačnost i toleranciju, metode merenja doze, simulaciju i rad terapijskih uređaja, metode planiranja terapije, brahiterapiju i radijacionu sigurnost [7]; ICRP preporuke obrađuju probleme tačnosti i optimizacije dodele terapijske doze, procene očekivanog rizika, organizacije rada radioterapijskog odeljenja, kao i obaveze edukacije stručnog tima [8].

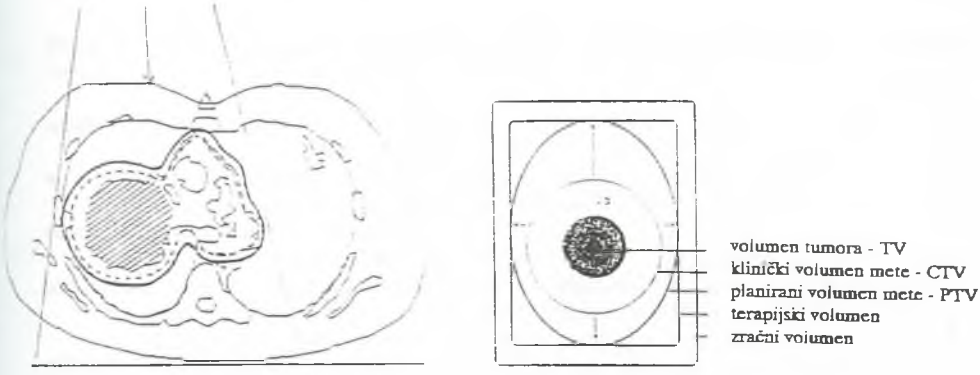
1965 IAEA pravi prvu analizu korišćenja radioterapijskih uređaja širom sveta sa aspekta metrologije u dozimetriji. Tom prilikom potvrđuje se činjenica da oko jedne trećine ukupnog broja radioterapijskih centara nema odgovarajuću mernu opremu, ili ona nije adekvatno kalibrisana. 1966 zasniva servis za poštansku TL dozimetrijsku kontrolu radioterapijskih centara. Servis se širi u saradnji sa NSDL, a 1968 u kooperaciji sa WHO. U okviru zaključaka petogodišnjih rezultata poentira se problem kalibracije dozimetrijske opreme i ističe se obaveza razvoja osnovanih SSDL [14].

1968 AAPM komitet za radioterapijske studije (CRTS), osniva Centar za radiološku fiziku (RPC) sa stalno zaposlenom ekipom (4 fizičara, tehničar i sekretar). Centar je osnovan u cilju: definicije kriterijuma prihvatljivih u kliničkoj praksi, osiguranja konzistentnosti i korektnosti fizičkih podataka koji su uključeni u kliničke trajale, osiguranja finalne akcije širenja informacija ostalim učesnicima trajala radi potvrde, identifikacije razlika i korekcije korišćenih protokola. Uloga RPC je da asistira i savetuje kliničke radne grupe i da organizuje kontrolnu reviziju na licu mesta i tako aktivira interakciju među učesnicima. Aktivnosti RPC se odvijaju prema programu koji obuhvata: rane preglede i korekciju devijacija u protokolima (na osnovu analize individualnih terapijskih planova, obračuna doze i verifikacionih filmova); finalne preglede i potvrdu izvršenog tretmana (na osnovu analize dodatnih polja, preračunavanja i izodozne distribucije); report rezultata koji se šalje institucijama učesnicama [15].

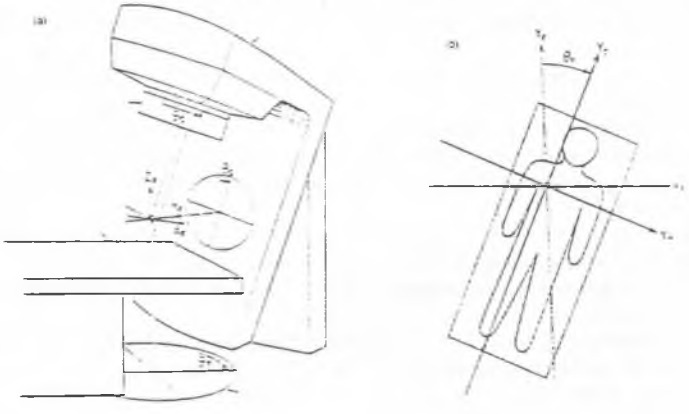
1991 osnovana je Evropska QA mreža u cilju kontrole primene postojećih QA protokola. Organizacija QA mreže izvršena je po uzoru na IAEA/WHO aktivnosti, a na inicijativu Evropskog komiteta za borbu protiv kancera (EC). QA mreža je osnovana sa pet zemalja učesnica (Belgija, Francuska, Italija, Holandija, Švedska), a do 1993 proširena je sa još pet zemalja (Grčka, Irska, Portugal, Španija i Čehoslovačka). Aktivnosti međunarodnih organizacija u području primene programa QA sagledavaju se i u aktivnom angažmanu organizovane QA mreže pri analizi sprovedene kontrole radioterapijskih centara, interkomparaciji rezultata i primeni zaključaka sa tematskih simpozijuma. [16,17].

3. Korelacija kliničkih, fizičkih i tehničkih parametara kontrole

Radioterapijski izodozni plan zračenja bolesnika sadrži relevantne kliničke podatke o bolesniku i fizičke podatke o primenjenom snopu zračenja, a prikazuje se kao izodozna raspodela doze na anatomskom preseku. Terapijska doza zračenja u volumenu mete određena je na osnovu metoda kliničke dozimetrije. Izodozna raspodela specificirana je za celokupni zračni volumen pri čemu određene izodozne linije obuhvataju unutrašnju kliničku selekciju celokupnog zračnog volumena. Na Slici 1 je data uporedna šematska ilustracija principa kliničke selekcije volumena zračenja sa geometrijskom postavkom izodoznog plana [5]. Pri tome moraju biti zadovoljeni tehnički kriterijumi za pozicioniranje bolesnika u toku realizacije tretmana, kao što je ilustrovano na Slici 2 [18].



Slika 1. Ilustracija geometrijske postavke terapijskog izodoznog plana (a) i kliničke selekcije volumena zračenja (b) [5]



Slika 2. Ilustracija parametara pozicioniranja bolesnika za radioterapijski tretman [18]

Zaključak

Ovakav pristup nadgradnje postojećih QA programa [6,7] ostaje pitanje organizacije, a treba da ukaže na definiciju potrebe, inicijativu izrade i obavezu primene našeg nacionalnog QA programa, od koga se, redovnom primenom u praksi može očekivati garancija za poboljšanje rezultata lečenja u radioterapiji. Injciranje programa treba da potekne sa nivoa udruženih asocijacija koje se bave primenom jonizujućeg zračenja u medicini, uz definiciju potrebe nacionalnog programa za ovu oblast, program treba da bude prihvaćen i podržan od strane republičkih i saveznih nadležnih ministarstava, uz definiciju obaveze primene u onkološkim centrima, a uz organizaciju stručnog nadzora. Nacionalni program za kontrolu i osiguranje kvaliteta u radioterapiji treba da sadrži detaljna uputstva, definicije i tehničke detalje svih neophodnih parametara kontrole, načina i učestalosti primene, po uzoru na internacionalne preporuke u ovoj oblasti, a u cilju poboljšanja uslova i finalnog ishoda lečenja metodama radioterapije.

Literatura

[1] G.K.Svensson: Quality assurance in radiation therapy. In: Advances in radiation therapy treatment planning. Edited by: Ann E. Wright, Arthur L. Boyer. AAPM Med. Phys. Monograph No 9, AAPM, New York, 1983, 244-268

[2] A.Aimen, L.Ahlgren, S.Mattson: Absorbed dose to technicians due to induced activity in linear accelerator for radiation therapy. Phys. Med. Biol. Vol 36, No 6, 815-822, 1991

[3] N.T.Racoveanu: WHO programme on quality assurance in radiotherapy.In: Quality assurance in radiation therapy, 5/86. Editor: Alfred Baumi. MMV Medizin Verlag Munchen, 1986. 9-15

[4] J.C.Horiot, E. van der Schueren, K.A.Johansson, J.Bernier, H.Bartelink: The programme of quality assurance of the EORTC radiotherapy group. A historical overview. Radioth. Oncol. 29, 81-84, 1993

[5] ICRU (International Commission on Radiological Protection) Report No 50: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. ICRU, Washington DC., 1993

[6] WHO (World Health Organization): Quality assurance in radiotherapy. WHO, Geneva, 1988

[7] AAPM (American Association on Physicists in Medicine) Report No 13: Physical aspects of quality assurance in radiation therapy. AAPM, New York, 1988

[8] ICRP (International Commission on Radiological Protection) publication 44: Protection of the patient in radiation therapy. ICRP, Pergamon Press, New York, 1985

[9] ICRU (Internationasl Commission on Radiation Units and Measurements) report 29: Dose specification for reporting external beam therapy with photons and electrons. Bethesda, Maryland, Washington, 1978

[10] ICRU (Internationasl Commission on Radiation Units and Measurements) report 24: Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures. Bethesda, Maryland, Washington, 1976

[11] IAEA (International Atomic Energy Agency) report No 277: Absorbed dose determination in Photon and electron beams. IAEA, Vienna, 1987

[12] G.J.Kutcher, L.Coia, M.Gillin, at al.: Comprehensive QA for radiation oncology. Report of AAPM radiation therapy committee task group 40. Med. Phys. 21 (4), 581-618, 1994

[13] A Protocol for the determination of absorbed dose from high energy photon and electron beams. Task Group 21. Med. Phys. 10 (6), 1983, 741-771

[14] H.H.Eisenlohr, S.Jaraman:IAEA-WHO Cobalt-60 therapy dosimetry service using mailed LiF dosimeters. A survey of results obtained during 1970-75. Phys. Med. Biol. Vol 22, No 1, 18-28, 1977

[15]- N.Suntharalingam, K.A.Johansson: Quality assurance/ physics/ dosimetry. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. Vol 14, 521-524, 1988

[16] A.Dutreix, E.van der Schueren, S.Derreumaux, J.Chavudra: Preliminary results of a quality assurance network for radiotherapy centres in Europe. Radioth. Oncol. 29, 97-101, 1993

[17] A.Dutreix, S.Derreumaux, J.Chavudra, E.Van der Shueren: Quality control of radiotherapy centres in Europe: beam calibration. Radioth. Oncol. 32, 256-264, 1994

[18] ICRU (Internationasl Commission on Radiation Units and Measurements) report 42: Use of computers in external beam radiotherapy procedures with high energy photons and electrons. Bethesda, Maryland, Washington, 1987

REVIEW OF BASIC RECOMENDATIONS FOR QUALITY ASSURANCE IN RADIOTHERAPY

Svetlana Andrić

Abstract

"Quality assurance is a programme aimed at defining the range of acceptable deviations, at detecting potential causes for larger deviations and at developing mechanisms of action for correction and prevention. This concept can apply to almost anything from the manufacture of an object to intellectual process. Quality assurance in radiotherapy explores each step from the beam production to the follow-up of irradiated patient" [4].

The review of basic recomendations for quality assurance with the proposal of national programme forming.

Key word: radiotherapy, quality control

EVALUACIJA REZULTATA MEDICINSKE KONTROLE LICA U 1994.god. KOJA PROFESIJSKI RADE U ZONI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

Milan Mrđa

Klinički centar Srbije
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd

Rezime

Autor prikazuje rezultate medicinske kontrole lica u 1994. god., koji profesijski rade u zoni jonizujućeg zračenja. Od 1059 pregledanih, 59 lica je imalo privremenu zabranu rada i 8 lica trajnu zabranu rada u zoni jonizujućeg zračenja. Od štetnih efekata najčešće su registrovane promene u leukocitarnoj formuli, a u manjem procentu leukopenija i katarakta očnog sočiva.

Ključne reči: zona jonizujućeg zračenja, štetni efekti.

1. Uvod

Priroda jonizujućeg zračenja je takva da izaziva jonizaciju materije kroz koju prolazi. Obuhvata fotonska zračenja veće energije i korpuskularna zračenja. Organizam se oštećuje na dva načina: iradijacijom iz spoljnih radioaktivnih izvora i internom radioaktivnom kontaminacijom. I danas su aktuelni problemi zaštite pri primeni jonizujućeg zračenja u medicini i industriji. Medicinska zaštita lica koja profesijski rade u zoni jonizujućeg zračenja obuhvata pre svega, prve preglede ljudi pre stupanja na rad sa radioaktivnim materijama i izvorima zračenja, a zatim i periodično - kontrolne preglede. Pravila i osnove metodologije medicinskog nadzora osoba izloženih dejstvu jonizujućih zračenja dati su Pravilnikom o zdravstvenim pregledima i zdravstvenim uslovima osoba koje rade sa izvorima jonizujućeg zračenja.

Cilj rada je ispitivanje somatskih efekata kod lica koja rade u zoni jonizujućeg zračenja.

2. Materijal i metode rada

Sprovedeno retrospektivno istraživanje oslanja se na dokumentaciju o ispitivanoj pojavi. Istraživanje je bilo neeksperimentalno i zasnivalo se na korišćenju primarnih podataka, odnosno podataka iz osnovne medicinske dokumentacije - zdravstvenog kartona. Vremenski period posmatranja je bio godinu dana. Korišćeni su zdravstveni kartoni 1095 lica koja profesijski rade u zoni jonizujućeg zračenja, a koji su pregledani u ambulanti za prevenciju radijacionih oštećenja u okviru Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović". Pojava je posmatrana kroz sledeća obeležja: zanimanje, leukociti, leukocitarna formula, trombociti, katarakta, maligna oboljenja. Rezultati su prezentirani grafički.

3. Rezultati

Ukupan broj pregledanih lica koja rade sa izvorima jonizujućeg zračenja u kalendarskoj 1994 godini je bio 1095. Od ovog broja 957 radnika su zaposleni u zdravstvenim ustanovama i 138 u industriji.

STRUKTURA PROFESIJA LICA KOJA RADE SA IZVORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

zanimanje	broj
radiolog	173
pneumoftiziolog	42
stomatolozi i drugi lekari	102
radiološki tehničari	514
medicinske sestre	126
industrijska zanimanja	138
svega	1095

Problem morbiditeta pregledanih radnika ima za posledicu privremenu ili trajnu nesposobnost za rad u zoni jonizujućeg zračenja.

STRUKTURA PRIVREMENE ILI TRAJNE NESPOSOBNOSTI ZA RAD

zanimanje	privremeno	trajno
radiolog	11	2
pneumoftiziolog	5	1
ostali lekari	3	-
radiološki tehničari	26	5
medicinske sestre	4	-
industrijska zanimanja	4	-
ostali u medicini	6	-
svega	59	8

Iz prethodne tabele je moguće videti da su u riziku od jonizujućeg zračenja u smislu privremene ili trajne nesposobnosti najviše izloženi zdravstveni radnici. Medju njima se izdvaja grupa radioloških tehničara i radiologa.

Iz grafikona 1. je vidljivo da kod radiologa najčešće nalazimo promene u leukocitarnoj formuli ili procentualno 14,0 % od pregledanog broja radiologa. Na drugom mestu po učestalosti su oboljenja očnog sočiva. Nije registrovano ni jedno maligno oboljenje.

Iz grafikona 2. je vidljivo da kod radioloških tehničara dominiraju promene u leukocitarnoj formuli ili procentualno 13,0 % od pregledanog broja tehničara. Na drugom mestu po učestalosti nalazi se katarakta očnog sočiva. Kod jednog radiološkog tehničara verifikovan je karcinom pluća.

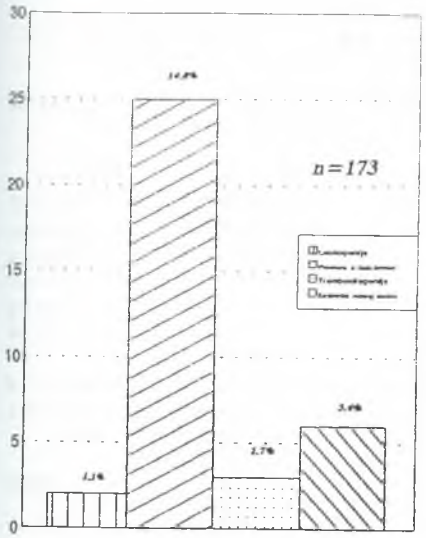
Grafikon 3. prikazuje da su kod pneumoftiziologa najčešće promene u leukocitarnoj formuli.

Grafikon 4. prikazuje da je kod radnika zaposlenih u industriji nađen samo jedan slučaj sa smanjenim brojem leukocita.

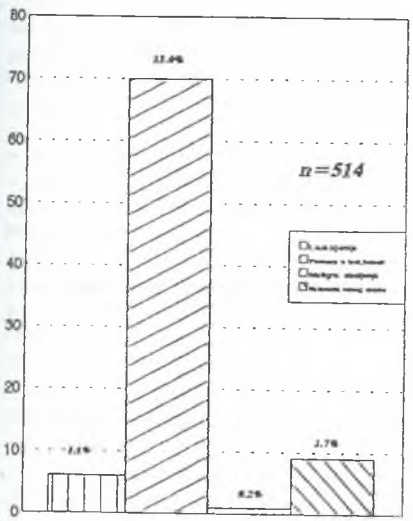
4. Diskusija

Od ukupnog broja lica koja profesijski rade sa izvorima jonizujućeg zračenja, 59 je imalo privremenu zabranu rada u zoni jonizujućeg zračenja.

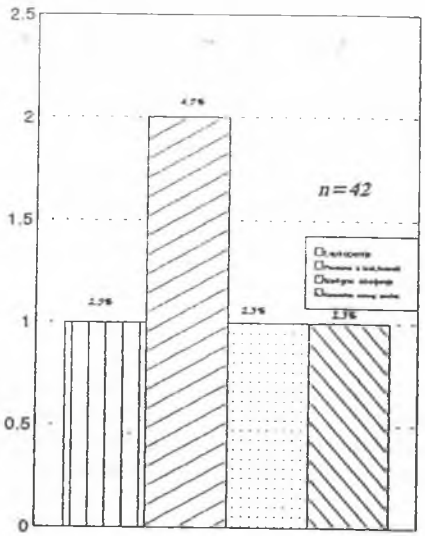
Grafik 1: Distribucija somatskih efekata zracenja kod radiologa



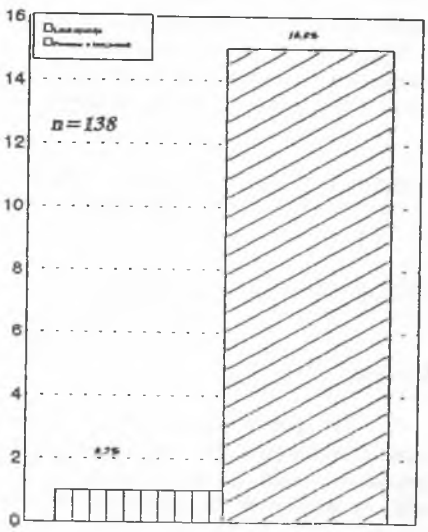
Grafik 2: Distribucija somatskih efekata zracenja kod radioloskih tehnicara



Grafik 3: Distribucija somatskih efekata zracen kod pneumoftziologa



Grafik 4: Distribucija somatskih efekata zracen radnika zaposlenih u industriji



Najčešći razlog za privremenu radnu nesposobnost u zoni jonizujućeg zračenja kod pregledane populacije su bile promene u krvnoj slici ili tačnije rečeno u leukocitarnoj formuli. Radilo se o relativnoj limfocitozi sa neutropenijom. U manjem broju slučajeva registrovan je smanjen broj leukocita ili trombocita.

Hematološke promene spadaju u najosetljivije biološke indikatore oštećenja zračenjem. Naši rezultati odgovaraju podacima iz literature da se krvna slika karakteriše: limfocitozom, neutropenijom, leukopenijom, trombocitopenijom i anemijom.

Sve promene u krvnoj slici su bile reverzibilne posle odredjenog perioda rada izvan zone jonizujućeg zračenja.

Izvestan broj lica je proglašen trajno nesposobnim za rad u zoni jonizujućeg zračenja. Ovaj broj je iznosio 8 radnika. Razlozi trajne radne nesposobnosti u zoni jonizujućeg zračenja su bili stečena katarakta očnog sočiva i maligna oboljenja.
Dvojici radnika je zabranjen rad u zoni jonizujućeg zračenja zbog malignog oboljenja, a ostalima zbog katarakte očnog sočiva.

5. Zaključak

Na osnovu gore iznesenih podataka nisu primećene promene u strukturi morbiditeta radnika profesijski izloženih uticaju jonizujućeg zračenja u poredjenju sa prethodnim godinama. Razlog tome verovatno leži u dobroj kontroli izvora zračenja, kao i zdravstvenoj kontroli i samoj edukaciji lica koja rade u zoni jonizujućeg zračenja.

Literatura:

[1] Andrews G.A. "Haematological effects of Whole body radiation in the human being, Panel Proceedings Series Effects of Ionizing Radiations on the haematopoetic Tissue, IAEA, Viena, 1967
[2] Sl. list SFRJ br. 40/1986 Pravilnik o stručnoj spremi, zdravstvenim uslovima i zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja
[3] Tomašević M., Radovanović R., Simonović J. "Struktura pacijenata i dijagnostičkih procedura u laboratorijama za medicinsku primenu radionuklida u SR Srbiji", Zbornik radova XII Jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Ohrid 1983

EVALUATION OF MEDICAL FOLLOW-UP RESULTS AMONG INDIVIDUALS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING IRRADIATION ZONE IN 1994

Milan Mrda
Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health Protection, "Dr Dragomir Karajović", Belgrade

Summary

The author presents results of medical follow-up of individuals occupationally exposed to ionizing irradiation during 1994. Out of the total number of 1059 examined individuals, work in the ionizing irradiation zone was temporarily prohibited in 59, while in another 8 the prohibition was permanent. Changes of leukocytic formula and less frequently cataract were among the most frequent adverse effects.

Keywords: ionizing irradiation, adverse effects

PROFESIONALNI RIZIK ZDRAVSTVENIH RADNIKA NA POSLOVIMA INVAZIVNE RENDGENDIJAGNOSTIKE U KARDIOLOGIJI

Gordana Joksić, Dusko Kosutić, Olivera Marinković

Klinički Centar Srbije, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Deligradska 29, Beograd

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija, rezultati lične dozimetrije i vrednosti jačina apsorbovanih doza zračenja na radnim mestima osoblja koje sprovodi invazivne metode u rendgendijagnostici. Ispitivanja pokazuju da su najvećem radijacionom riziku izloženi lekari kardiolozi i medicinske sestre instrumentarke.

ključne reći:hromozomske aberacije, lična dozimetrija, merenja jačine apsorbovane doze,invazivne metode hemodinamike

UVOD

Korišćenje izvora jonizujućih zračenja u medicini učestvuje sa oko 30% u ukupnom ozračivanju stanovništva od svih drugih izvora. Iako je oblast zaštite od tih izvora uglavnom dobro regulisana, jos uvek se malo uradilo na zaštiti lica koja sprovode invazivne metode u rendgendijagnostici, gde se ta lica nalaze neposredno uz izvor jonizujućeg zračenja, ponekad i ne koristeći sva sredstva koja su za njih namenjena. Našim propisima je predvidjeno da se sva lica profesionalno izložena dejstvu jonizujućeg zračenja prate na tri načina:

- kontrolom zdravstvenog stanja,
- korišćenjem ličnih dozimetara,
- direktnim merenjem jačina apsorbovanih doza na radnom mestu, kao i proverom kvaliteta rendgenskog zračenja.

Propisima koji regulišu pitanje zdravstvenog nadzora lica koja rade sa izvorima zračenja ispitivanje hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi predvidjeno je u prvom tromesečju rada sa izvorima jonizujuceg zračenja, zatim svake pete godine za radnike koji na svom radnom mestu mogu biti izloženi dozi većoj od 5 mSv godišnje , i na svaki zahtev lekara koji proceni da promene u zdravstvenom stanju mogu biti posledica ekspozicije jonizujućem zračenju.

METODE RADA

Posebno su izdvojene vrednosti prosečnih godišnjih doza koje su dobijene pregledom ličnih termoluminiscentnih dozimetara na aparatu Harshou za period 1989-1991 god i 1992-1994 god., da bismo ih komparirali sa rezultatima hromozomskih aberacija koje su u istoj grupi profesionalaca radjene 1991 i 1994. god.

Hromozomske aberacije radjene modifikovanom Morhaed metodom [1] . Direktna merenja jaćine apsorbovane doze na radnom mestu tokom dijagnostickih procedura obavljena su po utvrdjenoj metodologiji [2] aparatom Victoreen, model 450 P.

R E Z U L T A T I

Rezultati merenja apsorbovanih doza jonizujućeg zračenja termoluminiscentnim dozimetrima prikazani su na tabeli 1.Prosečna doza za petogodisnji period za grupu instrumentarki iznosi 11.21 mSv za rendgen tehničare 6.61 mSv i za lekare 33.56 mSv.
Merenja jaćine apsorbovane doze zračenja u vazduhu u predelu glave (koja je najviše izložena dejstvu zračenja), Tabela 2, pokazuju da pri proceduri desne i leve kateterizacije glava radiologa je izložena dozi od 0.30 mGy, glava instrumentarke 0.25 mGy i glava rendgen tehničara 0.06 mGy. Uz upotrebu visećeg paravana kao zaštite izmerene vrednosti jaćine apsorbovane doze joniz. zračenja su za lekara 15 puta manje pri istoj dijagnostičkoj proceduri.

Rezultati analize hromozomskih aberacija 1991.god pokazuju povećanu učestalost hr. aberacija kod svih lekara i 2 (od 3) medicinske sestre instrumentarke , dok rezultati ispitivanja u 1994.god pokazuju smanjenje učestalosti hr. aberacija u grupi lekara, ali ne i u grupi medicinskih sestara (tabela 3).

Tabela 1.

godina	lekari	instrumentarke	Ro tehničari
1989	34.80	12.70	5.88
1990	31.48	12.73	4.55
1991	28.81	10.52	6.69
1992	37.02	7.30	7.12
1993	35.70	12.80	8.74
s.vrednost	33.56	11.21	6.61

Tabela 2.

Doza zračenja u visini glave kardiologa.....0.30 mSv
Doza zračenja u visini glave instrumentarke.....0.25 mSv
Doza zračenja u visini glave Ro-tehnicara..... ..0.06 mSv

Tabela 3.

Rezulati analize hromozomskih aberacija 1991. i 1994. god

ispitanici	hromozomske aberacije	
	1991	1994
1. med.s. 7 godina	/	1 hromoz. prekid
2. med.s. 4 godine	1 dicentrik	1 dicentrik
3. med.s. 12 godina	1 semi ring A-1	1 dicentrik
4. Ro-tehn. 14 god.	/	1 dicentrik, 1 PCI
5. Ro-tenh. 30 god.	/	/
6. kardiolog 30 god.	1 PCI, 1 hr. prekid	2 translokacije
7. radiolog 12 god.	---	/
8. kardiolog 14 god.	1 "interloock" ring 1 translokacija	/
9. kardiolog 16 god.	1 translokacija, 1 AF 1 sim.hromat. izmena	1 dicentrik

D I S K U S I J A

Po podacima lične dozimetrije ozračenost najvećeg broja profesionalaca je ispod dozvoljenih granica za profesionalno izložena lica. Oko 1% profesionalaca koji rade sa zatvorenim izvorima zračenja u toku godine primi dozu zračenja veću od 20 mSv.

Merenja jačine apsorbovane doze zračenja u vazduhu u predelu glave,koja je najviše izložena dejstvu zračenja pokazuju da pri proceduri desne i leve kateterizacije glava kardiologa i medicinske sestre je najizloženija dejstvu zračenja. Prilikom upotrebe visećeg paravana kao zaštite izmerene vrednosti jačine apsorbovane doze jonizujućeg zračenja su 15 puta manje za lekara kardiologa , pri istoj dijagnostičkoj proceduri.

Rezultati analize hromozomskih aberacija pokazuju da prilikom prve analize 1991.godine , kod svih lekara su nadjene hromozomske aberacije.Kod jednog od njih nadjene su hromozomske aberacije tipa dicentričnog hromozoma, što je istovremeno pokazatelj svežeg ozračivanja , dok su kod ostalih lekara nadjene stabilne hromozmske aberacije (pericentrične inverzije i translokacije) koje su posledica nekih ranijih ozračivanja.

Kod medicinskih sestara nadjene su samo nestabilne hr. aberacije (dicentrični hromozomi) , tj. pokazatelji svežeg ozračivanja.

Uporedjivanjem vrednosti doza očitanih na ličnim dozimetrima sa rezultatima hromozomskih aberacija ne možemo naći pozitivnu korelaciju u 50% slučajeva. Takodje postoji razlika izmedju vrednosti apsorbovane doze zračenja očitanih sa dozimetara i izračunatih vrednosti na osnovu merenja jačina apsorbovanih doza. Taj "nesklad" je razumljiv ako se uzme u obzir mesto na kome se dozimetar nosi (ruke, grudi), zatim da li se dozimetar nosi ispod ili iznad kecelje,kao i da li se koriste dodatne sredstva zaštite . Veoma je važno i vreme koje se provede u zoni zračenja, kao i položaj tela u odnosu na rendgensku cev.Iz tih razloga primljene doze za pojedine delove tela se mogu razlikovati za čitav red veličine.

U cilju poboljšanja zaštite kao i praćenja ozračenosti može se učiniti sledeće: da ova lica nose više ličnih dozimetara, obavezno postojanje i korišćenje paravana sa olovnim staklom, korišćenje kecelja i štitnika za oči i tireoideu, i obaveznu kontrolu hromozmskih aberacija jednom godišnje u sklopu zdravstvene kontrole.

LITERATURA

[1] Morhaed,P.S. Nowell,P.G., Mellman, W.J., Battips, D.M.and Hungerford,D.A.(1977).Chromosome preparations of leucocytes cultured from human peripheral blood, Exp.Cell Res.,104,pp453-457.
[2] Sl. list SFRJ 31/89

OCCUPATIONALLY RISK OF HEATH STAFF DURING APPLICATION OF INVASIVE RADIOLOGICAL METHODS IN CARDIOLOGY

Gordana Joksić, Duško Košutić, Olivera Marinković

ABSTRACT

We compared the results of chromosomal aberration analysis with parameters of personal dosimetry and results of direct measure of absorbed doses radiation values at the working places in the group of health workers ocupationaly exposed to x-rays. This group of professionals works on application of invasive hemodynamic methods in cardiology.According to results of chromosomal aberrations and direct measures of radiation doses at working places cardiologysts and nurses are the most exposed to ionising radiation.

key words: professionals,chromosomal aberrations, personal dosimetry, invasive hemodynamic methods

ZAŠTO "NE!" ZA NEUTRONSKI RADIOTERAPIJSKI KANAL NA ČESTIČNIM AKCELERATORIMA

Fedor Boreli[1], Radojko Pavlović[2]
[1] Elektrotehnički fakultet, Beograd, Bul. Revolucije 73
[2]Institut za nuklearne nauke "Vinča", Zaštita, PF 522, 11001 Beograd

Rezime

Na bazi iskustava i rezultata neutronskih radioterapija u različitim radioterapijskim centrima, zahteva za preciznošću deponovanja doze i poznavanja mehanizama interakcije neutrona sa osnovnim konstituentima tkiva, izneti su razlozi za ne korišćenje neutronskih snopova u radioterapiji.

Ključne reči: neutroni, kerma, radioterapija, mikrodozimetrija

1. Uvod

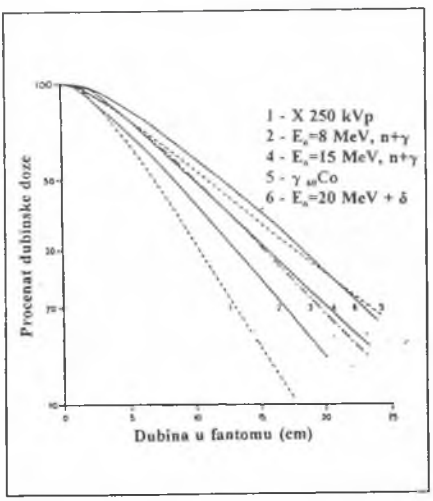
Radioterapija (RT) brzim neutronima je prvo primenjena 1938. godine u Berkeley, u Kaliforniji, korišćenjem, tek izgrađenog Lawrence-ovog izohronog ciklotrona, za lečenje pacijenata sa raznim uznapredovalim malignim tumorima. Korišćena je $^{9}Be(D,n)$ reakcija sa maksimalno mogućom energijom deuterona od 16 MeV, tako da je energija neutrona bila oko 7.5 MeV; ozračivani su pacijenti od 1938-42, na osnovu iskustva iz rada sa rendgenskom RT. Skoro svi pacijenti, preživeli duže od 3 godine, imali su ozbiljne komplikacije i nove kancerogeneze na normalnom tkivu, oko primarnog tumora, usled nedovoljnog razumevanja bioloških efekata sekundarno emitovanih naelektrisanih čestica sa visokom specifičnom jonizacijom, tj. visokim LET [1]; to je označilo i kraj tog prvog pokušaja.

2. Iskustva neutronske RT

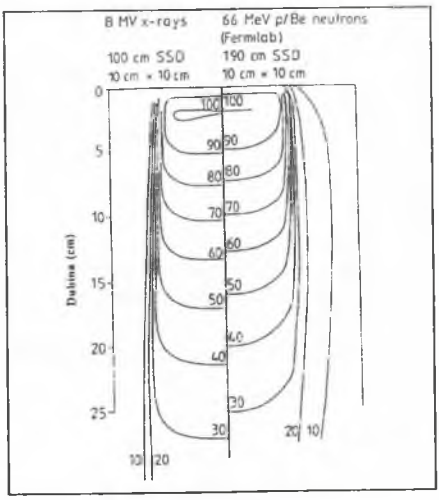
Na bazi novih istraživanja i saznanja dobijenih iz radiobioloških eksperimenata i analize ranije primene neutronske RT, istraživači u Hammersmith bolnici u Londonu, su kasnih 60-tih godina. ponovo uveli brze neutrone iste energije u lečenju kancera. Posle lečenja nekoliko stotina pacijenata, zaključeno je da su rezultati za rane efekte vrlo ohrabrujući, ako se kod ozračivanja koristi pogodna šema frakcionacije [2]. Sa takvim ohrabrujućim rezultatima, veći broj RT centara u svetu je ubrzo pokrenuo kliničko lečenje pacijenata snopovima brzih neutrona. Glavni razlog naglog širenja neutronske RT je: tadašnje nepostojanje pogodnog izvora zračenja za lečenje dubokoležećih i radiorezinstentnih tumora, nepostojanje izvora zračenja sa višim ili visokim LET, nepoznavanje potrebe za visokom preciznošću održavanja terapijskog odnosa za pojedina tkiva raznih stepena radioosetljivosti, vezanog za neindukovanje ranih ili kasnih komplikacija ili kancerogeneza u zdravom tkivu, uz potpuno uništavanje tumorskog tkiva. Međutim, smatramo da je glavni razlog bio u, tada svugde prisutnim, "neutronskim generatorima", na bazi fuzijske DT reakcije. Znači trebalo je "samo" povećati struju i sve to prilagoditi potrebama neutronske RT. Pokazalo se da se taj, čisto tehnički problem, ne može efikasno i ekonomski opravdano, rešiti. Kako su postojali po nuklearnim laboratorijama i veliki broj ciklotrona i drugih akceleratora, to je taj tehnički problem rešen dogradnjom "terapijskog" kanala i ustupanjem dela vremena za medicinske primene [3]. Kao izvor neutronskog snopa korišćena je, u prvo vreme, ista Be(D,n) reakcija na horizontalnom izlazu, a uskoro

i izocentrična glava za pogodnije i preciznije biranje ugla ozračivanja bez okretanja bolesnika [2].

Izvori neutrona korišćeni do 1980, uprkos povećanju energije deuterona i do 50 MeV, (gde je to bilo moguće) nisu, opet više sa tehničke strane, zadovoljavali potrebe RT za dublje ležeće tumore, jer kriva prodornosti neutrona u organsko tkivo, za koju važi analogni eksponencijalni zakon kao za fotone: $\phi_x = \phi_o \exp(-\mu_L x)$, je strmija od krive prodornosti fotonskog snopa ^{60}Co (Slika 1.) [4], uz slabu poštedu kože.



Slika 1. Promena dubinske doze na centralnoj osi za razna zračenja i za neutrone raznih energija. Veličina polja fotona je 8x8 cm^2, a neutrona 7,5x7,5 cm^2 [4]



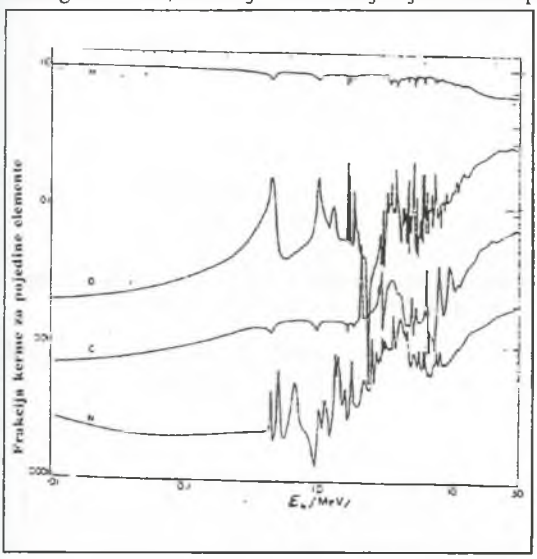
Slika 2. Poređenje dubinske izodozne raspodele snopova 8 MVp X zračenja i p(66)Be neutrona za polja istih dimenzija 10x10 cm^2 [5].

Treba naglasiti da je to poređenje sa prodornosti fotonskog snopa formalno, jer su u pitanju različiti fenomeni: EM-atomski i nuklearni. Zato se prešlo na korišćenje p + ^{9}Be reakcije kao izvora neutrona, koja daje maksimalne energije neutrona na oko 0.9E$_p$. Na Slici 2. [5] prikazana je izodozna dubinska raspodela neutronskog snopa p(66)Be, uz poređenje sa 8 MV X snopom, istih dimenzija, 10x10 cm^2. (Za tumor na dubini između 20 i 25 cm, navedenog preseka snopa, oko 10% apsorbovane doze ostaje u tkivu tumora, ostalo u zdravom tkivu). Zbog efekta rasejanja neutrona na lakim jezgrama tkiva javlja se širenje neutronskog polja. Zbir elastičnog i neelastičnog rasejanja iznosi oko 50% totalnog preseka. Oba ta preseka doprinose smanjenju energije neutrona upadnog snopa, što osetno menja kvalitet, povećavajući RBE rasejanih neutrona, pa tako i verovatnoću pojave kancerogeneze u okolnom tkivu [6].

1982. godine pojavila su se dva karakteristična članka [7] i [8], o rezultatima primene neutronske RT sa D(15)Be neutronima, uz poređenje sa fotonskom RT od 4 MVp X zračenja. Radilo se o pokušaju ponavljanja rezultata na sličnom neutronskom RT uređaju kao u Hammersmith bolnici, na sličnim lokacijama i TMN klasifikovanim tumorima. Ispitivanja su rađena u saradnji sa RT centrima u Amsterdamu i Essenu. Klinička ispitivanja su započela 1977. i trajala su do kraja 1981. Lečeno je preko 500 pacijenata neutronskom RT, pri čemu su skoro svi pacijenti primani, po nasumice izabranim probama za prijem, za odgovarajuće lokacije i klasifikaciju tumora. Većina pacijenata od 192 sa tumorom glave i vrata je imala T3 tip i oko 50%, sa zahvaćenim limfnim čvorovima. Dok je brzina regresije tumora, posle 6 meseci, bila vrlo slična za neutrone i fotone, i iznosila oko 75%, kasne reakcije su bile osetno veće za neutrone (15%) nego za fotone (6%). Kod kancera mokraćne bešike, lokalna kontrola je bila slična (53%) za neutronsku i fotonsku RT. Međutim kasna radijaciona smrtnost, zbog novih kancerogeneza, je bila osetno veća za neutrone (20%) nego za fotone (2%).

Za sve ispitivane tipove tumora i lokacije nađena je osetno povećana smrtnost od novih kancerogeneza kod pacijenata lečenih neutronskom RT.

Nezadovoljavajuća fizička raspodela doza sa neutronskim snopom potpuno objašnjava dobijene rezultate iz Edinburgh-a [6], preko povećane verovatnoće za kancerogenezu (kasni radijacioni efekti) kod zračenja većeg LET-a. Visoko LET sekundarnih naelektrisanih čestica, nastalih u vidu produkata nuklearnih reakcija na lakim jezgrima u tkivu, kao i u vidu uzmaknutih jona kod elastičnog i neelastičnog rasejanja upadnih neutrona (Slika 3), smanjuje biološku razliku između tumorskog i zdravog tkiva, što, u slučaju nezadovoljavajuće fizičke preciznosti, dovodi do kasnih efekata.

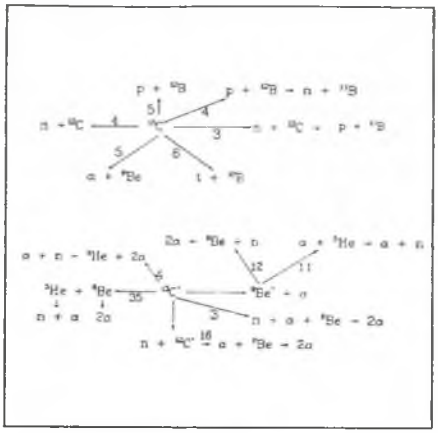


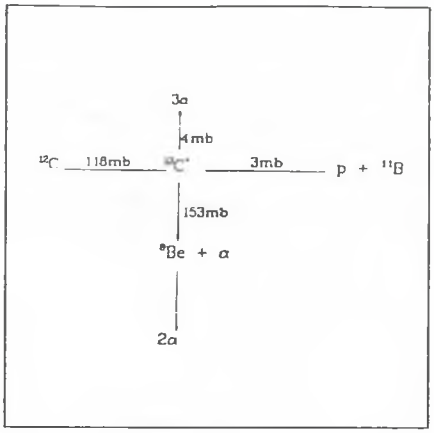
Slika 3. Relativni doprinos kermi u mekom tkivu od interakcije neutrona za 4 osnovna elementa sa odgovarajućom težinskom zastupljenošću: H(10,2%), C(12,3 %), N(3,5 %) i O (74 %) [4].

Treba istaći da je neutronsko zračenje kod RT najkompleksnije u odnosu na sva ostala primenjena zračenja, jer obuhvata preko svoje interakcije nuklearnog tipa, sva ostala zračenja koja se formiraju kao sekundarna zračenja. Dok proračun transporta fotonskog ili transporta naelektrisanih čestica u materijalu tkiva, homogenom ili ne, relativno lako ostvarljiv preko Monte Carlo simulacije, sa traženom tačnosti planiranja i sprovođenja boljom od 5%, koliko zahteva moderna RT, kod RT brzim neutronima ta granica se ne može postići. Slike 4. i 5. prikazuju kompleksnost izlaznih kanala za sisteme $^{12}C+n$ i $^{16}O+n$.

Tkivo ekvivalentni materijal (TEM) za fantom u neutronskoj RT se razlikuje od TE materijala za fotonsko zračenje i za RT naelektrisanim česticama, jer se radi o nuklearnoj ekvivalentnosti materijala a ne ekvivalentnosti po atomskom broju mešavine osnovnih sastojaka H,C,N i O tkiva. Svako od tih jezgara ima specifičnu interakciju, uz odgovarajuće proizvode nuklearnih reakcija. Uobičajeno korišćeni TE materijali, kao što je A-150, se osetno razlikuju, po sadržaju ugljenika i kiseonika, od mišićnog standardnog tkiva. Poteškoće se javljaju i usled razlike u sastavu raznih tkiva u organizmu: mišićno, kosti, masnoće, pluća.

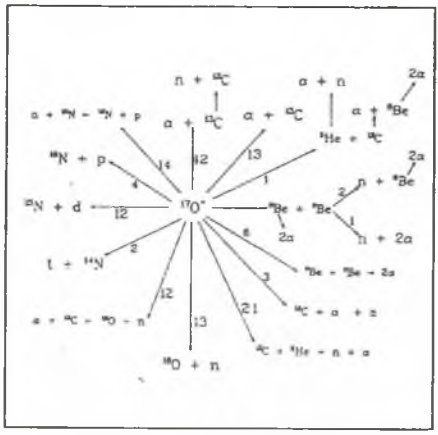
Približnost materijala mikro-dozimetra sa materijalom tkiva mišića je od specijalne važnosti u neutron-mikrodozimetriji, jer je od interesa cela spektralna raspodela linealne energije (Slika 6). Odstupanja od idealne jednakosti TEM i tkiva, kod određivanja apsorbovane doze se može korigovati ako su poznati: primarni spektar neutrona, kerma odnosi i/ili odnosi masenih zaustavnih preseka. **Takve korekcije za mikrodozimetrijske spektre ne postoje [11].** Na osnovu poređenja i nađene razlike u pojedinim komponentama spektara mikrodozimetrijskog proporcionalnog "Rossi-jevog" brojača, zaključuje se o karakteristikama neutronskog snopa radi poređenja rezultata neutronske RT između raznih RT centara. Zahtevana preciznost merenja tih spektara prelazi uobičajena standardna dozimetrijska merenja i nije pogodna za praktičnu kliničku radioterapiju, (Slike 7. i 8.) [10].

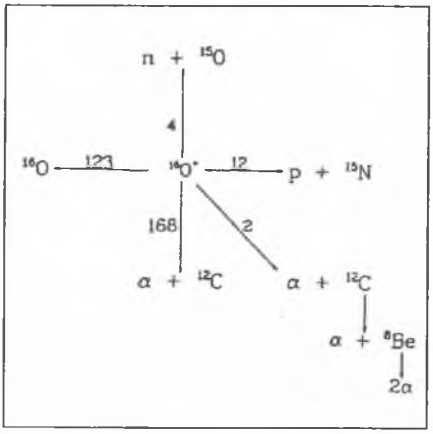




(a) (b)

Slika 4. Prikaz verovatnoća izlaznih kanala nuklearne reakcije $^{12}C+n$ (a) i neelastičnog rasejanja (b) za neutrone energije 20 MeV [9]





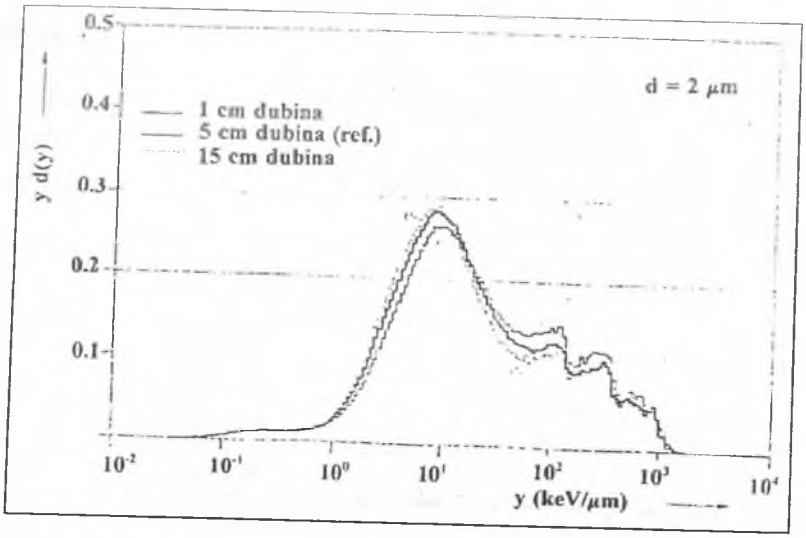
(a) (b)

Slika 5. Prikaz verovatnoća izlaznih kanala nuklearnih reakcija $^{16}O+n$ (a) i neelastičnog rasejanja (b) neutrona energija 20 MeV. Brojevi na izlaznim kanalima predstavljaju efikasne preseke izražene u 10^{-31} m^2 [9].

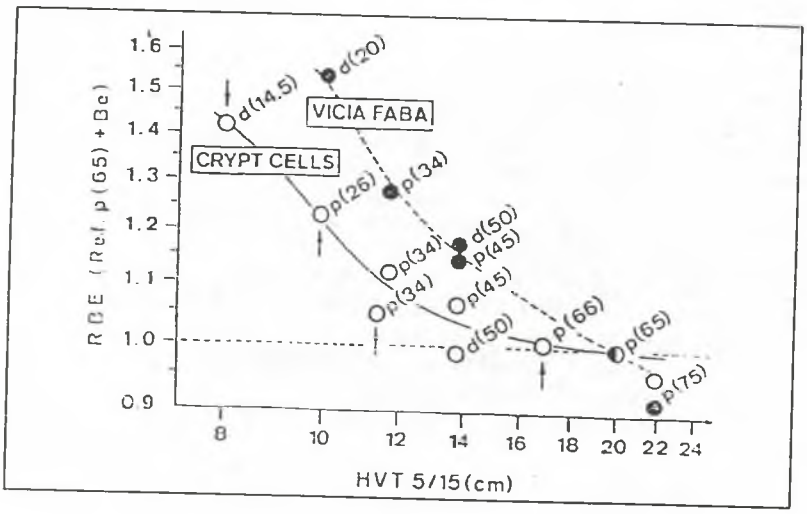
3. Zaključak

Iskustvo rada u radijacionoj onkologiji za zadnjih 70 godina pokazuje da je svako poboljšanje u radijacionoj raspodeli dubinske doze praćeno sa poboljšanjem rezultata lečenja, kako u pogledu povećane kontrole tumora, tako i u smanjenju pratećih efekata RT lečenja. Tako, pri prelazu od 200 kV RT na ^{60}Co (1950), i dalje od ^{60}Co na VE fotone povećalo je preživljavanja pacijenata za faktor 2, za svaki od tih koraka [7].

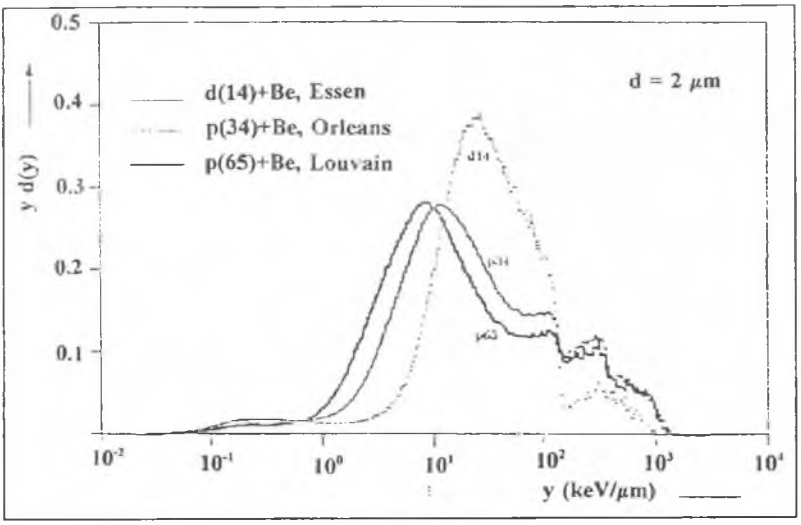
Neutronska RT nije dala očekivane rezultate poboljšanja i vreme je da se to otvoreno kaže, jer postoje bolja i manje rizična rešenja.



Slika 6. Promena mikrodozimetrijskog spektra linealne energije za neutronsko polje p(65)Be, dimenzija 10x10 cm² sa dubinom u tkivu [10]



Slika 7. Opadanje RBE neutronskog snopaa sa energijom neutrona. Prikazana je relativna promena u odnosu na p(65)+Be neutrone. Snopovi nisu monoenergetski pa su okarakterisani apsorpcionom debljinom 5/15.



Slika 8. Poređenje mikrodozimetrijskih spektara linealne energije tri neutronska snopa raznih izvora i energija

4. Literatura

[1] J. Brennan, Int. J. Rad. Oncol. Biol. Phys. 1977, 3,143
[2] S. Zink, et al. Am. J. Clin. Oncol. (CCT) 12(4):277,1989
[3] D.K.Bewley, IAEA, Vienna, 1987, STI/PUB/741 ISBN 92-0-131087-0,p.129
[4] International Comm. on Radiation Units and Meas. ICRU Rep. 26 (1977)
[5] D. Bewley, J. Meulders, Phys. Med. Biol. (1984) 29, 341
[6] International Comm. on Radiological Protection, ICRP Publ. 60 (1990)
[7] W. Duncan, et al, Int.J.Rad.Oncol.Biol.Phys. 1982, 8, 2155
[8] W. Duncan, S.J.Arnott, Progress in Radio-Oncology II, NY, 1982
[9] J.J.Coyne et al, IAEA, Vienna, 1987, STI/PUB/741 ISBN 92-0-131087-0,p.189
[10] H.G.Menzel, Int.J.Radiat.Biol, 1990, 57,No.4,p.865
[11] International Comm. on Rad. Units and Meas. ICRU 36 (1986)
[12] IAEA Nuclear Data Section, INDC(NDS)-295 1994
[13] P. Chauvel, Chiba Nov. 1994, Present and Future of High LET Rad. in Cancer treatment"
[14] A.Aissi et al, "Fast n-Therapy for the Dev. Worlds: Is it worthwhile?" IAEA-SM-290/7, IAEA 1987, ISBN 92-0-010087-2,p.155

WHY "NO ?" FOR NEUTRON RT CHANNEL ON PARTICLE ACCELERATORS

Fedor Boreli, Radojko Pavlović

Abstract

According to experience and results of neutron radiotherapy in various radiotherapy centres, depth dose precision demands and neutron interactions with elemental tissue constituents, reasons why neutron beams should not be used in radiotherapy are presented in this paper.

Key words: neutrons, kerma, radiotherapy, microdosimetry

RADIOLOŠKA I TOKSIKOLOŠKA ZAŠTITA PACIJENATA U TOKU RADIODIJAGNOSTIKE BUBREŽNIH POREMEĆAJA

Nadežda M. Vanlić-Razumenić
Laboratorija za radioizotope Instituta za nuklearne nauke "Vinča", P.p.522, 11001 Beograd

Razmotrena je nuklearno-medicinska primena renalnih radiofarmaceutika (koji se u našoj zemlji prave u Institutu "Vunča) sa aspekta radiološke i toksikološke zaštite pacijenata i osoblja. Date su unutrašnje apsorbovane doze koje primi pacijent tokom snimanja, kao i srednje letalne doze neradioaktivnih komponenata 99mTc-radiofarmaceutika.

Ključne reči: radioizotopi; renalni radiofarmaceutici; apsorbovana doza; srednja letalna doza; nukleano-medicinska dijagnostika.

Najviše korišćena radiodijagnostička sredstva sadrže izotope joda (J-131 ili J-123) ili tehnecijuma (Tc-99m) čije gama-zračenje, posle nakupljanja radiofarmaceutskog jedinjenja u odredjenom organu se detektuje i daje sliku organa. Tako se dobijaju podaci o položaju, morfologiji i patološkom stanju bubrega posle *in vivo* primene radiofarmaceutika (statička ispitivanja), dok se mogu dobiti i podaci o fiziološkoj funkciji bubrega tokom dinamskih ispitivanja. U toku razvoja nuklearne medicine počelo se sa dijagnostičkim agensima koji su bili izvrsni za odslikavanje organa, ali su bili u velikom stepenu štetni za ljudski organizam sa toksikološkog i radiološkog aspekta (kao ^{51}Cr-EDTA i ^{197}Hg-, odn. ^{203}Hg-neohidrin), zatim su korišćena jedinjenja joda (^{131}J-hipuran), a u novije vreme se pretežno koriste kompleksi Tc-99m. Za statička ispitivanja pomoću scintigrafije se koriste ^{99m}Tc-DMS (dimerkaptosukcinat), ^{99m}Tc-Gl (glukonat) i ^{99m}Tc-GH (glukoheptonat). Za dinamska ispitivanja (renografiju) ranije je korišćen ^{131}J-o-jodhipurat (komercijalno ime hipuran), koji je superioran u smislu prikazivanja funkcije bubrega, ali zamerka je zbog velikog ozračivanja pacijenta i kontaminacije okoline. Kasnije su napravljeni radiofarmaceutici na bazi Tc-99m koji su dosta bliski po efektu hipuranu, ali su bezbedniji za pacijenta: ^{99m}Tc-DTPA (dietilen triamin pentaacetat), ^{99m}Tc-PAHIDA (derivat hipurne i imnodisirćetne kiseline koji nije ušao u komercijalnu primenu) i kao najnoviji,skoro ravan hipuranu ^{99m}Tc-MAG$_3$ (merkaptoacetil triglicin).

Nuklearne osobine pomenutih izotopa date su u Tab. I.

Tab. I. IZOTOPI ČIJE SE GAMA-ZRAČENJE KORISTI U NUKLEARNO-MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI RENALNIH RADIOFARMACEUTIKA

izotop	$T_{1/2}$	energije glavnih čestica [MeV]	energije glavnih fotona [MeV]	potomak
Hg-197	65 h	--	0,077 (99,8%) 0,191 (2%)	^{197}Au
Hg-203	47 dana	0.214 max.	0,279 (77%)	^{203}Tl
Cr-51	27.8 dana	--	0,320 (9%)	^{51}V
Tc-99m	6,02 h	--	0,140 (90%)	^{99}Tc ------> ^{99}Ru 2 x 10^{5} god.
J-123	13,2 h	--	0,16 (83%)	^{123}Sb
J-131	8,04 dana	0.61	0.36 (82%)	^{131}Xe
J-125	60,0 dana	--	0,035 (7%)	^{125}Te

Dok se jedinjenja obeležena svim izotopima sem Tc-99m isporučuju nuklearno-medicinskim centrima sa već ugrađenim izotopom, a u radiohemijskim laboratorijama se prave u ćelijama sa olovnom zaštitom, daljinskim komandama i svim merama zaštite od gama-zračenja, dotle je kod jedijenja sa Tc-99m drukčija tehnologija. Tu se u kliničkim laboratorijama pred samu upotrebu prave injekcioni radiofarmaceutski rastvori iz dve komponente: u liofilizovane preparate koji su u bočicama pod vakumom i sadrže pripremljene smeše organskih jedinjenja, stano-hlorida (čija je uloga da obavi prethodnu redukciju pertehnetata da bi se mogao nagraditi kompleks sa Tc), aditiva i pufera, dodaje se eluat ^{99m}Tc-generatora i zatim se ovi rastvori daju pacijentima kojima će se snimati bubrezi.

Mere radiološke zaštite osoblja se preduzimaju u radiohemijskim laboratorijama za proizvodnju radiofarmaceutika - poznate mere zaštite od gama i beta zračenja (jer ovi izotopi čije se gama zračenje koristi za scintigrafiju imaju i beta zračenje koje je nemoguće izbeći, napr. kod izotopa J-131, dok je kod pratioca i potomka Tc-99m minimalno), dok pri proizvodnji i liofilizaciji neaktivnih komponenti pribora za obeležavanje tehnecijumom nisu potrebne mere zaštite. U nuklearno-medicinskim centrima se preduzimaju mere zaštite i osoblja i pacijenata.

Prema zakonskim propisima iz oblasti zdravstvene zaštite, proizvodnje i stavljanja u promet lekova i zaštite od jonizujućih zračenja, samo lekar koji je stručno osposobljen može izvršiti aplikaciju radiofarmaceutika ljudima. Pri tome on snosi punu odgovornost za radiološku zaštitu pacijenta, odn. za odredjivanje ukupne doze radioaktivnosti koja je data bolesniku. Pritom za kvalitet, radiohemijsku čistoću, aseptičnost i bezbednost radiofarmaceutika odgovara proizvodno-istraživački centar.

Iz svega proizilazi da je pri radu sa radioaktivnim izotopima moguće da dođe do spoljašnjeg ozračivanja osoblja, ali da je neophodno stalnom primenom zaštitinih mera ovo ozračivanje svesti na najmanju moguću meru. Na ovo se može uticati na sledeće načine: a) smanjivanjem jačine radioaktivnog izvora; b) korišćenjem zaštitnih apsorbera velike gustine; c) smanjivanjem vremena ekspozicije; d) povećanjem rastojanja izvora.

U vezi kontaminacije, jasno je da se ona može izbeći pažnjom, zaštitnom opremom i stručnošću.

Zaštita ispitanika pri primeni radioizotopa i n v i v o:

- izotopi se koriste samo tamo gde neaktivne i neinvazivne metode ne mogu da pruže dijagnostičke podatke kao nuklearna medicina, odn. gde je to opravdano;

- izborom radionuklida, doze, efikasnog radiofarmaceutika utiče se na smanjenje interne apsorbovane doze (načine obračunavanja je objavilo American Society of Nuclear Medicine u nizu "pamfleta" MIRD - Medical Internal Radiation Dose,Ref. l)

- koriste se prvenstveno čisti gama-emiteri, jer beta-zračenje se celo apsorbuje u organizmu, a ne odslikava, t.j. ne koristi:

- koriste se radiofarmaceutici sa što kraćim vremenom polueliminacije;

- koristi se najmanja količina radioaktivnog materijala koja još uvek može da se detektuje sa dovoljnom tačnošću.

Za najviše korišćene renalne radiofarmaceutike dati su radiološki podaci u smislu internih apsorbovanih doza u Tab. 2, dok su toksikološki podaci dati u Tab. 3.

Iz iznetih podataka se može uveriti da su radiofarmaceutici važna i vrlo korisna sredstva za dijagnostičke svrhe, a da se koriste sa poznavanjem i rigoroznim merama koje štite bolesnike kao i medicinsko osoblje i radiohemičarske, odn. radiofarmaceutske proizvodače.

Tab.2. DOZE RADIJACIJE KOJE PRIMI PACIJENT U TOKU SNIMANJA

Radiofarma-ceutik	Injekciona doza [MBq]	Apsorbovane radijacione doze po čoveku (70kg) [μGy / MBq]				
		celo telo	bubrezi	mok.bešika	kost. srž	ovarije	testisi
^{99m}Tc-DMS	37-74	4	172.0	32.0	6.0	4.0	3.0
^{99m}Tc-GH	74-370	2.7	81.0	64.8	3.2	1.9	1.0
^{99m}Tc-GI	187-374	2.7	54.0	27.0	-	5.4	2.7
^{99m}Tc-DTPA	37-740	4.8	17.0	151.2	2.6	1.9	1.4
^{99m}Tc-MAG_3	37-740	1.0	17.0	57.0	2.0	3.2	1.9
		[μGy] po injiciranoj dozi [MBq]					
^{131}J-HIPURAN	0.37	10.5	40	1300	2	7	5
^{125}J-HIPURAN	0.74	1.2	14	380	0.5	2	1
^{51}Cr-EDTA	1.3	-	50 (normalni) ili 250-300 kod renalne	ostale doze insuficijencije		zanemarljive	

Tab.3. TOKSIČNOST ^{99m}Tc-RADIOFARMACEUTIKA

Radiofarmaceutik	Doza supstance po čoveku [mg/]		Srednja letalna doza LD_{50} [mg/kg]	ekvivalent u humanim dozama	Ref.
^{99m}Tc-DMS	DMS	0.400	[2]Na miševima i.p. 2730. Na zecu i čoveku izluči se urinom 40% za 0.5h; 80% za 4h. [3] 5000 (na miševima per os; a NaDMS subkutano 3500).	2000 puta	2 3
	$SnCl_2$	0.160			
^{99m}Tc-GH	GH	60	Sn-GH na miševima i.v. 1500; na psima u toku 14 dana po 19	.1750 puta	5
	$SnCl_2$	0.07			
^{99m}Tc-GI	GI	40	Sn-GI na miševima i pacovima i.v. i per os 1000; na zecu 6000.	1750 puta	6
	$SnCl_2$	0.5			
^{99m}Tc-DTPA	DTPA	4	DTPA 1800 (pas)	31 500 puta	7
	$SnCl_2$	0.05			
^{99m}Tc-MAG_3	MAG_3	0.20	Sn-MAG_3 u količini 4930 humanih doza u toku 12 dana na miševima nije pokazao toksične efekte	4930 puta	8
	$SnCl_2$	0.008			

Napomena: meso-DMSA uneta i.p. pokazala je terapeutsko dejstvo kod zamoraca ozračenih X-zracima po koži (ref.4)

REFERENCE:

1. W.S.Snyder et al.,MIRD Pamphlet No.11, New York, Society of Nuclear Medicine, 1975
2. S.C.Wang, K.S.Ting, C.C.Wu, Chinese Med.Journal 84(1965)437
3.H.Stohler, J.Frey(Hoffmann-La Roche), Ann.Trop.Med.Parasitol. 58(1964)431
4.F.Cugurra, E.Balestra, Intern.Symp.Radiosensitizers Radioprotect. Drugs, Milano 1964, 1(1965)507
5. K.Ochta, Biochem.Zeit. 38(1952)421
6. R.Filipi et al.,Austral.New Zealand J.Med. 2(1972)336
7. D.Gilday et al.,Radiology 93(1969)1129
8. K.Bannister et al.,J.Nucl.Med. 31(1990)1568
9. R.Borota, Lj.Stefanović: Nuklearna medicina, Medicinski fakultet Novi Sad, 1992

PROTECTION OF PATIENTS DURING RENAL RADIODIAGNOSTICS: RADIOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASPECTS

Nada Vanlić-Razumenić

Nuclear medicine utilization of renal radiopharmaceuticals (produced in Radioisotope Laboratory of the "Vinča" Institute for our country) is observed from two standpoints: radiology and toxicology. Internal absorbed radiation doses are given, as well as lethal doses of nonradioactive components of ^{99m}Tc-labelling kits.

Key words: radioactive isotopes; renal radiopharmaceuticals; absorbed dose; lethal dose; nuclear medicine diagnostics; health physics.

TRANSCENDENTALNI METOD U KONTROLI DIJAGNOSTIČKIH NUKLIDA

Slavica M. Perović
Fakultet za pomorstvo, Kotor, Dobrota 36.

Rezime
U predloženom članku kontrola dijagnostičkih nuklida, primenom nedavno razvijene transcendentalne metode, analizirana je u nekim detaljima. Diskutovani su uslovi za genezu tačnih rešenja. Dobijeni numerički rezultati potvrđuju validnost primenjenog postupka.

1. UVOD

Jedan od zahteva u metodama kontrole sastoji se u tome da nuklidi koje dijagnosticiramo, a takođe i njihovi prethodnici ne izgaraju u procesu ozračivanja. Jednačina za određivanje brzine nagomilavanja i -tog produkta fisije, pri konstantnoj snazi reaktora, i smatrajući da jezgro prethodnika ima znatno manji period poluraspada, uzima oblik:

$$\frac{dN_i}{dt} = N_{235}\sigma_f Y_i\phi - N_i\lambda_i - N_i\sigma_{ai}\phi \qquad (1)$$

gde je N_i broj jezgara i -tog nuklida u trenutku t ; N_{235} je broj jezgara ^{235}U; σ_f presek za fisiju ^{235}U; ϕ - gustina neutronskog fluksa; $Y_i, \lambda_i, \sigma_{ai}$ su fisioni izlaz i -tog nuklida, konstanta raspada i presek za apsorpciju neutrona, respektivno.

Jednačina (1) je primenljiva za formiranje ^{137}Cs, ^{140}Ba, ^{106}Ru, ^{144}Ce, zajedno sa potomcima njihovog raspada koji dostižu ravnotežna stanja.
U konvencionalnim analizama jednačina (1) se rešava nekom od standardnih numeričkih metoda. Ovde ćemo pokazati da je jednačinu (1) moguće rešiti primenom nedavno razvijene, veoma interesantne, transcendentalne metode [1,2,3,4,5,6,7] (Perovich method u [2,3,7]).

2. TRANSCENDENTALNI METOD ZA REŠAVANJE JEDNAČINE (1)

Ako integralimo jednačinu (1) u intervalu $t - t_0 = \Delta t$, u kom se može pretpostaviti, sa dovoljnom tačnošću

$$\phi(t) - \phi(t_o) = \Delta\phi, \quad \Delta\phi \to 0, \quad kada \quad t - t_o \to \Delta t$$

tada dobijamo

$$N_i(t) - N_i(t_o) = N_{\phi,\Delta t} - (\lambda_i + \sigma_{a\phi})\int_{t_o}^{t} N_i(t_1)dt_1 \qquad (2)$$

gde je

$$N_{\phi,\Delta t} = N_{235}\sigma_f Y_i\phi\Delta t \qquad (3)$$

Ako, sada, rešenje za $N_i(t)$ pretpostavimo u dopuštenom obliku

$$N_i(t) = N_i(t_o)\exp(-\varepsilon_{ii}(t-t_o)) \tag{4}$$

tada jednačina (2), nakon elementarnog sređivanja, uzima oblik:

$$\left(e^{Z_i}-1\right)Z_i = -N_{\phi,\Delta t}Z_i + L_{i,\sigma}\left(e^{Z_i}-1\right) \tag{5}$$

gde je

$$L_{i,\sigma} = (\lambda_i + \sigma_{\alpha\phi})N_i(t_o)\Delta t \tag{6}$$

i

$$Z_i = \varepsilon_{ii}\Delta t \tag{7}$$

Ili,

$$Z_i(e^{Z_i} - 1 + N_{\phi,\Delta t}) = L_{i,\sigma}(e^{Z_i} - 1) \tag{8}$$

odnosno,

$$Z_i = \frac{L_{i,\sigma}\left(e^{Z_i}-1\right)}{e^{Z_i} - N_{1,\phi,\Delta t}} \tag{9}$$

gde je

$$N_{1,\phi,\Delta t} = 1 - N_{\phi,\Delta t} \tag{10}$$

2.1. ANALITIČKO REŠENJE TRANSCENDENTNE JEDNAČINE (8)

Transcendentnu jednačinu (8) možemo identifikovati sa diferencijalnom jednačinom oblika:

$$-F'(x-1) + N_{1,\phi,\Delta t}F'(x) = L_{i,\sigma}F(x-1) - L_{i,\sigma}F(x) \tag{11}$$

Jednačina (11) ima jedinstveno analitičko rešenje koje možemo dobiti primenom Laplasove transformacije. Naime,

$$F(s) = L(F(t)) = \frac{F_o}{N_{1,\phi,\Delta t}(s+L_N) - e^{-s}(s+L_{i,\sigma})} \tag{12}$$

ili, primenom obične algebre:

$$F(s-L_N) = \frac{F_1}{s(1-b_i e^{-s}(1+\frac{c_i}{s}))} \tag{13}$$

gde je

$$L_N = \frac{L_{i,\sigma}}{N_{1,\phi,\Delta t}};\quad b_i = \frac{e^{L_N}}{N_{1,\phi,\Delta t}};\quad c_i = L_{i,\sigma} + L_N,\ F_o, F_1 = \text{const.}$$

Analogno [1, 3, 7] i dr., primenom modela sume beskonačnog geometrijskog reda, jednačina (13) postaje

$$F(s-L_N) = \frac{F_1}{s}\sum_{n=0}^{\infty} b_i^n e^{-ns}\sum_{k=0}^{n}\frac{c_i^k n!}{(n-k)!\,k!} \tag{14}$$

i, posle invertovanja, u vremenskom domenu imamo

$$F(x) = F_1 e^{-L_{1,\sigma} x} \sum_{n=0}^{[x]} b_i^n \sum_{k=0}^{n} \frac{c_i^k (x-n)^k n!}{(n-k)!k!k!} \tag{15}$$

Diferencijalna jednačina (11) ima i partikularno rešenje (vrst asimptotskog rešenja) u obliku

$$F_p(x) = F_1 \exp(-Z_i(x)) \tag{16}$$

Tako je analogno postupcima u $[1-7]$, moguće izgraditi odnos

$$\frac{F(x)}{F(x+1)} = \frac{F_p(x)}{F_p(x+1)} = \exp(Z_i(x)) \tag{17}$$

i, konačno

$$Z_i = Ln\left(\frac{F(x)}{F(x+1)}\right), \quad za \quad x \geq x_o \tag{18}$$

gde je x_o vrednost varijable x kada funkcija greške, definisana kao

$$G(x) = Z_i - \frac{L_{i,\sigma}(e^{Z_i} - 1)}{e^{Z_i} - N_{1,\phi,\Delta t}} \tag{19}$$

zadovoljava nejednakost

$$|G| \leq g_o \text{ za } x \geq x_o \tag{20}$$

gde je g_o proizvoljno mali, pozitivan i realan broj.

2.2. KONAČAN IZRAZ ZA KONCENTRACIJU DIJAGNOSTIČKIH NUKLIDA

Na osnovu transcendentalne metode, dobijamo za koncentraciju nuklida koje dijagnosticiramo, formulu u obliku

$$N_i(t) = N_i(t_o) \exp(-Z_i) \tag{21}$$

gde je Z_i rešenje transcendentne jednačine (8).
Pregled numeričkih rezultat za specijalan slučaj jednačine oblika

$$Z_i = L_{i,\sigma} \frac{e^{Z_i} - 1}{e^{Z_i} + 1}$$

dat je u Tabeli I, zajedno sa funkcijom greške tipa

$$G_s = Z_{is} - L_{i,\sigma} \frac{e^{Z_i} - 1}{e^{Z_i} + 1}$$

za razne vrednosti parametra $L_{i,\sigma}$.

3. ZAKLJUČAK

U članku je, prema autorovim saznanjima, prvi put primenjen transcendentalni metod za određivanje koncentracije dijagnostičkih nuklida. Pokazano je da je metod jednostavno primenljiv i da je vrlo efikasan, u smislu opštih prednosti teorije transcendentalne metode kao analitičke. Dobijeni numerički rezultati potvrđuju validitet predloženog pristupa. Koncentracije dijagnostičkih nuklida se računaju u sukcesiji počevši od trenutka t_o kada nam je na neki način poznata koncentracija nuklida koji dijagnosticiramo.

TABELA I

$2/L_{1,\sigma}$	Z_1	$1/Z_1$	$\lvert G_s \rvert$	$[x]$
0.53	0.9450236941070190	1.058174526454525	1.814017E-16	12
0.52	0.9494129700164130	1.053282429860540	7.138872E-17	12
0.51	0.9535712274188240	1.048689359794183	2.732594E-17	12
0.50	0.9575040240772690	1.044382033760834	1.015454E-17	12
0.49	0.9612168299288390	1,040347993151589	1.643675E-16	11
0.48	0.9647150527557570	1.036575512264943	6.324982E-17	11
0.47	0.9680040633409280	1.033053514825797	2.354730E-17	11
0.46	0.9710892202255610	1.029771496966801	8.461210E-18	11
0.45	0.9739758941528360	1.026719455792897	2.927026E-18	11
0.44	0.9766694922444110	1.023887822790466	9.721462E-19	11
0.43	0.9791754819143190	1.021267401472276	3.090737E-19	11
0.42	0.9814994144758850	1.018849308773143	9.376244E-20	11
0.41	0.9836469483399050	1.016624919832969	2.704744E-20	11
0.40	0.9856238716346570	1.014585815927429	7.391186E-21	11
0.39	0.987436123998494	1.012723735435798	3.942734E-17	9
0.38	0.989089817202040	1.011030527873417	1.273319E-17	9
0.37	0.990591254147928	1.009498111166108	3.887772E-18	9

Literatura

[1] Perovich S.M., "The transcendental method in the theory of neutron slowing down", Journal of Physics A: Mathematical and General. Vol. 25, pp.2969-2988., 1992.

[2]Perovich S.M., Jovanovic S., "A contribution to the theory of the slowing down in the carbide of silicium", Proceedings International Conference on Communication, Control, Computers Energy and Electronics (COMCONEL), Dec. 19-21., Cairo, Part II, pp.572-576., 1991.

[3] Perovich S.M., " Reply on the comment on the transcendental method", Accepted for publication in Journal of Physics A: Mathematical and General, 1995.

[4] Perovich S.M., " A new approach in the analytical study of one class of the transcendental functional equation", SYMOPIS '94., Kotor, Oktobar 4-7., pp. 404., 1994.

[5] Perovich S.M., " On one variant of the transcendental method in the theory of neutron slowing down", Modelling, Measurement and Control A, Vol. 45. No. 3., pp.27-38., 1992.

[6] Perović S.M., Dragović B., " Transcendentalni metod u kalorimetrijskom ispitivanju mase plutonijuma", Preventivni inženjering i informacione tehnologije PIIT '94., Niš, str. 15-1., 1994.

[7] Perovich S.M., "Concerning the analytical solution of the dispersive equation in the linear transport theory", Accepted for publication in the Transport Theory and Statistical Physics,1995.

THE TRANSCENDENTAL METHOD IN THE DIAGNOSTIC NUCLEUS CONTROL

S.M.Perovich

Abstract. The problem of finding the diagnostic nucleus concentration is studied in some detail. The conditions for genesis of the exact solutions are discussed. The obtained numerical results confirm the validity of the transcendental method theory.

STEPEN OZRAČENOSTI ZAPOSLENIH NA PROIZVODNJI I KONTROLI KVALITETA RADIOFARMACEUTIKA OBELEŽENIH Tc-99m I J-131

Tatjana Trtić, Mirjana Jovanović, Sanja Vranješ, Jurij Vučina, Ljiljana Vuksanović
Laboratorija za radioizotope, Institut za nuklearne nauke "Vinča", P.O.Box.522 Beograd

Rezime

U radu je prikazana analiza ozračenosti zaposlenih u Laboratoriji za radioizotope, Instituta za nuklearne nauke "Vinča" na poslovima proizvodnje i kontrole kvaliteta Tc-99m generatora i radiofarmaceutika. Ozračenost je merena ličnim termoluminiscentnim dozimetrima u Laboratoriji za zaštitu od zračenja, Instituta za nuklearne nauke "Vinča", jednom mesečno. Izračunata je godišnja ekvivalentna doza u periodu od 1986 do 1990. godine. Analizirana je ozračenost 31 osobe, koje su podeljene u grupe u zavisnosti od radioizotopa sa kojima rade i od vrste posla koji obavljaju. Najveće prosečne pojedinačne godišnje evivalentne doze (period 1986-1990g.) dobijene su u grupi za proizvodnju Tc-99m-generatora(4-12.5mSv) i u grupi za proizvodnju radiofarmaceutika obeleženih I-131 (3.55-13.73mSv).

Ključne reči: radiofarmaceutici, ekvivalentna doza zračenja, Tc-99m generator

1. Uvod

U Laboratoriji za radioizotope Instituta za nuklearne nauke "Vinča" proizvode se Tc-99m generatori i radiofarmaceutici koji se koriste kao dijagnostička i terapeutska sredstva u nuklearnoj medicini. Na osnovu radioizotopa kojim je obeležen radiofarmaceutik dele se na: radiofarmaceutike obeležene Tc-99m i na radiofarmaceutike obeležene I-131. Osnovne karakteristike ova dva radioizotopa date su u tabeli I [1].

Tabela I. Osnovne karakteristike radioizotopa koji se koriste za obeležavanje radiofarmaceutika

RADIOIZOTOP	VREME POLURASPADA	GLAVNE γ ENERGIJE (keV) (aps.intenzitet,%)
Tc-99m	6,6h	140 (85)
I-131	8,04 d	364 (79)

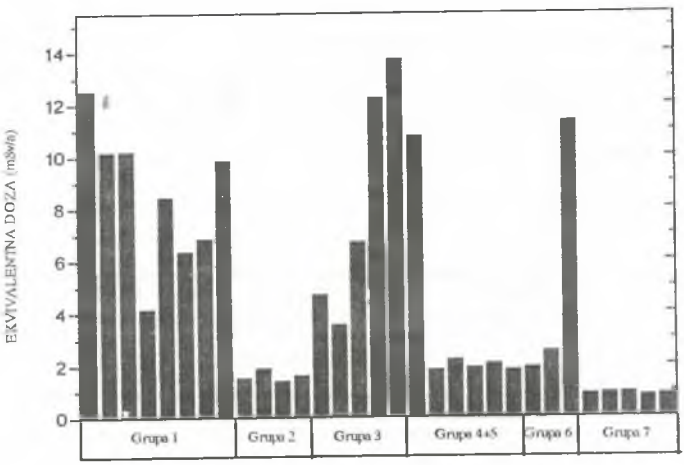
2. Rezultati

Kontrola ozračenosti lica koja rade na proizvodnji i kontroli kvaliteta Tc-99m generatora i radiofarmaceutika obavlja se ličnim termoluminiscentnim dozimetrima (grudni) jednom mesečno [2, 3]. Posmatrana je ozračenost u periodu od 1986-1990. godine. Za ovo petogodište je karakteristična intenzivna i kontinuirana proizvodnja Tc-99m generatora i radiofarmaceutika. Posmatrana lica su podeljena u grupe na osnovu radioizotopa sa kojima rade, kao i na osnovu vrste posla, što je prikazano u tabeli II.

Tabela II. Podela zaposlenih u Laboratoriji za radioizotope prema vrsti posla i broju zaposlenih

GRUPA	BROJ ZAPOSLENIH	RADIOIZOTOP	KARAKTERISTIKE POSLA
1.Proizvodnja Tc-99m generatora	8	Tc-99m	Proizvodnja Tc-99m generatora
2. Proizvodnja Tc-99m radiofarmaceutika	4	Tc-99m	Obeležavanja jedinjenja sa Tc-99m
3. Proizvodnja I-131 radiofarmaceutika	5	I-131	Obeležavanja I-131, slabe i jake kapsule I-131
4. Kontrola I	1	Tc-99m	Eluiranja generatora i merenje Tc-99m eluata
5. Kontrola II	5	Tc-99m i I-131	Radiohemijska, biološka i mikrobiološka kontrola radiofarmaceutika
6. Pomoćno osoblje	3	Tc-99m i I-131	Održavanje laboratorija i pranje laboratorijskog posuda, prevoz radiofarmaceutika
7. Kontrolna grupa	5	-	Zaposleni u administraciji

S obzirom da se doze zračenja primljene u toku jedne godine za jednu osobu ne razlikuju značajno u ovom periodu, a zbog veće preglednosti rezultata prikazane su srednje vrednosti ozračenosti pojedinaca za ovo petogodište. Rezultati su prikazani grafički na slici 1.



Slika 1. Prosečne pojedinačne godišnje ekvivalentne doze zaposlenih u Laboratoriji za radioizotope po grupama (posmatrani period 1986-1990 godina)

3. Zaključak

U radu su prikazani rezultati kontrole ozračenosti zaposlenih u Laboratoriji za radioizotope, Instituta za nuklearne nauke "Vinča" u grupi za proizvodnju i kontrolu kvaliteta Tc-99m generatora i radiofarmaceutika. Analiziran je petogodišnji period, 1986-1990.godine, na osnovu ekvivalentne doze koja je merena svakog meseca ličnim termoluminiscentnim dozimetrima u Laboratoriji za zaštitu od zračenja, Instituta za nuklearne nauke "Vinča". Rezultati su pokazali da je najveća ozračenost u grupi za proizvodnju Tc-generatora (izmerena prosečna godišnja ekvivalentna doza pojedinca je u opsegu 4-12.5mSv) i u grupi za proizvodnju radiofarmaceutika obeleženih I-131 i to kod osoba koje proizvode jake i slabe kapsule I-131 (izmerena prosečna godišnja ekvivalentna doza pojedinca je u opsegu od 3.55-13.73mSv). U grupi koja se bavi kontrolom kvaliteta radiofarmaceutika kod zaposlenog na poslovima eluiranja i merenja Tc-99m eluata izmerena je znatno veća godišnja ekvivalentna doza nego kod ostalih članova ove grupe. Takode kontrola ozračenosti pomoćnog osoblja pokazala je da u toj grupi lice koje se bavi transportom radiofarmaceutika primilo najveću dozu zračenja (izmerena prosečna godišnja ekvivalentna doza pojedinca je u opsegu od 1.92-11.36mSv).

Reference

[1] I. Aničin, A. Fertilio, M. Nikolić, D. Pavlović, R. Pavlović, Lj. Radosavljević, "Radiografija", Beograd , Centar za permanentno obrazovanje, Vinča, 1989.
[2] ICRP Publication 60 (1991).
[3] R. Borota, Lj. Stefanović, "Nuklearna medicina", Medicinski fakultet, Novi Sad (1992).

EXPOSURE OF EMPLOYEES ENGAGED ON THE PRODUCTION AND QUALITY CONTROL OF RADIOPHARMACEUTICALS LABELLED WITH Tc-99m AND I-131

Tatjana Trtić, Mirjana Jovanović, Sanja Vranješ, Jurij Vučina, Ljiljana Vuksanović
Laboratory for radioisotopes, Vinča Institute of nuclear science, Belgrade

Summary

In this paper given is the analysis of exposure control of employees in Laboratory for radioisotopes, Vinča Institute of nuclear sciences, engaged on the production and quality control of the Tc-99m generator and radiopharmaceuticals labelled with Tc-99m and I-131. Effective doses equivalent (mSv) was measured by personal thermoluminescent dosimeter in the Laboratory for radiation and enviromental protection each month. We calculated effective doses equivalent for each year in the period 1986-1990. Thirty one employees were analysed. They were separated into the groups both on the basis of radioisotope which they worked with and the kind of the proffesional work. The highest average effective doses equivalent were reseaved in the group for the production of Tc-99m generator (4-12.5mSv) and in the group for the production I-131 radiopharmaceuticals (3.55-13.73mSv).

Key words: effective dose equivalent , radiopharmaceuticals, Tc-99m generator

DUGOŽIVEĆI GAMA EMITERI U ELUATIMA Tc-99m iz ^{99}Mo-^{99m}Tc GENERATORA

Jurij L.Vučina, Rajko P.Dobrijević, Emil S.Karanfilov

Institut za nuklearne nauke "VINČA", Laboratorija za radioizotope, Beograd, p.f. 522

REZIME:

Odredjivani su dugoživeći radionuklidi koji se kao radionulidne nečistoće nalaze u eluatima komercijalnih $^{99}Mo/^{99m}Tc$ generatora. Odredjena su četiri radioizotopa: ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{125}Sb i ^{131}J. Odredjen je udeo njihovih radioaktivnosti koji se spiraju sa kolone tokom korišćenja generatora. Nadjene vrednosti sadržaja radionuklidnih nečistoća uporedjene su sa kriterijumima radionuklidne čistoće ^{99m}Tc propisanim farmakopejom.

Ključne reči: tehnecijum, radinuklidna čistoća, Tc-99m generator

1. UVOD

Prema podacima iz literature u nuklearnoj medicini se od svih radioizotopa najviše koristi ^{99m}Tc. Zbog relativno kratkog vremena poluraspada 6,02 /h/ nuklearno-medicinskim ustanovama isporučuju se takozvani generatori $^{99}Mo/^{99m}Tc$. To je radiohemijski uredjaj u kome se radioaktivni predak ^{99}Mo adsorbuje na pogodnom nosaču. Njegovim raspadom nastaje ^{99m}Tc koji se kod korisnika odvaja od ^{99}Mo eluiranjem sa rastvorom NaCl dok ^{99}Mo ostaje adsorbovan. Postupak odvajanja se može ponavljati praktično sve dok se ^{99}Mo ne raspadne.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za ispitivanje korišćeni su $^{99}Mo/^{99m}Tc$ generatori proizvedeni u Institutu "VINČA" (Laboratorija za radioizotope). Zasnivaju se na ^{99}Mo dobijenim fisijom ^{235}U. Uzorci rastvora ^{99}Mo radioaktivnosti 4,9 /GBq/ mereni su 98 dana nakon kalibracije (vreme "hladjenja uzorka"). Generatori radioaktivnosti 4,9 /GBq/ na dan kalibracije eluirani su svaki dan sa 0,9% rastvorom NaCl. Uzorci eluata zapremine 2 ml mereni su 28-35 dana nakon eluiranja.

Za kvalitativno i kvantitativno odredjivanje radionuklidnih nečistoća korišćena je gama-spektrometrija. Postupak merenja opisan je u radu [1].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

^{99}Mo se dobija fisijom ^{235}U. Tako se u zavisnosti od prečišćavanja, u ^{99}Mo mogu naći i drugi radioizotopi kao radionuklidne nečistoće. U radu su ispitivani dugoživeći gama emiteri koji se

Tabela 2: Uporedjivanje rezultata odredjivanja radionuklidne čistoće eluata sa kriterijumima propisanim Farmakopejom

Radioizotop	Eksperimentalni rezultati (kBq/MBq ^{99m}Tc)	Farmakopeja (kBq/MBq ^{99m}Tc)
^{103}Ru	$(1,10\pm0,07)\times10^{-5}$	$\leqslant 5\times10^{-5}$
^{131}I	$<8\times10^{-6}$	$\leqslant 5\times10^{-5}$

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanja prikazanih u ovom radu može se zaključiti da rutinski eluati ^{99m}Tc dobijeni eluiranjem komercijalnih ^{99}Mo/^{99m}Tc generatora sadrže 4 radionuklidne nečistoće - fisione proizvode i to ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{125}Sb i ^{131}J. Prva tri se delimično desorbuju dok ^{125}SB praktično sav ostaje vezan na koloni. Kriterijumi radionuklidne čistoće propisani Farmakopejom su ispunjeni u svim ispitivanim slučajevima.

LITERATURA

[1] Vučina, J.L., Vuga D.A. Marković, M.M. Kukoč A.H., "Determination of radioactive impurities in fission-produced ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora system", J.Serb.Chem.Soc. Vol.49, pp. 497-502, 1994

[2] United States Pharmacopoeia, 20th Revision, suppl.3, Mack Publishing, Easton, 1980

LONG-LIVED GAMMA EMMITERS IN THE ELUATES OF ^{99m}Tc GENERATORS

Junij L.Vučina, Rajko P.Dobrijević, Emil S.Karanfilov

ABSTRACT

The radionuclidic impurities in the eluates of the commercial ^{99}Mo/^{99m}Tc generators were determined. Qualitatively and quantitatively four long-lived impurities were found: ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{125}Sb and ^{131}I, Their content in the generator column was determined as well as the ratio of their radioactivities which are eluted together with ^{99m}Tc. The results of the radionuclidic purity determination were compared with the criteria proposed by Pharmacopoeia.

Key words: Tehnetium, Radionuclidic purity, Tc-99m generator

Sekcija 5.

RADIOEKOLOGIJA

TRANSPORT PRIRODNIH RADIONUKLIDA IZ ZEMLJIŠTA U BILJKE

Ištvan Bikit,
PMF Institut za fiziku, Novi Sad, Dr Ilije Đuričića 4
Miloje Saric,
SANU, Beograd
Ljiljana Čonkić, Jaroslav Slivka, Miodrag Krmar,
PMF Institut za fiziku, Novi Sad, Dr Ilije Đuričića 4

Rezime

U prirodnim uslovima proučavan je i kvantifikovan proces transporta i akumulacije Ra-226, U-238, Th-232 i K-40 iz zemljišta sa povišenim nivoom prirodne radioaktivnosti (jalovina rudnika urana Gabrovnica-Kalna) u biljke čiji se podzemni organi koriste u ljudskoj ishrani. Ustanovljen je intenzivan transport teških prirodnih radionuklida iz zemljišta u krtole i zadebljali koren analiziranih biljaka. Transfer faktori, kao kvantitativna mera procesa kod svih analiziranih biljaka su bitno niži za Th-232 nego za Ra-226 i U-238. Najintenzivnije usvajanje ovih radionuklida javlja se kod cvekle.

Ključne reči: prirodna radioaktivnost, transfer faktori, zemljište-biljke

1. Uvod

U radioekološkim studijama lanci ishrane se koriste za procenu ingestione doze koju čovek dobija od radionuklida u okolini. Svi modeli pri tome neizostavno koriste transfer faktore kao kvantitativnu meru prelaska radionuklida iz jedne karike lanca u drugu. Istraživanja koja omogucavaju upoznavanje i kvantifikaciju transporta prirodnih radionuklida iz zemljišta u biljke od značaja su kako za procenu radijacionog rizika, tako i za normiranje MDK vrednosti ovih polutanata u poljoprivrednom zemljištu; za procenu bilansa pri đubrenju zemljišta mineralnim đubrivima; za formiranje preventivnih mera za akcidentalne situacije kao i za eventualnu dekontaminaciju zemljišta uzgajanjem određenih biljaka. Rezultati ovakvih istraživanja mogu da daju i osnovu za teorijska objašnjenja različitog usvajanja elemenata koji ne učestvuju u fiziološkim i biohemijskim procesima u biljci. U ovu grupu spadaju i teški prirodni radionuklidi Ra-226, U-238 i Th-232 u čijoj toksikologiji se preplicu **radijaciona toksičnost** (uglavnom α-emiteri; primarni radiohemijski efekti veliki zbog guste jonizacije biološkog materijala) i **hemijska toksičnost** (slična kao kod teških metala Pb, Cd, Hg...; direktno zavisna od rastvorljivosti datog jedinjenja; toksičnost u humanom organizmu raste sa porastom valence), što komplikuje i pojačava negativne efekte na ljudsko zdravlje [1]. Transportni procesi u sistemu zemljište-biljke za ovu grupu radionuklida su nedovoljno poznati. Situaciju komplikuje činjenica da laboratorijska istraživanja daju neadekvatne rezultate zbog složenih interakcija u prirodi, gde je proces uslovljen prvenstveno fizičko-hemijskim osobinama tla, biološkim osobinama biljaka, fizičko-hemijskim osobinama datog radionuklida i agrotehničkim merama.

Određivanje transfer faktora zemljište-biljke koji se za dati radionuklid definiše kao odnos: $T_f = A_S^B / A_S^Z$, gde je: A_S^B- koncentracija aktivnosti radionuklida u biljci [Bq/kg], a A_S^Z- koncentracija aktivnosti radionuklida u zemljištu [Bq/kg], uz poznavanje transporta radionuklida iz stočne hrane u meso i mleko, kao i prosečne ishrane stanovništva, omogucava izračunavanje ingestionih doza direktno iz podataka za koncentracije aktivnosti radionuklida u zemljištu [2]. Proučavanju usvajanja Ra-226 od strane nekih biljaka posvećeno je dosta pažnje [3,4,5], međutim detaljne komparativne analize usvajanja prirodnih radionuklida u prirodnim uslovima su veoma malo rađene [6,7]. Sadržaj U, Th i Ra u zavisnosti od udaljenosti rudnika urana uglavnom je istraživan kod divljih biljaka, međutim eksperimenti sa gajenim biljkama nisu izvođeni. Stoga su 1991. godine Srpska akademija nauka i umetnosti (SANU) i Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, zasnovali eksperimentalno polje na jalovištu rudnika urana u Gabrovnici-Kalna. Osnovni cilj ovih istraživanja je izučavanje sadržaja U, Th i Ra usvojenog od gajenih biljaka. Eksperimenti sa 8 vrsta gajenih biljaka izvedeni su 1992., 1993. a 1994. godine su uključene još 4 biljne vrste.

2. Metodologija i merna tehnika

U ovom radu su prikazani rezultati o transferu U, Th, Ra i K u krompir, šećernu repu, rotkvu, cveklu, mrkvu i luk, gajenih 1994. godine.

Nivo koncentracije aktivnosti analiziranih radionuklida u podlozi na kojoj su biljke uzgajane bio je dovoljno visok za praćenje procesa transporta γ-spektrometrijskom tehnikom, a ipak ispod "praga" fitotoksičnosti [8], te je izbegnuto narušavanje normalnih fizioloških procesa u tkivima biljke. U toku uzgajanja biljke su prihranjivane rastvorom NPK.

Uzorci zemljišta su sušeni na 105°C, usitnjavani, homogenizovani i hermetički zatvoreni ostavljani mesec dana u cilju uspostavljanja ravnoteže pre samog merenja. Uzorci biljnog materijala uzimani su u stadijumu fiziološke zrelosti, pre merenja su pažljivo oprani, oljušteni (odvajan je spoljašnji sloj debljine 4-5mm), sušeni na 105°C, usitnjeni, homogenizovani i takođe hermetički zatvoreni ostavljeni mesec dana pre γ-spektrometrijske analize. Merna tehnika i metodologija merenja detaljno su dati u ranijem radu [9].

3. Rezultati

Rezultati proučavanja transporta prirodnih radionuklida iskazani preko transfer faktora dati su u tabeli 1, gde su koncentracije aktivnosti i za zemljište i za biljni materijal izražene u [Bq/kg] suve mase, pri čemu su za biljni materijal posebno prikazane vrednosti za deo biljke koji se direktno koristi u ishrani, a posebno za površinski sloj, koji je odvajan.

4. Diskusija i zaključci

Sa radioekološkog i zdravstvenog aspekta bitna je odmah uočljiva činjenica (tabela 1) da od svih analiziranih biljaka najintenzivnije akumulira teške prirodne radionuklide jestivi deo cvekle; da je kod luka transport ovih radionuklida u glavicu gotovo zanemarljiv, a da se kod krompira gotovo u celosti zadržavaju u ljusci. Kod repe, rotkve i mrkve uočava se međusobno slično ponašanje sa blago naglašenim povecanjem vrednosti u površinskom sloju zadebljalog korena.

Prikazane vrednosti jasno ukazuju da je proces transporta iz zemljišta u podzemne delove biljaka oko 100 puta intenzivniji nego u nadzemne delove [10], kao i da je transport urana i radijuma sličan, dok torijum biljke usvajaju oko 10 puta slabije, što je u skladu kako sa fizičko-hemijskim osobinama ovog radionuklida, tako i sa rezultatima nekih ranijih istraži-

Tabela 1. Koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida u zemljištu Kalne i transfer faktori za gajene biljke

UZORAK	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI As [Bq/kg]			
	U-238	Ra-226	Th-232	K-40
ZEMLJIŠTE (JALOVINA)	95±570	645±80	152±6	1285±40
BILJKE	TRANSFER FAKTOR $Tf = A_B^S / A_S^S$			
KROMPIR 1 KRTOLA	<0.02	0.026±0.006	<0.01	0.646±0.086
KROMPIR 1 SPOLJ. SLOJ	0.241±0.096	0.118±0.022	0.033±0.026	1.424±0.218
KROMPIR 2 KRTOLA	0.023±0.005	0.028±0.007	<0.01	0.459±0.031
KROMPIR 2 SPOLJ. SLOJ	0.209±0.147	0.101±0.024	<0.05	1.478±0.233
REPA 1 ZAD. KOREN	0.178±0.044	0.243±0.045	0.033±0.020	0.194±0.021
REPA 1 SPOLJ. SLOJ	0.272±0.199	0.279±0.071	<0.07	0.521±0.148
REPA 2 ZAD. KOREN	0.492±0.131	0.682±0.115	0.033±0.026	0.184±0.018
REPA 2 SPOLJ. SLOJ	0.607±0.255	0.481±0.181	0.053±0.033	0.552±0.117
ROTKVA 1 ZAD. KOREN	0.576±0.123	0.620±0.109	0.026±0.026	1.720±0.078
ROTKVA 1 SPOLJ. SLOJ	0.628±0.235	0.682±0.115	0.085±0.033	2.335±0.311
ROTKVA 2 ZAD. KOREN	0.848±0.122	0.698±0.127	0.020±0.013	1.611±0.070
ROTKVA 2 SPOLJ. SLOJ	0.910±0.288	0.822±0.119	0.125±0.053	2.256±0.311
CVEKLA 1 ZAD. KOREN	1.037±0.263	1.395±0.232	0.085±0.085	0.646±0.054
CVEKLA 1 SPOLJ. SLOJ	-	-	-	-
CVEKLA 2 ZAD. KOREN	1.131±0.235	1.349±0.228	0.053±0.040	0.599±0.039
CVEKLA 2 SPOLJ. SLOJ	1.523±0.420	1.566±0.379	0.118±0.085	1.253±0.202
MRKVA 1 ZAD. KOREN	0.482±0.131	0.403±0.080	0.059±0.033	0.895±0.117
MRKVA 1 SPOLJ. SLOJ	1.152±0.315	0.558±0.116	0.158±0.112	2.179±0.311
MRKVA 2 ZAD. KOREN	0.701±0.236	0.806±0.184	0.059±0.039	0.942±0.124
MRKVA 2 SPOLJ. SLOJ	1.225±0.317	0.744±0.167	0.131±0.053	1.945±0.311
LUK 1 GLAVICA	<0.05	0.199±0.034	0.026±0.013	0.342±0.078
LUK 2 GLAVICA	<0.11	0.138±0.045	0.033±0.026	0.451±0.093

vanja [6]. Analizom podataka dobijenih za K-40, koji za razliku od teških prirodnih radionuklida spada u biološki važne elemente, neophodne za normalno odvijanje životnih funkcija biljke, uočava se njegov intenzivniji transport iz zemljišta. Najviši transfer faktor je kod rotkve i mrkve, a najniži kod repe i po pravilu je kod svih biljaka oko dva puta niži u

jestivom delu nego u spoljašnjem sloju. S obzirom da su transfer faktori za K-40 uglavnom poznati za zemljište i biljke sa različitim sadržajem vode, simultano, komparativno merenje K-40, Ra-226, U-238 i Th-232 omogućava preračunavanje transfer faktora Ra, U, i Th preko vrednosti za K za uzorke različite vlažnosti, što je često neophodno za procenu ingestionih doza iz lanca zemljište-biljke.

Literatura

[1] DODIĆ S., MILAČIĆ S.: "Učinci urana na ljudsko zdravlje", u knjizi: Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na kontaminaciju uranom, urednik M. Saric, SANU, Beograd - Naučni skupovi, knjiga LXXII (1993) str.75-81

[2] COHEN B.L.: "Transport of elements from soil to human diet", *Health Physics*, **49**, (2) 239-45 (1985)

[3] BETTENCOURT A.O. et. al.: "Soil to plant transfer of Ra-226", *J. Environ. Radioactivity* 6, 49-60 (1988)

[4] DE BORTOLI M. and GAGLIONE P., "Ra-226 in environmental materials and foods", *Health Physics*, 22, 43-48 (1972)

[5] BETTEN COURT A.O. et. al.: "Radiological impact assessment of an abandoned radium salts factory", *The Science of the Total Environment*, 45, 173-180 (1985)

[6] **ШИШКУНОВА Л.В., ГРАШЧЕНКО С.М., СТРУКОВ В.Н.: "Поступление изотопов урана, тория и радия в растения из почв и удобрений"; *Радиохимия,* Вол.30. Но.3, 385-391 (1988)**

[7] SARIĆ M., JOCIĆ B. et al.:"Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na sadržaj urana u zemljištu i biljkama", u knjizi: Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na kontaminaciju uranom, urednik M. Sarić, SANU, Beograd - Naučni skupovi, knjiga LXXII (1993) str.58

[8] **АЛЕКСАХИНА Р.М.; Радиоекологиая орошаемого земледелия; Москва, 186 с 1985**

[9] BIKIT I., SLIVKA J.: "γ-spektrometrijsko odredivanje uranijuma", u knjizi: Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na kontaminaciju uranom, urednik M. Sarić, SANU, Beograd - Naučni skupovi, knjiga LXXII (1993) str.31-39

[10] FRINDIK O.: "Uran in Böden, Gemüse, Getreide und Obst", *Landwirtsch. Forschung*, 41, 188-193 (1988)

THE TRANSPORT OF NATURAL RADIONUCLIDES FROM SOIL TO PLANTS

Ištvan Bikit, Miloje Saric, Ljiljana Čonkic,
Jaroslav Slivka, Miodrag Krmar

Abstract

The transport and accumulation processes of Ra-226, U-238, Th-232 and K-40 from soil to plants have been studied. Plant sampies with consumable parts grown below surface have been breeded in natural conditions on soil with enhanced levels of natural radioactivity (barren soil of the uranium mine Gabrovnica-Kalna). An intensive transport of heavy natural radionuclides from soil to the roots was established. The transfer factors for U-238 and Ra-226 have been much bigger than for Th-232. The most intensive uptake was registrated for beetroot.

Key words: natural radioactivity, transfer factors, soil-plant

KONCENTRACIONI FAKTORI ZA Cs-137 U SISTEMU "TLO-BILJKA-MED"

Dragana Todorović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, pp.522
Dragana Popović, Gordana Đurić
Veterinarski fakultet, Beograd, Bul. JA 18

Rezime

Prikazani su rezultati određivanja koncentracionih faktora za Cs-137 u sistemu "tlo-biljke-med" jednog planinskog područja. Aktivnost Cs-137 u uzorcima zemlje, medonosne flore i meda merena je na HPGe detektoru (srednja standardna greška 15%).

Koncentracioni faktor "biljka-zemlja" nalazi se u opsegu 0,1-2, zavisno od vrste zemljista, aktivnosti Cs-137 i biljne vrste. Koncentracioni faktor "med-biljka" je reda veličine 0,001, nezavisno od tipa medonosne flore; sadržaj Cs-137 u medu nalazi se u uskom opsegu oko 2 Bq/kg.

Ključne reči: med, zemljište, biljke, cezijum-137,134, spektrometrija gama zračenja

1. Uvod

Kretanje radionuklida u biosferi i njihov sadržaj u pojedinim fazama životne sredine, biološkim vrstama i namirnicama odredjen je fizičko-hemijskim osobinama radionuklida , periodom poluraspada radionuklida, vremenskim prilikama, topografijom terena, sastavom zemljišta, prirodom flore i faune itd (1). Određene faze životne sredine i neke biološke vrste nakupljaju pojedine radionuklide. Neki tipovi zemljišta, ilovača i humus na primer, poka zuju veći afinitet prema Cs-137; neke biljke (mahovine,lišajevi), takodje (2,3,4).

Pčela i njeni proizvodi se smatraju značajnim bioindikatorom radioaktivnog zagadjenja životne sredine (5). Biološka aktivnost pčele je, za razliku od drugih životinjskih bioindikatora (ribe, divljač, ptice) dobro prostorno i vremenski definisana i lako se kontroliše. U svetu se sistem mreža košnica koristi za kontrolu zagadjenja životne sredine u blizini nuklearnih i drugih industrijskih postrojenja (6). Posle nuklearne nesreće u Černobilu, aprila 1986 godine, mnogi fisioni produkti našli su se u medu već tokom maja iste godine (7).

Istraživanja sadržaja Cs-137 u pojedinim fazama životne sredine u periodu posle Černobilske nesreće, pokazala su da se faktor koncentracije ovog radionuklida za sistem biljka-tlo nalazi u širokom opsegu od 0.001-1.0 i da je u slaboj kore-

laciji sa koncentracijom Cs-137 u tlu, što je u suprotnosti sa rezultatima laboratorijskih istraživanja (8,9).

U okviru višegodišnjih ispitivanja radioaktivnosti planinskog regiona u centralnoj Srbiji (planina Tara), u radu su dati rezultati odredjivanja koncentracionih faktora za Cs-137 u sistemu "zemlja-medonosna flora- med".

2. Materijal i metoda

Aktivnost Cs-137 odredjena je u uzorcima zemlje, medonosne flore i meda sakupljenih metodom slučajnog uzorka u planinskom području (nadmorska visina 1000 m) tokom 1991 godine. Uzorci su sakupljeni sa više lokaliteta, različitog sastava zemljišta, koje je svrstano u tri grupe : Z1 (škriljci), Z2 (zemljište mešovitog tipa) i Z3 (krečnjačke stene).

Uzorci zemlje (sa dubine 5cm) sušeni su na 105^{o}C, sitnjeni i prosejavani, a uzorci biljaka (trava, livadsko cveće - medonosne biljke, lišajevi, mahovina) sušeni i sitnjeni na sobnoj temperaturi. Uzorci su mereni u standardnim Marinelli posudama (0.5 l).

Aktivnost Cs-137 odredjena je na HPGe detektoru (relativna efikasnost 20%) metodom spektrometrije gama zračenja. Geometrijska efikasnost za matriks zemlja i med odredjena je pomoću standarda zemlje (Nat.Bureau of Standards, OMH, Budapest; aktivnost niza radionuklida Na-22,Co-57,60,Y-88,Ba-133, Cs-137 od 122-355 Bq/kg odredjena 1.7.1991 g. sa ukupnom mernom nesigurnošću od 5%). Efikasnost za biljni matriks odredjena je pomoću standarda deteline (Swed.Nat.Lab., Stockholm; aktivnost Cs-137 1359 Bq/kg suve mase odredjena 20.3.95 sa ukupnom mernom nesigurnošću 10%).

Vreme merenja iznosilo je 150.000 - 350.000 s. Ukupna srednja standardna greška metode bila je 15%.

3. Rezultati i diskusija

Rezultati odredjivanja aktivnosti Cs-137 u uzorcima zemlje, biljaka i meda prikazani su u Tabeli 1. Aktivnost Cs-137 u biljkama i zemlji izražena je po kg sušene mase. Rezultati su prikazani kao "srednja vrednost ± gornja granica greške" sa više lokacija istog tipa zemljišta. U tabeli je data ukupna srednja vrednost sadržaja Cs-137 u medu sa datog područja.

Tabela 1. Aktivnost Cs-137 u tlu, medonosnoj flori i medu

Tip zemljišta	Cs-137 (Bq/kg) zemlja	biljka	med
Z1	462 ± 109	47 ± 42	
Z2	167 ± 22	104 ± 98	2,1 ± 0,3
Z3	72 ± 14	127 ± 18	

Na osnovu aktivnosti Cs-137, izračunati su koncentracioni faktori "zemlja-biljka" F1, "biljka-med" F2 i "zemlja-med" F3. Faktori su definisani kao odnosi srednjih vrednosti aktivnosti Cs-137 u pojedinim fazama sistema za različite tipove zemljišta (Tabela 2).

Tabela 2. Koncentracioni faktori za Cs-137 u sistemu " zemlja - biljka - med "

Tip zemljišta	F1	F2	F3
Z1	0.1	4.5×10^{-2}	4.5×10^{-3}
Z2	0.6	2.0×10^{-2}	1.3×10^{-2}
Z3	1.8	1.6×10^{-2}	2.9×10^{-2}

Aktivnost Cs-137 u medu sa saćem je niža od vrednosti u čistom medu (< 2 Bq/kg), zavisno od odnosa komponenata. U vosku, sadržaj Cs-137 je ispod 0.5 Bq/kg.

U cilju objašnjenja povećane vrednosti jačine ekspozicione i apsorbovane doze gama zračenja na nekim lokacijama u regionu (10) odredjena je aktivnost Cs-137 i Cs-134 u lišajevima i mahovini, tipičnim bioindikatorima za pomenute radionuklide. Uzorci mahovine potiču sa više lokacija pčelinjih pašnjaka različitog tipa zemljišta; uzorci lišajeva samo sa zemljišta tipa Z2. I u mahovini i u lišajevima nadjen je visok sadržaj Cs-134,137 (Tabela 3).

Tabela 3. Koncentracija Cs-134 i Cs-137 u uzorcima mahovine i lišajeva (juli-avgust, 1991)

	Aktivnost (Bq/kg suve mase) Cs-134	Cs-137
mahovina	808 ± 169	8196 ± 1743
lišaj	1692	18236

Prikazani rezultati pokazuju da i ako sadržaj Cs-137 u zemljištu značajno zavisi od vrste zemljišta, njegova koncentracija u biljkama pre svega zavisi od biljne vrste. U konkretnom slučaju, obzirom da se radi samo o različitim vrstama u okviru istog tipa - medonosne flore, faktor koncentracije "biljka-med" je istog reda veličine, pa se aktivnost Cs-137 u medu nalazi u uskom opsegu oko 2 Bq/kg, što je svega jedan put više u odnosu na vrednosti merene pre nuklearne nesreće u Černobilu.

Literatura

(1) Kathren,R.I., "Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution & Surveillance". Harwood Acad.Press,NY,1994.
(2) Fisenne,I., "Longlived Radionuclides in the Environment", CEC Report EUR14411, pp.187-260, 1993.
(3) Djurić,G.,Popović,D.,Petrović,B., "Variations of activity &concentration factors of a fish-water system", Internat. Agrophysics, Vol.3, No.1-2, pp.41-44, 1987.
(4) Djurić,G.,Popović,D., "Radioaktivno zagadjenje biljaka", Ecologica. Vol.I, No.2, pp.19-24, 1994.
(5) Bunzl,K.,Kracke,W., "Cs-137, Sr-90 and K-40 in different types of honey", Health Physics. Vol.41, No.3, pp.554-558, 1981.
(6) Walwork-Barber,M.K.,Ferenbaugh,R.W.,Gladney,E., "The Use of Honey Bees as Monitors of Environmental Pollution", American Bee Journal. Vol.112, No.11, pp.770-774, 1982.
(7) Djurić,G.,Popović,D.,Popesković,D.,"The Level of Natural and Fallout Radionuclides in Honey", Acta Veterinaria. Vol.38, No.5-6, pp.293-298, 1988.
(8) Tech. Report Ser.No.295. "Measurements of Radionuclides in Food and the Environment". IAEA, Vienna, 1989.
(9) Bikit,I.,Slivka,J.,Vesković,M.,Conkić,Lj.,Mihaljev,Z., Djurić,G.,"Transfer factors of some radionuclides in ecological chain soil-plants(feed)-milk". In "Radiation Protection-Selected Topics",IBK Vinča, pp.471-475, 1989.
(10) Djurić,G.,Popović,D.,Sarvajić,A.,Ivankovićc,S.,Mišić,N., "Jačina ekspozicione i apsorbovane doze gama zračenja na pčelinjim pašnjacima planine Tara". Vet.glasnik. Vol.46, No.9, pp.491-497, 1992.

Cs-137 CONCENTRATION FACTORS IN A "SOIL-PLANT-HONEY" SYSTEM

Dragana Todorović, Dragana Popović and Gordana Djurić

Abstract

Concentration factors for Cs-137 in a "soil-plant-honey" system of a mountainous region are estimated. The activity of Cs-137 in the samples of soils, meadow plants and honey was determi-ned on a HPGe detector by gamma spectrometry. The total standard error of the method was 15%

The "soil-plant" Cs-137 concentration factor is in the range of 0,1-2,0 due to type of soil, activity of Cs-137 and plant itself. The "plant - honey" concentration factor is of order 0.001 regardless the type of meadow flowers and therefore the Cs-137 activity in honey is within the narrow range of 2 Bq/kg.

Key words: honey, soil, plants, cesium-137,134 , gamma spectrometry

Анализа радиоактивности у ваздуху и падавинама у Србији за период 1990 -1994.

Ирена Петровић, Г. Паштелић, М. Вукошић, Р. Брновић

Клинички центар Србије, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Карајовић", Београд

Резиме

У раду је приказана укупна бета активност ваздуха и падавина у Србији за период 1990-1994.г.,као и активности ^{137}Cs и ^{90}Sr. Испитивањем је утврђено опадање садржај а ^{137}Cs и ^{90}Sr у падавинама у наведеном периоду, као и опадање садржаја ^{137}Cs у узорцима ваздуха.

Кључне речи: радиоактивност, падавине, ваздух.

Увод

Производи фисије, који се образују после нуклеарне експлозије или после акцидента на нуклеарном постројењу, активно учествују у динамичким процесима са животном средином. У атмосфери они се адсорбују на честицама прашине и аеросола, а затим се са атмосферским талогом депонују на земљину површину, где почиње интензивни процес биолошке измене.

Дуговечни радионуклиди као што су ^{137}Cs и ^{90}Sr, са временима полураспада од 30, односно 28,8 година, су најштетнији за људски организам. Одређивање њиховог садржаја у узорцима животне средине је од приоритетне важности за људско здравље.

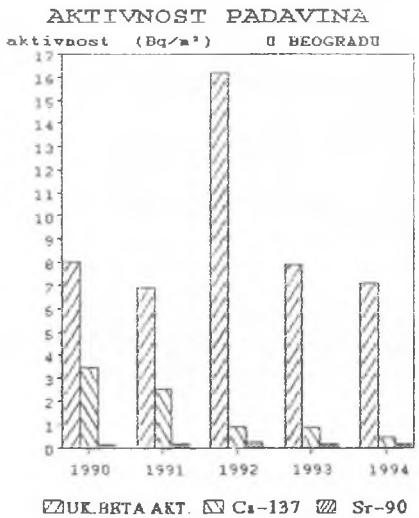
Систематско испитивање узорака из животне средине на садржај радионуклида, у нашој земљи је регулисано Законом о заштити од јонизујућих зрачења и о нуклеарној сигурности[1]. Узорци се сакупљају на одређеним местима и у одређеним временским интервалима на територији Републике Србије по методама које су одређене прописима (Правилник о местима и временским интервалима систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини, раном откривању и обавештавању радиоактивне контаминације животне средине)[2] .

У овом раду је приказана методологија мерења радиоактивности у узорцима аеросола и падзвина, као и нивои њихове активиости на територији Републике Србије за период 1990-1994.г.

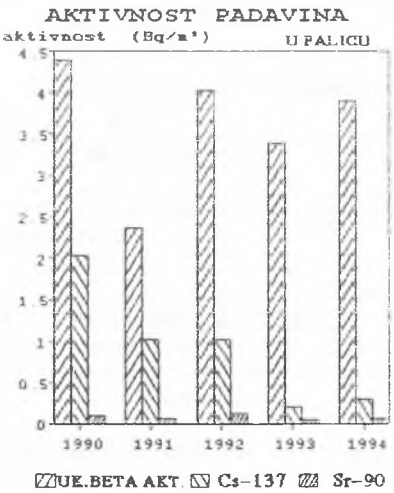
Метод рада

Узорци падавина(fall-out) се сакупљају у: Београду, Нишу, Зајечару, Палићу и Новом Саду, у суду површине 0.1 m^2 на 1 m од површине тла. После припреме у узорку се врше следећа испитивања: гамаспектрометријска анализа, одређивање укупне бета активности и одређивање активности ^{90}Sr (дуговечнег радионуклида, чистог бета емитера) помоћу радиохемијске методе. Активност месечних падавина даје податке о укупном депоу радионуклида доспелих преко течних и чврстих падавина на земљину површину у току једног месеца.

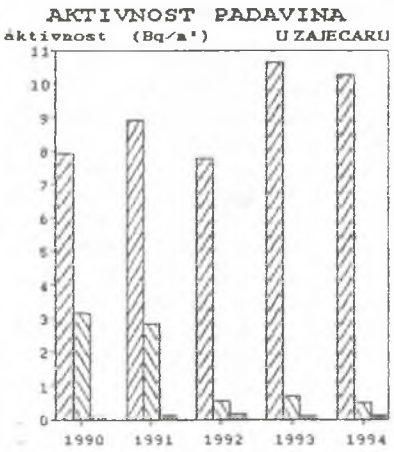
Узорци аеросола се свакодневно сакупљају у: Београду, Нишу, Зајечару и Палићу, помоћу специјалних пумпи за просисавање ваздуха кроз филтер папир (300 m^3 на дан). Најпре се одређује укупна бета активност у дневним узорцима, а затим гамаспектрометријска анализа композитних месечних узорака.



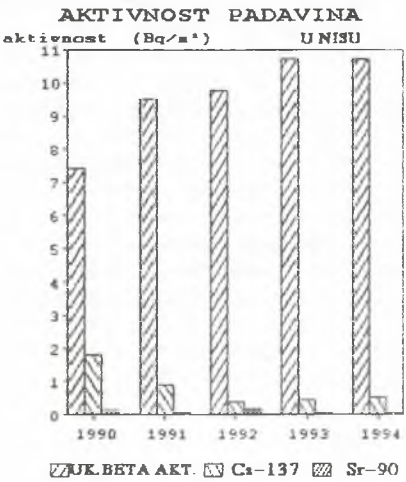
Слика 1



Слика 3



Слика 2



Слика 4

Гама спектрометријска анализа се врши на HP-Ge детектору фирме "ORTEC", ефикасности 25%. Бета активност узорака одређује се на $\alpha-\beta$ антикоинцидентном бројачу "COUNTMASTER" ефикасности 24%.
Ради одређивања садржаја радионуклида у узорцима аеросола (специфична геометрија), припремљен је одговарајући стандард и извршена калибрација гама спектрометра[3].

Резултати и дискусија

Због веома великог броја узорака приказане су средње годишње вредности за активност аеросола и падавина у наведеном периоду испитивања.На сликама: 1, 2, 3 и 4 , приказана је укупна бета активност падавина за: Београд, Палић, Зајечар и Ниш, као и садржај ^{137}Cs и ^{90}Sr у њима. На слици бр. 5 приказана је средња годишња бета активност аеросола за сва сакупљачка места у Србији, као и садржај ^{137}Cs у аеросолу. Укупна бета активност падавина у разним местима варира од 1,7-16,8 Bq/m^2 у протеклих 5 година испитивања. Уочава се да је у Палићу ниво укупне бета активности нижи, што је последица мање урбаности у односу на остала места. Садржај ^{137}Cs у падавинама опада из године у годину од 3,47 - 0,21 Bq/m^2 , што нам указује да се стратосфера ослобађа контаминације од Чернобиљске катастрофе. Садржај ^{90}Sr у падавинама је прилично константан и варира од 0.203 - 0.05 Bq/m^2 . Укупна бета активност ваздуха опада уједначено у свим местима од 2,58 - 0,37 mBq/m^3, као и ^{137}Cs од 0,115 - 0,005 mBq/m^3 .

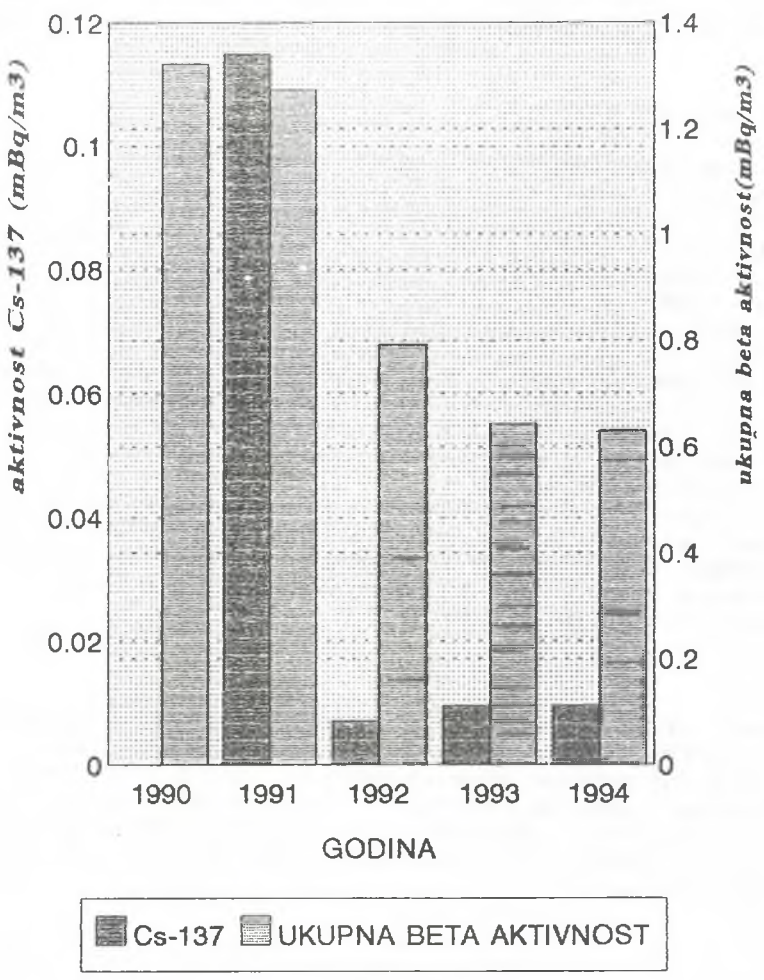
С обзиром да се у суседним државама, Румунији и Бугарској, налазе нуклеарне електране које би евентуално могле изазвати повећану активност ваздуха и падавина Палића и Зајечара, може се рећи да радиоактивност у тим местима не одступа значајно у односу на Београд и Ниш, те да на тај начин није до сада била угрожена животна средина у пограничним регионима.

Закључак

Према резултатима мониторинга радиоактивности ваздуха и падавина у Србији (Београд, Ниш, Зајечар, Суботица-Палић) у периоду 1990-1994 г. може се закључити да је значајно опала активност дугоживећих радионуклида вештачког порекла (Чернобиљски акцидент), посебно ^{137}Cs чија је активност у падавинама у 1994.г. опала за око 90% у односу на 1990. годину (средње вредности за територију Србије). Такође је евидентно да глобалних радиоактивних загађења у Републици Србији у том периоду није било.

Литература:

[1] "Закон о заштити од јонизујућег зрачења и нуклеарној сигурности" Службени лист СФРЈ, бр.53, 1991.
[2]"Правилник о местима и временским интервалима систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини, раном откривању и обавештавању радиоактивне контаминације животне средине", Службени лист СФРЈ, бр.84, 1991.
[3] И.Петровић, Г.Пантелић:"Калибрација гамаспектрометра помоћу секундарног стандарда за одређивање активности аеросола", II Саветовање Друштва физикохемичара, Београд 1994.



Слика 5

Radioactivity analysis in the air and fallout in Serbia during 1990-1994

Irena Petrović, G.Pantelić, M.Vukotić, R.Brnović

Abstract

The paper presents results of the total beta activity in the air and fallout in Serbia during 1990-1994. The results of measurement show decreasing of Cs and Sr activity in the fallout, and decreasing of Cs activity in the air.

Key words:radioactivity, fallout, air.

Испитивање радиоактивности у увезеним узорцима прехрамбених и других производа у Републици Србији (1990 - 1994 год.)

Радмила Брновић, Г. Пантелић, И. Петровић, М. Вукотић, Б. Вулевић

Клинички центар Србије, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Карајовић", Београд

Резиме

У раду су приказани резултати мерења активности ^{137}Cs у увозним узорцима прехрамбених производа (1557 узорака) и предмета за општу употребу (106 узорака), у Републици Србији за период 1990 - 1994 година. Највећи број анализираних узорака био је у нивоу активности 0.2 - 1 Bq/kg (1205 узорака), што је у складу са резултатима систематског испитивања радиоактивности (мониторинг) у животној средини у Србији.

Кључне речи: гамаспектрометрија, ^{137}Cs, увозни прехрамбени производи

1. Увод

На основу Закона о здравсвеном надзору над животним намирницама и предметима опште употребе [1] и Уредбе о обавезном здравственом прегледу производа из увоза [2] врши се испитивање радијационо хигијенске исправности узорака прехрамбених производа из увоза као и предмета за општу употребу.

2. Метода

За одређивање присуства гама емитера, у узорцима хране и предметима опште употребе, користи се метода високорезолуционе гамаспектрометрије. Узорци се хомогенизују и стављају у маринели посуде запремине 1 l. За мерење се користи чисти германијумски детектор фирме ORTEC (релативна ефикасност 25% и резолуција 1.95 keV) са вишеканалним анализатором од 8000 канала.

Највећи број узорака за анализу добијен је из Завода за заштиту здравља Србије "Милан Јовановић - Батут" и Завода за заштиту здравља из Суботице.

После одређивања радноактивности у узорку издаје се атест о радијационо хигијенској исправности узорка у складу са законском регулативом мониторинга радиоактивности у СРЈ [3,4] и међународним препорукама [5].

3. Резултати и дискусија

У току 1990 - 1994 године анализирано је 1557 узорака прехрамбених производа из увоза и 106 увезених узорака предмета за општу употребу. Резултати мерења активности ^{137}Cs у овим узорцима приказани су у табелама 1 и 2. Приказане су минималне, средње и максималне вредности ^{137}Cs, као и број узорака по врстама најчешће мерених узорака. На графику 1 је приказана учесталост броја узорака са одређеним нивоима активности ^{137}Cs у њима. Највећи број узорака (1205) имао је активност ^{137}Cs између 0.2 и 1 Bq/kg са максимумом (271 узорак) на нивоу активности 0.2 - 0.3 Bq/kg.

Табела 1: ^{137}Cs у узорцима прехрамбених производа из увоза (1990 - 1994 год.)

Врста узорка	број узорака	Активност ^{137}Cs (Bq/kg)		
		мин.	средња	макс.
млеко у праху	111	< 0.12	2.95	26.90
свеже млеко	13	< 0.15	0.64	2.19
млеко за бебе	10	< 0.34	1.23	1.90
пуномасни тврди сир	130	< 0.10	0.60	2.99
маслац	78	< 0.11	0.44	1.22
месо (говеђе и јунеће)	222	< 0.28	0.89	21.1
свињско месо	44	< 0.14	0.47	1.12
пилеће месо	44	< 0.11	0.51	5.9
месне прерађевине	57	< 0.15	0.48	1.65
морска риба (различите врсте)	292	< 0.10	2.64	13.84
површе (различите врсте)	65	< 0.12	0.44	0.91
кухињска со	153	< 0.10	0.35	1.37
кафа	7	< 0.65	1.18	1.53
какао	21	< 0.10	0.84	1.80
разни зачини	19	< 0.17	1.13	2.53
коштуњави плодови (лешник, бадем, ораси, кикирики)	44	< 0.10	1.33	7.5
мед	15	< 0.12	0.59	1.05
уље и маргарин	23	< 0.14	< 0.34	< 0.75

Табела 2: ^{137}Cs у предметима за општу употребу из увоза (1990 - 1994 год.)

Врста узорка	број узорака	Активност ^{137}Cs (Bq/kg)		
		мин.	средња	макс.
папир	18	< 0.38	< 2.2	< 4.5
амбалажа	4	< 1.0	1.75	< 2.6
пластични материјали (полиетилен, PVC)	21	< 0.23	1.02	6.4

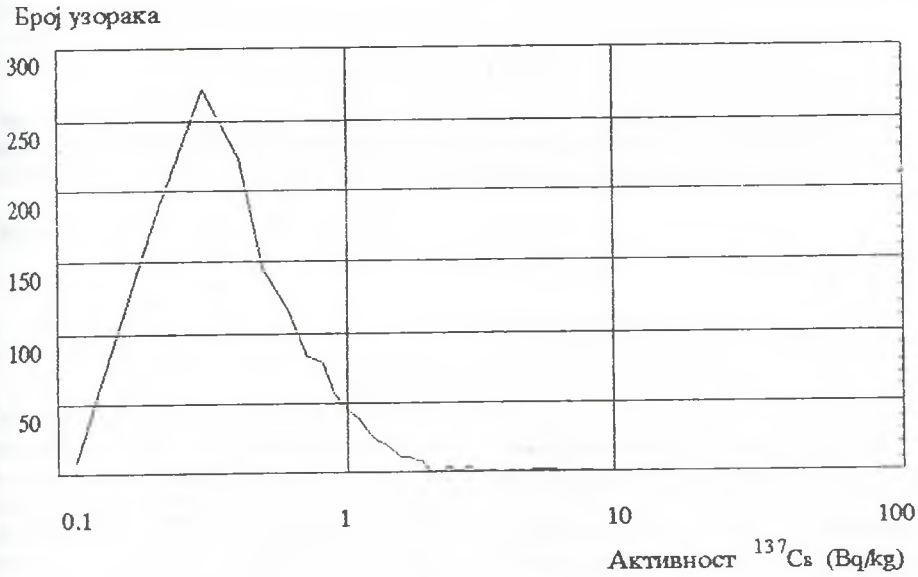


График 1: Расподела активности ^{137}Cs у прехрамбеним производима из увоза (1990 - 1994 год.)

4. Закључак

Из приказаних резултата може се закључити да је активност ^{137}Cs у највећем броју узорака прехрамбених производа из увоза у Републици Србији у периоду 1990 - 1994 била у интервалу 0.2 - 1 Bq/kg узорка (1205 узорака) са максимумом броја узорака (271) активности 0.2 - 0.3 Bq/kg.

За неколико узорака прехрамбених производа у којима је активност ^{137}Cs била већа 100 пута од вредности које су измерене у мониторингу радиоактивности у

животној средини у Србији, дали смо препоруку да се не користе за исхрану. То је у складу са препорукама Међународне комисије за радиолошку заштиту ICRP- у којима је предвиђено да граница за ефективну дозу зрачења за становништво од извора јонизујућег зрачења вештачког порекла буде 1 mSv/год.

Литература:

[1] Службени гласник Социјалистичке Републике Србије бр. 48/77 и бр. 29/88

[2] Службени гласник Републике Србије бр. 3/90

[3] Службени лист СФРЈ бр. 53/91

[4] Службени лист СФРЈ бр. 84/91

[5] ICRP publication 60, 1991

Abstract:

The control of radioactivity in the imported food and other samples in Republic of Serbia for period 1990 - 1994

Radmila Brnović, G. Pantelić, I. Petrović, M. Vukotić, B. Vulević

Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović", Beograd

The results of measurements of the ^{137}Cs activities in the imported food an the other samples (1663) in Serbia for period 1990 -1994 are presented. The ^{137}Cs activities in the majority of samples are in the interval 0.2 – 0.3 Bq/kg, and are in agreement with results of radioactivity monitoring program in the environment in Serbia.

RADIJACIONO-HIGIJENSKA EKSPERTIZA PROIZVODA OD MLEKA U GRANIČNOM PROMETU

Radosav Mitrović*,Dubravka Vuković*, Ranko Kljajić**, Branislav Petrović***

* Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd, Vojvode Toze 14
** Naučni institut za veterinarstvo "Novi Sad", Novi Sad, Rumenački put bb
*** Veterinarski fakultet, Beograd, Bulevar JNA 18.

Rezime: Iznet je deo rezultata rada radijaciono - higijenske ekspertize mleka i proizvoda od mleka u graničnom prometu, kroz aktivnosti Analitičko - arbitražne radiometrijske laboratorije (AARL) za SRJ u prvom krugu radijacionog biotehničkog monitoring sistema (BIMOS).

Ključne reči: RH - ekspertiza, proizvodi od mleka, granični promet

1 UVOD

U poslednje dve decenije dogodile su se nuklearne nesreće na mirnodopskim nuklearnim postrojenjima, koje su u znatnoj meri radioaktivno kontaminirale biosferu [3,7,8]. Iz prakse je poznato da raspodela atmosferskih padavina nije ujednačena, što uzrokuje da i radioaktivna kontaminacija teritorije nije homogena [1,2,3]. Zbog toga nivo aktivnosti fisionih produkata u mleku i proizvodima od mleka značajno variraju u odnosu na poreklo - lokalitet zemlje izvoznice, tako da pažnju treba usmeriti ka sprovodjenju redovne radijaciono - higijenske ekspertize u graničnom prometu. U prilog ove konstatacije je i postavljen cilj ovog rada, da ukaže na aktivnosti Analitičko arbitražne radiometrijske laboratorije (AARL) za SRJ u PRVOM KRUGU RADIJACIONOG BIOTEHNIČKOG MONITORING SISTEMA (BIMOS), i opravdanost radijaciono - higijenske ekspertize u graničnom prometu.

2 MATERIJAL I METOD RADA

- MATERIJAL - Iz grupe proizvoda od mleka, koji su tokom 1994. godine podvrgnuti radijaciono - higijenskoj ekspertizi u graničnom prometu, izdvojeni su: mleko u prahu sirevi i maslac, kao tipični predstavnici.

- METOD RADA - Gama spektrometrijska analiza na poluprovodničkom HPGe detektoru proizvodjača EG*G ORTEC, tipa GEM - 25195 - P, rezolucije 1,80 keV na E=1332 keV za Co-60, a efikasnosti 27,5 % za tu energiju. Detektor je povezan sa raçunarom IBM PS/2 model 30 sa softverskim paketom.

3 REZULTATI I DISKUSIJA

Pod radijaciono - higijenskom ekspertizom namirnica podrazumeva se identifikacija biološki značajnih radionuklida i utvrdjivanje njihovih nivoa aktivnosti [7,8]. Pažnju treba usmeriti na one radionuklide koji će uticati na pojavu najviše doze u tkivima čoveka, zbog čega se nazivaju KRITIČNIM RADIONUKLIDIMA.Tipičan predstavnik ove grupe je radioaktivni cezijum (Cs-134 i Cs-137) koji je relevantan za uvozno-izvozne sertifikate [1,2,3,6].

Pregled prosečnih nivoa aktivnosti radioaktivnog cezijuma u mleku u prahu, siru i maslacu po poreklu, prikazan je u tabelama 1, 2 i 3.

Tabela 1 - Prosečni nivo aktivnosti radioaktivnog cezijuma u mleku u prahu sa pregledom porekla

Broj uzoraka po poreklu: Litvanija 5, Češka 15, Poljska 14(3+)*, Ukrajina 49(4+)*, Rusija 23(4+)*, Nemačka 3, Estonija 1, Bugarska 1, Holandija 3, nepoznato poreklo 9(1+)*		
Nivo aktivnosti u Bq/kg od N123		
$C_s - 134$	$C_s - 137$	$C_s - (134 + 137)$
$\bar{x}$ 0.49 ± 0.23	$\bar{x}$ 3.00 ± 5.32	$\bar{x}$ 3.49 ± 5.52
min 0.12	min 0.24	min 0.50
max 1.32	max 26.8	max 27.44
Iv 1.20	Iv 26.56	Iv 26.94
* - broj uzoraka - kontigenata koji je vraćen sa granice.		

Tabela 2 - Prosečni nivo aktivnosti radioaktivnog cezijuma u siru sa pregledom porekla

Broj uzoraka po poreklu: Republika Srpska Krajina 17, Rusija 4, Ukrajina 1, Madjarska 1, Srbija (dom. proiz.) 1.		
Nivo aktivnosti u Bq/kg od N24		
$C_s - 134$	$C_s - 137$	$C_s - (134 + 137)$
$\bar{x}$ 0.24 ± 0.07	$\bar{x}$ 0.29 ± 0.12	$\bar{x}$ 0.53 ± 0.18
min 0.11	min 0.19	min 0.33
max 0.51	max 0.55	max 0.97
Iv 0.40	Iv 0.36	Iv 0.64

Tabela 3 - Prosečni nivo aktivnosti radioaktivnog cezijuma u maslacu - puteru sa pregledom porekla

Broj uzoraka po poreklu: Češka 21, Ukrajina 4, nepoznato poreklo		
Nivo aktivnosti u Bq/kg od N26		
$C_s - 134$	$C_s - 137$	$C_s - (134 + 137)$
$\bar{x}$ 0.23 ± 0.08	$\bar{x}$ 0.29 ± 0.12	$\bar{x}$ 0.52 ± 0.15
min 0.14	min 0.15	min 0.32
max 0.51	max 0.59	max 0.86
Iv 0.37	Iv 0.44	Iv 0.54

Zakonska regulativa SRJ u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja zasnovana je na medjunarodnim normama i preporukama koje formulišu medjunarodne stručne organizacije (ICRP) i odgovarajuća tela Ujedinjenih nacija (IAEA), čiji se ukupni smisao mora imati u vidu pri tumačenju pojedinih članova zakona.

Povremene promene stanovišta u ovoj oblasti, posledica su akumuliranih novih saznanja o dejstvu zračenja na žive organizme i kreću se uglavnom ka snižavanju granica izlaganja jonizujućem zračenju [4,5,6].

Od svih zemalja iz kojih se uvozi mleko i proizvodi od mleka, traži se da navedeni proizvodi ispune odredjene radijaciono - higijenske uslove. To konkretno znači da u navedenim proizvodima sadrzaj biološki značajnih radionuklida fisionog porekla ne sme biti iznad donjih granica detekcije sistema za gamaspektrometriju visokog stepena rezolucije (u tragovima - granicama fona), što je regulisano našom nacionalnom regulativom. Stim u vezi normativ za dozvoljeni sadržaj biološki značajnih radionuklida fisionog porekla - radioaktivni stroncijum (Sr-90) i cezijum (Cs-134 i Cs-137)-je $\leq 1 Bq/kg$ ili litru za namernice.

Ovaj normativ je zasnovan na principu ALARA, koji je usvojen od vodećih vlada na medjunarodnom planu i propisan od strane IAEA, a podržan je i od strane saveznog ministarstva za zdravstvo. Medjutim u kontekstu izloženog treba uvažiti i izvesne specifičnosti pojedinih proizvoda, kao što je na primer mleko u prahu (tipičan predstavnik iz grupe koncentrovanih proizvoda od mleka), gde se u obzir uzima koncentracioni faktor i faktor rekonstitucije, pa je dozvoljeni nivo aktivnosti 10 Bq/kg.

U prvom krugu BIMOS-a (granična kontrola predmeta veterinarsko-sanitarnog nadzora), koju sprovodi Analitičko - arbitražna radiometrijska laboratorija Naučnog instituta za veterinarstvo Srbije iz Beograda (u statusu REFEREN RL za SRJ), ovaj pristup procene radijaciono - higijenske ispravnosti se doslovno sprovodi. Tako je u 1994. godini radijaciono - higijenskoj ekspertizi podvrgnuto 123 pošiljaka mleka u prahu, 24 pošiljaka raznih vrsta sireva i 26 pošiljaka maslaca, koji potiču iz različitih zemalja Evrope. Različito poreklo ova tri proizvoda uslovilo je i različite nivoe aktivnosti radioaktivnog cezijuma, prikazanih u tabelama 1, 2 i 3.

Radijaciono - higijenskom ekspertizom ustanovljen je visok radijacioni rizik pri korišćenju mleka u prahu koje potiče iz Ukrajine, Rusije i Poljske. Sa drzavne granice u 1994.god. je vraćeno 12 pošiljaka mleka u prahu (iz Ukrajine i Rusije po 4, Poljske 3 i jedna nepoznatog porekla), za razliku od pošiljaka sira i maslaca koji su zadovoljili radijaciono - higijenaske zahteve - uslove.

4 ZAKLJUČAK

U uslovima hronične radioaktivne kontaminacije biosfere (severne zemljine hemisfere), procena upotrebne vrednosti mleka i proizvoda od mleka sa aspekta radijaciono - higijenske ispravnosti, naročito pri uvozu, je imperativ trenutka u pružanju odgovora na svetski izazov kvaliteta Q - 2000. U tom smislu javna veterinarska služba daje pun doprinos kroz realizaciju PRVOG KRUGA BIMOS-a.

Literatura:

1. Assimakopulos P. A. et al. (1989): "Decrease in ovine milk radiocesium following removal do sheep from a contaminated pasture", Health Physics, Vol. 57 (1), 183 - 186.
2. Bertilsson J., I. Andersson, K. J. Johanson (1988): "Freeding green - cut forage contaminated by radioactive fallaut to daire cows", Health Physics, Vol. 55 (6), 855 - 862.
3. Mitrović R. (1989): Rezultati praćenja kvaliteta mleka i mlečnih proizvoda sa aspekta kontaminacije radioaktivnim cezijumom ($C_s - 134$ i $C_s - 137$)", Mljekarstvo, Zagreb, 39 (10), 261 - 270 .
4. Pavlović Snežana, Plećaš Ilija (1994): "Stručno mišljenje o dozvoljenim količinama radionuklida u mleku u prahu ", Institut za nuklearne nauke "Vinča" - Beograd.
5. Kraljević P. (1990): "Radijaciono - higijenski nadzor nad stočnom hranom, životinjama i njihovim proizvodima radi zaštite od radijacionog rizika", Veterinarska stanica, 21 (1), 45 -54.
6. Mitrović R. (1989): "Savremeni postupci praćenja kvaliteta mleka i mlečnih proizvoda sa aspekta radijaciono - higijenske dijagnostike ", XIII Simp. za mljekarsku industriju, Lovran.
7. Petrović B., R. Mitrović (1991): "Radijaciona higijena u biotehnologiji", Naučna knjiga, Beograd.
8. Petrović B., R. Mitrović (1994): "Radijaciona zaštita u biotehnologiji", DP Institut za mlekarstvo, Novi Beograd.

Abstract:

Radiation - hygienic expert opinion for dairy products in border crossing
Radoslav Mitrović, Dubravka Vuković, Ranko Kljajić, Branislav Petrović

In this paper we presented some rezults of radiation - hygienic expert opinion for milk and dairy products in border - crossing, trough the activity of Analitical - arbitration radiometric laboratory (AARL) for SRJ in the first circle radiation monitoring sistem (BIMOS).

Key words: RH - expert opinion, dairy products, border crossing.

VAŽNOST BIOINDIKATORA ZA PROCENU RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE

Slobodanka Stanković, Ana Stanković
INEP-Institut za primenu nuklearne energije, Zemun, Banatska 31b

Rezime

Analiziran je nivo aktivnosti Cs^{137} i Cs^{134} u uzorcima bioindikatora: lišajevima, mahovini, gljivama, šišarkama iz Nacionalnog parka Durmitor i pokazano da svi ovi uzorci sadrže visok nivo radiocezijuma u 1993. godini. Izmereni niži nivo aktivnosti lišaja Usnea barbata u 1994. godini ukazuje na znatno odstupanje fizičkog vremena poluraspada od biološkog za radiocezijum-137, kao i pretpostavku da je u svim ostalim uzorcima nivo aktivnosti radiocezijuma znatno niži u odnosu na prethodne godine.

Ključne reči: bioindikatori, lišajevi, mahovine, gljive, radiocezijum.

1. Uvod

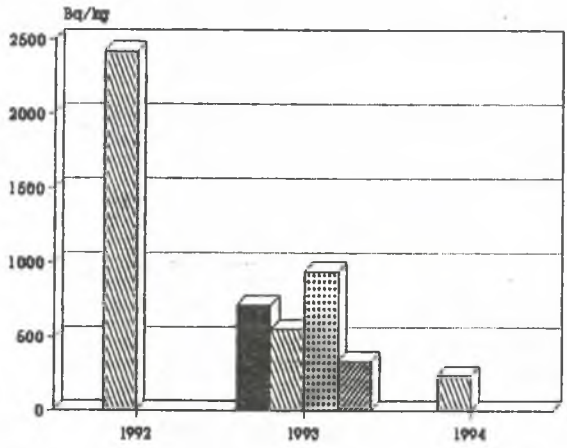
Lišajevi, mahovine, gljive, puževi, divljač zbog izražene osobine da akumuliraju toksične supstance kao što su radionuklidi, teški metali, pesticidi smatraju se bioindikatorima zagadjenja životne sredine. Merenja nivoa aktivnosti radiocezijuma 137 i 134 u lišajevima, gljivama, mesu divljači i puževima vršena su u periodu od 1986. do 1991. godine, sakupljenih na teritoriji uže Srbije. Maksimalne vrednosti su izmerene 1987. godine i iznose 13610 Bq/kg kod lišaja hrasta. Kod divljači izmerene vrednosti su varirale s obzirom na vrstu i starost. Maksimalne vrednosti kod puževa su izmerene 1987. godine od 521 Bq/kg i kod smrčka od 2389 Bq/kg (1).

Široko rasprostranjenim bioindikatorima smatraju se lišajevi, zbog izrazito velike adsorpcione površine biljke. Kako ove biljne vrste nemaju razvijen korenov sistem, znači da koncentracije radionuklida, teških metala i pesticida u njima odgovaraju koncentracijama istih toksikanata u suvom i vlažnom atmosferskom talogu (2,3), mada se i uticaj supstrata ne bi smeo sasvim zanemariti (4). Posebno, depozicija radionuklida u lišajevima je omogućena morfofiziološkim karakteristikama (dug život, neodbacivanje starih delova talusa, odsustvo kutikule) što čini ove biljke osetljivim prema radiopolutantima.

U lišajevima visokoplaninskih sistema, kao na primer u Nacionalnom parku Durmitor izmereni su visoki nivoi aktivnosti radiocezijuma 137 i 134 (do 6327 Bq/kg 1992. godine) (5). Ovako visok nivo aktivnosti radiocezijuma nagoveštava višu kontaminaciju visokoplaninskih ekosistema, što je i potvrdjeno analizama u 1993. godini šumskog rastinja, podloge i šumskih plodova, prikazanih u ovom radu.

2. Materijal i metode

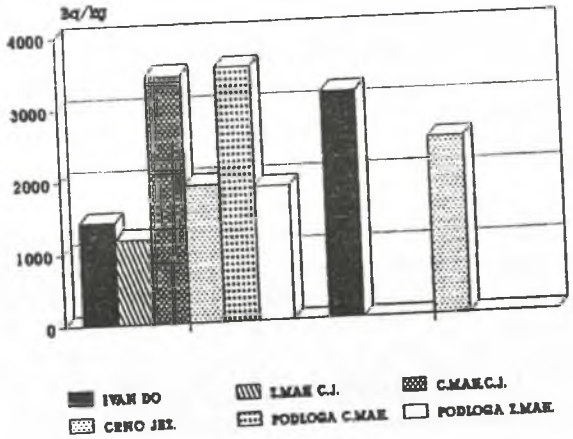
Rezultati o nivou aktivnosti radiocezijuma 137 i 134 u uzorcima lišajeva, mahovina, podloge mahovina, gljiva, šišarki smrče prikazani su grafički kao srednje vrednosti od šest merenja sa standardnom devijacijom do 10%. Uzorci su homogenizovani i mereni na ORTEC-CANBERRA gamaspektrometru sa 8192 kanala. Svi uzorci potiču iz 1993. godine izuzev lišaja Usnea barbata iz 1992. i 1994. godine.



Slika 1. Nivo aktivnosti Cs^{137} i Cs^{134} u lišaju Usnea barbata

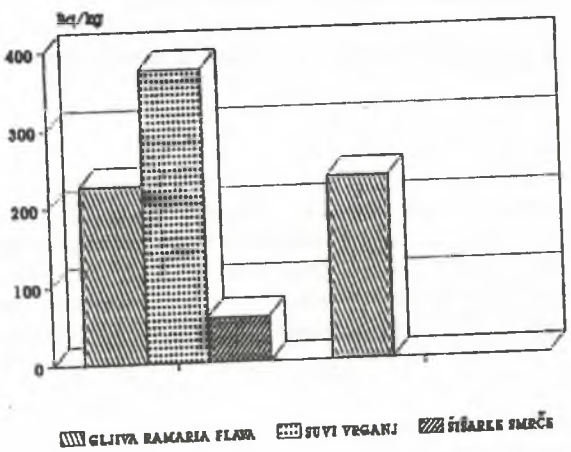
Sa slike 1. je očigledno da nivo aktivnosti radiocezijuma 137 i 134 u uzorcima lišajeva opada znatno brže od fizičkog vremena poluraspada. Zapaža se, takodje, da je nivo aktivnosti radiocezijuma 137 i 134 u lišaju Usnea barbata različit i da uglavnom zavisi od mesta nalaženja i od starosti biljke. Lišaj Usnea barbata uglavnom raste na drveću i kao brada u nitima izrasta iz njihovih stabala. Uporedjujući nivoe kontaminacije radiocezijumom 137 i 134 ove lišajske vrste sa ostalim lišajevima koji rastu na tlu (Lichen islandica, Cladonia, Peltigera canina i dr.) naša ispitivanja su pokazala da su lišajevi čija je podloga drvo manje kontaminirani od ostalih (5). U 1994. godini nivo aktivnosti radiocezijuma 137 i 134 izrazito opada i može se

očekivati da je i kod svih ostalih uzoraka znatno manji nivo kontaminacije.



Slika 2. Nivo aktivnosti Cs^{137} i Cs^{134} u mahovini i podlozi

Na slici 2. prikazani su nivoi kontaminacije radiocezijumom 137 i 134 mahovina i njihovih podloga. I mahovine, kao i njihove podloge (šumsko zemljište) sadrže Cs^{137} i Cs^{134}, zavisno od lokacije i starosti biljke. Više su kontaminirane podloge mahovina u odnosu na biljku, što potvrdjuje stav da se uticaj supstrata ne bi smeo zanemariti. Takodje, više su kontaminirani uzorci starijih biljaka (crna mahovina).



Slika 3. Nivo aktivnosti Cs^{137} i Cs^{134} u gljivama i šišarkama

Na slici 3. prikazani su rezultati nivoa aktivnosti Cs^{137} i Cs^{134} u gljivama (svežim i suvim) i šišarkama. Uzorci svežih gljiva (Ramaria flava - griva) poseduju radiocezijum 137 i 134, kao i uzorci suvog vrganja. Viši nivo radiocezijuma u uzorcima gljiva može se očekivati, jer se radi o šumskim plodovima koji su kontaminirani i zbog radioaktivnosti podloge. Sa iste slike zapaža se da i šišarke smrče poseduju radiocezijum 137 i 134, ali znatno manje u poredjenju sa šumskim biljem i plodovima, odnosno lišajevima, mahovinom i gljivama.

3. Literatura

[1] Stanković S., Stanković A., Krainčanić M.: Komparativno ispitivanje nivoa kontaminacije radiocezijumom 137 i 134 nekih bioindikatora, Zbornik radova XVII Jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, pp.65-68, 1993.

[2] Eckel P., Hofmann W., Turk R.: Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms, Radiation Environmental Biophysics, Vol.25, pp.43-54, 1986.

[3] Eckel P., Hofmann W., Turk R.: Uptake of natural and man-made radionuclide concentrations in lichens at several locations in Austria, Nordic Journal of Botany Vol.4, pp.521-524, 1984.

[4] De Bruin M.: Epiphytic lichens as indicators for heavy metal air pollution: What do they reflect? Proceedings International Conference on Heavy Metals in the Environment, Part 1, pp.359, 1985.

[5] Stanković S. i saradnici: Radioaktivno zagadjenje biosfere Nacionalnog parka Durmitor, elaborat, INEP, 1993.

THE IMPORTANCE OF BIOINDICATORS IN THE ASSESSMENT OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

Slobodanka Stanković, Ana Stanković

Abstract

The activity levels of Cs^{137} and Cs^{134} in samples of bioindicators such as: lichen, mosses, fungi, pine cones from the Durmitor National Park have been analyzed. All of these samples had a high content of radiocaesium in 1993. The lower activity level monitored for the lichen Usnea barbata in 1994. suggests a remarkable discrepancy between the physical and biological half lives for Cs^{137}. It may be presumed that the activity level of radiocaesium is lower in all other samples compared with those from previous years, as well.

Key words: bioindicators, lichens, mosses, fungi, radiocaesium.

КОРЕЛАЦИЈА МЕРЕЊА УКУПНЕ β АКТИВНОСТИ ВОДЕ ЗА ПИЋЕ И ЈАЧИНЕ ДОЗЕ γ ЗРАЧЕЊА У ВАЗДУХУ

Томислав Бојовић[+], *Милан Орлић*[#], *Зоран Бошковић*[+]
[+]Војномедицинска академија, Београд
[#]Војнотехнички институт ВЈ, Београд, Катанићева 15

Резиме:
У раду су дати резултати мерења укупне бета активности воде за пиће и јачине дозе гама зрачења у ваздуху после удеса у Чернобилу до данас. Нађена је корелација између ове две зависности.

Кључне речи: гама зраци, бета зраци, укупна бета активност, јачина дозе

1. Увод

У оквиру систематског мониторинга радиоактивности животне средине у случају нуклеарног удеса, врше се, поред осталих, мерења укупне бета активности воде за пиће и јачине дозе гама зрачења у ваздуху (фон).

И поред све чешћег гамаспектрометријског *мерења активности радионуклида присутних у води за пиће*, намирницама и, уопште, у животној средини, мерење укупне бета активности је задржало своју улогу. Мана гама спектрометрије, као брзе методе, је немогућност мерења радиоактивности чистих бета емитера. Међу њима најзначајнији са становишта заштите људи је стронцијум-90 (^{90}Sr). При мерењу његове активности користе се специфичне физичкохемијске методе[1]. Међутим, ове методе су сложене и захтевају дуготрајну припрему узорака и мерење. У случају нуклеарних удеса то је незадовољавајуће па се имак прибегава мерењу укупне бета радиоактивности.

Мерење јачине дозе гама зрачења у ваздуху обавља се у систему непрекидног мониторинга у циљу праћења радиоактивности у животној средини. Ова мерења обављају се обично једном дневно. Пошто то није довољно за случај нуклеарних удеса, где се мора што пре реаговати, јављају се и аутоматски системи за непрекидно мерење јачине дозе гама зрачења у ваздуху[2]. Овакви системи се увезују у мреже што омогућује брзу размену информација.

У овом раду приказани су резултати мерења укупне бета радиоактивности у води за пиће од Чернобила до краја 1994. године. Ова мерења обављена су на Војномедицинској академији у Београду. Поред тога приказани су резултати мерења јачине дозе гама зрачења на локацији Београд (Кумодраж) обављених у Војнотехничком институту у Београду у истом временском периоду.

2. Мерне методе

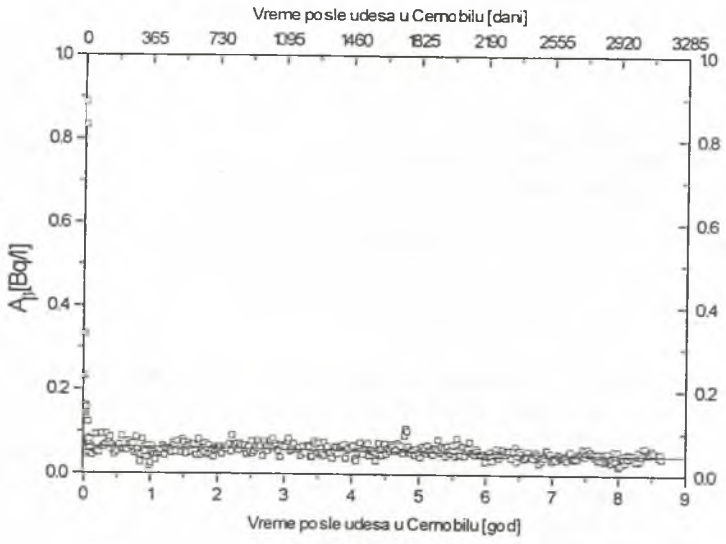
Мерење укупне бета активности воде за пиће обављено је помоћу гасног проточног бројача који има прозор дебљине 80 μg/cm^2. За мерење је коришћен уређај Canberra Low Level α, β System.

Припрема узорака за мерење вршена је упаравањем воде за пиће. Минерални остатак стављан је у планшете за мерење Ф48 mm, што одговара маси од 1 g. Због тога је и калибрација система обављена са KCl масе 1 g.

За мерење јачине дозе гама зрачења у ваздуху коришћен је аутомаски систем мониторинга[1] или Мерач радиоактивне контаминације МРК-М87 (произвођач "Чајавец" - Бања Лука). У оба случаја као детектор се користи ГМ бројач. Грешка мерења мања је од ±20%, што је довољно добро за овакву врсту мерења.

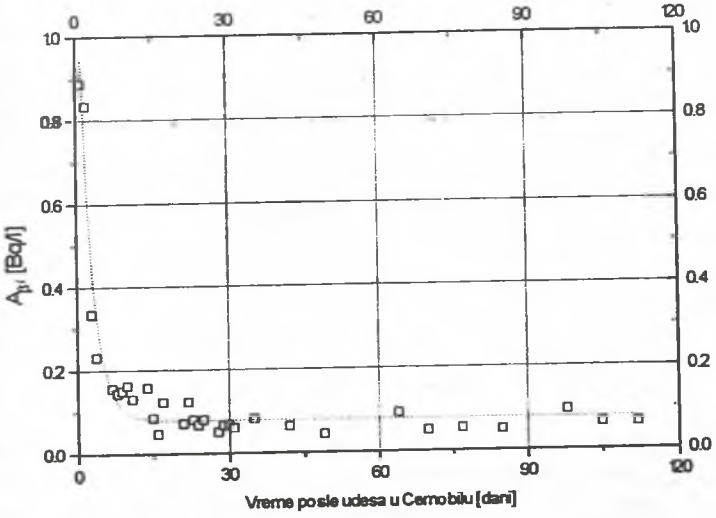
3. Резултати мерења

Резултати мерења укупне бета радиоактивности воде за пиће у периоду од Чернобила до краја 1994. године приказани су на сл.1.



Сл.1 Масена бета радиоактивност у води за пиће после Чернобила

Током 1986. године дошло је до бржег опадања бета радиоактивности воде за пиће. Стога је то опадање приказано на сл. 2.



Сл.2 Масена бета радиоактнвност у води за пиће прва четири месеца после удеса у Чернобилу

Опадање бета радиоактивности воде за пиће, изражене у јединицама [Bq/l],током 1986. године може успешно да се опише помоћу експоненцијалне криве добијене фитовањем изворних података методом најмањих квадрата

$$A_\beta = 1.32968 \cdot e^{-\frac{t}{2.239}}$$

где је t - време после удеса у Чернобилу изражено у данима.

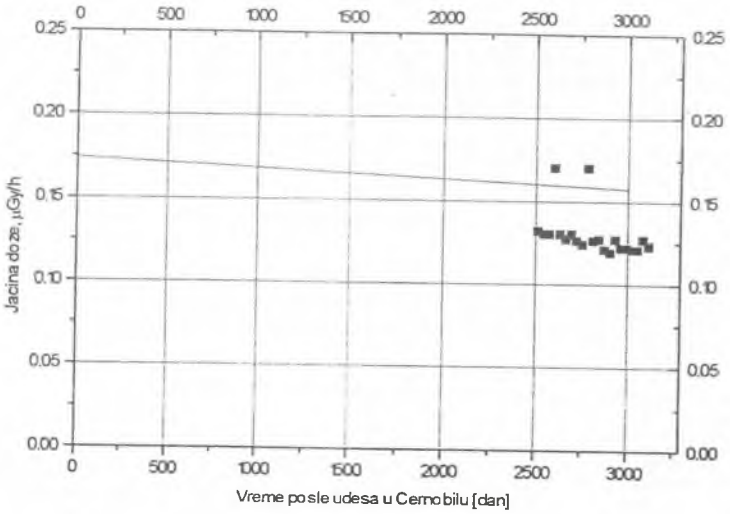
Касније опадање је знатно слабије и добро се описује правом линијом добијеном такође фитовањем методом најмањих квадрата

$$A_\beta = 0.06489 - 6.01 \cdot 10^{-6} \cdot t$$

Резултати мерења фона (јачине дозе гама зрачења) у истом временском периоду приказани су на сл.2. Линијом су приказани резултати мерења фона на локацији Кумодраж у Београду[2], за које је добијена аналитичка апроксимација

$$D = 0.1875 - 5.51 \cdot 10^{-6} \cdot t$$

где је D_γ - јачина дозе гама зрачења у јединоцама [μGy/h], а t - време у данима после удеса у Чернобилу.



Сл.3 Резултати мерења фон на локацији Кумодраж после удеса у Чернобилу

4. Закључак

При обе врсте мерења (масена радиоактивност воде за пиће и фон) уочљиво је опадање мерене вредности са временом. То је последица удеса у Чернобилу. Опадање ће се наставити све до достизања вредности пре Чернобила.

Интересантно је приметити да је коефицијент нагиба обе функције приближно исти (-6×10^{-6} за бета радиоактивност и 5.51×10^{-6} за фон), што значи да између ова два мерења постоји одређена корелација. Она је условљена пре свега радиоаттивношћу избаченом у човекову околину при удесу у Чернобилу.

Литература

[1] Kiefer, H., Maushart, R., RADIATION PROTECTION MEARUREMENTS, Pergamon press, Oxford, 1972

[2] Орлић,М., Глишовић,Д., Баруџија,У., "Аутоматски систем мониторинга радиоактивности у околини", Научно-технички преглед, Vol. XLI, бр.2, стр.26-32, 1991.

CORRELATION BETWEEN BETA ACTIVITY IN DRINKING WATER AND AIR DOSE RATE MEASUREMENTS

Tomislav Bojović, Milan Orlić, Zoran Bošković

Abstract:

The results of beta activity in drinking water and air dose rate measurements are presented. The correlation between this results has been found.

Key words: ionizing radiation, radiation protection, nuclear safety, legislation

ISTRAŽIVANJE RADIOAKTIVNOSTI GRAĐEVINSKOG MATERIJALA

Ištvan Bikit, Jaroslav Slivka, Ljiljana Čonkić, Miodrag Krmar,
PMF Institut za fiziku, Novi Sad, Dr Ilije Đuričica 4
Branka Pavlić,
DTD Kanal GDP, Novi Sad, Bul.Mihaila Pupina 25

Rezime

Da bi se dobile osnovne veličine relevantne za procenu stepena ozračenja stanovništva potrebno je sistematski kontrolisati sadržaj prirodnih radionuklida, kako u sirovinama za građevinski materijal, tako i u finalnim proizvodima i građevinskom zemljištu U ovom radu su dati rezultati merenja koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida za 50 uzoraka građevinskog materijala i zemljišta. Rezultati su upoređeni sa sličnim merenjima u svetu.

Ključne reči: prirodni radionuklidi, građevinski materijal, koncentracija aktivnosti

1. Uvod

Stanovništvo industrijski razvijenih zemalja oko 80% vremena provodi unutar stambenih i radnih prostorija, te veliki doprinos u dozi koja potiče od prirodnih izvora jonizujućeg zračenja imaju prirodni radionuklidi koji ulaze u sastav građevinskog materijala i građevinskog zemljišta (eksterno ozračivanje) pri čemu je najkritičniji Rn-222, plemeniti gas, α-emiter sa periodom poluraspada od 3 8 dana (interna radijacija pluća usled inhalacije Rn i njegovih potomaka).

Eksperimentalna istraživanja u ovom radu posvećena su analizi niza građevinskih materijala i nekih građevinskih zemljišta u cilju sticanja globalnog uvida u prosečni nivo radioaktivnosti i omogućavanja optimalnog izbora građevinskih materijala kao i eventualnog korigovanja postojeće (nepotpune) zakonske regulative.

2. Merna tehnika

S obzirom na malu koncentraciju aktivnosti prirodnih radionuklida uranijumovog radioaktivnog niza u građevinskim materijalima i zemljištu, da bi se postigla zadovoljavajuća statistika spektrainih intenziteta, neophodno je da se merenja vrše na relativno velikim uzorcima, na detektoru velike efikasnosti i pod uslovima niskog fona. Merenja su izvršena Ge-poluprovodničkim detektorom smeštenim u čeličnu zaštitnu komoru debljine zidova 25cm. Signali iz detektora, pojačani standardnim pojačivačem, registrovani su u višekanalnom analizatoru sa 4096 kanala i obrađeni standardnom kompjuterskom procedurom.

3. Rezultati i diskusija

Ispitano je 45 uzoraka najčešće korišćenog građevinskog materijala i 5 uzoraka građevinskog zemljišta. Rezultati merenja specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida su

dati u Tabeli 1. U Tabeli 2. dati su rezultati merenja specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u nekim stranim zemljama za najčešće korišćene građevinske materijale.

Uočljivo je da efektivna specifična aktivnost radionuklida u građevinskim materijalima ima širok dijapazon vrednosti (od7 do 4700 Bk/kg). Pesak i šljunak po pravilu imaju specifičnu aktivnost blisku specifičnoj aktivnosti tla ili zemljine kore [1]. Za glinu i crvenu opeku je karakteristična umereno povišena specifična aktivnost, dok je za silikatnu opeku specifična aktivnost nekoliko puta niža nego za crvenu (glinenu) opeku. Za beton su karakteristične dosta velike varijacije u specifičnim aktivnostima, uslovljene, pre svega specifičnim aktivnostima komponenata .

Tabela 1 . Specifična aktivnost prirodnih radionuklida u različitim građevinskim materijalima i zemljištu

BR.	UZORAK	SPECIFIČNA AKTIVNOST [Bq/kg]			
		Ra-226	Th-232	K-40	*Ra-eq
1.	Portland cement a	48±4	21±2	81±7	84
2.	Portland cement b	45±4	13±2	88±7	70
3.	Portland cement c	61±2	25±1	263±20	117
4.	Portland cement d	63±2	25±1	171±14	112
5.	Portland cement e	67±2	24±1	258±18	121
6.	Portland cement f	43±1	18±1	118±12	78
7.	Cement PC45 Z15 BFC	72±5	16±1	225±14	112
8.	Cementni malt.(3:1)	6±1	9±1	213±10	35
9.	Produžni malt.(3:1:1)	5±1	8±1	152±11	28
10.	Krečnjak	9±3	9±2	89±8	29
11.	Gašeni kreč	<2	<0.9	<7	<4
12.	Pesak (iz Dunava)	9±2	10±1	292±16	46
13.	Pesak (iz Dunavca)	10±4	8±1	267±17	42
14.	Siporeks BFC	8±1	8±2	157±20	32
15.	Siporeks Tuzla	5±1	4±1	50±10	15
16.	Puna opeka P/varadin	30±2	43±2	670±30	143
17.	Crvena opeka	42±3	54±4	770±40	179
18.	Blok (šuplja opeka)	47±4	57±5	620±30	176
19.	Blok 37 - dimnjak	75±10	35±5	290±20	147
20.	Ispuna (TM blok)	49±4	60±6	650±30	185
21.	Stiropor	14±3	14±4	90±40	41
22.	Agregat(prir.meš. SM)	5±1	10±2	253±15	39
23.	Kompozit 2/1 BFC	70±8	27±5	280±50	130
24.	Kompozit 2/2 BFC	81±7	29±5	340±60	149
25.	Rotacioni klinker	37±3	17±2	126±9	71
26.	Laporac (filijala)	31±4	21±2	278±17	82
27.	Fosforgips I	37±3	3±1	41±4	44
28.	Fosforgips II	1215±180	8±5	29±3	1229
29.	Gips Jordanski	437±12	7±3	<21	449
30.	Piritna izgoretina	7±1	4±1	36±4	15
31.	Šljaka svetla	73±3	38±2	291±18	150
32.	Šljaka tamna	68±3	35±2	266±17	139
33.	Pepeo NTA Obrenovac 1	75±13	77±14	420±50	217
34.	Pepeo NTA Obrenovac 2	101±10	110±15	460±60	294
35.	Pepeo NTA Obrenovac 3	40±12	26±6	250±40	96
36.	Pepeo NTA Obrenovac 4	53±14	44±6	230±40	134
37.	Pepeo Loznica	35±1	19±1	152±13	74
38.	Pepeo TE Ugljevik 1	183±4	49±2	403±27	284
39.	Pepeo TE Ugljevik 2	229±6	59±3	434±25	347
40.	Pepeo iz BFC 1	31±5	16±3	200±40	69
41.	Pepeo iz BFC 2	52±7	36±7	300±50	127
42.	Pepeo iz BFC 3	130±3	89±4	320±23	282
43.	Pepeo iz BFC 4	67±2	33±2	225±19	132
44.	Pepeo iz BFC 5	80±3	41±2	332±22	164
45.	Pepeo iz BFC 6	60±2	36±2	310±20	135
46.	Gradjev. zemlj. NS1	31±6	55±4	710±30	164
47.	Gradjev. zemlj. NS2	40±2	53±6	690±30	169
48.	Gradjev. zemlj. NS3	44±2	61±4	760±40	190
49.	Gradjev. zemlj. NS4	39±3	55±6	710±30	172
50.	Gradjev. zemlj. NS5	48±4	56±4	760±40	187

*Ra-eq efektivna specifična aktivnost, mera za procenu radijacionog rizika pri primeni datog materijala.

$$Ra\text{-}eq = A(Ra) + 1.43\,A(Th) + 0.077\,A(K)$$

Po našem Pravilniku o maksimalnim granicama radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i o vršenju dekontaminacije, treba da bude Ra-eq < 400 Bk/kg.

Tabela 2. Specifična aktivnost prirodnih radionuklida u različitim građevinskim materijalima u svetu

GRADJ. MATERIJAL	ZEMLJA POREKLA	BROJ UZORAKA	SPECIFICNA AKTIVNOST [Bk/kg] Ra-226	Th-232	K-40	Ra-eq	LITERATURA
Cement	SAD	4	18	11	111	41	[11]
"	SAD	–	51	8	129	7	[12]
"	V. Brit.	6	22	18	155	59	[3]
"	Norveška	4	30	18	241	74	[4]
"	Madjar.	12	26	18	149	63	[5]
"	Finska	7	44	26	241	98	[3]
"	Švedska	–	55	47	241	137	[3]
"	SRN	14	<26	<18	241	<7	[3]
"	NDR	10	55	23	326	113	[6]
"	Hong Kong	3	36	20	205	80	[2]
"	Kina	–	60	32	184	120	[13]
Agregat	SAD	4	30	30	444	107	[11]
	V. Brit.	10	4	7	33	16	[3]
	Finska	166	37	43	1054	183	[3]
	SRN	50	<15	<18	241	59	[3]
	NDR	59	15	16	340	65	[6]
	Hong Kong	2	44	43	736	162	[2]
Kreč	SRN	8	<30	22	185	<75	[10]
	NDR	2	44	85	81	162	[6]
Gips	V. Brit.	75	22	7	141	43	[3]
	Norveška	2	11	3	11	16	[3]
	SRN	23	<18	<10	96	<38	[3]
	Švedska	–	4	1	22	7	[3]
	NDR	7	<9	<7	<74	<24	[6]
Cigla	V. Brit.	25	42	44	703	170	[3]
Silikat. c.	V. Brit.	13	15	4	333	48	[3]
Cigla	Norveška	18	63	74	1136	257	[4]
Crvena c.	Madjar.	15	44	52	592	162	[5]
Crep	Madjar.	26	48	52	629	169	[5]
Cigla	Finska	33	78	62	962	241	[3]
Pela c.	Finska	3	22	23	577	101	[3]
Crep	Švedska	–	96	127	962	344	[3]
Crvena c.	SRN	–	59	60	722	199	[6]
Silikat. c.	SRN	–	11	6	270	42	[6]
Crvena c.	Hong Kong	4	78	100	624	269	[2]
Pepeo	SAD-Illin.	–	3145	7	1850	3310	[7]
Pepeo	SAD-Mineap.	–	115	15	407	170	[7]
Šljaka	-	–	166	18	962	272	[7]
Fosforgips	-	10	958	–	–	960	[8]
Fosforgips	-	–	1221	10	–	1240	[3]
Otpad uran.							
Industrije	SAD	–	4625	–	–	4730	[3]
Pepeo	Poljska	19	133	109	451	314	[9]
Fosforgips	V. Brit.	60	629	18	41	656	[3]
Šljaka	Norveška	6	96	60	818	245	[3]
Šljaka	Finska	3	102	69	196	209	[3]
Fosforgips	SRN	2	56	<18	<37	<83	[10]
Pepeo	SRN	28	211	129	721	441	[3]
Šljakobeton	Madjar.	2	111	30	185	166	[5]

Specifična aktivnost prirodnih radionuklida u građevinskim materijalima zavisi takođe i od mesta proizvodnje sirovina za spravljanje građevinskog materijala. U skandinavskim građevinskim materijalima je po pravilu viša nego u materijalima iz drugih zemalja [1]. Visoka specifična aktivnost izmerena je u gipsu, fosforgipsu i crvenoj šljaci.

Analizom 45 uzoraka najčešće korišćenih građevinskih materijala i upoređivanjem sa sličnim rezultatima u svetu, ustanovljeno je da koncentracija aktivnosti nekih kritičnih radionuklida u pojedinim komponentama može da varira i za faktor 1000, dok kod ispitivanog građevinskog zemljišta nije bilo drastičnih razlika. Globalnim uvidom u ove vrednosti zaključuje se da su eksperimentalno dobijene vrednosti specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida za naše materijale niže od vrednosti u našem Zakonodavstvu i od graničnih vrednosti međunarodne Komisije za atomsku energiju.

Rezultati merenja pokazuju da određene vrste fosforgipsa, koji se obično dobija kao nusproizvod kod proizvodnje fosfornih đubriva ne bi trebalo koristiti kao građevinski materijal.

Literatura

[1] KRISIUK E.M., Radiacionnij fon pomešćenij, Moskva, Energosamizdat, 1989.

[2] TSO M.Y.W., NG C.Y., LEUNG K.C.,"Radon Release from Building Materials in Hong Kong", *Health Physics* No.4, Vol.67,1994.

[3] Exposure to Radiation from the Natural Radioactivity in Building Materials: Report by an NEA Group of Experts (Kolb W. A., Chairman).Paris; NEA OECD, 1979.

[4] STRANDEN E., "Population doses from environmental gamma radiation in Norway", *Health Physics* , Vol.33,1977.

[5] TOTH A., FEHER I.,"Gamma spectrometric method for mesuring natural radioactivity of building materials", Report KFKI-76-80, Budapest, 1976.

[6] CLAJUS P. et al.,"Untersuchungen uber die Konzentration naturlicher Radionucclide in Baumaterialien in der DDR", Report SAAS-250, Berlin, 1979.

[7] BARBER D.E., GIORGIE H.R., "Gamma-ray activity in bituminous, subbituminous and lignite coals" *Health Physics* , Vol.32,1977.

[8] ROESSLER C.E. et al.,"Uranium and Radium-226 in Florida Phosphate Materials", *Health Physics* , Vol.37,1979.

[9] ZOSTAWNY A. et al., "Measurements of the thorium, uranium and potassium concentration in some samples of ashes from power-stations in Poland", *Nucleonica*, Vol.24,1979.

[10] Die Strahlenexposition von aussen in der Bundesrepublik Deutchland durch naturliche radioaktive Stofe im Freien und in Wohnungen unter Beruchichtigung des Einflusses von Baustoffern: Bericht uber ein vom Bundesminister des Innern gevordertes Forchungsvorhaben, 1978.

[11] LLOYD R.D.,"Gamma-ray emitters in concrete", *Health Physics* , Vol.31,1976.

[12] INGERSOLL J.G.,"A survay of radionuclide contents and radon emanation rates in building materials used in the U.S.", *Health Physics* , Vol.45,1983.

[13] O'RIORDAN M.C.,Hunt G.J.,"Radiological controls for construction materials", Proceedings of the International Congress of the International Radiation Protection Association,24-30 April, Paris, 1977

RADIOACTIVITY OF BUILDING MATERIALS

Ištvan Bikit, Jaroslav Slivka, Ljiljana Čonkić,
Miodrag Krmar, Branka Pavlić,

Abstract

Radionuclide contents of 45 typical building material samples and 5 soil samples was determined by gamma-ray spectroscopy. The results indicate that the average Ra-226, Th-232 and K-40 contents are not much different from those in other countries.

Key words: natural radionuclides, building materials, activity concentration

ИСПИТИВАЊЕ САДРЖАЈА ПРИРОДНИХ РАДИОНУКЛИДА У ПЕПЕЛУ ИЗ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА ОБИЛИЋ

Фериз Адровић
Природноматематички факултет, Приштина, Видовданска б.б.
Драгана Тодоровић, Марко Нинковић
Институт за нуклеарне науке "Винча", Београд

Резиме
Применом гамаспектрометријске методе, одређен је садржај природних радионуклида (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U и ^{40}K) у продуктима сагоревања термоелектрана у Обилићу. Специфичне активности природних радионуклида у испитиваним узорцима кретале су се од 10,1 *до* 67 Bq/kg *за* ^{226}Ra; *од* 13,6 *до* 32 Bq/kg *за* ^{232}Th; *од* 1,9 *до* 6,5Bq/kg *за* ^{235}U; *од* 42 *до* 138 Bq/kg *за* ^{238}U *и од* 108 *до* 243 Bq/kg *за* ^{40}K.

Кључне речи : радионуклиди, спектрометрија гама зрачења, пепео

1. Увод

Угаљ као и већина природних материјала садржи трагове природних радионуклида. Копањем и коришћењем угља, радиоактивност садржапа у њему прерасподељује се из дубине угљених слојева, где иије битио утицала на људе и биосферу и депонује на површину земље, где може битио променити количину радиоактивности и радиоеколошку слику животне средине [1]. Сагоревањем угља, као и у процесу његовог сушења, дробљења и гасификације, ослобађају се у околину бројни полутанти хемотоксичног и радиотоксичног деловања. Термоелектране на угаљ су један од већих узрочника прерасподеле природне радиоактивности, јер сагоревањем органске компоненте у угљу, запремина угља смањује се иа шљаку и пепео, што неминовно доводи и до концентрисања радиоактивног материјала у њима. Због тога су концентрације природних радионуклида у пепелу и шљаци из термоелектрана знатно веће од њихових концентрација у земљиној кори .

У процесу сагоревања, већина минералних материја из угља се претвара у пепео. Део тог пепела заједно са некомплетно сагореним органским материјама пада на дно ложишта као таложни пепео или шљака. Остали пепео врло фине структуре, заједно са неким лако испарљивим компонентама и димним гасовима, преноси се струјањем кроз котлове. На свом путу према димњаку, мала се количина пепела таложи на предгрејачима, економајзерима и предгрејачима ваздуха, док се око 90% целокупног пепела сакупља на електрофилтерима,који се потом одлаже на депоније.

Косовски лигнит је енегетско гориво са доста високим садржајем пепела и ниске топлотне моћи (топлотни ефекат је од 5400 kJ/kg до10500 kJ/kg), који у процесу сагоревања резултира у високом оптерећењу ложишта пепелом. Ово директно подстиче интензитет зашљакивања ложишта а самим тим утиче на повећање несагорелог у пепелу , а што је нагоре и до повећања емисије у атмосферу. Часовна производња електрофилтерског пепела као баласне материје износи у просеку око 240 t /h, што зависи од квалитета угља за сагоревање. Термоелектрана Косово А припада старом типу термоелектрана. Она има 5 блокова, који преко својих димњака емитују у атмосферу и преко 15% произведеног пепела. Ако се узме да ради у просеку 5.000

часова годишње, онда је количина пепела који производи износи око 1.200.000 тона годишње. Производња пепела од друге термоелектране Косово Б (састављена од два енергетска блока) која припада савременијем типу термоелектрана износи око 1.000.000 тона пепела годишње.

Лагеровање ових огромних количина електрофилтерског пепела и шљаке је велики проблем како за рад и функционисање термоелектрана, тако и за угрожавање радне и животне средине становника Обилића, Косова Поља, Приштине и околних места.У близини термоелектрана настале су многе депоније овог отпадног материјала, које својом величином личе на праве мале планине. Ове ружне депоније својим постојањем и све већим нарастањем нарушавају лепоту простране и плодне равнице, а својим физичко-хемијским саставом перманентно атакују на здравље и живот људи.

Ипак, највећа опасност за становништво Обилића, Косова Поља, Приштине, као и за шире подручје од термоелектрана, како од хемотоксичних тако и радиотоксичних контаминаната долази од летећег пепела, који се испушта из димњака термоелектране Косово А. Термоелектрана Косово А представља прави еколошки изазов за ово подручје.

2. Материјал и метода

Узорковање таложног пепела вршено је из свих фаза електрофилтрирања, као и са лагуна и депонија пепела. Узорковање шљаке обављено је испод самог бункера за шљаку (где се она налази у врелом стању), као и из станице где се шљака охладила, јер је предходно била хлађена водом. Један број узорака узет је са лагуне , где се пепео и шљака помешанн допремају помоћу цеви и канала хидрауличким путем.

Узорци који су били у влажном стању, сушени су како би се могли самлети.Да би се смањила нехомогеност састава узорка, сви узорци су после вишекратног четвртања и сушења на температури од 105°C, млевени до гранулације финог праха и свођени на константну масу. Осим млевења и сушења, наше узорке нисмо подвргавали никаквом другом физичком или пак хемијском третману. После извршене хомогенизације и свођења на константну масу, узорци су одмеравани и пуњени у стандардне Marinelli посуде (0,5 l). Marinelli посуде су затим затапане пчелињим воском због херметизирања и остављене да одстоје до 30 дана (пре почетка мерења) ради успостављања радиоактивне равнотеже .

Мереље гама активности радиоактивног материјала у испитиваним узорцима, вршено је са вишеканалним гама анализатором ORTEC , са HP Ge детектором релативне ефикасности 20% и резолуције од 1,8 keV на енергији 1332 keV ^{60}Co. Енергетска калибрација извршена је помоћу стандардног низа тачкастих извора (Coffret d' etalon ECGS-2, Sacle) који садржи радионуклиде Ba-133, Co- 60, Cs-137, Na-22 и Am-241 (активности 10^3 Bq на дан 25.11.1977.године). Геометријска ефикасност одређена је помоћу референтног материјала - земље, контаминираног низом радионуклида : Na-22, Co-57, Co-60,Y-88, Ba-133 и Cs-137 активности између 122- 355 Bq/kg (укупно 1461 Bq/kg на дан 1.7.1991.г.) одређене са укупном несигурношћу 5% (National Office of Measures OMH, Budapest) [2].

3. Резултати и дискусија

Активност ^{226}Ra и ^{232}Th одређена је преко њихових потомака ^{214}Bi, ^{214}Pb и ^{228}Ac, ^{208}Tl, респективно. Активност ^{235}U одређена је на енергији од 185,83 keV, са корекцијом на ^{226}Ra (186 keV). Активност ^{238}U рачунали смо преко природног односа активности ^{235}U / ^{238}U који износи 0,04604. Активност ^{40}K одредили смо на основу његовог јединог гама прелаза на 1460,8 keV. Иако је вредност апсолутног интезитета овог прелаза десетак процената, интезитет ове линије у спектрима скоро свих наших узорака био је веома изражен. Време прикупљања импулса, односно време снимања спектара,

износило је од 10^5- 3 x 10^5s у зависности од активности узорка.Како смо мерили активиост природних узорака, вршили смо корекцију снимљеног спектра сваког узорка на ниво природне радиоактивности околине.

Резултати мерења специфичне активности ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U и ^{40}K, у узорцима пепела и шљаке, као продуката сагоревања угља са копова Белаћевац и Добро Село, приказани су у табелама 1 и 2.

Табела 1. Специфична активност природних радионуклида (Bq/kg) у узорцима пепела и шљаке услед сагоревања угља са откопа Белаћевац

Узорак бр.	Врста узорка	^{226}Ra	^{232}Th	^{235}U	^{238}U	^{40}K
1y	пепео из бункера	20 ± 2	20 ± 2	2,2 ± 0,2	48 ± 6	150 ± 13
2y	пепео из палетизатора	67 ± 5	31 ± 3	6,5 ± 0,6	138 ± 13	219 ± 18
3y	пепео из електрофилтера	23 ± 2	18 ± 2	2,0 ± 0,2	46 ± 5	108 ± 9
4y	пепео из левка димњака	48 ± 3	26 ± 2	4,0 ± 0,3	87 ± 8	189 ± 14
5y	пепео из левка димњака	21 ± 2	22 ± 2	2,1 ± 0,2	45 ± 5	152 ± 12
6y	пепео из левка димњака	59 ± 4	32 ± 2	5,1 ± 0,4	109 ± 9	236 ± 18
7y	пепео из подстанице	65 ± 5	30 ± 2	5,5 ± 0,5	119 ± 13	229 ± 17
8y	пепео са депоније	44 ± 3	28 ± 2	4,8 ± 0,3	104 ± 16	210 ± 17
9y	пепео са депоније	41 ± 3	25 ± 2	4,1 ± 0,3	89 ± 8	208 ± 16
10z	пепео и шљака са лагуне	10,1 ± 1,0	30 ± 3	5,0 ± 0,4	109 ± 9	211 ± 17
11z	шљака из бункера	12,5 ± 1,7	13,7 ± 1,2	1,7 ± 0,1	37 ± 4	163 ± 15
12z	шљака из подстанице	20 ± 2	23 ± 2	2,0 ± 0,2	77 ± 7	243 ± 30
13z	шљака са депоније	24 ± 2	26 ± 2	3,5 ± 0,3	77 ± 8	183 ± 14

У узорцима пепела које смо анализирали, највећа концентрација радиоиуклида присутна је у узорцима пепела са дна левка димњака. То се пре свега односи на ^{232}Th и ^{226}Ra. Од свих анализираних узорака, концентрација активности ^{40}K је највећа у узорцима шљаке. Разлоге за повећану концентрацију ^{40}K у шљаци у односу на концентрацију активности у другим узорцима пепрела, треба пре свега тражити у физичко-хемијским особинама калијума а и у чињепици да је шљака отпадни материјал у коме се налази доста некомплетно сагорелог органског материјала из угља.

Табела 2. Специфична активност природних радионуклида (Bq/kg) у узорцима пепела и шљаке,услед сагоревања угља са копа Добро Село

Узорак бр.	Врста узорка	Ra - 226	Th - 232	U - 235	U - 238	K- 40
14y	пепео из бункера	12,5 ± 1,7	14,2 ± 1,2	1,9 ± 0,2	43 ± 4	199 ± 15
15y	пепео из палетизатора	15,2 ± 1,6	16,1 ± 1,5	2,1 ± 0,2	45 ± 4	179 ± 13
16y	пепео из електрофилтера	14,2 ± 1,3	16,2 ± 1,4	2,2 ± 0,2	48 ± 5	117 ± 10
17y	пепео из левка димњака	27 ± 2	25 ± 2	2,5 ± 0,2	54 ± 5	128 ± 10
18y	пепео из левка димњака	29 ± 3	27 ± 2	2,6 ± 0,2	56 ± 5	138 ± 12
19y	пепео и шљака са лагуне	18,2 ± 1,8	28 ± 2	4,1 ± 0,3	91 ± 9	239 ± 28
20y	пепео са депоније	29 ± 2	17,0 ± 1,6	3,0 ± 0,2	65 ± 6	170 ± 13
21z	шљака из бункера	12,5 ± 1,6	13,6 ± 1,2	1,9 ± 0,2	42 ± 4	198 ± 15
22z	шљака из подстанице	14,1 ± 1,7	18,3 ± 1,9	2,9 ± 0,2	63 ± 6	184 ± 16
23z	шљака са депоније	28 ± 2	22± 2	4,0±0,3	87 ± 8	177 ± 18

На основу резултата из табела 1 и 2 може се закључити, да се концентрације активности природних радионуклида у продуктима сагоревања угља са копова Белаћевац и Добро Село врло мало разликују, да су скоро идентичне, што је потврда да угаљ Косовско-метохијског басен има приближно сличан квалитет.

Литература

[1] UNSCEAR 1993 Report, Soures and Effects of Ionizing Radiation, pp.61-62
[2] Certificate of radioaktive reference material (CRM) Budapest, may 30.1991.

INVESTIGATION OF THE CONTENTS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE ASHES FROM OBILIJ POWER PLANT

Feriz Adrović, Dragana Todorović, Marko Ninković

Abstract

The contents of natural radionuclides (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{235}U, ^{238}U end ^{40}K) determined by standard gamma spectromerty. The activity concentartions of naturally occurring radionuclides in measuered samples were from 10,1 to 67 Bq/kg for ^{226}Ra; from 13,6 to 32 Bq/kg for Th-232 ; from 1,9 to 6,5 Bq/kg for ^{235}U; from 42 to 138 Bq/kg for U-238 and from 108 to 243 Bq/kg for ^{40}K.

GRAĐEVINSKI POSTUPCI ZA SMANJENJE KONCENTRACIJE RADONA U ZGRADAMA

Branka Pavlić
DTD Kanal GDP, Novi Sad, Bul. Mihaila Pupina 25
Ištvan Bikit, Jaroslav Slivka, Ljiljana Čonkić, Miodrag Krmar,
PMF Institut za fiziku, Novi Sad, Dr Ilije Đurlčića 4

Rezime

Procenjuje se da u ukupnom ozračivanju stanovništva jonizujuće zračenje u stambenim objektima čini oko 80% godišnje dozvoljene doze. Veći deo te doze se dobija u zatvorenom prostoru usled inhalacije Rn-222 emaniranog iz građevinskih materijala i tla, pri čemu dominantan doprinos koncentraciji ovog radionuklida u prizemnim prostorijama daje radon iz tla.

U radu je predložen niz mera za snižavanje koncentracije radona kako u planiranim, tako i u već postojećim objektima.

Ključne reči: radon, unutrašnja koncentracija, građevinski postupci

1. Uvod

Radon prisutan u zgradama, pretežno potiče iz tla, i difuzijom prelazi u atmosferu. Vrlo često je radon u tlu rastvoren u podzemnoj vodi iz koje emanira kada voda izbije na površinu u blizini temelja zgrada ili u blizini kanalizacionih odvoda.Emanacija iz građevinskog materijala se odvija po istom principu difuzije kao što je slučaj sa emanacijom iz tla. Površinska kontaminacija radijumom-226 iz tehnoloških izvora je, takođe uzrok povećane unutrašnje koncentracije radonovih potomaka u nekim oblastima.

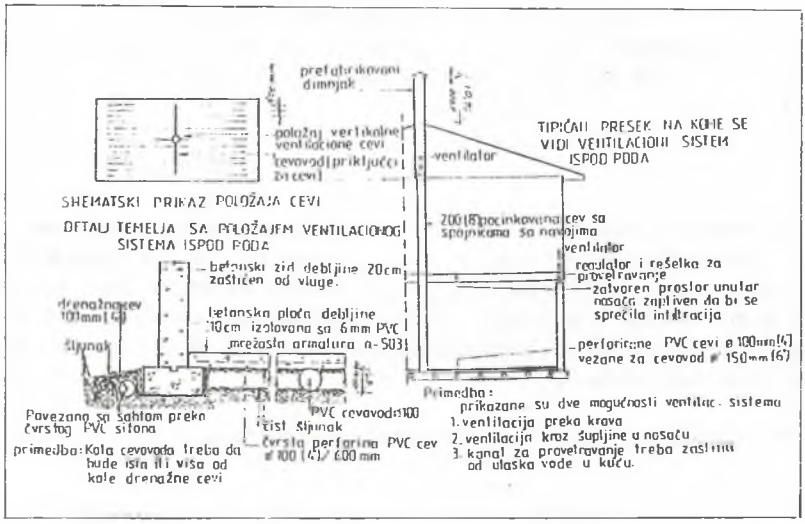
2. Izvori radona u zgradama

Postoji nekoliko osnovnih načina ulaska radona u zgrade.Prsline u betonskim zidovima i pločama podruma su najčešći uzrok difuzije radona u kuću. Ove prsline mogu biti i mikroskopske, ali vrlo efikasne [1] . Veza između zidova i ploče je sledeći najčešći put ulaska radona u kuću. Ostali izvori su: slobodno oslonjene cevi u zidovima i podovima i podni slivnici pokriveni perforiranim poklopcima koji omogućavaju direktan ulazak radona u kuću. Studije [2], [3], [4], pokazuju da je difuzija radona emaniranog iz građevinskih materijala , izuzev u dobro izolovanim modernim zgradama, manji problem.

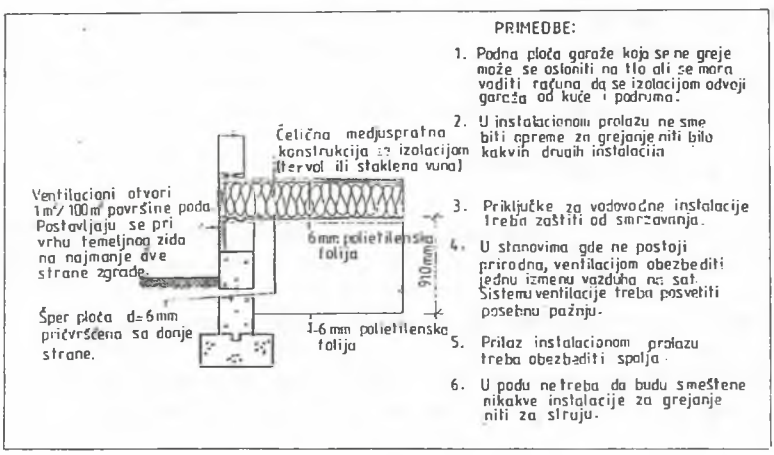
3. Postupci za smanjenje koncentracije radona u zgradama

Koncentracije radona i radonovih potomaka u zgradama se mogu smanjiti nekim opštim postupcima koji se, detaljno, sastoje u sledećem:

(1) Uklanjanje izvora radona - Materijal koji sadrži visoke koncentracije radijuma (otpadne stene iz rudnika, aktivni šljunak itd.), a nalazi se u blizini temelja ili ispod ploče podruma, treba ukloniti. Zamenom radioaktivnih betonskih zidova i podova betonom napravljenim od agregata sa niskom koncentracijom radijuma, kao i uklanjanjem kontaminiranog materijala (drvena građa, blokovi za zidanje), uklanja se i izvor zračenja.
(2) Skretanje toka radona pre nego što dođe do konstrukcije - Postavljanjem ventilacionog sistema ispod donje ploče podruma, koji se sastoji ili iz sistema perforiranih cevi povezanih sa ventilacionim cevima i dimnjakom (aktivna ventilacija), ili se ventilacija obavlja kroz instalacione prolaze (pasivna ventilacija), emanirani radon se izbacuje iz prostora ispod podruma u atmosferu. Detalji oba sistema ovog značajnog postupka redukovanja koncentracije Rn , dati su na slikama 1. i 2.

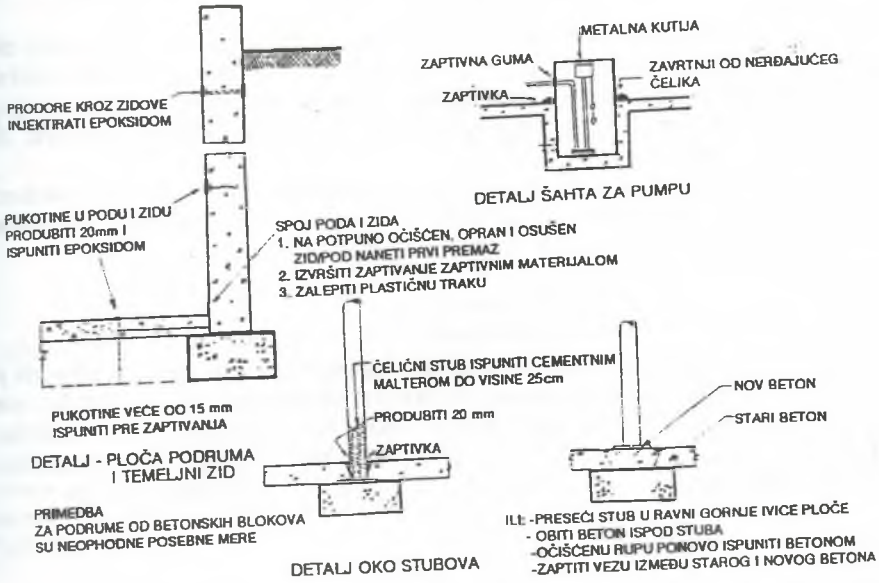


Slika 1. Ventilacioni sistem ispod poda

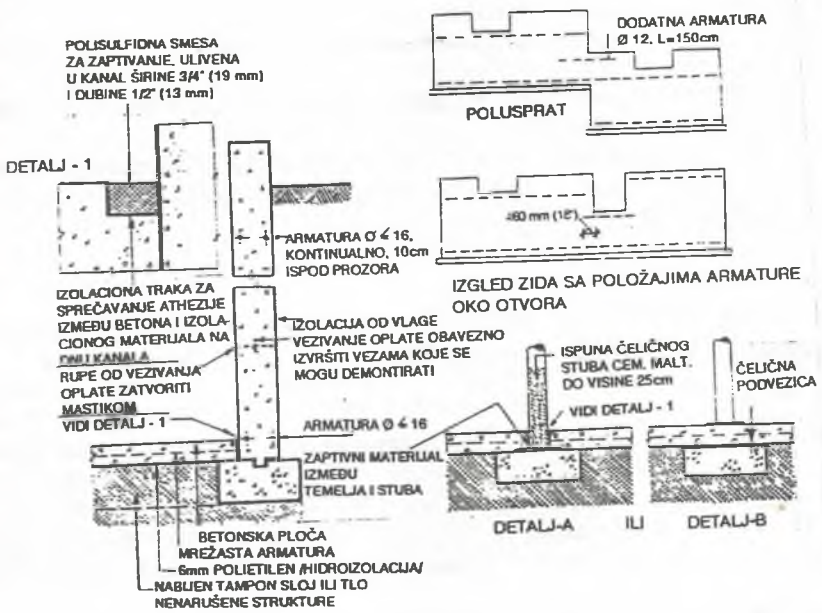


Slika 2. Ventilacioni sistem kroz instalacioni prolaz

(3) Postavljanje prepreke između izvora i životnog prostora - Kod postojećih zgrada, metod se sastoji u zatvaranju svih pukotina u podu i zidovima podruma (sl.3), kao i pukotina oko svih prodora instalacija (naročito cevi) kroz podove i zidove, zatim ispunom šupljina u bloko-



Slika 3. Detalji zaptivanja podruma u postojećim zgradama



Slika 4. Sistem zaptivanja podruma nove zgrade

vima zidova, ili potpunom izolacijom zidova. Slični sistemi se razvijaju kod projektovanja novih zgrada. Ukoliko je nemoguće ukloniti izvor radona, treba preduzeti nekoliko stvari: sprečiti nastajanje prslina u betonu podova i zidova podruma postavljanjem dodatne armature u ploču i zidove (sl.4); obraditi spojeve između ploče i zidova kao i oko prodora cevi, posebnim zaptivnim materijalom; zabraniti upotrebu šupljih betonskih blokova, zbog izraženog efekta dimnjaka.

(4) Intenziviranje ventilacije - Povecava se broj izmena vazduha na sat. Sistem može biti aktivan ili pasivan. U hladnijim klimama, ovo iziskuje dodatna ulaganja za grejanje vazduha. Projektovani su izmenjivači toplote sistema vazduh-vazduh koji su cenu grejanja ulaznog vazduha sveli na razumnu meru. Analogna rešenja za hlađenje ulaznog vazduha, se razmatraju za oblasti žarkih klima [5].

(5) Instalacija opreme za prečišćavanie vazduha - Najefektnijim, ali i najskupljim metodom, se pokazao postupak prečišćavanja elektrostatičkim i elektronskim prečistačima vazduha, kojima se koncentracije radona u zgradama mogu sniziti 6 do 19 puta [2].

4. Zaključak

Svi ovi metodi su u upotrebi i potvrđeni su, ali ni jedan nije univerzalno primenjiv, niti je ekonomski efekat jednak za razne uslove. U mnogim slučajevima tek kombinacija ovih tehnika dovodi do snižavanja nivoa koncentracije radona na nivoe regulisane standardima. Kako u urbanim sredinama nije moguć veliki izbor građevinskog zemljišta, ove mere mogu da budu veoma značajne pri gradnji na zemljištu sa povišenim nivoom radioaktivnosti.

Literatura

[1] NIELSON K.K. et al., "The RAETRAD Model of Radon Generation and Transport from Soils into Slabe-on-grade Houses", *Health Physics*, Vol 67, No.4, October.1994.

[2] Exposures From the Uranium Series With Emphasis on Radon and its Daughters, NCRP Report No.77, Bethesda, Maryland, 1984.

[3] TSO M.Y.W. et al., "Radon Release from Building Materials in Hong Kong", *Health Physics*, Vol 67, No.4, 1994.

[4] ROGERS V.C. et al., "Radon Diffusion Coefficients for Residental Concretes", *Health Physics*, Vol 67, No.3, Sept.1994.

[5] HINTENLANG D.E., AL-AHMADY K.K., "Influence of Ventilation Strategies on Indoor Radon Concentrations Based on a Semiempirical Model for Florida-Style Houses", *Health Physics*, Vol 66, No.4, April 1994.

METHODS FOR REDUCING INDOOR RADON CONCENTRATION

Branka Pavlić, Ištvan Bikit, Jaroslav Slivka, Ljiljana Čonkić, Miodrag Krmar

Abstract

The major radiation exposure of the population from the uranium series arises by inhalation of the short-lived daughter products of Rn-222. Indoor concentrations are generally several times higher then the outdoor ones. The majority of the radon found in homes comes from the soil air, which moves to the atmosphere by diffusion. Some general procedures for reducing radon and radon daughter concentrations in houses are described.

Key words: radon, indoor concentrations, civil engineering methods

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE RADONA U STAMBENIM PROSTORIJAMA NASELJA RUDNIK

Gordana Marković
XI Beogradska Gimnazija,
Dragoslav Nikezić
Prirodno-matematički fakultet u Kragujevcu, Institut za fiziku
Petar Marković
Prirodno-matematički fakultet u Kragujevcu, Institut za fiziku, Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Rezime

Izvršeno je određivanje koncentracije radona u stambenim prostorijama naselja Rudnik. Za merenje je korišćen trag detektor LR 115 tip II u difuzionoj komori. U radu su date koncentracije radona u različitim namenskim objektima i različitim namenskim prostorijama za sva četiri godišnja doba, kao i srednje vrednosti koncentracije radona u toku cele godine.

1.UVOD

Prirodno zračenje je sastavni deo čovekovog prirodnog okruženja. Sama ta činjenica je dovoljna da prirodno zračenje bude predmet proučavanja i detaljnijih studija.

Jedan problem je izuzetno mnogo proučavan. To je povećano izlaganje prirodnom zračenju u zatvorenim prostorijama. Povećanje ekvivalentne doze u zatvorenim prostorijama potiče od dva izvora. Prvi je spoljašnje ozračivanje izazvano gama zračenjem radionuklida koji se nalaze u korišćenim građevinskim materijalima i u tlu ispod građevine. Drugi izvor je radon koji se nagomilava u atmosferi zatvorenih prostorija. Njegov doprinos efektivnoj ekvivalentnoj dozi koju primaju pojedinci je blizu polovine ukupne doze od svih izvora zajedno. Ovde dominira doprinos kratkoživećih ^{222}Rn produkata.

Merenja izvršena u mnogim zemljama Evrope pokazala su da se prosečna koncentracija radona u zatvorenim prostorijama kreće od 20-50 Bq/m^3, često dostiže nekoliko stotina Bq/m^3, a u redim slučajevima, nekoliko hiljada Bq/m^3.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Merenje koncentracije radona i njegovih potomaka u vazduhu u porodičnim kućama, stambenim zgradama (dnevne, spavaće sobe, podrumi) i radnim prostorijama u naselju Rudnik vršeno je detektorskim filmom LR 115 tip II u difuzionoj komori. Merenje je vršeno na 30 mernih mesta u ukupno 14 objekata: 8 porodičnih kuća, 3 stambene zgrade, privatnom preduzeću, obdaništu i turističkim objektima, pri čemu su obuhvaćena četiri godišnja doba. Latentni tragovi su vizualizovani hemijskim nagrizanjem pri standardnim uslovima za ovaj tip detekcionog filma. Očitavanje tragova vršeno je mikroskopom Zeiss-om pri uvećanju 125x 500 .

Koncentracija radona, C, računata je po formuli:

$$C=k\cdot\rho \qquad (1)$$

gde je k-kalibracioni koeficijent koji zavisi od faktora ravnoteže između radona i produkata njegovog raspada. Za ovu vrstu detektora korišćena je vrednost k = (17±2)(Bq/m^3)/(tragxd/cm^2), gde je d-dan. Srednje koncentracije radona u toku jedne godine u tim objektima date su u tabeli 1.

Tabela 1: Srednje koncentracije radona u porodičnim kućama, stambenim zgradama, obdaništu, privatnom preduzeću i turističkom objektu

Broj zgrade	Broj dozimetra	Namena prostorije	Proleće $C_I \pm \Delta c_I$ [Bq/m^3]	Leto $C_{II} \pm \Delta c_{II}$ [Bq/m^3]	Jesen $C_{III} \pm \Delta c_{III}$ [Bq/m^3]	Zima $C_{IV} \pm \Delta c_{IV}$ [Bq/m^3]	$C \pm \Delta c$ [Bq/m^3]
1	1	Podrum	90±19	98±21	217±42	526±95	233±44
	2	Dnevna soba Kuhinja	53±12	62±14	85±18	131±26	83±18
	3	Spavaća soba	56±13	67±15	—	132±27	85±18
2	7	Dnevna soba	52±12	601±108	384±71	335±62	343±63
	8	Spavaća soba	140±29	120±24	232±45	314±58	202±39
3	19	Dnevna soba Kuhinja	—	8318	106±23	171±34	120±25
	20	Spavaća soba	—	69±15	70±16	103±22	81±18
4	21	Dnevna soba	35±9	—	98±21	119±25	84±18
5	22	Dnevna soba	—	98±20	—	64±13	81±16
	23	Spavaća soba	—	51±12		43±9	47±11
6	24	Spavaća soba	228±52	—	128±24	228±44	140±40
	25	Podrum	54±12	—	190±35	346±64	197±37
7	26	Spavaća soba	28±7	—	46±10	90±19	55±12
8	27	Dnevna soba	—	—	149±28	222±42	184±35
	28	Spavaća soba	—	—	63±13	101±21	82±17
	25	Podrum	—	—	219±40	380±69	299±54
9	9	Dnevna soba	41±10	64±14	56±13	—	54±12
	10	Spavaća soba	38±9	50±12	44±11	—	44±11
10	11	Podrum Letnja kuhinja	93±20	104±22	274±52	—	157±31
	12	Dnevna soba	56±12	61±14	59±13	73±16	62±14
	13	Spavaća soba	49±11	74±16	54±12	106±22	71±15
11	14	Dnevna soba	34±8	65±14	—	—	50±11
	15	Spavaća soba	—	4210	—	—	4210
12	4	Poslovna prostorija	54±12	45±10	62±14	—	54±12
	5	Poslovna prostorija	36±9	56±13	—	234±45	109±22
13	6	Obdanište Dnevni boravak	—	58±13	130±27		94±20
14	16	Restoran Soba za poslugu	73±15	91±19	140±29	180±35	121±24
	17	Soba za peglanje	—	—	151±30	178±34	164±32
	18	Restoran Sala za piće	—	97±20	59±14	67±15	74±16

3. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

Pre nego što se izvrši diskusija i izvedu neki zaključci treba napomenuti sledeće. Ako se pogleda tabela 1 koja daje vrednosti koncentracije radona u porodičnim kućama i stambenim zgradama (dnevne, spavaće sobe, podrumi) i radnim prostorijama u mestu Rudnik, vidi se da na pojedinim mernim mestima nedostaju neke od tih vrednosti. Za to su postojala dva razloga. Prvi je da pri obilasku mernih mesta vlasnici porodičnih kuća nisu bili pronađeni, tako da su detektori u tim objektima izlagani dve sezone, pa su samim tim očitani tragovi za taj vremenski period koliko su bili izlagani u toj prostoriji. To vreme izlaganja iznosilo je od 81 do 179 dana. Drugi razlog je taj što su postavljeni detektori izgubljeni, tako da za dati period nemamo vrednosti koncentracije radona. Iz tabele 1. koja daje koncentracije radona u porodičnim kućama (dnevne, spavaće sobe, podrumi), stambenim zgradama, obdaništu, privatnom preduzeću i turističkom objektu za period proleće (C^{I}), leto (C^{II}), jesen (C^{III}) i zima (C^{IV}), ono što se odmah uočava jeste da koncentracije radona imaju najveće vrednosti za zimski period. Ujedno se uočava da u stambenoj kući br. 2 (dnevna soba) koncentracija radona u letnjem periodu je bila 601 Bq/m^3 a u zimskom 51 Bq/m^3. Stambena kuća br. 5: u letnjem periodu, u dnevnoj sobi - 98 Bq/m^3, u spavaćoj sobi - 51 Bq/m^3, a u zimskom periodu, u dnevnoj sobi - 64 Bq/m^3, u spavaćoj sobi - 43 Bq/m^3. Data odstupanja su moguća. Povećanje koncentracije radona u ovim slučajevima potiče od građevinskog materijala ako su detektori okrenuti prema zidu, ili su date prostorije više ili manje provetravane.

Povećanje koncentracije radona u zatvorenim prostorijama u zimskom periodu objašnjava se činjenicom da su prostorije mnogo manje provetravane nego u ostalim periodima.

U tabeli 1 date su na kraju i srednje koncentracije radona (C) u porodičnim kućama, stambenim zgradama, obdaništu, privatnom preduzeću i turističkom objektu u toku jedne godine. Ako se pogledaju te vrednosti vidi se da se one kreću od 42 Bq/m^3 u stambenom objektu br.11, do 343 Bq/m^3 u stambenoj kući br. 2 (dnevna soba). Treba zapaziti da koncentracije radona u posmatranim objektima zavise od same lokacije prostorije. Evidentno je na osnovu dobijenih podataka da su u datim stambenim objektima veće koncentracije radona u podrumima u odnosu na ostale prostorije (dnevne i spavaće sobe). Te vrednosti se kreću od 155 Bq/m^3 (u objektu br. 10) pa do 299 Bq/m^3 (u objektu br.8). Povećane koncentracije radona u podrumima su posledice manje ventilacije tih prostorija, a takođe i vrste građevinskog materijala od kojeg su ti delovi stambenih objekata zidani. U pitanju je kamen (granit) koji se vadi iz planine Rudnik. Ostali delovi stambenih zgrada zidani su od cigle.

Izmerene vrednosti nisu prelazile maksimalnu dozvoljenu granicu. Preporuke ICRP su da koncentracije radona u ravnoteži sa potomcima u vazduhu ne prelaze 400 Bq/m^3 za stare zgrade i 200 Bq/m^3 za nove zgrade.

Literatura

[1] G. Jonsson "Indoor ^{222}Rn measurement in Sweden with solid-state nuclear track detector technique", Health Phisics, Vol. 54. No 3, 271-281, 1988.

[2] Nikezić D. - "Doprinos eksperimentalnom i teorijskom proučavanju ozračenosti stanovništva i pojedinaca u zatvorenim prostorijama", Univerzitet "Svetozar Marković" Kragujevac, 1990

Abstrakt

Radon measurements were done in Rudnik. A SSNTD LR-115 in difussion chamber was used for these measurements. Aradon concentracion distribution is given in this article.

MERENJE KONCENTRACIJE RADONA U ZEMLJIŠTU

Ivana Avramović, Srboljub Stanković, Milojko Kovačević
Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, p.p. 522, Beograd
Radoman Benderać
Institut bezbednosti, Kraljice Ane b.b., Beograd

Rezime

Merenja koncentracije radona u zemljištu mogu se koristiti za otkrivanje ležišta urana kao i za detekciju malih pomeranja zemljine kore koja se obično javljaju kao prethodnica jačih zemljotresa. U radu su dati rezultati merenja koncentracije radona u zemlji na dubini od 1m. U toku merenja bio je veoma izražen problem kondenzovanja vlage na površini detektora koja utiče na efikasnost detekcije. Zbog toga je izvršeno testiranje nekoliko vrsta filter-papira različitih proizvođača. Testiranje je obuhvatilo određivanje propustljivosti filter-papira za vodenu paru kao i merenje odnosa gustine tragova na detektorima koji su se nalazili u otvorenoj difuzionoj komori (bez filter-papira) i u difuzionoj komori zatvorenoj filter-papirom.

Ključne reči: koncentracija radona, zemljište, vodena para, filter-papir.

1. Uvod

U svetu se već duže vreme radi sistematsko merenje koncentracije radona u zemljištu. Zbog osobine da je radon inertni gas odnosno da ne interaguje hemijski sa elementima koji se nalaze u zemlji on se koristi kao dobar indikator protoka fluida kroz zemljinu koru. Merenja koncentracije radona u zemljištu mogu poslužiti za otkrivanje ležišta urana kao i za detekciju malih pomeranja zemljine kore koja mogu biti prethodnica jačih zemljotresa [1, 2].

Koncentracije radona u zemljištu može se meriti integralnom metodom pomoću difuzionih komora sa čvrstim trag detektorom. Osnovni problem koji kod takvih merenja treba rešiti je problem kondenzovanja vlage na detektorima. Kondenzovana vlaga na površini detektora smanjuje efikasnost detekcije zbog činjenice da će α čestica biti apsorbovana u vodi pa neće stići do osetljive površine detektora da bi na njoj izazvala pojavu latentnog traga [3].

2. Problem kondenzovanja vlage i eliminisanje radonovih potomaka vezanih za aerosole u vazduhu

U cilju rešavanja problema kondenzovanja vlage izvršeno je testiranje nekoliko vrsta filter-papira različitih proizvođača. Testiranje je obuhvatilo određivanje propustljivosti filter-papira za vodenu paru kao i merenje odnosa gustine tragova na detektorima koji su se nalazili u otvorenoj difuzionoj komori (bez filter-papira) i u difuzionoj komori zatvorenoj filter-papirom.

Određivanje propustljivosti filter-papira za vodenu paru vršeno je pomoću vodenog kupatila u kome je voda zagrejana do temperature od 30°C. Iznad vodenog kupatila postavljene su difuzione komore sa različitim filter-papirima. Na dnu komore su se nalazile vrećice sa aktivnim ugljem (proizvođač Industrija "Miloje Zakić" Kruševac). Vreme izlaganja komora je bilo 24^h. Odnos težina aktivnog uglja pre i posle izlaganja koristio je kao mera propustljivosti filter-papira za vodenu paru.

Da bi se odredio odnos gustine tragova na detektorima koji su se nalazili u otvorenoj difuzionoj komori (bez filter-papira) i u difuzionoj komori zatvorenoj filter-papirom korišćena je kalibraciona komora u kojoj koncentracija radona iznosi oko 7800 Bq/m^3. Difuziona komora je u obliku čaše zapremine 0.2 dm^3 na čijem dnu se nalazi polikarbonatni detektor CR-39. Izlaganje difuzionih komora sa i bez filter-papira u kalibracionoj komori iznosilo je 24^h. Nakon izlaganja vršeno je hemijsko nagrizanje detektora u 6M rastvoru KOH na temperaturi od 70°C u trajanju od 5^h a očitavanje je vršeno optičkim mikroskopom. Na osnovu broja dobijenih tragova i pregledane površine detektora utvrđen je odnos gustine tragova na detektorima koji su se nalazili u difuzionoj komori sa filter-papirom i u komori bez filter-papira.

Dobijene vrednosti za propustljivost filter-papira za vodenu paru, odnos gustina tragova za komoru sa i bez filter-papira kao i vrednosti za masu filter-papira po jedinici površine dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Vrednosti za masu filter-papira po jedinici površine, propustljivost filter-papira i odnos gustina tragova za komoru sa i bez filter-papira.

Filter-papir	m/S [10^{-3} g/cm^2]	$\Delta m/m_0$ [%]	σ_f/σ_0
589 - *Selecta*	8.75	10.2	0.78
43 - *Whatman*	9.38	9.4	0.85
388- *Filtrak*	8.16	9.9	0.58
Sartorijus	9.34	10.9	0.74

m/S - masa filter-papira po jedinici površine

$\Delta m = m_1 - m_0$

m_1 - masa vrećice sa aktivnim ugljem posle izlaganja vodenoj pari

m_0 - masa vrećice sa aktivnim ugljem pre izlaganja vodenoj pari

σ_f - gustina tragova na detektoru koji se nalazio u difuzionoj komori sa filter-papirom

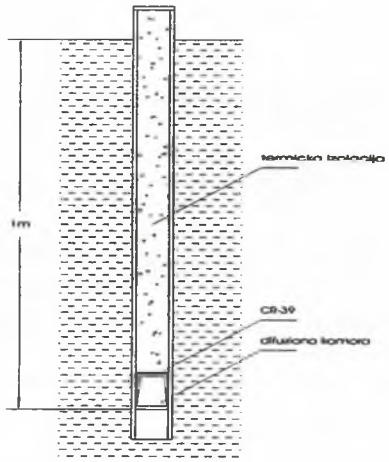
σ_0 - gustina tragova na detektoru koji se nalazio u difuzionoj komori bez filter-papira

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da ne postoje veća odstupanja u izmerenim vrednostima za različite filter-papire. Eliminacija vlage kod merenja koncentracije radona u zemlji se ne može efikasno sprovesti testiranim filter-papirima. Mogući put za rešavanje ovog problema je u korišćenju silika-gela ili molekulskih sita.

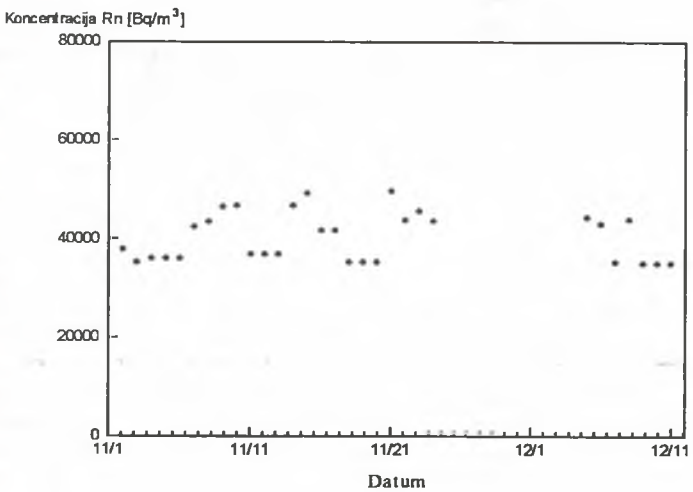
Odnos gustine tragova na detektorima koji su se nalazili u komorama sa i bez filter-papira ne zavisi značajno od vrste papira. Filter-papir sprečava prolazak aerosola u vazduhu za koje su vezani radonovi potomci [3] pa zbog toga i dolazi do smanjenja gustine tragova na detektoru u komori sa papirom. Izmereni odnos gustine tragova bi mogao biti mera efikasnosti filtriranja aerosola. Na osnovu obavljenih merenja može se zaključiti da se za testirane filter-papire efikasnost filtriranja ne razlikuje u značajnijoj meri.

3. Merenje koncentracije radona u zemljištu

Merenja koncentracije radona u zemljištu vršena su u krugu Instituta za nuklearne nauke "Vinča" ispred zgrade br. 23 na dubini od 1m pomoću sonde prikazane na Slici 1. U sondi se nalazila difuziona komora koja je sa gornje strane zatvorena filter papirom. Vreme izlaganja komora u sondi je iznosilo 24[h] dok je merenje obavljeno u toku novembra i decembra 1994. god. Nakon izlaganja detektori su nagrizani standardnim hemijskim putem. Očitavanje detektora vršeno je optičkim mikroskopom na uvećanju 500×. U ovom periodu nisu registrovane značajnije promene koncentracije radona. Rezultati merenja dati su na Slici 2.



Slika 1. Sonda za merenje koncentracije radona u zemljištu.



Slika 2. Izmerene vrednosti koncentracije radona u zemljištu u periodu novembar-decembar 1994. god.

Literatura

[1] M. Humar, M. Najžer, R. Ilić, "Moisture-insensitive probes for separate measurement of radon isotopes"
[2] L. Fleicher, A. Mogro-Campero, "Track detectors for environmental radon studies: variations in concentrations in the ground"
[3] Tommasino L., "Radon monitoring by alpha track detection", Nucl. Tracks Radiat. Meas. Vol. 17, No. 1, pp. 43-48, 1990, Pergamon Press

RADON CONCENTRATION MEASUREMENTS IN THE SOIL

Ivana Avramović, Srboljub Stanković, Milojko Kovačević,
Radoman Benderać

Abstract

Radon concentration measurement in the ground can be used for the prospecting for uranium and earthquake prediction. Here are presented some results of radon concentration measurement in the soil. The moisture condensation at the detector surface can affect on the detection efficiency. Due to this problem we tested a few filter papers on water vapour permeability. The ratio of track densities on SSNTD in the open and closed diffusion chamber is also determined.

Key words: radon concentration, SSNTD, soil, water vapour, filter-paper.

MERENJE RADONA U VODI

Draginja Veličković, Srboljub Stanković, Milojko Kovačević
Institut za nuklearne nauke "Vinča"
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"

Rezime

U radu su dati rezultati merenja srednje koncentracije radona u vodi. Merenja su vršena na jezeru, izvoru, bazenu pitke vode kao i uzorcima vode uzetim sa tih mesta u laboratorijskim uslovima.

Merenja su vršena u jesenjem i zimskom periodu 1991/1992. Izmerene su sledeće srednje koncentracije radona i njegovih potomaka u vodi: na Bovanskom jezeru C=21 Bq/m^3 (kod vodotornja), i C=16 Bq/m^3 (pri obali na dubini oko 0.5 m), u Bresju C=16 Bq/m^3 (u bazenu pitke vode) i u Vincima C=2608 Bq/m^3 (u izvoru). U uzorcima vode su izmerene niže koncentracije radona koje su se kretale u granicama od 8-13 Bq/m^3.

Korišćena je pasivna metoda merenja sa čvrstim trag detektorima.

Ključne reči: radon u vodi

1. Uvod

Radon nastaje kao emanacija ^{226}Ra, člana uranijumovog niza ^{238}U. Izvori radona su zemlja, stene, podzemne i geotermalne vode, izvori, reke, okeani, prirodni gas, vulkanski gasovi i gasovi iz jama i rudnika.

Povećane koncentracije radona u zemlji mogu da posluže kao indikator u eksploataciji urana i istraživanjima koja su vezana za najave eventualnih zemljotresa, a u prirodnim vodama ukoliko se merenja izvode "in situ" mogu da ukažu na sadržaj ^{226}Ra u mulju [1].

Merenjima koncentracije radona u vazduhu u zatvorenim prostorijama posvećen je značajan broj radova [2,3,4], jer izlaganje ljudi povećanoj koncentraciji radona u dužem vremenskom pertiodu može da bude jedan od uzročnika kancera pluća.

Na osnovu izvršenih merenja koncentracije radona u radona u vodi [3,5] u Sjedinjenim državama utvrdjeno je da su izvori i bunari na privatnim posedima uglavnom imali više koncentracije radona u odnosu na podzemne vode i akumulaciona jezera koja su služila za vodosnabdevanje ispitivanih mesta.

Koncentracije radona u površinskim vodama [8.9] mogu da se kreću od kBq/m^3 pa da prelaze nivoe od 1000 kBq/m^3 podzemnim vodama.

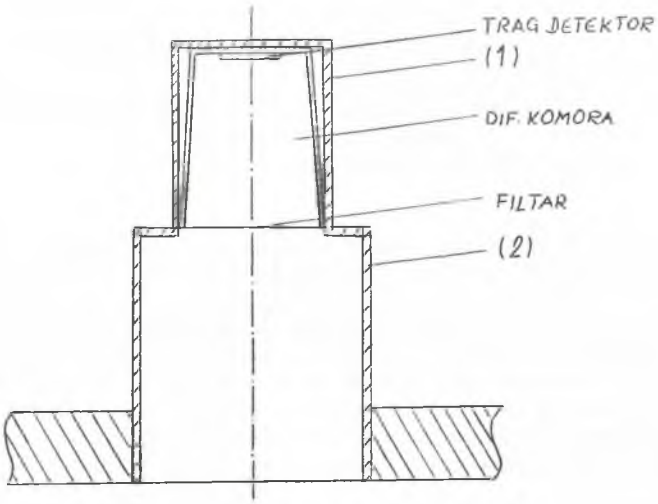
Gornja granica koncentracije radona u pijaćim vodama nije Zakonom regulisana, ali je US Enviromental Protection Agency preporučila maksimalni nivo koncentracije od 11 kBq/m^3 [6]. Ova preporuka je primarno zasnovana na inhalacionom riziku od doprinosa radona nastalog iz vode ukupnoj koncentraciji radona u vazduhu zatvorene prostorije [8].

Koncentracije radona iz vode od 11 kBq/m^3 aproksimativno će doprinositi povećanju koncentraciji radona u vazduhu za 1.1 Bq/m^3 u jednoj tipičnoj kući. Ovo je mali doprinos u odnosu na druge izvore radona u zatvorenoj prostoriji. Medjutim, na pojedinim mestima (kupatilo, kuhina, vešernica i dr.) doprinos radona iz vode može da iznosi i do 12 % [7.8] u ukupnoj koncentraciji radona u vazduhu, što zavisi od zapremine prostorije, kao i količine vode koju troši domaćinstvo.

Ispitivanja [9] su pokazala da i doprinos radona iz mineralnih voda u banjama utiče na povećanje ukupne godišnje doze koju prima profesionalno osoblje.

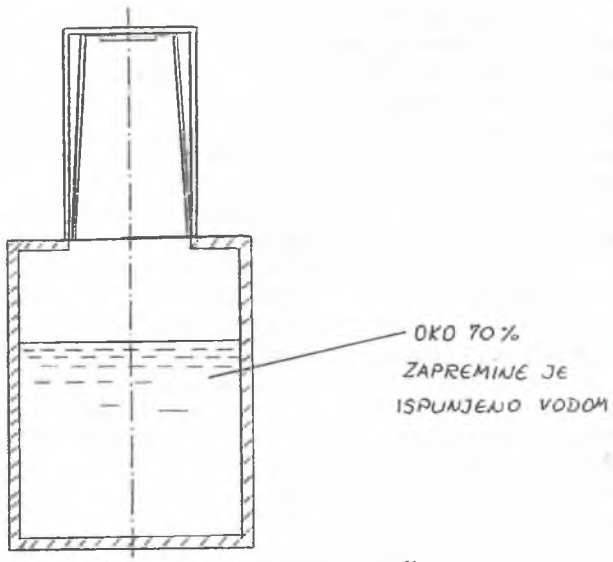
2. Eksperiment i rezultati

U Institutu za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita" u Institutu "Vinča" napravljena je sonda za merenje koncentracije radona u vodi. Na slici 1 dat je izgled sonde.



Slika 1. Sonda za merenje koncentracije radona u vodi

Sonda je napravljena od plastične cevi čija je debljina zidova iznosila oko 3 mm. Sastoji se od dva cilindrična dela različitog prečnika. U delu (1) je smeštena difuziona komora sa trag detektorom. Deo (2) je povezan sa delom (1) koji se nalazio iznad površine vode. Spoj izmedju delova jedan i dva ostvaren je pomoću navoja, pa je rastavljanje sone jednostavno i omogućava brzu zamenu difuzioinih komora. Sonde su postavljene na ploču od stiropora tako plivaju na površini vode. Sa mesta merenja uzeti su takodje uzorci vode, koji su služili za odredjivanje koncentracije radona u laboratorijskim uslovima. Izgled posude za odredjivanje koncentracije radona je dat na slici 2.



Slika 2. Posuda za merenje koncentracije radona u vodi

Za merenje koncentracije radona i potomaka ^{214}Po i ^{218}Po korišćen je alfa osetljiv trag detektor CR-39 proizvodnje American Acrylcs & Plastics, Inc. USA. Dimenzije detektora su 2 x 2 cm^2 debljine oko 600 μm.

Opis komore i način hemijske obrade detektora dat je u radu [10].

Eksperiment je izvodjen na taj način što su na mestu merenja postavljene po tri ili četiri sonde za merenje koncenracije radona u vodi. Merenje koncentracije radona u vodi u ovoj metodi radi se merenjem koncentracije radona i potomaka u vazdušnoj zapremini difuzione komore.

Koncentracije radona u vodi izračunava se pomoću empirijske formule [1].

$$C_l = \alpha C = C \times (0.1057 + 0.405\, e^{-0.05t}) \ [Bq/m^3]$$

gde je:

C_l - Koncentracija radona u vodi [Bq/m^3]

C - koncentracija radona u vazduhu [Bq/m^3]

α - koeficijent fazne ravnoteže izmedju koncentracije radona u vodi i vazduhu

t - temperatura vode [°C].

Rezultati merenja prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati merenja koncentracije radona u vodi

Mesto	Datum	Vreme izlaganja (dan)	Koncentracije radona u vodi [Bq/m^3]
Bovansko jezero (vodotoranj)	13.11.91.-19.12.91.	36	22 ± 5
Bovansko jezero (blizu obale na d≈ 0.5m)	13.11.91.-19.12.91.	36	15 ± 3
Bovansko jezero (u laboratoriji)	25.11.91.-22.12.91.	28	11 ± 2
Bovansko jezero (vodotoranj)	19.12.91.-20.01.92.	32	20 ± 0
Bovansko jezero (blizu obale na d≈ 0.5m)	19.12.91.-20.01.92.	32	17 ± 2
Bovansko jezero (u laboratoriji)	23.12.91.-22.01.92.	30	11 ± 1
Bresje	19.12.91.-20.01.92.	32	16 ± 2
Vinci	01.10.91.-06.12.91.	66	2608 ± 141
Vinci (u laboratoriji)	18.10.91.-20.11.91.	33	8 ± 1

Na Bovanskom jezeru i Bresju (bazen pitke vode) dobijene su niske koncentracije radona u vodi za dati period merenja. U izvoru Vinci su dobijene znatno više koncentracije radona, koje su mogle da potiču od radona koji je dolazio iz okolnog zemljišta.

Rezultati merenja koncentracije radona u vodi u laboratorijskim uslovima su znatno niži, što ukazuje da se "radon iz okoline" raspao

3. Zaključak.

Cilj ovog rada je bio ispitivanje mogućnosti merenja koncentracije radona u vodi korišćenjem plastičnog detektora osetljivog na alfa zračenje.

Rezultati merenja ukazuju da je metoda pogodna za širi opseg merenja koncentracije radona i potomaka u vodi. Dosada je malo pažnje je posvećeno kontinualnim merenjima, koje bi trebalo izvoditi u toku cele godine s obzirom da koncentracija radona u vodi može da varira i za faktor 20 [1] zavisno od sezonskih promena, kao i parmetara okoline (temperatura i dubina vode).

U našim ispitivanjima, imali smo problem sa kondezacijom vodene pare na zidovima komore i na detektoru, koja je nastala zbog razlike u temperaturi izmedju vazduha i detektora. Naredna ispitivanja će se baviti ovim problemom koji će biti otklonjen pomoću filtera vlage ili boljom izolacijom sonde.

4. Reference

1. G.Somogyi and L. Lenart. "Time-integrated radon measurements in spring and well waters by track technique". Nuclear Tracks, Vol. 12, No 1-6, pp. 731-734, 1986.
2. Bernard L. Cohen, "A national survey of 222Rn in U.S. homes and correlating factors", Health Phusics, Vol. 51, No 2, pp. 175-183, 1986.
3. Bernard Cohen, D.Sc. "Radon a homeowners guide to detection&control", First Avon Books & Printing, February 1989, USA
4. J. C. N. Miles, K. D. Cliff, D. W. Dixona, B. M. R. Green and J. C. Strong, " Radon surveys and their implications radiation protection theory and practice" Sesion 11, 4th Int, Symp. Malvern, 1989.
5. J.E.Watson, J.P. Evans and A.M. Mabry," Analysis of Rn-222 concentration in North Carolina house hold water supplies derived from private wells", Health Physics, Vol. 65, Num. 2. pp. 156-160. August 1993.
6. U.S. Environmental Protection Agency, "Nacional primary drinking water regulations for radionuclides", Washington, DC, U.S. Goverment Printin Office, EPA/570/9-91/700, 1991.
7. C. Richard Cothern and James E. Smith, Jr. "Environmental radon", Plenum pres, New York and London, 1987.
8. C. Richard Cothern, William L. Lappenbusch and Jacqueline Michel," Drinking water contribution to natural backgraund radioation, Health Physics, Vol. 50, No 1, pp. 33-47, January, 1986.
9. J. Kobal, A. Reiner," Radioaktivity of the atomic spa at Podčetrtek Slovenia, Yugoslavia, Health Physics, Vol. 53. No 3, pp. 307-310, 1987.
10. D.Veližković, D. Nikezić, R. Benderać, G. Marković, Z. Žunić, M. Kovačević, V. GordaniĆ, Compartive field measurements of radon concentration using different track detectors"", 1st Mediterrian Congress on Radiation Protection, Athens, Grece, 5-7 April, 1994.

Abstract:

The radon contents dissolved in natural waters "in situ" and in laboratory conditions are measured. As detectors, plastic track detectors in difusion chambers have been used.

Key words: radon, natural wather

МОДЕЛОВАЊЕ ТРАИСПОРТА РАДИОНУКЛИДА ПРИМЕНОМ АУТОМАТСКОГ МЕТЕОРОЛОШКОГ МЕРНОГ СИСТЕМА

Зоран Гршић[1], Драгољуб Антић[1], Бошко Телента[2], Марина Шокчић-Костић[1]

[1]Институт за нуклеарне науке "Винча", п.ф. 522, 11001 Београд

[2]Савезни хидрометеоролошки завод, п.ф. 604, 11001 Београд

Резиме

Аутоматски метеоролошки систем развијен у Институту "Винча" примењен је код моделовања транспорта радионуклида. Као извор радионуклида узет је пример пројектованог брзог реактора "Ласта", а анализиран је транспорт радионуклида ^{41}Ar. Обрађен је случај ослобађања ^{41}Ar приликом максимално могућег реално очекиваног удеса на реактору. Анализирана су три временска периода и реални мерени метеоролошки параметри су искоришћени за одређивање просторне расподеле концентрације анализираног радионуклида. Размотрена је могућност укључивања добијених резултата у друге метеоролошке моделе.

Кључне речи: радионуклиди, метеоролошки параметри, мерни систем, просторна расподела, концентрација, категорије стабилности, ружа ветрова

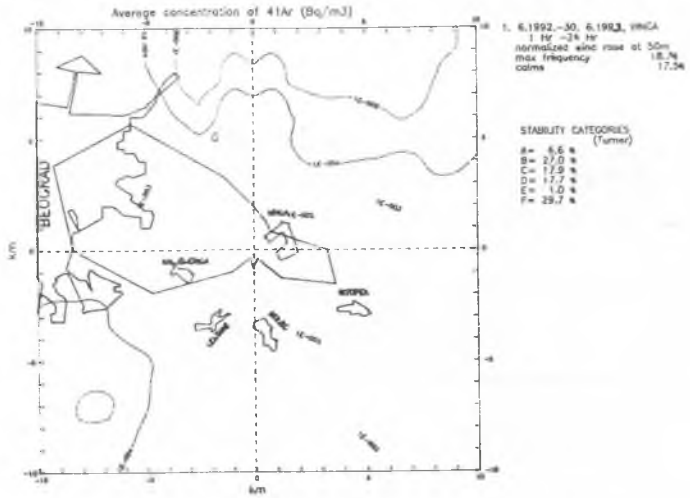
1. Увод

Моделовање транспорта ефлуената кроз атмосферу скопчано је са третманом великог броја спрегнутих физичких процеса. Метеоролошки параметри у атмосфери се непрестано мењају у глобалним и локалним размерама. Степен тачности прогнозе њихове промене зависи од могућности адекватног моделовања физичких процеса који на те промене утичу. У практичном смислу, моделовање је ограничено могућностима рачунара и потребом да се до резултата дође у реалном временском интервалу.

За потребе сигурносних анализа утицаја постројења са хемијским или радиоактивним ефлуентима користе се различити модели, који обезбеђују процену максимално неповољног или неког усредњеног просечног утицаја на околину. У зависности од могућности коришћеног модела, може се добити различит ниво тачности тих процена и могу се анализирати различите ситуације неповољног утицаја. Модели који се развијају за потребе моделовања промене метеоролошких параметара у атмосфери могу врло успешно да се ппошире и на третман транспорта ефлуената истовремено са метеоролошким процесима.

2. Аутоматски метеоролошки мерни систем

У Институту за нуклеарне науке "Винча" развијен је аутоматски метеоролошки систем. Аутоматска метеоролошка мерна станица FMA 86 (производ немачке фирме Wilhelm Lambrecht, Goettingen) чини мерни део система, [1]. Мерном делу је придодат компјутер са одговарајућим софтвером и плотером. На тај начин је добијена преносна мерна станица, која истовремено са мерењем аутоматски обрађује измерене резултате и на основу њих одређује концентрације ефлуената и њихову просторну расподелу.



Слика 1. Просторна расподела ^{41}Ar у околини брзог реактора "Ласта" у току анализираног једномесечног летњег периода

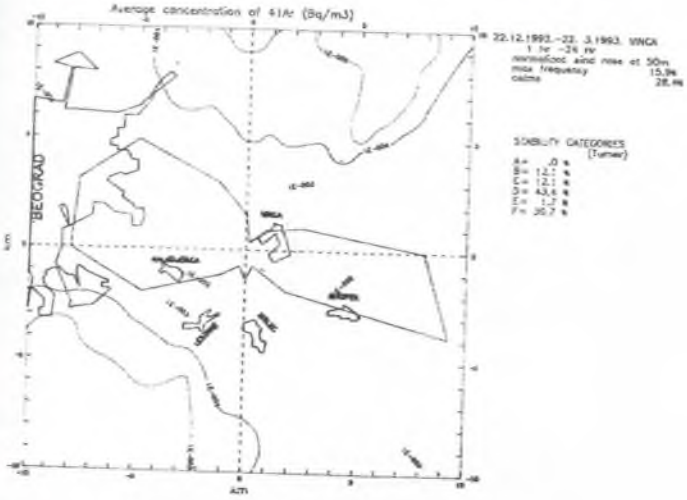
Модел за моделовање транспорта ефлуената кроз атмосферу, уграђен у софтверски део система, користи Pasquill-Turner-ову шему за одређивање категорија стабилности. Дифузија ефлуента се у моделу рачуна коришћењем праволинијског Gauss-овог модела димне перјанице.

2. Избор узорка за анализу и резултати прорачуна

Аутоматски метеоролошки мерни систем је употребљен за анализу транспорта радионуклида ^{41}Ar у околини пројектованог реакторског система на брзе неутроне "Ласта", [2]. Узорак је одабран због потребе да се могућности модела демонстрирају на примеру реалних мерених метеоролошких параметара, а локација одабраног пројектованог система то омогућава.

Радионуклид ^{41}Ar је практично најбитнији ефлуент који се емитује у околину приликом рада пројектованог реактора на брзе неутроне "Ласта". Реактор "Ласта" (критични систем) у току планираног рада испушта у околину годишње око 10^7 овог радионуклида. Код прорачуна су узете пројектне вредности за вентилациони димњак (висина 50 m, излазни пречник димњака 1 m, излазна брзина струјања 6 m/s, температура ваздуха на излазу из димњака 20 ^{o}C), [3].

Анализирана су три временска периода: једномесечни летњи интервал, тромесечна зимска сезона и једногодишњи интервал. Уочљива је осетна разлика између метеоролошких параметара у овим периодима, што је једна од специфичности разматране локације. Применом софтверског пакета модела одређена је просторна расподела анализираног ефлуента у околиии локације пројектованог брзог реактора. Коришћен је дводимензиони просторни домен димензија 20x20 km. Добијени резултати просторне расподеле за анализиране периоде приказани су на сликама 1.-3.



Слика 2. Просторпа расподела ^{41}Ar у околини брзог реактора "Ласта" у току анализиране тромесечне зимске сезоне

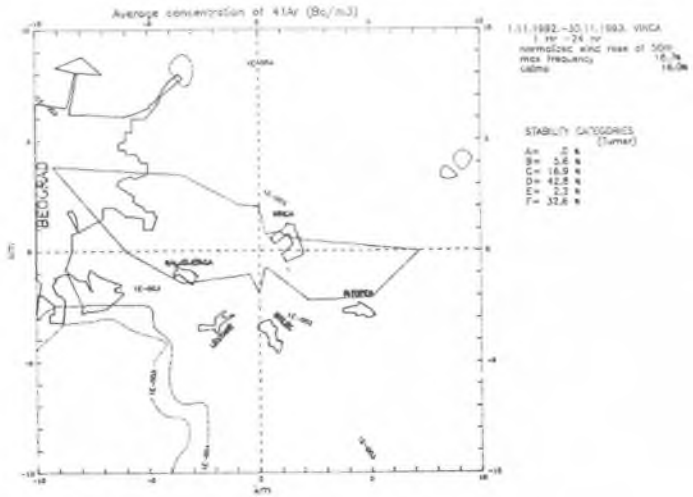
3. Закључци

Применом аутоматског метеоролошког мерног система успешно се могу добити информације о просторној расподели радионуклида у околини анализираног нуклеарног постројења током одређеног временског интервала. Метеоролошки параметри се мере и истовремено обрађују, тако да се не ради са претпостављеним вредностима. На основу више измерених временских интервала могуће је доћи до низа закључака о простирању радионуклида у околини постројења. Ово је од великог значаја код сигурносних анализа за нуклеарна постројења.

Аутоматски метеоролошки мерни систем развијен у Институту "Винча" даје најбоље резултате на мањим просторним доменима. Постоје други метеоролошки модели који су успешно примењивани код моделовања транспорта полутаната у атмосфери, као нпр. модел облака, [4], који се може користити на неколико пута већем просторном домену. Да би се овакав модел користио, потребно је познавање одговарајућих метеоролошких параметара. Намеће се могућност и потреба за повезивање ова два модела, при чему би се аутоматски метеоролошки мерни систем користио за припрему улазних података за модел облака. Тако добијен модел могао би да се користи за квалитетну симулацију транспорта радионуклида током брзо променљивих метеоролошких ситуација. Тиме би се омогућиле бројне сигурносне анализе, нарочито везане за анализе максимално очекиваних хипотетичких удесних стања, јер би било могуће спајање максимално неповољних догађаја на нуклеарном постројењу и максимално неповољних метеоролошких параметара у близини локације постројења.

Захвалност

Израда овог рада је финансирана средствима Фонда за науку МНТ Србије.



Слика 3. Просторна расподела ^{41}Ar у околини брзог реактора "Ласта" у току анализираног годишњег периода

Литература

[1] Z.Gršić,D.Antić, M.Šokčić-Kostić: *"The Analysisof ^{41}Ar Dispersion in Vicinitz of Research Zero Power Fast Reactor"*, Abstracts Booklet of the 6th Int.Symp. on Radiation Physics (ISRP-6), p. 106, Rabat, 1994.

[2] M.Milošević, D.Stefanović, M.Pešić, D.Popović, D.Nikolić, D.Antić, N.Zavaljevski: *"Design Characteristics of Research Zero Power Fast Reactor LASTA"*, Proc. of Int. Conf. on the Physics of Reactors PHYSOR'90, v. 3, pp. PI.120 - PI.125, Marseille, 1990.

[3] Projektna dokumentacija za postrojenje LASTA, Institut za nuklearne nauke "Vinča", 1990. .

[4] D.Antić, B.Telenta: *"Transport of Radionuclides in the Atmosphere During Complex Meteorological Conditions"* Trans. Amer. Nucl. Soc., v. 64(1), pp. 451-453, 1991.

MODELING OF THE TRANSPORT OF RADIONUCLIDES USING AN AUTOMATIC METEOROLOGICAL SYSTEM FOR MEASUREMENTS

Zoran Gršić, Dragoljub Antić, Boško Telenta, Marina Šokčić-Kostić

Abstract

An automatic szstem for measurements of the meteorological parameters, developed in the Institute "Vinča", has been used for the simulation of ^{41}Ar in vicinity of the projected fast neutron experimental reactor. The spatial distributions of the radionuclides during analysed time periods are presented. The possibilities of the use other meteorological models has been analzsed.

GODIŠNJE PROMENE KONCENTRACIJE ^{137}Cs I ^{7}Be U INSTITUTU VINČA

Dragana Todorović, Mirjana Radenković, Vojislava Šipka
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, P.p. 522, YU-11001 Beograd

Rezime

U radu su prikazani rezultati sistematskog praćenja sadržaja ^{137}Cs i ^{7}Be u vazduhu i padavinama u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" u toku 1994.god. Uzorci su sakupljeni na mernoj stanici "Institut" i "Usek" i gamaspektrometrijski analizirani korišćenjem HPGe detektora. Uočena je korelacija izmedju koncentracija ^{137}Cs i ^{7}Be u vazduhu i padavinama.

Ključne reči : gama-spektrometrija, vazduh, padavine

1. Uvod

Kontrola radioaktivnosti vazduha i padavina u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" organizovana je od 1959. godine u okviru Službe za zaštitu od zračenja. Već više od trideset godina, u okviru ove kontrole, vrše se sistematska merenja ukupne beta aktivnosti uzoraka vazduha i padavina. Zadnjih godina uvedena je i metoda gama-spektrometrije, za čije potrebe se koriste dva HPGe -detektora visoke rezolucije.

U ovom radu prikazani su rezultati merenja sadržaja ^{137}Cs i ^{7}Be u uzorcima vazduha i padavina na mernim stanicama "Institut" i "Usek" u toku 1994.god. /1/

2. Metode merenja

Uzorci vazduha i padavina sakupljani su na mernoj stanici u samom Institutu ("Institut") i na mernoj stanici "Usek" koja se nalazi na pravcu dominantnog jugoistočnog vetra od Instituta prema Beogradu na rastojanju od 2 km.

Uzorkovanje vazduha vršeno je prosisavanjem vazduha kroz filter papir efikasnosti 80% na atmosfersku prašinu, u toku 24 časa. Dnevni uzorci suvih i tečnih padavina uzimani su na visini 1m iznad tla, sa površine $0.25m^2$ i $0.16m^2$. Da bi se smanjila donja granica detekcije i povećala geometrijska efikasnost merenja uzorci vazduha i padavina žareni su na temperaturi ispod 400°C, i tako pripreman zbirni mesečni uzorak.

Gama-spektrometrijska analiza uzoraka urađena je pomoću HPGe detektora relativne efikasnosti 23%. Kalibracione krive efikasnosti dobijene su korišćenjem radioaktivnog referentnog materijala čiji je matriks aerosolni prah (poreklom iz ZND).

3. Rezultati i diskusija

Rezultati gama-spektrometrijske analize uzoraka vazduha i padavina, dobijeni u toku 1994. godine, prikazani su u tabelama 1. i 2.. Detektovani su ^{7}Be, radionuklid kosmogenog

porekla koji je veoma značajan za ocenjivanje doprinosa kosmičkog zračenja prirodnom zračenju, proizvedeni radionuklid ^{137}Cs i prirodni radionuklid ^{210}Pb. U pojedinim uzorcima prisutan je i ^{134}Cs, Černobiljskog porekla, u tragovima.

Tabela 1 Srednja mesečna koncentracija ^{137}Cs u vazduhu i padavinama u toku 1994.g.

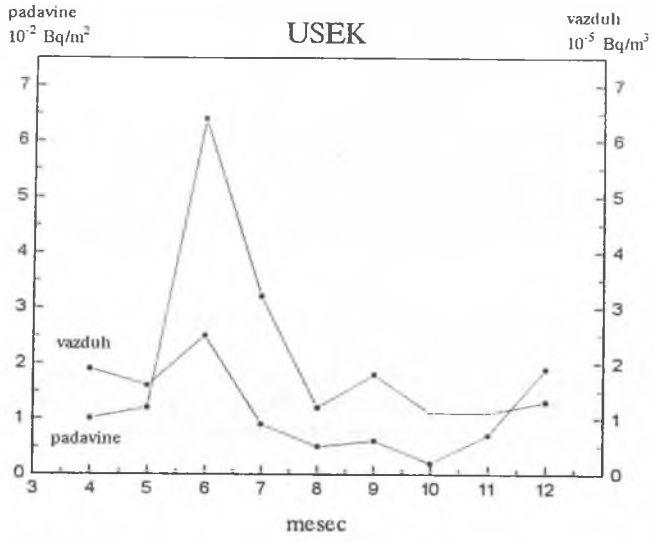
	USEK		INSTITUT	
mesec	padavine 10^{-2} Bq/m^2	vazduh 10^{-5} Bq/m^3	padavine 10^{-2} Bq/m^2	vazduh 10^{-5} Bq/m^3
APRIL	1.0	1.9	2.8	igd. (v)
MAJ	1.2	1.6	igd. (p)	2.0
JUN	6.4	2.5	3.5	igd. (v)
JULI	3.2	0.9	3.2	0.3
AVGUST	1.2	0.5	2.0	igd. (v)
SEPTEMBAR	1.8	0.6	1.7	igd.(v)
OKTOBAR	1.1	0.2	3.1	0.2
NOVEMBAR	1.1	0.7	2.5	0.3
DECEMBAR	1.3	1.9	2.9	0.4

Napomena: igd. (v) - ispod granice detekcije (vazduh) 1.8 10^{-6} Bq/m^3
igd. (p) - ispod granice detekcije (padavine) 7.0 10^{-3} Bq/m^2

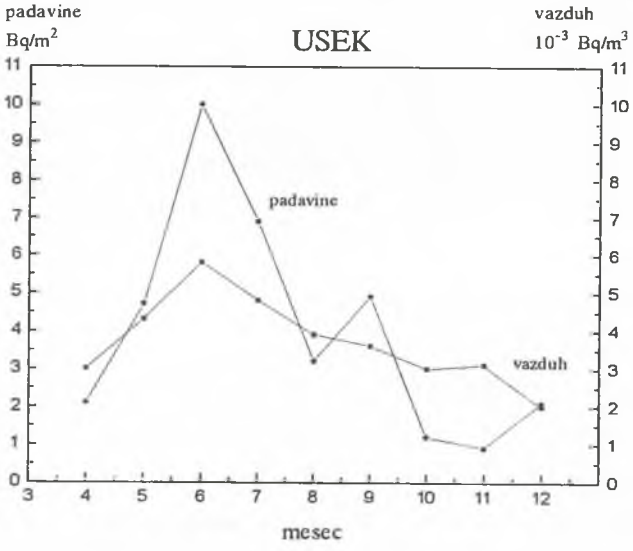
Tabela 2. Srednja mesečna koncentracija ^{7}Be u vazduhu i padavinama u toku 1994.g.

	USEK		INSTITUT	
mesec	padavine (Bq/m^2)	vazduh (10^{-3} Bq/m^3)	padavine (Bq/m^2)	vazduh (10^{-3} Bq/m^3)
APRIL	2.1	3.0	5.1	2.4
MAJ	4.7	4.3	10.3	4.1
JUNI	10.0	5.8	19.8	4.4
JULI	6.9	4.8	12.9	6.1
AVGUST	3.2	3.9	8.0	4.7
SEPTEMBAR	4.9	3.6	9.8	4.1
OKTOBAR	1.2	3.0	10.1	2.9
NOVEMAR	0.9	3.1	6.9	2.6
DECEMBAR	2.1	2.0	6.5	2.0

Godišnji trend promene srednje mesečne koncentracije ^{137}Cs i ^{7}Be u vazduhu i padavinama, za stanicu "Usek", prikazan je na Sl.1. i Sl.2.



Slika 1. Srednja mesečna koncentracija ^{137}Cs u vazduhu i padavinama u toku 1994. godine



Slika 2. Srednja mesečna koncentracija ^{7}Be u vazduhu i padavinama u toku 1994. godine

Vidi se da koncentracija ^{137}Cs prati promene koncentracije ^{7}Be i dostiže maksimalnu vrednost u prolećnim mesecima. Postoji visok stepen korelacije za koncentraciju ^{137}Cs u vazduhu i padavinama, kao što se i očekuje. Ista zavisnost postoji i za ^{7}Be, što je primećeno i od strane drugih autora /2/.

Uzorkovanje vazduha i padavina na stanici "Institut" ne vrši se na istom mestu, pa se slična korelacija ne može primetiti.

Literatura

/1/ Izveštaj o radu po projektu "Istraživački nuklearni reaktor RA ", Vinča , 1994.
/2/ P.F.Gustafson, M.A.Kerrigan, "Comparision of beryllium-7 and ceasium-137 radioactivity in ground-level air", Nature, Vol..191, pp. 454-456, 1961.

^{137}Cs I ^{7}Be CONCENTRATIONS AT LOCATION NI "VINČA"

Dragana Todorović, Mirjana Radenković, Vojislava Šipka
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Radiation and Environmental Protection Department, P.O. Box 522, Yu-11001 Belgrade

Abstact

Here are presented results of sistematic controll of ^{137}Cs and ^{7}Be contents in air and fallout samples at the location of NI"Vinča".

Key words: gamma-spectrometry, air, fallout

STVARANJE TRITIJUMA PRI RADU REAKTORA RB

Vojislava Šipka, Nada Miljević, Milan Pešić i Zoran Gršić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", p.p. 522, 11001 Beograd

Rezime

Odredjen je sadržaj tritijuma u dnevnim uzorcima padavina, prizemnoj kondenzaciji i vazduhu u krugu Instituta za nuklearne nauke "Vinča" za vreme rada istraživačkog reaktora RB 1W(tr) tokom novembra i decembra 1994. godine. Oslobodjena fisiona energija reaktora bila je u opsegu od 1,7mWh do 14.62 Wh u toku jednog dana. Izmerene koncentracije tritijuma u padavinama su bile 1,4-132,6 Bq/l i prizemnoj koncentraciji 47,2-1204 Bq/l. Sadržaj tritijuma u obliku HTO u vazduhu se kretao od 2,8 do 6,2 Bq/l.

Ključne reči: tritijum, reaktor, padavine, atmosferska vlaga

1. Uvod

Prosečan sadržaj tritijuma u mesečnim kompozitnim uzorcima padavina u Instituta za nuklerane nauke "Vinča" za period 1988-1994. godina je 30 ± 13 Bq/l što je skoro za red veličine više od vrednosti (5 ± 2 Bq/l) merene u isto vreme na referentnom mernom mestu, meteorološka stanica Zeleno Brdo. Tokom rada teškovodnih reaktora tritijum nastaje zarobljavanjem neutrona u deuterijumu, tj. teškoj vodi koja služi kao moderator. Od nuklearnih instalacija u Vinči koje sada potencijalno mogu da proizvode tritijum je jedino istraživački reaktor, RB, termičke nominalne snage 1 W. Cilj istraživanja je bio da se utvrdi sadržaj stvorenog tritijuma u neposrednoj okolini Instituta za vreme rada reaktora pri raznim snagama.

2. Uzorkovanje i merenje

Za vreme rada istraživačkog reaktora, RB, tokom novembra i decembra meseca 1994. godine meren je saržaj tritijuma u 24 časovnim uzorcima padavina, prizemne kondenzacije (rosa, magla, inje, slana) i atmosferske vlage. Mesto uzorkovanja padavina je 150 m od zgrade raktora RB, a atmosferske vlage 700 m dalje u pravcu severozapadnog vetra. Uzorkovanje je vršeno 2 dana pre početka rada reaktora, za vreme njegovog rada i nastavljeno još nekoliko dana po prestanku rada. Uzorci padavina i prizemne kondenzacije su sakupljani na metalnoj tacni površine 0.15 m^2 u cilju povećanja količine raspoloživog uzorka za analizu. Pri kontinualnom protoku vazduha brzinom 70-80 l/h vršeno je uzorkovanje tritijuma iz atmosfere samo u obliku oksida, HTO, koristeći diferencijalnu aparaturu (Institute of Isotopes of Hungarian Academy of Sciences). HTO koncentracija u vazduhu računata je iz aktivnosti tritijuma u vodi absorpbovanoj na molekulskom situ 4A [1, 2].

Aktivnost tritijuma je merena tečnim scintilacionim spektrometrom (1219 Rack Beta Spectral) i izražena u Bq/l vode ili Bq/m^3 vazduha. Prethodno elektrolitičko obogaćivanje uzoraka nije vršeno zbog njihove male količine. Greške merenja su od 5 do 10%. Meteorološki podaci za srednju 24 časovnu temperaturu i relativnu vlažnost dobiveni su obradom sedmodnevnih traka sa analognim kontinualnim zapisom. Brzina i pravac vetra su beleženi na meteorološkom stubu u neposrednoj blizini uzorkovanja padavina.

3. Potencijalni izvor tritijuma

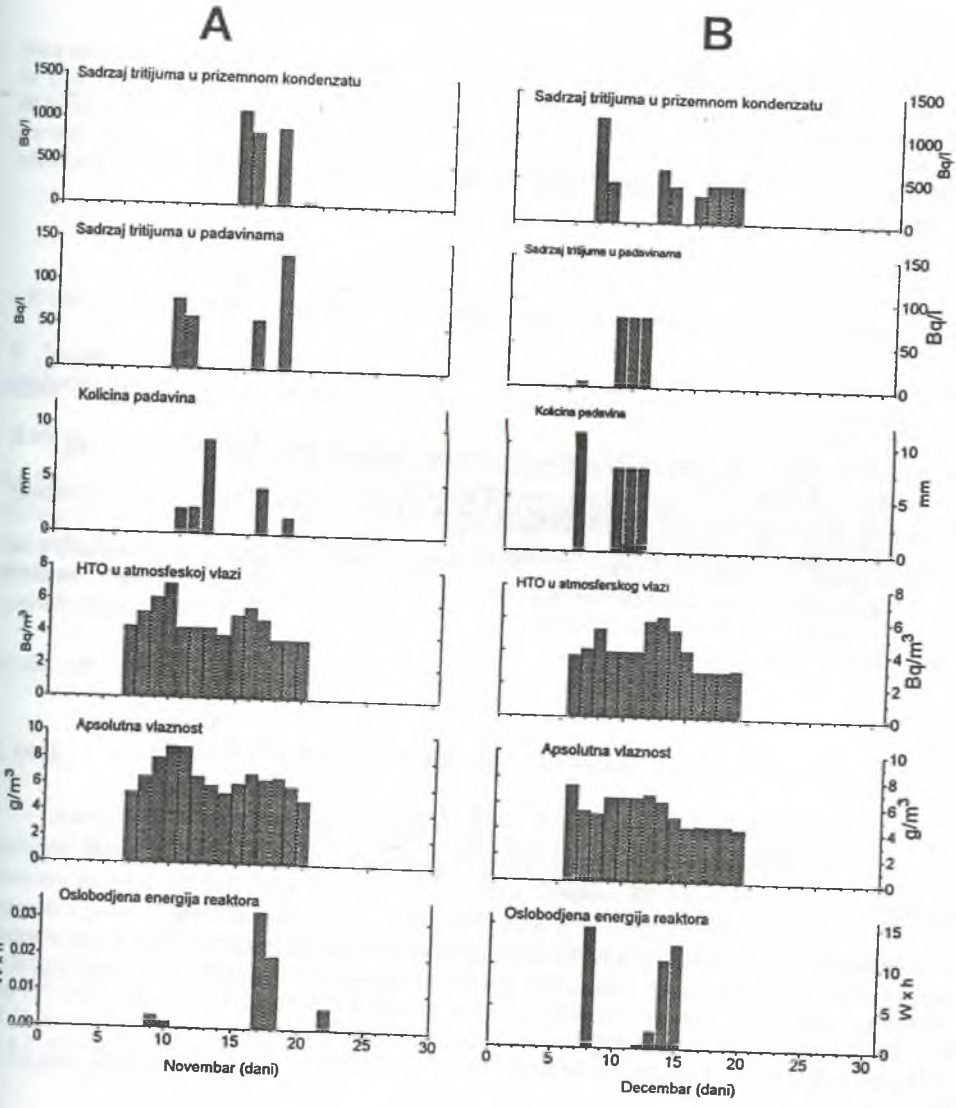
Reaktor RB termičke snage 1 W sa promenljivim intenzitetom radi od 1958. godine koriseći tešku vodu, (D_2O) kao moderator. Postoji oko 6 m^3 teške vode u rezervoaru, čija je ravnotežna koncentracija tritijuma bila 1.85 MBq/l pre razmatranih eksperimenata, dajući ukupnu aktivnost tritijuma od 11 GBq. Količina vode koja učestvuje u toku eksperimenta u reaktorskom sudu je promenljiva i zavisi od formiranog jezgra sa kojim se radi, a u ovim eksperimentima je iznosila 4,3 m^3. Njeno prebacivanje se vrši pomoću cirkularnog sistema. Raktor ne poseduje sistem hladjenja gorivnih elemenata prinudnom cirkulacijom hladioca, već se toplota prenosi sa goriva na okolni moderator kondukcijom, kao ni biološku zaštitu od zračenja oko reaktorskog suda. Prirodna ventilacija se vrši kroz otvor na visini od 11 m.

Oslobodjena fisiona energija, računata je na osnovu poznavanja srednjeg ukupnog fluksa neutrona i vremena rada reaktora, bila je u opsegu od 1,7 mWh do 14,62 Wh u toku jednog dana. U ovim eksperimentima kao gorivo je korišćen prirodni metalni uranijum i 80% obogaćeni uranijum dioksid. Ukupno izračunata generisana aktivnost tritijma u teškoj vodi reaktora je bila 51,5 mBq/l u novembru za ukupno oslobodjenu energiju od 0,066 Wh i 31.4 Bq/l u decembru pri upunno oslobodjenoj energiji od 40.56 Wh. Ukupno povećanje aktivnosti tritijuma u teškoj vodi se procenjuje na 132 kBq.

4. Rezultati i diskusija

Oslobodjena fisiona energija reaktora po danima zajeno sa rezultatima za apsolutnu vlažnost vazuha, količinu padavina, sadržaj tritijuma u obliku HTO u atmosferskoj vlazi, njegov sadržaj u postojećim padavinama i prizemnoj kondenzaciji kao i meteorološkim uslovima za vreme eksperimenata prikazani su na slici 1 (A. tokom novembra i B. tokom decembra meseca). Zapaža se da, mada pri velikoj razlici u oslobodjenoj energiji reaktora, vrednosti za sadržaj tritijuma u okolini Instituta su prilično slične. Apsolutna vlažnost se kretala u intervalu od 4,1 do 8,9 g/m^3. Sadržaj tritijuma u atmosferskoj vlazi u HTO obliku bio je od 2.8 do 6,2 Bq/m^3 vazduha, što je deset puta više od vrednosti (0,39 Bq/m^3) globalnog nivoa merenom na lokacijama bez uticaja nuklearnih instalacija [3]. Koncentracije tritijuma u vazduhu su uporedive sa onima na rastojanju oko 6 km od nuklearnih elektrana [4]. Sa povećanjem apsolutne vlažnosti povećava se i HTO koncentracija. Ove vrednosti su vrlo slične onima dobivenim na istom mernom mestu u nedeljnim uzorcima (6 Bq/m^3) tokom 1993-94 godine u isto vreme (pri sličnoj apsolutnoj valažnosti, period novembar-mart) [5]. Ukoliko su se desile padavine dan posle eksperimenta na reaktoru, koncentracija tritijuma u njima je bila 132,3 Bq/l (18. novembra) odnosno 80.1 Bq/l (trodnevni uzorak 9-11. decembra), što je znatno više od prosečne mesečne vrednosti u padavinama (27 ± 12 Bq/l, n=49) za one mesece kada nisu vršeni eksperimenti na reaktoru. Prvi put smo merili sadržaj tritijuma u prizemnoj kondenzaciji. Kako se radilo o hladnom periodu (-1,7 do 6,9 °C) sa prosečnom relativnom vlažnošću od 77 do 100 % dobivene su znatne zapremine kondenzata 10-43 ml (0,07-0,29 l/m^2). Interesantno je zapaziti da su ove vrednosti (324,2 - 889,7 Bq/l) za red veličine više od onih u padavinama. Najviše vrednosti 1087.2 Bq/l (14. novembar) i 1204,8 Bq/l (7. decembar) su nadjene neposredno pre početka generisanja novih količina tritijuma radom reaktora. Merenja prizemne kondenzacije moraju se nastaviti u različim vremenskim uslovima kako bi raspolagalo sa više podataka i utvrdilo tačno poreklo merene koncentracije. Jedna od prepostavki je postojanje veće količine tritijuma u tlu.

Nadjene visoke vrednosti za koncentraciju tritijuma u padavinama bi mogle da se objasne učestvovanjem prizemne koncentracije u uzorcima padavina. Količine padavina su bile relativno male (1,6 - 11 l/m^2), tako da pri tadašnjim uslovima visoke prizemne kondenzacije njihovo učešće se može proceniti na 2-9%. Uočava se da ukoliko je količina padavina bila veća utoliko je koncentracija tritijuma u njoj bila manja.



Meteoroloski uslovi za vreme eksperimenta:	novembar	decembar
Glavni vetar:	istok-jugoistok	zapadni
Učestanost pojavljivanja:	11,2%	22%
Srednja brzina vetra:	1,5 m/s	1,8 m/s
Tišina:	38,3%	41,1%
Obradjeno vreme:	384 h	336 h

Slika 1. Sadržaj tritijuma u padavinama, prizemnoj kondenzaciji i vazduhu u okolini Instituta zajedno sa oslobodjenom snagom reaktora

5. Zaključci

Značajno povećanje koncentracije tritijuma nije zabeleženo za vreme rada i neposredno posle rada RB reaktora. Izmereni sadržaj tritijum u padavinama i vazduhu je viši za oko 10 puta od globalnog svetskog nivoa na mestima u kojima nema uticaja nuklearnih instalacija. Ostvareni rezultati ukazuju na postojanje kontinualnog emitovanja tritijuma u atmosferu iz nekog lokalnog izvora i neophodno detaljnije ispitivanje preostalih potencijalnih izvora tritijuma u Institutu za nuklearne nauke "Vinča".

Literatura

[1] Ostlund, H.G. and Mason, A.S., "Atmospheric HT and HTO", Tellus Vol.26, pp. 91-101., 1974.

[2] Šipka, V., Hadžišehović, M, Miljević, N., "Sadržaj izotopa vodonika u vazduhu", II Simpozijum hemija i zaštita životne sredine, Vrnjačka Banja, 9.-13. jun 1993, Izvodi radova, str. 251.

[3] Brown, R.M., "HT and HTO in the environment at Chalk River", Fusion technology Vol.8, pp. 2539-2543, 1985.

[4] Bell, R.P., Davis, M.W., "Development of a tritium dispersion code", Fusion technology Vol.8, pp. 2582-2586, 1985.

[5] Miljević, N., Šipka, V., Gršić, Z., "Time variation of D, ^{18}O and ^{3}H in atmospheric water vapor and precipitation near the Institute of Nuclear Sciences Vinča", Second International Symposium and Exhibition of Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest'94, Budapest, September 20-23, 1994, Symposium Program, p. 127.

TRITIUM RELEASE DURING RB REACTOR OPERATION

Vojislava Šipka, Nada Miljević, Milan Pešić and Zoran Gršić
Institute of Nuclear Sciences Vinča, P.O.B. 522, 11001 Belgrade

Abstract

Tritium content in daily precipitation, ground condensation and atmospheric water vapor samples was monitoring during normal RB reactor operating conditions in November and December 1994. Generated fission energy from the reactor was ranging between 1.7 mWh and 14.62 Wh per day. Tritium concentrations in precipitation and ground condensation were 1.4-132.6 Bq/l and 47.2-1204 Bq/l, respectively. Tritium content in atmospheric water vapor in HTO form varied from 2,8 to 6,2 Bq/m^3.

Key words: tritium, reactor, precipitation, atmospheric water vapor

ANALIZA GAMA AKTIVNOSTI TEŠKE VODE SA REAKTORA RB

V. Ljubenov, M. Pešić, A. Kukoč, S. Avdić, T. Milovanović, S. Milovanović
Institut za nuklearne nauke - "Vinča", P.p. 522, 11001 Beograd

Rezime

Reaktor RB još uvek radi sa teškom vodom koja je nabavljena u bivšem SSSR 1959. godine. Rezultati merenja gama aktivnosti ove D_2O reaktora RB i uzorka D_2O koja nije nikad bila u reaktoru, uradjeni na dva germanijumska spektrometra i obradjeni iskustveno i sa nekoliko komercijalnih i razvijenih kompjuterskih kodova, pokazuju da je gama aktivnost D_2O reaktora RB na nivou gama fona u Institutu u Vinči.

Ključne reči: Reaktor RB, teška voda, gama aktivnost

1. Uvod

Reaktor RB je svoj rad počeo u proleće 1958. godine sa teškom vodom nabavljenom u tadašnjem SSSR. Ta teška voda je, sa puštanjem reaktora RA u pogon krajem 1959. godine, prebačena na reaktor RA, a nova je nabavljena u SSSR. Reaktor RB još uvek, nakon 37 godina neprekidnog rada, koristi tu tešku vodu. Svake godine, a po potrebi i češće, ova teška voda se kontroliše u pogledu izotopskog sastava i pH faktora, kao i u pogledu zagadjenosti, a periodično se proverava i na moguću kontaminaciju merenjem gama aktivnosti.

2. Eksperimentalna procedura

Merenja gama aktivnosti D_2O reaktora RB izvršena u proleće ove godine su prvi put uradjena na niskofonskom (dobro zaštićenom) germanijumskom spektrometru na kome je ostvareno merenje gama fona do energija od oko 2.85 MeV sa integralnom brzinom brojanja oko 0.5 impulsa/s. Uobičajena merenja gama aktivnosti teške vode se rade na germanijumskom spektrometru reaktora RB na kome je ostvareno merenje gama fona u opsegu energija od 50 keV do 1.85 MeV, ali sa integralnom brzinom brojanja od 16.167 ± 0.009 impulsa/s, jer ne postoji posebna zaštita od okolnog fona gama zračenja.

Da bi se ostvarilo pouzdano merenje, prvi put su izvršena i uporedna merenja gama aktivnosti uzorka D_2O koja se nalazi na reaktoru RA (nabavljena krajem 80-tih godina u tadašnjem SSSR), ali koja nije nikad korišćena u reaktoru.

Niskofonski germanijumski gama spektrometar je kalibrisan energetski u opsegu od 30 keV do 2.7 MeV, kao i na apsolutnu efikasnost koristeći posebno napravljene gama kalibracione rastvore

(izvore). Ovi izvori su izradjeni kao rastvori prirodno gama aktivnih materijala u vodi u plastičnim bocama tipa "Cedevita" od 300 ml. Jedan izvor sadrži rastvor od 12.633 g KCl u 300 ml destilovane vode, obezbedjujući gama liniju od 1460.8 keV iz nuklida ^{40}K. Drugi izvor je napravljen kao rastvor 15.063 g jedinjenja $La(NO_3)_3x6H_2O$ u 300 ml destilovane vode. Ovaj izvor obezbedjuje gama linije energija 788 keV i 1436 keV iz ^{138}La za kalibraciju kao i gama linije energija 154 keV, 270 keV, 351 keV, 403 keV i 832 keV koje potiču od potomaka iz niza prirodnog ^{227}Th.

Kriva energetske kalibracije je odredjena koristeći ove gama linije i njihov amplitudski spektar snimljen u višekanalnom analizatoru sa ADC i 8192 kanala memorije:

$$E_\gamma[keV] = 0.34999 \cdot ch + 8.711, \quad ch \in [1, 8191]$$

Na osnovu poznate mase rastvorenih nuklida u kalibracionim rastvorima, odredjena je, fitovanjem metodom najmanjih kvadrata na hiperbolu, njihova apsolutna aktivnost, a iz nje potrebna apsolutna efikasnost niskofonskog germanijumskog spektrometra za nepoznate uzorke rastvora u navedenoj geometriji merenja:

$$\epsilon = \frac{4.65699}{E_\gamma(keV)^{1.04466}}$$

Uzorci od 300 ml teške vode sa reaktora RB i reaktora RA za merenje na ovom niskofonskom spektrometru su pripremljeni kao navedeni kalibracioni izvori u pomenutim plastičnim bocama 'Cedevite'. Merenje uzorka teške vode sa reaktora RB je izvršeno za vreme oko 240000 s, pri čemu je ukupan integral impulsa iznosio 615171, što daje integralnu brzinu brojanja od 0.563 impuls/s, što je na nivou fona spektrometra. Merenje "referentnog" uzorka teške vode sa reaktora RA je izvršeno za vreme oko 96 000 s za koje je ostvaren ukupan integral impulsa od 247766, što daje integralnu brzinu brojanja od 0.581 impuls/s, što je takodje na nivou fona spektrometra.

Germanijumski gama spektrometar reaktora RB je kalibrisan sa tačkastim kalibracionim izvorima na različitim rastojanjima. Merenje uzoraka teške vode je izvršeno na rastojanju od 15 cm. Kalibracija efikasnosti spektrometra je verifikovana sa kalibracionim rastvorima u dve energetske tačke. Uzorci teške vode i kalibracioni rastvori su napravljeni u plastičnim bočicama zapremine 54.0 $\pm$ 0.1 ml. Za kalibraciju su korišćeni (1) rastvor KCl u destilovanoj vodi sa koncentracijom K od 1 g/50 ml i 5 g/50 ml, kao i rastvori ^{137}Cs aktivnosti 137.7$\pm$5.5 kBq i 275$\pm$11 kBq na dan 29.03.1995.

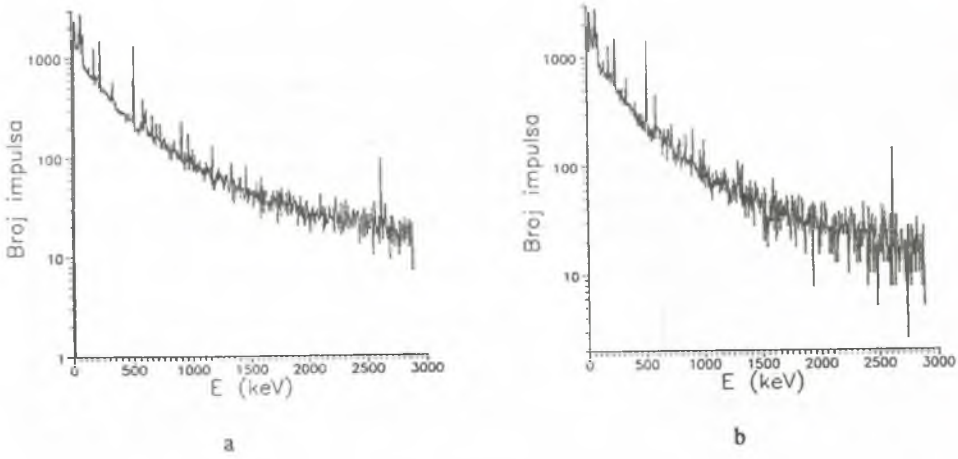
Merenje uzorka teške vode sa reaktora RB je izvršeno za vreme od 231678 s, pri čemu je ukupan integral impulsa iznosio 3,7766 10^6, što daje integralnu brzinu brojanja od 16.301$\pm$0.009 impuls/s, što je na nivou fona spektrometra. Merenje "referentnog" uzorka teške vode sa reaktora RA je izvršeno za vreme od 352449 s za koje je ostvaren ukupan integral impulsa 5.6809 10^6, što daje integralnu brzinu brojanja od 16.118 $\pm$ 0.007 impuls/s, što je takodje na nivou fona spektrometra.

3. Rezultati merenja

Pored iskustvene obrade gama spektara snimljenih uzoraka, za njihovu automatsku obradu su korišćeni i komercijalni računarski programi MicroSAMPO [1] i APOGEE [2] firme Canberra Inc., kao i računarski program ANA [3] razvijen u Laboratoriji NET. Rezultati obrade oba spektra su prikazani u tabeli I, dok su na slikama 1a i 1b prikazani snimljeni amplitudski spektri gama zračenja uzoraka obe teške vode (sa reaktora RB i sa reaktora RB) snimljeni na niskofonskom spektrometru, svedeni na isto vreme snimanja od 240000 s.

Tabela I. Odnos aktivnosti uzoraka teške vode sa RB i RA

Gamma pik [MeV]	Aktivnost RB / Aktivnost RA				
	Iskustveno NFS	SRB	MicroSampo	APOGEE	ANA
0.0464	0.74±0.11				
0.0633	0.80±0.07				0.61±0.05
0.0927	0.96±0.05				1.00±0.06
0.1438	0.56±0.07				
0.1858	0.94±0.07	0.54±0.03			0.85±0.06
0.2094	0.71±0.16				
0.2386	1.11±0.06	1.15±0.02	1.02±0.06	1.06±0.26	1.06±0.07
0.2701	1.83±0.41				
0.3383	0.74±0.08	1.22±0.05	0.83±0.11		
0.3519	1.24±0.31	1.15±0.02	0.91±0.18	1.46±0.22	
0.4632		0.71±0.05			
0.5830	0.79±0.08	1.00±0.02	0.87±0.10	1.14±0.27	
0.6094	1.27±0.28	1.14±0.02		1.25±0.14	
0.6616	3.67±1.12	0.82±0.03	1.26±0.26	1.26±0.45	
0.7270	0.37±0.08	0.83±0.05	0.64±0.13	1.20±0.59	
0.7958		1.02±0.06			
0.8610		1.00±0.06			
0.9108	0.79±0.10	1.03±0.03	0.73±0.11		
0.9650		0.97±0.05			
1.1732	2.45±0.69	1.11±0.06		1.10±0.51	
1.3325	0.55±0.14	0.92±0.06		1.10±0.51	
1.4608	1.84±0.53	1.02±0.01		1.20±0.03	
2.6142	0.56±0.10		0.63±0.12		



Slika 1. a) Spektar uzorka teške vode sa reaktora RB
b) Spektar uzorka teške vode sa reaktora RA

4. Zaključak

Analize gama aktivnosti uzoraka teške vode sa reaktora RB, izvršene sa nekoliko domaćih i inostranih programa, kao i poredjenja sa gama spektrom uzorka teške vode koja nikada nije korišćena u reaktoru, pokazuju da nema prisustva radionuklida koji potiču od fisionih produkata.

5. Reference

[1] MicroSAMPO Version 1.2, User's Manual CISE 511, Canberra Inc., 1988.
[2] APOGEE Version 1.3, Gamma Spectrum Analysis Code, Canberra Industries Inc., 1986.
[3] Avdić S., Marinković P., Pešić M., "ANA-Program za automatsko odredjivanje gama spektra sa bibliotekom linija gama nuklida", IBK-NET-Vinča programoteka, Vinča 1987.

GAMMA ACTIVITY ANALYSIS OF RB REACTOR'S HEAVY WATER

V. Ljubenov, M. Pešić, A. Kukoč, S. Avdić, T. Milovanović, S. Milovanović

Abstract

The RB experimental nuclear reactor still works with heavy water obtained 1959 in former USSR. During past time gamma activity of heavy water was periodically controled. In this experiment measurements were carried out with two samples: D_2O taken from RB reactor and the D_2O which was never used in reactor. Two germanium spectrometers were used as detectors. Data evaluation were done manually and with several computer codes. Results of the experiment show that gamma activity D_2O of RB reactor is on the level of background in "Vinča" Institute, without contamination with fission products.

Key words: Reactor RB, heavy water, gamma activity

PROBLEMATIKA ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA DISTRIBUCIJE

Nina Drndarski
Institut za nuklearne nauke "Vinča", p.fah 522, Beograd
Natan Lavi
Universitu of Tel-Aviv, Institute of Environmental Research,
Tel-Aviv, Israel

Rezime

Problematika matematičkog modeliranja distribucije radioizotopa u akvatičnoj sredini na bazi koeficijenata distribucije vrlo je aktuelna. Upoređene su vrednosti koeficijenata distribucije radiotehnicijuma određivane merenjima in situ i laboratorijski.

Ključne reči: koeficijent distribucije, radioizotop, retardacija, sorpcija, distribucija, in situ.

1. Uvod

U matematičkim modelima, kojima se aproksimira transport ili/i akumulacija radionuklida u akvatičnoj sredini, pod uslovom postignutog ravnotežnog stanja, retardacija/mobilnost radionuklida izražava se konstantom nazvanom koeficijent distribucije, K_D, i koji se prikazuje sledećom relacijom

$$K_D = C_s / C_w \qquad (1)$$

gde je: K_D = koeficijent distribucije [m^3/kg]
C_s = koncentracija radionuklida sorbovanog na sedimentu [mol/kg]
C_w = koncentracija radionuklida rastvorenog u vodi [mol/m^3].

Vrednosti K_D za jedan određeni radioizotop variraju i preko dva reda veličine i u funkciji su od niza specifičnih fizičko-hemijskih i drigih svojstava radioizotopa, sedimenata i vode. Iako nije moguće ustanoviti jednu univerzalnu vrednost K_D za svaki određeni radionuklid, većina modela distribucije zahteva definisanje određene vrednosti K_D.

Zadnjih ~ 20 godina objavljen je veliki broj radova raznih autora u vezi određivanja K_D in situ [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10, itd.], dok se u novije vreme javljaju autori, koji osporavaju validnost K_D merenih in situ [11,12,13, itd.].

2. Materijali i metode rada

Za određivanje koeficijenta distribucije za razne radioizotope, kao i za stabilne elemente, in situ, sakupljani su uzorci sedimenata i vode u slivovima domaćih reka i jezera, Dunava, Save, Kolubare, Morave, Grlišta i dr. Ovi uzorci su, posle standardne procedure pripreme uzoraka, mereni metodama gama spektrometrije za radionuklide i fluorescencije X-zracima za teške metale [14,15,16,17,18].

Pri laboratorijskom merenju koeficijenata distribucije, uzimano je 0.5 g suvih sedimenata, kojima je dodavano po 25 ml destilovane vode sa rastvorenim trejserima uz kontinualnu agitaciju i konstantne uslove. Posle postizanja ravnotežnog stanja ~ 7 dana, suspenzija je filtrirana i koncentracije radioizotopa sorbovanog na sedimentu i rastvorenog u eluatu su određivane.

3. Rezultati

Rezultati merenja koeficijenta distribucije radiotehnicijuma, kako u laboratoriji, tako in situ, prikazani su tabelarno (Tabela 1) i grafički (Slika 1). Iz prikazanih rezultata za radiotehnicijum, K_D vrednost određivana u laboratoriji, pokazalo se da je u saglasnosti sa nalazima drugih autora, za laboratorijsko ispitivanje [19], kao i pri određivanju in situ [2,6,8]. Međutim, vrednost K_D za radiotehnicijum određivana in situ (Slika 1) odstupala je od nalaza navedenih autora do dva reda veličine [18]. Određivane su K_D vrednosti in situ pomoću definisane referentne K_D - CR linije za reku Savu, koja je predstavljena sledećom jednačinom:

$$\log K_D = -0.5 \log CR + 3.2 \qquad (2)$$

pri čemu je

$$CR = C_P / (C_s + C_w) \qquad (3)$$

gde je C_P = koncentracija radionuklida u perifitonu [mol/kg].

Na slici 1 prikazane su referentne linije prema Baes-u i Šepard-u, radi upoređivanja sa našim rezultatima. Naša eksperimentalna referentna linija K_D - CR [18], kao i drugih autora, omogućava da se izračunaju nedostajuće vrednosti za K_D, ako su poznate za CR za određene kontaminante, i obrnuto.

Tabela 1. K_D vrednosti za radiotehnicijum u rečnoj vodi [ml/g]

Reference	In situ	Laboratorija
[18], [ovaj rad]	160 - 1600	0.654 - 1.042
[6], [8]	0 - 28	-
[19]	-	> 1 - 3.000
[2]	0 - 100	-

Naša merenja in situ za koeficijent distribucije za radiotehnicijum odstupaju od jednog do dva reda veličine od nalaza drugih autora. Međutim, poznato je da su vrednosti K_D vrlo različite za isti izotop u zavisnosti od uslova, oksido-redukcionih stanja, pH, saliniteta, prisustva koloida itd., tako da bi odgovor na pitanje zašto odstupanja u vrednostima K_D za iste izotope, mogao da se pronađe pri daljim ispitivanjima specifičnosti uslova određivanja K_D.

Literatura

[1] Eisenbud,M., "Environmental Radioactivity", Acad.Press Inc., New York, Sec.Ed., 1993.

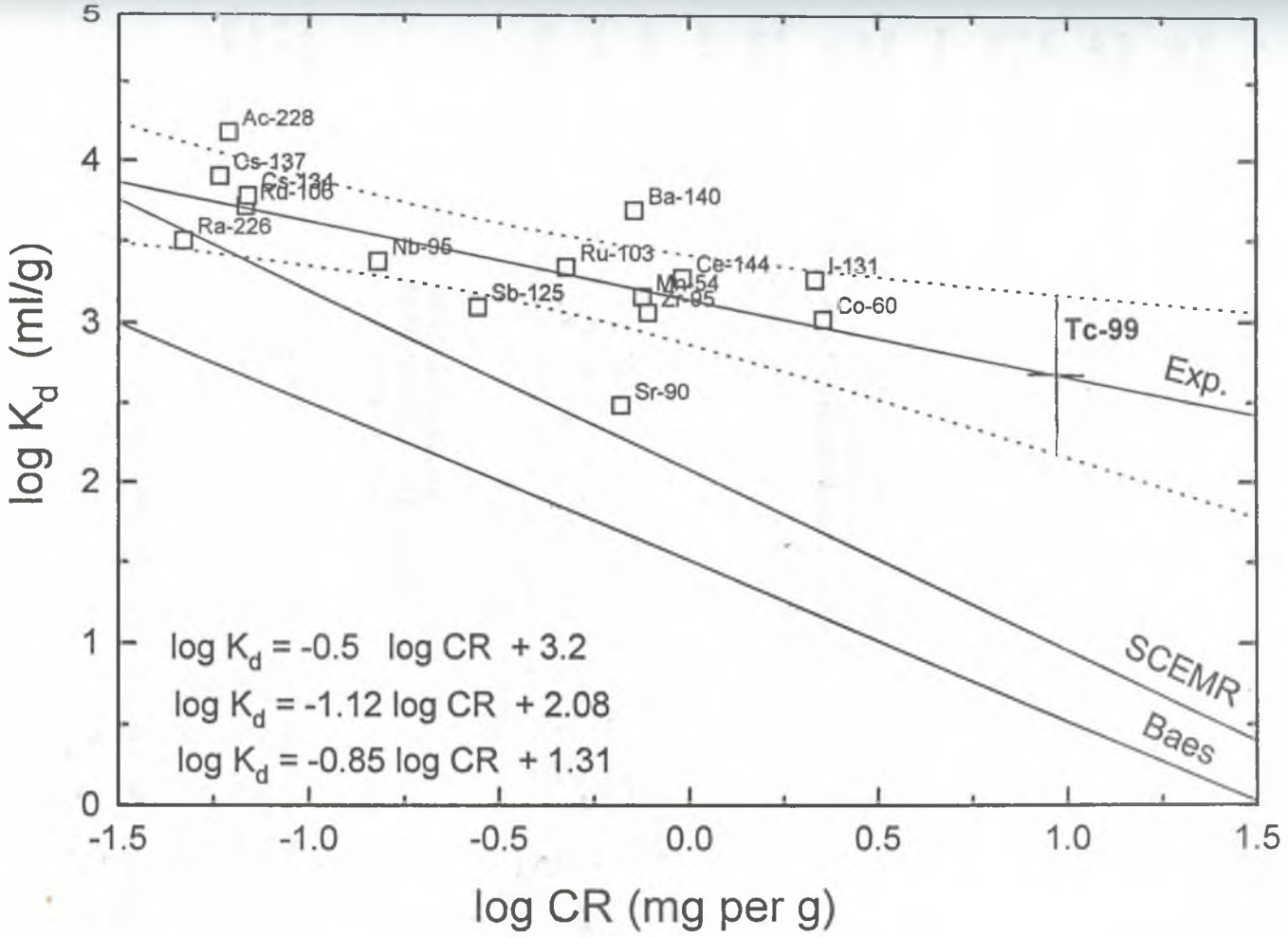
[2] Onishi,Y., Serene,E.M., Arnold,C.E., Cowan,F.L., Thompson,R.S., Critical Review: Radionuclide Transport, Sediment Transport and Water Quality Mathematical Modelling and Radionuclide Adsorption-Desorption Mechanisms: NWREGY CR-1322, PNL-2901, Pacific North-West Lab., Richland, Washington, 1981.

[3] Sibley,T.H., Myttenaere,C., "Application of distribution coefficients to radiological assessment models", Elseviet, The Netherlands, 1986.

[4] Hadermann,J., Von Gunten,H.R., "Radionuclide migration in the geosphere-Swiss research activities in laboratory and field experiments and in model validation", Radioac.Waste Man., 10, 1-3, 233-255, 1988.

[5] Patera,E.S., Habart,D.E., Meijer,A., Rundberg,R.S., "Chemical and physical processes of radionuclides migration at Lucea mountain", J.Radioan.Nucl.Chem.Articl., 142,1, 331-347, 1990.

[6] Sheppard,M.I., "Radionuclide partitioning coefficients in soils and plants and their correlation", Health Phys., 49,1, 106-111, 1985.



Slika 1. Koeficijent distribucije vs koncentracijski odnos

Sekcija 6.

OBRADA RADIOAKTIVNOG OTPADA I DEKONTAMINACIJA

PRIKAZ TENDENCIJA U OKVIRU BAZELSKE KONVENCIJE O KONTROLI PREKOGRANIČNOG KRETANJA OPASNOG OTPADA I NJEGOVOM ODLAGANJU VEZANIH ZA RADIOAKTIVNI OTPAD

Andjelka N. MIHAJLOV
Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu
11070 Beograd, Bulevar Lenjina 2

Rezime

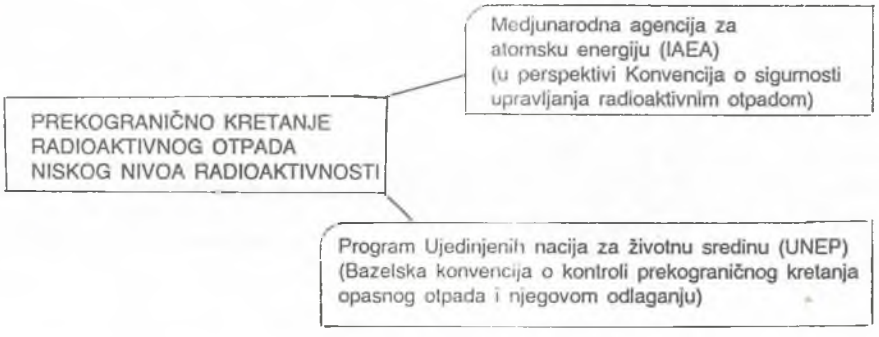
U radu je dat prikaz tekućih aktivnosti vezanih za kontrolu prekograničnog kretanja otpada niskog nivoa radioaktivnosti u okviru Programa Ujedinjenih nacija za životnu sredinu , koje sprovodi Sekretarijat Bazelske konvencije o prekograničnom kretanju opasnog otpada i njegovom odlaganju. Istovremeno, prikazano je i mesto Medjunarodne Agencije za atomsku energiju u rešavanju ovoga problema. U radu je istaknuto i mišljenje stručnjaka u našoj zemlji, koje treba da posluži kao osnova za oformljenje stava SRJ po ovom pitanju

Ključne reči: radioaktivan otpad, opasan otpad, otpad niskog nivoa radiaktivnosti, Bazelska konvencija, Medjunarodna agencija za atomsku energiju

PREKOGRANIČNO KRETANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA NISKOG NIVOA RADIOAKTIVNOSTI

Prekogranično kretanje radioaktivnog otpada niskog nivoa radioaktivnosti nije uključena ni u jedan sistem medjunarodne kontrole (1).

Ovaj problem je istaknut (2) i na drugom sastanku Konferencije zemalja koje su ratifikovale Bazelsku konvenciju o kontroli prekograničnog kretanja opasnog otpada i njegovom odlaganju; inicirano je da se krene u njegovo rešavanje (mart 1994., Ženeva).



Slika1.- Mogućnosti rešavanja kontrole prekograničnog kretanja radioaktivnog otpada niskog nivoa radioaktivnosti

Po prirodi samog problema, on bi se mogao rešavati u okviru Medjunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), proširivanjem postojeće regulative (Konvencija o ranom obaveštavanju o nuklearnom akcidentu, Konvencija o pružanju pomoći u slučaju nuklearnog udesa ili radioaktivne opasnosti, Konvencija o fizičkoj zaštiti nuklearnih materijala, Rezolucija generalne konferencije o kodeksu obavljanja medjunarodnog prekograničnog kretanja radioaktivnog otpada) ili usvajanjem novih (inicijative za pripremu Konvencije o sigurnosti upravljanja radioaktivnim otpadom), ili u okviru sistema kontrole opasnog otpada prema Bazelskoj konvenciji o prekograničnom kretanju opasnog otpada i njegovom odlaganju (Slika 1).

OKVIR BAZELSKE KONVENCIJE O PREKOGRANIČNOM KRETANJU OPASNOG OTPADA I NJEGOVOM ODLAGANJU

Bazelska konvencija o prekograničnom kretanju opasnog otpada i njegovom odlaganju (Basel, 1989) koja je stupila na snagu 5. maja 1992. godine, a postavljena je sa ciljem da se redukuju prekogranična kretanja specificiranog opasnog i drugog otpada, da se minimizuje stvaranje opasnog otpada, kao i da se pomogne zemljama u razvoju u upravljanju otpadima (3). Zemlje potpisnice Konvencije su potigle dogovor da unapredjuju upravljanje otpadima u funkciji zaštite životne sredine, da komuniciraju po pitanju prekograničnog kretanja opasnog otpada i ostalog otpada koji je predmet Konvencije, uključujući i saradnju u vraćanju otpada u zemlju gde je otpad nastao. Pretpostavke za realizaciju Konvencije su puna saradnja sa nizom medjunarodnih organizacija koje se bave regulativom vezanom za otpade, kao što su Londonska konvencija (LDC), Medjunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA), Medjunarodna pomorska plovidba (IMO) i Program za životnu sredinu Ujedinjenih nacija (UNEP). U osnovi, Bazelska konvencija jasno pokušava da dogovorom prevazidje razlike izmedju interesa visoko razvijenih zemalja i zemalja u razvoju, koje pokušavaju da se zaštite od opasnog otpada (4) Afrika i Centralna Amerika, preko Bamako konvencije i Centralno-američkog sporazuma o prekograničnom kretanju opasnog otpada, uveli su stroge regionalne propise kojima se izričito zabranjuje uvoz svih vrsta opasnih otpada, uključujući i radioaktivni otpad. Prema podacima (4,8) Bazelsku konvenciju je stupila na snagu u 77 država (34 države su je ratifikovale, 2 prihvatile, 4 odobrile i 37 pristupile Konvenciji).

U članu 1, stav 3, Bazelske konvencije ističe se da "otpadi koji su radioaktivni su predmet drugog medjunarodnog sistema kontrole, uključujući i medjunarodne instrumente primenljive posebno na radioaktivne materijale."

Prema odluci II/11 sa drugog sastanka zemalja potpisnica konvencije (2) Sekretarijat konvencije je pod naslovom "Okvir konvencije" pozvao zemlje koje su ratifikovale/potpisale Konvenciju da izlože svoje stavove u pogledu mogućnosti da se Bazelska konvencija primenjuje i na radioaktivne otpade, da bi zatim na bazi izloženih mišljenja , u saradnji sa IAEA , Sekretarijat konvencije pripremio dokument za dalje razmatranje, a koji se odnosi na problem prekograničnog kretanja radioaktivnog otpada niskog nivoa radioaktivnosti, što nije predmet ni jednog drugog kontrolnog sistema. Aprila 1994. godine Sekretarijat je poslao navedeni cirkular. Nije tačno naveden broj država od kojih je traženo mišljenje (5). Realno je pretpostaviti da je pismo poslato najmanje zemljama koje su potpisale/ratifikovale Konvenciju.

Do avgusta 1994. godine Sekretarijat je primio odgovor od 13 država, dakle , manje od 20% (procena) država se uključilo u diskusiju (10 država je podržalo da se ovaj problem reguliše u okviru Bazelske konvencije , 2 države su protiv , dok je 1 država odgovorila da je u toku zauzimanje zvaničnog stava po ovom pitanju).

Istovremeno, Sekretarijat Konvencije je kontaktirao sa IAEA. Stav Medjunarodne agencije za atomsku energije (5) je izričit da se ova oblast treba regulisati u okviru IAEA. Medjunarodna agencija za atomsku energiju ističe da je januara 1991. godine izvršena harmonizacija finalnog teksta Konvencije sa IAEA, po kome su radioaktivni otpadi isključeni iz domena koji reguliše Konvencija. Prema rezoluciji (6) Agencija će početi sa pripremama Konvencije o bezbednomi upravljanju radioaktivnim otpadom, koja treba da pokrije sve vrste radioaktivnog otpada.

Sadašnji status ovog problema je takav da su u toku dva paralelna procesa :
- pri UNEPu - Tehnička radna grupa Bazelske konvencije , prema (7), treba da razmotri potrebu tehničke interpretacije Bazelske konvencije, i Sekretarijat Konvencije priprema (u saradnji sa IAEA) dokument za dalje razmatranje od strane Komiteta;
- pri IAEA - Početak rada na pripremi Konvencije o sigurnom upravljanju radioaktivnim otpadima , prema (6), koja treba da obuhvati sve probleme vezane za radioaktivan otpad.

STAV POJEDINIH DRŽAVA PO OVOM PITANJU

Na upit (2) odgovorilo je 12 država plus SR Jugoslavija (stav naše zemlje ću posebno analizirati). Kompletna mišljenja se nalaze u dokumentu (5).

Deset država je iznelo stav da nisko radioaktivni otpad TREBA uvrstiti u Bazelsku konvenciju. To su :
- Kuba, Monako, Peru, Rumunija i St Lucia (države u kojima je konvencija stupila na snagu);
- Ruska federacija (još nije završen postupak zaključivanja);
- Island, Kenija, Tunis i Vijetnam (države koje se još nisu odredile preme Konvenciji).

Dve države su iskazale svoj stav da se ovaj problem treba regulisati isključivo preko IAEA:
- Kanada (država u kojoj je Konvencija stupila na snagu), i
- SAD (država potpisnica u kojoj još nije završen postupak zaključivanja).

Interesantno je pogledati status ovih zemalja u pogledu uvoza/izvoza opasnost otpada, što automatski stvara sliku neistovetnih pogleda na isti problem država koje su u ovom aspektu u različitom položaju (4)

Uočava se da zemlje najveće"izvoznice" otpada (prema podacima za period od 1989-1993,4) : Kanada sa 49.554 tona i SAD sa 779.986 tona opasnog otpada izvezenog u ne-OECD zemlje, stoje čvrsto na stanovištu da Bazelska konvencija ne treba da bude primenjena na nisko-radioaktivni otpad.

Sa druge strane, zemlje "uvoznice" opasnog otpada : Rusija i Rumunija (kao reprezenti baltičkih i istočno/centralno evropskih zemalja), odnosno Kuba i Peru (kao reprezenti Južne Amerike i Kariba), zabrinuti zbog narušene i degradirane životne sredine, kao posledice "ustupljenog" opasnog otpada razvijenih zemalja, žele da se Bazelskom konvencijom zaštite i od radioaktivnog otpada nastalog van njihove teritorije. Prateći šeme izvoza opasnog otpada (4) uočava se da je od ukupno 742 transakcije ovoga tipa, za 299 odredište opasnog otpada bio region Baltika i Istočne/Centralne Evrope, a za 148 zemlje Latinske Amerike i Kariba.

U okviru praćenja šema izvoza opasnog otpada navode se i slučajevi izvoza radioaktivnog otpada, nuklearnog otpada i radioaktivnih materijala, i to: iz Finske u Rusiju (oko 1000 t radioaktivnog otpada ,1981-93), iz Francuske u Rusiju (oko 300-1000 t/god radioaktivnog otpada, 1974-94), iz Nemačke u Belorusiju (600 kg radioaktivnog otpada ,1994), iz Nemačke u Rumuniju (radioaktivan otpad izbačen u Dunav/Djerdap 1989. godine), iz Nemačke u Rusiju (4 železnička vagona radioaktivnog otpada 1990. godine), iz Italije u Rumuniju (do 2000 t radioaktivnog duvana 1990. godine, 30.000 t radioaktivnog otpada 1992. godine), iz Švajcarske u Rusiju (500 t radioaktivnog otpada 1991. godine), iz Japana u Gvatemalu i Nikaragvu (nuklearni otpad, 1991. godine) , iz SAD u Rusiju,Kinu, Honduras, Indiju,... (neutvrđene količine radioaktivnog materijala , od 1989-93).

MIŠLJENJE SR JUGOSLAVIJE

U dokumentu (5) navedeno je da ćemo obavestiti Sekretarijat konvencije čim bude zauzet zvaničan stav po ovom pitanju . U okviru toga , stručnjaci u ovoj oblasti podržavaju stav da medjugranično kretanje radioaktivnog otpada niskog nivoa specifične aktivnosti treba regulisati u okviru Bazelske konvencije
Istakla bih i neslaganje naših stručnjaka sa stavom IAEA da "zbog toga što su dobijeni individualni i ukupni ekvivalenti efektivnih doza tako niski da ti nivoi nisu značajni za svrhu zaštite od zračenja", koji bi se i mogao tolerisati ako bi u jednoj godini postojao samo jedan slučaj unošenja radioaktivnih rezidua u lanac hrane.

REFERENCE

1. UNEP/CHW.2/26, Decembar 1993.
2. UNEP-sbc/sr/325, April 1994.
3. UNEP- Environmental Data Report 1993-1994
4. Toxic trade update 6.4., The Greenpeace international, 1993.
5. UNEP/CHW/C.1/2/4 , september 1994
6. GC(XXXVII)RES/615 - 1993.
7. UNEP/CHW/WG.4/6/L.1, 1994.
8. Predlog Zakona o potvrdjivanju Bazelske konvencije o kontroli prekograničnog kretanja opasnog otpada i njihovom odlaganju, Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu, decembar 1994.
9. Dokumentacija Saveznog ministarstva za životnu sredinu/ Saveznog ministarstva za razvoj , nauku i životnu sredinu

ONGOING ACTIVITIES CONCERNING OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTES TRANSBOUNDARY MOVEMENT - THE SCOPE OF BASEL CONVENTION

Andjelka N. Mihajlov
Federal Ministry for Development, Science and Environment
11070 Beograd, Bulevar Lenina 2

Abstract

In this paper concerning the issue of the scope of the Basel Convention in relation to its applicability to radioactive waste, ongoing process is discussed. In the same time views and comments of the International Atomic Energy Agency is presented. Summary of the replies of states, including FR Yugoslavia, concerning their views on this issue of low-level radioactive wastes is given.

Key words: low-level radioactive waste, Basel Convention on Transboundary movement of hazardous waste and their disposal, International Atomic Energy Agency

CENTRALNO JUGOSLOVENSKO TRAJNO ODLAGALIŠTE RAO MATERIJALA: POTREBA I OPRAVDANOST IZGRADNJE

Aleksandar Perić, Ilija Plećaš, Radojko Pavlović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, Srbija, Jugoslavija

Rezime

Odluke o traženju lokacije i izboru tipa trajnog odlagališta za radioaktivne otpadne (RAO) materijale niskog i srednjeg nivoa vezane aktivnosti, treba po hitnom postupku doneti na nivou SR Jugoslvije. Kapaciteti za daljnje privremeno uskladištenje RAO materijala na lokaciji INN "Vinča" će biti zadovoljeni u narednim godinama, pri postojećem trendu generisanja i dopremenja RAO materijala. Izbor lokacije i tipa trajnog odlagališta RAO materijala niskog i srednjeg nivoa vezane aktivnosti, na teritoriji Savezne Republike Jugoslavije je od izuzetnog značaja za očuvanje kvaliteta životne sredine zemlje i stvaranja mogućnosti stalne kontrole kvaliteta tretiranog RAO materijala u okviru sistema odlagališta i impakta RAO na okruženje.

Ključne reči: RAO, trajno odlaganje, inžinjerska tranšeja

1. Dosadašnji rad na prikupljanju, privremenom skladištenju i tretmanu radioaktivnih otpadnih materijala

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine u INN "Vinča", od svog osnivanja, u okviru zadataka prikupljanja radioaktivnih otpadnih (RAO) materijala nastalih: u radu istraživačkih reaktora RA i RB, kao i posledica rada na proizvodnji i aplikaciji radioizotopa u INN i medicini, industriji i istraživačkim projektima, doprema RAO materijal na lokaciju INN "Vinča".

Prikupljanje čvrstog i tečnog RAO materijala vršeno je u cilju njegovog privremenog skladištenja i kasnije tehničko-tehnološke obrade, radi dobijanje konačne RAO forme koja zadovoljava uslove predviđene zakonom pri rukovanju sa RA materijalima. U cilju privremenog uskladištenja do sada prikupljenih RAO materijala, nastalih u NI "Vinča" i dopremljenih na lokaciju instituta od strane spoljnih korisnika, u INN su izgrađeni sledeći objekti:

a) 1967, privremeno odlagalište RAO materijala, "Stari hangar", korišćen u ove svrhe do 1985; u ovom privremenom skladištu, smeštena su metalna burad zapremine 0,2 m^3, plastična burad zapremine 0,03 m^3, ispunjena RAO materijalima različite specifične aktivnosti i porekla; čvrsti RAO:tehnološki kanali reaktora RA. Jačina doza zračenja se periodično kontroliše.

b) 1985. godine, novo privremeno skladište RAO, "Novi hangar" kapaciteta koji predviđa smeštaj većeg broja kontejnera RAO, zapremine 0,2 m^3. U Novi hangar su do sada smeštena metalna burad, ispunjena RAO materijalima različitog porekla i specifične aktivnosti, kao i različitog, voluminoznog RAO materijala nastalog u laboratorijama NI "Vinča". U ovom objektu skladište se u metalno-betonskim kontejnerima i kapsulirani izvori jonizujućeg zračenja. Neiskorišćeni kapacitet ovog privremenog skladišta je procenjen na oko 2000 metalnih buradi, zapremine 0,2 m^3. Jačina doza zračenja se periodično kontroliše. U okviru ovog skladišta predviđena je i izgradnja postrojenja za obradu čvrstih RAO materijala.

c) Četiri podzemna rezervoara, zapremine 300 m^3, povezanih mrežom kanala sa reaktorom RA. Tečni efluenti iz ovih rezervoara će biti tretirani u procesima koji prethode imobilizaciji RAO materijala u neaktivne matrikse.

d) Započeta je izgradnja postrojenja za obradu tečnih RAO efluenata, kako onih sakupljenih u podzemnim rezervoarima, tako i onih koji su ili se dopremaju u NI. Zgrada postrojenja je

dovršena i nabavljeno je oko 60% nepohodne opreme i instrumentacije u postrojenju.

2. Trenutno stanje, potrebe i obaveze

Dopremenje RAO materijala u NI "Vinča" od strane spoljnih korisnika radiozotopa, kao i RAO nastalog u NI, fluktuira, ali je trend ka povećanju, prvenstveno dopreme tečnih efluenata iz bolnica i kapsuliranih izvora jonizujućeg zračenja iz industrije.

Usled zakonske obaveze uklanjanja i skladištenja radioaktivnih gromobrana (RAG) na teritoriji SR Jugoslavije, započeto je sa njihovom demontažom, pri čemu je do sada demontirano samo oko 10% od ukupnog broja.

Radioaktivni otpadni materijali nastali na teritoriji Savezne Republike Jugoslavije i privremeno smešteni na lokaciji NI "Vinča", uskladišteni su na način da ne predstavljaju opasnost po stanovništvo i prirodnu okolinu privremenog skladišta RAO. Uskladišteni RAO materijali su van uticaja atmosferalija i nemoguć je kontakt neprofesionalaca sa ovim po zdravlje ljudi opasnim materijalima. Bezbednosni parametri za uskladišteni RAO, sa stanovišta zaštite od zračenja, zadovoljavaju zakonske propise.

Kapaciteti privremenog odlagališta zadovoljavaju potrebe Republike Srbije za period od najviše 5-6 godina, računato na dosadašnji nivo dopremanja RAO na lokaciju privremenog skladišta.

Shodno tome, potrebno je preduzeti radnje u cilju obrade nekondicioniranog RAO, tečnog i čvrstog, različitih nivoa vezane aktivnosti. Za tu svrhu, potrebno je dovršiti izgradnju postrojenja predviđenih za tu namenu.

Potrebno je sanirati stanje postojećih kondicioniranih RAO materijala, u smislu njihovog vezivanja u neaktivne matriksne materijale, otporne na uticaj hemijskih, štetnih agenasa i delovanje mehaničkih sila. Obaveza je NI "Vinča" da se, za do sada uskladišteni RAO materijala na lokaciji NI. razviju i usavrše tehnike za bezbedno trajno odlaganje RAO materijala.

Potrebno je nakon istražnih radova, geoloških, hidrogeoloških, seizmičkih, kao i radova na ekonomskoj opravdanosti izgradnje, definisati u Prostornom planu Savezne Republike Jugoslavije, lokaciju za trajno odlagalište niskog, srednjeg i eventualno, visokoaktivnog RAO.

Obaveza je nadležnih u SR Jugoslaviji da omoguće stalni nadzor na ispunjenju rokova pri traženju mogućih lokacija trajnog odlagališta, kao i kontinuirano, profesionalno izveštavanje javnosti o radu odlagališta, nakon dobijanja upotrebne dozvole.

3. Opravdanost izgradnje trajnog odlagališta, tipa plitko ukopanih betonskih grobova-inženjerskih tranšeja

RAO materijale, koji su do sada uskladišteni na lokaciji NI "VInča", treba procesima predtretmana i tretmana, prevesti u oblik i do sastava koji obezbeđuje optimalne mogućnosti za vođenje procesa imobilizacije RAO u neaktivne matrikse, bilo na lokaciji Instituta ili na lokaciji trajnog odlagališta. Solidifikovani RAO monolit, nastao po procesu imobilizacije, treba dopremiti i uložiti na lokaciju trajnog odlagališta. Na lokaciji odlagališta je potrebno dodatno kontrolisati stanje RAO-matriksnog monolita, a pre svega na moguću, nekontrolisanu migraciju radionuklida imobilisanih u monolitu, prema spoljašnjem okruženju. Za uslove normalnog rada odlagališta, uz prethodno optimalno izvedene procese imobilizacije RAO materijala, prisustvo radionuklida, koji su u inventaru odlagališta, u okruženju ne bi trebalo da postoji.

Bezbednosni kriterijumi koji se moraju zadovoljiti pri izgradnji trajnog odlagališta RAO materijala, obuhvataju proveru mehaničkih i fizičko-hemijskih parametara, koji definišu kvalitet materijala od kojih je odlagalište izgrađeno. Izbor tipa odlagališta je primeren nivou vezane aktivnosti za RAO materijale koji se odlažu, a s druge strane ekonomskoj osnovi zemlje, koja gradi odlagalište.

S obzirom da je namera da se na lokaciji budućeg trajnog odlagališta, odlažu imobilisani RAO materijali do najviše srednjeg nivoa vezane aktivnosti, razmatraju se vrste odlagališta koji ne zahtevaju ugradnju sistema razmenjivača toplote za nadzemne tipove odlagališta ili eventualno, odlagališta u dubokim geološkim formacijama. Odlaganja RAO materijala u napuštene rudnike: soli ili gvožđa, u slučaju SR Jugoslavije nije moguće.

Nadzemna ili plitko ukopani sistemi odlagališta za potrebe SR Jugoslavije, a uzimajući u obzir opravdanost koja sledi iz vrste RAO materijala koji se odlaže, tehničko-tehnoloških postupaka njihove obrade, krajnjih imobilisanih formi RAO monolita, bezbednosnih kriterijuma koje je potrebno zadovoljiti pri odlaganju tretiranog RAO materijala, kao i prirodnih, geoloških i seizmičkih preduslova koji se postavljaju pri izboru lokacije odlagališta, a i ekonomske moći zemlje koja finansira istražne, pripremne i izvršne radove za gradnju odlagališta RAO materijala, su alternative koje treba razmatrati.

4. Prednosti trajnog odlagališta RAO materijala tipa inžinjerske tranšeje

Prednosti koje ističu sistem inžinjerske tranšeje nad ostalim tipovima odlagališta su:

- lakoća izgradnje, bazirana na iskustvima poznatih građevinskih radova fundiranja, uz korišćenje u potpunosti domaćih materijala u izgradnji, i potpuno domaće tehnologije gradnje;

- sam proces izgradnje odlaglaišta RAO je u direktnoj funkciji izgradnje infrastrukture i saobraćajnica u regiji u kojoj je buduće odlagalište;

- istražni radovi u odabiru lokacije koja zadovoljava geološke, hidrogeološke i seizmološke uslove, su relativno jednostavni i jeftini;

- korisna površina odlagališta je relativno mala i lako je pomoću sistema drenaže i mreže specijalnih sondi za uzorkovanje podzemnih voda, vršiti kontrolu stanja na lokacijci odlagališta;

- dopremanje kondicioniranog ili nekondicioniranog RAO materijala je jednostavno, uz malu verovatnoću akcidenata prilikom lokalnog transporta RAO materijala kranom ili njegovog polaganja u betonske tranšeje;

- eventualna oštećenja nastala nad kondicioniranim RAO materijalom u okviru tranšeje se lakše uočavaju i saniraju, prospekcijom odgovarajućih segmenata-ćelija tranšeje, od kojih svaka ima nezavisan sistem drenaže i uzorkovanja podzemnih voda ispod nivoa tranšeje;

- pristup pojedinim delovima tranšeje, nakon njegove popune i zatvaranja, je bezbedan i moguć, a ekskavacija pojedinačnih RAO monolita je obezbeđena prema priloženim bazama podataka odloženog RAO za svaki segment tranšeje.

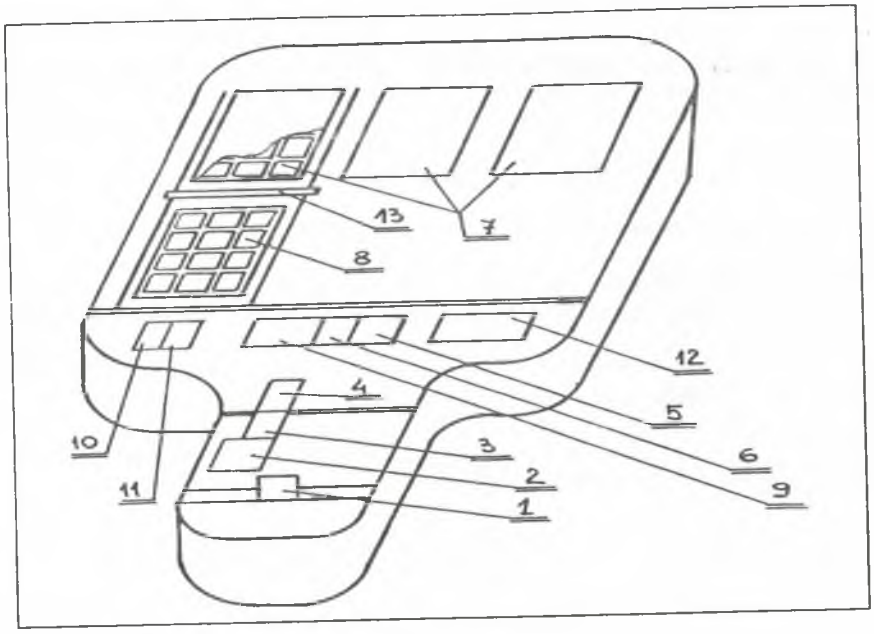
- za razliku od drugih sistema odlagališta, kontrola doza zračenja, kontaktne i na udaljenju, je moguća i potrebna kako za zatvorene, tako i za aktivne segmente tranšeje.

- procenja ukupna površina trajnog odlagališta RAO materijala niskog i srednjeg nivoa aktivnosti od 1 km^2, čini, prema ukupnoj površini SR Jugoslavije od $P_{Jug.} = 102173$ km^2, manje od 0.01 ‰ ukupne površine.

Shematski prikaz trajnog odlagališta RAO materijala niskog i srednjeg nivoa aktivnosti, tipa inžerske tranšeje, sa pratećim objektima je dat na Slici 1.

Predloženi tip trajnog odlagališta, pored neophodne službe fizičkog obezbeđenja, čuvara, bi imao i dvostruku ogradu, čime bi se predupredila oštećenja tranšeje. Osoblje u administrativnom delu odlagališta bi bilo zaduženo za prijem, registraciju primljenog RAO, klasifikaciju primljenog RAO, zajedno sa dozimetrijskom grupom na odlagalištu, kao i pravljenje baza podataka primljenog i odloženog RAO materijala. Na samoj lokaciji skladišta bilo bi moguće i poželjno vršiti: predradnje u tretmanu RAO, kompaktiranje i usitnjavanje sečenjem čvrstog RAO, eventualne finalne radnje u tretmanu tečnog RAO, ukoliko se prihvati koncepcija koja predviđa imobilizaciju RAO na mestu odlaganja, pravljenje betonskih kontejnera u koje se odlaže kondicionirani RAO ili dopremljeni

nekondicionirani RAO, poput zatvorenih istrošenih izvora zračenja.



1. ulaz i kontrola
2. administracija
3. obezbeđenje
4. sanitarni propusnik
5. skladište za presu
6. kompaktiranje
7. popunjene tranšeje
8. tranšeja u radu
9. skladište kontejnera i/ili odležavanje imobilisanih RAO smeša
10. uzorkovanje iz sistema drenaže
11. dozimetrijska kontrola
12. postrojenje za cementaciju i/ili proizvodnju kontejnera
13. kran

Slika 1.Shematski prikaz predloženog odlagališta RAO materijala tipa inžinjerske tranšeje.

YUGOSLAV CENTRAL DISPOSAL SISTEM FOR RADWASTE MATERIALS: NECESSITY AND JUSTIFICATION OF CONSTRUCTION

Aleksandar Perić, Ilija Plećaš, Radojko Pavlović
Institute of nuclear sciences "Vinča", Belgarde Serbia, Jugoslavia

Abstract
Decision on searching of the location and choosing the choice on appropriate type of the final disposal system for the low and intermediate level radwaste materials , should be made on the urgent basis in the FR Jugoslavia. Capacities for the further storing of such waste materials on the site of the "Vinča" institute will be fulfilled in the next few years, following the trend of the radwaste materials generation and delivering. Selection of the location and type of the disposal system in FR Jugoslavia is of the crucial importance, from the point of view of conservation of the environment quality level and making possibility of the permanent control of disposed immobilized radwaste materials and its impact with environment.
Key words: RWM, final disposal, engineer trench system.

FIKSIRANJE RADIONUKLIDA HIDROKSIAPATITOM

Slavica Lazić, Slavica Raičević, Živorad Vuković i Miodrag Mandić
Institut za Nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita", pp. 522, 11001 Beograd.

Rezime

U radu su prikazani neki karakteristični rezultati analize fiksiranja stroncijuma koprecipitacijom i sorpcijom hidroksiapatitom (HA). Koprecipitacijom u širokom opsegu eksperimentalnih uslova utvrđeno je da se stroncijum ugrađuje u HA izomorfnom supstitucijom kalcijuma u širokom opsegu eksperimentalnih uslova. Adsorpcija stroncijuma na površini stabilisanog kristalnog hidroksiapatita dobro se opisuje Langmirovom adsorpcionom izotermom sa monomolekulskim kapacitetom sorpcije od 1.5 10^{-4}mol/g .

Ključne reči: adsorpcija, koprecipitacija, stroncijum, kalcijum fosfat, hidroksiapatit.

1. Uvod

Interakcija dugoživećih fisionih produkata kao što je ^{90}Sr sa neorganskim sorbentima od značaja je za njihovo uklanjanje iz vodotokova, nakon nuklearnih akcidenata. Jedinjenjima kalcijum fosfata pridaje se posebna pažnja zbog prisustva u prirodnim sistemima, kao i primene različitih modifikacija u tretmanu voda [1,2].

Jonski radijusi kalcijuma i stroncijuma imaju relativno bliske vrednosti (0.099 nm i 0.113 nm, respektivno) te se stroncijum lako ugradjuje u kalcijum fosfat [3]. Stepen uključivanja međutim, jako zavisi zavisi od strukturnih karakteristika čvrste faze i sastava rastvora.

U ovom radu prikazani su neki rezultati analize uticaja hemijskih parametara na fiksiranje stroncijuma termodinamički najstabilnijom modifikacijom kalcijum fosfata - hidroksiapatitom, HA, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$.

2. Materijali i metode

Koprecipitacija

Precipitacija kalcijum fosfata vršena brzim dodavanjem predhodno odredjene količine 1M KOH, potrebne za dostizanje zadatog pH, u nezasićeni rastvor kalcijum fosfata (pH=4,5). Rastvor kalcijum fosfata je dobijen mešanjem odgovarajućih količina 1M $Ca(NO_3)_2$ ili $CaCl_2$ i 1M KH_2PO_4 sa bidestilovanom vodom ili KNO_3 rastvorom. Rastvoru je dodat $SrCl_2$ obeleženim ^{85}Sr, ukupne koncentracija 10^{-5} M. Rastvor kalcijuma je obeležen izotopom ^{45}Ca. Reakcioni sud je termostatiran na 293 K i suspenzija je mešana magnetnom mešalicom. U odredjenim vremenskim intervalima uzimane su probe suspenzije, centrifugirane i koncentracije radionuklida, uz pomoć odgovarajućih standarda čistih izotopa i njihove smeše, merene tečnim scintilacionim brojačem (RackBeta Spectral 1219, LKB Wallace) i gama spektrometrom sa NaI detektorom (Canbera, Series 10).

U posebnoj seriji eksperimenata identifikacija čvrste faze vršena je rendgenskom (Cu-K_α, Siemens-Kristalloflex) i hemijskom analizom i transmisionom elektronskim mikroskopijom (Philips EM 300).

Ispitivan je uticaj pH, koncentracije reagenata, jonske jačine rastvora, koncentracije stroncijuma i vremena starenja precipitata.

Ispitivan je uticaj pH, koncentracije reagenata, jonske jačine rastvora, koncentracije stroncijuma i vremena starenja precipitata.

Adsorpcija

Adsorpcija stroncijuma vršena je na stabilisanom hidroksiapatitu dobijenim kristalizacijom iz vodenih rastvora H_3PO_4 i $Ca(OH)_2$ na 371 K. Karakterizacijom kristala rendgenskom i hemijskom analizom potvrđena je apatitna struktura sa približno stehiometrijskim Ca/P odnosom. Specifična površina odre ena BET metodom iznosila je 30,5 ± 0,5 m^2/g.

U kolone je smešten po 1 g sorbenta, posle čega je propuštano po 200 cm^3 $Sr(NO_3)_2$ brzinom 0,2 cm^3/min. Koncentracije rastvora stroncijum nitrata su bile u opsegu $(0.1\text{-}11)10^{-3}$ M. Svi rastvori su bili obeleženi izotopom ^{85}Sr. Koncentracije stroncijuma u rastvoru, posle prolaska kroz kolone su merena radiometrijski na γ spektralnom analizatoru.

3. Rezultati i diskusija

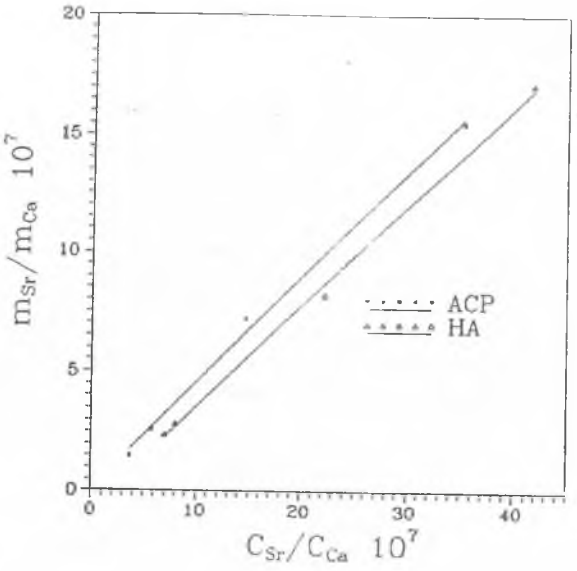
Pri spontanoj precipitaciji kalcijum fosfata moguće je formiranje različitih modifikacija čiju stabilnost i redosled formiranja određuju termodinamički i kinetički parametri rastvora. Hemijskom i rendgenostrukturnom analizom utvrđeno je da se u pH opsegu 7,4 - 12,0 kao prva formirana faza pojavljuje amorfni kalcijum fosfat (ACP), sastava bliskog trikalcijum fosfatu (Ca/P = 1,45 - 1,52). Kristali dobijeni nakon 24 časa starenja u matičnom rastvoru po sastavu odgovaraju slabo kristalisanom nestehiometrijskom hidroksiapatitu,opšte formule $Ca_{10-x}(PO_4)_{6-x}(HPO_4)_x(OH)_{2-x}$, sa značajnijim odstupanjem od stehiometrije pri pH < 8,6. U pH opsegu 7,4 - 12,0, sastav odgovara odnosu Ca/P = 1,51 - 1,65.

Zahvat primese izomorfnom supstitucijom izražava se koeficijentom raspodele D (formula 1) koji uzima u obzir konkurenciju za ista mesta u kristalnoj rešetki.

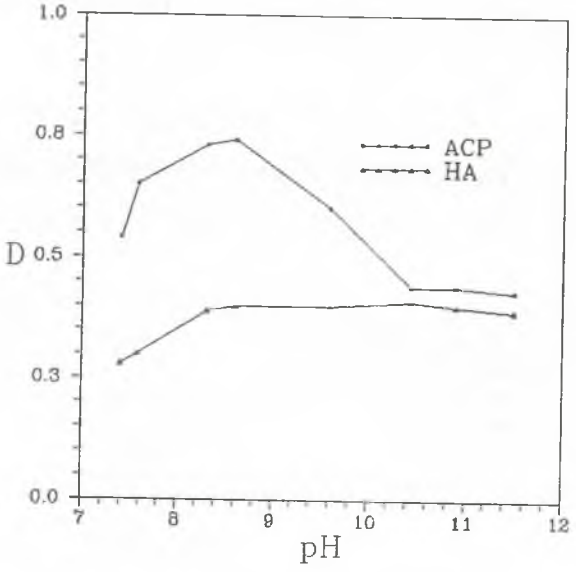
$$D = \frac{[Sr^{2+}] / [Ca^{2+}] \quad (kristal)}{[Sr^{2+}] / [Ca^{2+}] \quad (rastvor)} \qquad (1)$$

U uslovima prave termodinamičke ravnoteže koeficijent D određuju rastvorljivosti odgovarajućih jedinjenja. Međutim pri spontanoj precipitaciji na zahvat primese utiče kinetika rasta, te koeficijent D odražava odnos odgovarajućih brzina uključivanja jona Sr^{2+} i Ca^{2+} u rastuće čestice čvrste faze. Kako joni kalcijuma i stroncijuma u fosfatnom rastvoru grade komplekse, pri izračunavanju D moraju se izvršiti odgovarajuće korekcije izmerenih koncentracija. Za izračunavanje je korišćen kompjuterski program koji bazira na jednačinama materijalnog bilansa i uslovu elektroneutralnosti [4,5].

Izračunati koeficijent D za mikrokristalni hidroksiapatit ima skoro konstantnu vrednost D=0,40 ± 0,02 u širokom intervalu eksperimentalnih uslova, što pokazuje da zahvat stroncijuma zavisi samo od koncentracije slobodnih jona kalcijuma i stroncijuma. Do izvenog odstupanja dolazi pri pH < 8,6, zbog konkurencije H^+, čije prisustvo u čvrstoj fazi je evidentirano hemijskom analizom sastava. Prekursorska amorfna faza pokazuje manju selektivnost u odnosu na stroncijum i složeniju zavisnost od pH, na koju značajno utiče promenljivost mikrostrukturne uređenosti u funkciji hemijskog medijuma. Neki karakteristični rezultati prikazani su na slikama 1. i 2.



Sl.1. Raspodela stroncijuma u ACP i HA pri precipitaciji iz rastvora različitih polaznih koncentracija, pH = 10.80, T = 293K



Sl.2. Zavisnost koeficijenta raspodele stroncijuma u ACP i HA od pH, T = 293K

Adsorpcija stroncijuma na kristalnom hidroksiapatitu se dobro opisuje Langmirovom adsorpcionom izotermom

$$A = \frac{abC}{1 + bC} \qquad (2)$$

gde je A količina sorbovanog stroncijuma (mol/g), C je ravnotežna koncentracija stroncijuma u rastvoru (mol/l) a i b su koeficijenti, $a = 1{,}5\ 10^{-4}$ mol/g a $b = 3{,}1\ 10^{3}$ l/mol.
Veličina $1{,}5\ 10^{-4}$ mol/g odgovara maksimalnom broju mesta raspoloživih za sorpciju po jedinici mase sorbenta. Promena pH za vreme eksperimenta je bila zanemarljiva ($pH \approx 6{,}4$) što je u saglasnosti sa pretpostavkom da je, pod ovim eksperimentalnim uslovima, površina HA homogena u odnosu na sorpciju stroncijuma, odnosno da se stroncijum ugrađuje jonskom izmenom sa kalcijumom.

Koeficijenti raspodele dobijeni pri koprecipitaciji i sorpciji potvrdjuju strukturnu ugradnju stroncijuma u apatit i omogućuju predvidjanje sorpcionog ponašanja stroncijuma u složenijim tehnolškim i prirodnim sistemima.

Literatura

[1] Torstenfelt, B., Andersson, K., Alard, B., "Sorption of Strontium and Cesium on Rocks and Minerals", Chem. Geol., Vol.36, p.123, 1982.

[2] IAEA Technical Report Series, Vienna, Vol.236, p.52, 1984.

[3] Koutsoukos, P.G., Nancollas, G.H., "Influence of Strontium Ion on the Crystallization of Hydroxyapatite from Aqueous Solution" J.Phys. Chem., Vol.43, p.2403, 1982.

[4] Lazić, S., "Formiranje hidroksiapatita iz visoko presićenih rastvora i sorpcione karakteristike", Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 1991.

[5] Lazić, S., "pH Effect on the Coprecipitation of Radioactive Strontium with Calcium Phosphate", Radiochimica Acta, Vol.62, p.95, 1993.

RADIONUCLIDES FIXATION BY HYDROXYAPATITE

Slavica Lazić, Slavica Raičević, Živorad Vuković and Miodrag Mandić

Abstract

Some characteristic results on strontium fixation by coprecipitation and sorption with hydroxyapatite are presented. Coprecipitation experiments performed at wide range of experimental conditions have confirmed that strontium incorporated into hydroxyapatite by isomorphous substitution of calcium. Adsorption on the surface of well crystalillized hydroxyapatite follows Langmuir's adsorption isotherm with monolayer capacity of $1.5\ 10^{-4}$mol/g.

Key words: sorption, coprecipitation, ^{85}Sr radionuclide, calcium phosphate, hydroxyapatite.

FIZIČKO HEMIJSKE OSNOVE PREČIŠĆAVANJA RADIOAKTIVNIH VODA - REŽIMI SORPCIJE PRI PRECIPITACIJI $BaSO_4$ i $BaCO_3$

Živorad Vuković, Slavica Lazić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", p.fah 522, Beograd

Rezime

Analizirane su teorijske osnove prečišćavanja voda od radioaktivnih primesa na molekularno-kinetičkom nivou. Analiza je urađena na primeru precipitacije i koprecipitacije. Razmatran je prelaz supstance iz tečne u čvrstu fazu i opisani glavni režimi pri kojima se odvija koprecipitacija radionuklida ^{89}Sr pri precipitaciji $BaSO_4$ i $BaCO_3$.

Ključne reči: radionuklidi, vode, prečišćavanje, precipitacija, koprecipitacija

1. Uvod

Fizičko hemijske metode prečišćavanja voda kao što su flokulacija, koprecipitacija, jonska izmena i druge koriste se prema različitim tehnološkim shemama u aparatima različitih konstrukcija i namena [1].

Najosnovnija klasifikacija značajnih parametara pokazuje da su parametri aparata i parametri procesa opredeljujući za efikasnost sistema koji se koristi pri prečišćavanju. U ovom radu analizirani su parametri procesa, odnosno parametri precipitacije čvrste faze i sorpcije.

2. Precipitacija

Fluks supstance i (J_i) pri stacionarnom rastu čestica može se prestaviti izrazom

$$J_i = \frac{D_i}{\delta} \left(C_{L_i} - B_{L_i} \right) \qquad (1)$$

gde je: D_i koeficijenat molekularne difuzije i-te supstance,

B_{L_i} koncentracija i-te supstance u blizini površine čestice,

C_{L_i} koncentracija i-te supstance u rastvoru i δ debljina efektivnog difuzionog sloja.

U kvazi ravnotežnom stanju kada je koncentracija i-te supstance u rastvoru jednaka koncentraciji zasićenog rastvora (L_i) tada je fluks supstance ka površini jednak fluksu kroz tu površinu. Brzina rasta čestica (f) u većini slučajeva ima kvadratnu zavisnost od presićenja:

$$f = \frac{D^2 L_i}{4\rho_s \delta^2 \beta} \left(\sqrt{\frac{1+4\beta\delta(C_{L_i}-L_i)}{D L_i}} - 1 \right)^2 \qquad (2)$$

gde je β_i koeficijenat koji ne zavisi od presićenja.

Brzina rasta čvrste faze određuje mnoga svojstva a posebno sorpcionu sposobnost u odnosu na radionuklide. Pri velikim brzinama rasta čestice su nesavršene i sa mnogo strukturnih defekata. Zbog nesavršenosti atomi radionuklida imaju lak dostup ne samo na spoljnu površinu nego i u

zapreminu amorfnih ili kristalnih čestica.

3. Koprecipitacija

U toku procesa koprecipitacije primese učestvuju u svim procesima koji dovode do promena u rastvoru, na graničnoj površini faza i u čvrstoj fazi. Po pravilu brzine ovih procesa se značajno razlikuju tako da se često ostvaruju granični režimi koprecipitacije i to:

a) Spoljno kinetički režim pri kojem je brzina rasta samerljiva sa brzinom obrazovanja kompleksa u rastvoru. Svi drugi procesi odigravaju se brže ili sporije.

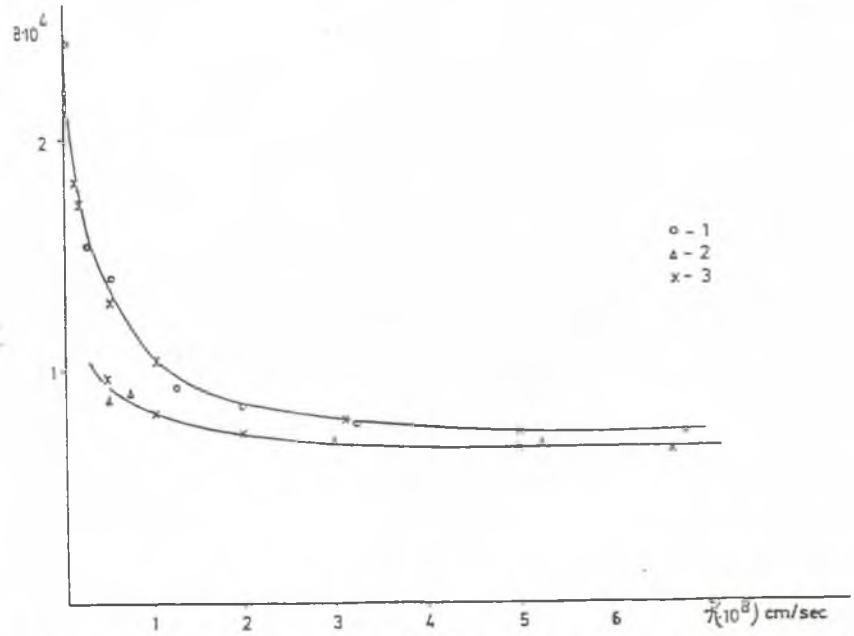
b) Spoljno difuzioni režim, pri kojem je brzina rasta samerljiva sa karakterističnom brzinom difuzije primesa u rastvoru. Adsorpcija se odvija brže, a migracija u čvrstoj fazi brže ili sporije.

c) Adsorpciono kinetički režim, pri kojem je brzina rasta samerljiva sa brzinom površinskog procesa, difuzija u čvrstoj fazi brža, a migracija u čvrstoj fazi znatno sporija.

d) Unutrašnjo difuzioni režim, pri kojem je brzina rasta samerljiva sa brzinom migracije u čvrstoj fazi a svi ostali procesi protiču znatno sporije.

Prema literaturnim podacima režimi pod b i c su najzastupljeniji u radiohemijskoj praksi [2]. Naša istraživanja na primerima sorpcije ^{89}Sr pri formiranju i starenju $BaSO_4$ i $BaCO_3$ to potvrđuju [3,4].

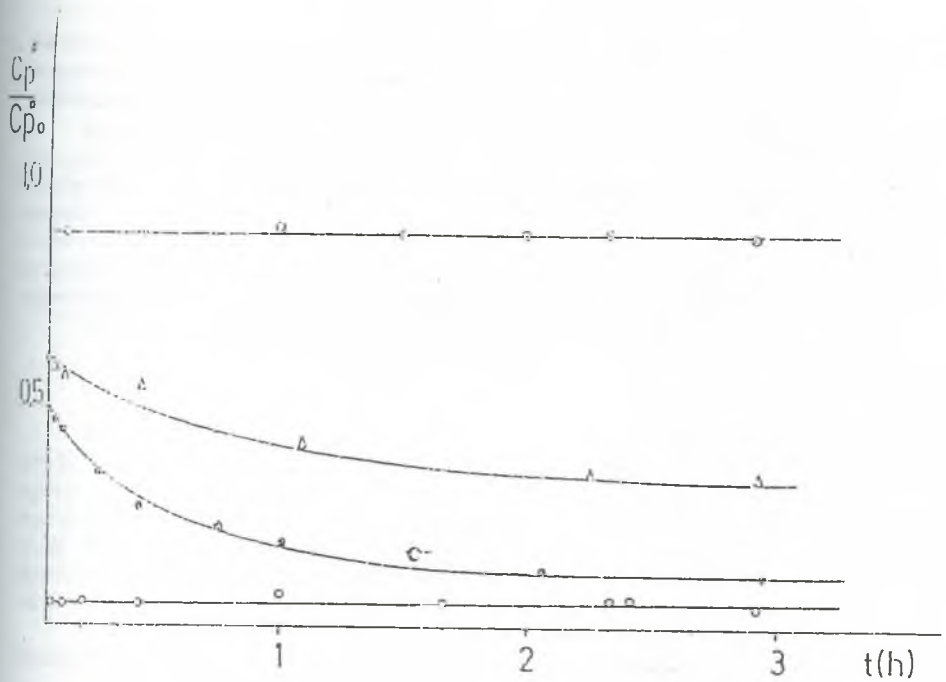
Sulfat barijuma poseduje veliku adsorpcionu sposobnost u odnosu na Sr. Stroncijum se zadrava površinom kristala kako na račun brzog izbacivanja vode iz monomolekulskog sloja (A) rastvora, koji neposredno prileže ka međufaznoj granici, tako i zbog relativno lagane jonske izmene sa pripovršinskim slojem (S) čvrste faze. Spor prelaz pri brzinama rasta kristala $f > 5 \cdot 10^{-7}$ cm/sec odvija se u spoljno difuzionom režimu, a pri $f < 10^{-7}$ cm/sec u adsorpciono difuzionom režimu (Slika 1), što je potvrđeno i eksperimentima sa slojevitim rastvaranjem kristala i u rastu kristala pri brzinama kristalizacije manjim od $f\ 1 \cdot 10^{-7}$ cm/sec. Pri ovim brzinama difuzija u rastvoru ne utiče na sorpciju pošto diferencijalni koeficijenat raspodele ($B = 6{,}5 \cdot 10^3$) saglasan je pripovršinskom koeficijentu raspodele $B_A = 5 \cdot 10^3$.



Slika 1. Diferencijalni koeficijenat raspodele ^{89}Sr pri različitim brzinama narastanja kristala $BaSO_4$: (1) $Co = 5 \cdot 10^{-3}$M, (2) $Co = 1 \cdot 10^{-2}$M, (3) proračun po formuli

Prelaz Sr u čvrstu fazu nakon završetka kristalizacije, a u otsustvu Ostwald-ovog sazrevanja odvija se po mehanizmu čvrsto fazne difuzije pri čemu se brzina prelaza smanjuje pri starenju taloga. što je posledica likvidacije defekata na račun popunjavanja tačkastih defekata molekulima makrokomponente iz rastvora. Za vremenski period od 220° h koeficijenat difuzije ima vrednost od 10^{-17} - 10^{-13} cm^2/sec.

Osnovni podaci za sorpciju Sr na $BaCO_3$ prikazani su na slici (2) gde je efikasnost prelaza Sr u talog $BaCO_3$ (0,01 M) za različita vremena (τ) dodavanja Sr suspenziji.



Slika 2. Promena koncentracije ^{85}Sr u rastvoru tokom taloženja $BaCO_3$: τ:oo; 2 min o, 2h Δ, 24 h ⊙

Dobijeni podaci o kinetici sorpcije pokazuju da se sorpcija odvija u dva stupnja. Prvi stupanj koji traje 2 min je monomolekulska adsorpcija na površini kristala, a pošto koncentracije mikrokomponente zavisi od koncentracije Ba^{2+} u rastvoru potvrđen je jonoizmenjivački karakter sorpcije. Druga faza sorpcije odvija se po mehanizmu difuzije u čvrstu fazu pri čemu su izračunati sledeći koeficijenti difuzije: za taloge stare 2 min iznosi $1 \cdot 10^{-15}$ cm^2/s a stare 2 h $7{,}6 \cdot 10^{-17}$ cm^2/s.

Na taj način pokazano je da se sorpcija Sr na $BaSO_4$ i $BaCO_3$ odvija u različitim režimima. po različitim mehanizmima i da je za sorpciju pored razvijene površine veoma značajna unutrašnja struktura čvrste faze uslovljena najviše postojanjem tačkastih defekata.

Literatura

[1] P.M.Huck, W.B.Anderson, R.C.Andrews, "Development of New Process for Treating Uranium Mining Effluents", Wat.Sci.Tech. 17, (1984) pp.337.

[2] I.V.Melikhov, M.C.Merkulova, "Sokrystalizacyja", Izd.Khimiya (Moskva), (1975).

[3] I.V.Melikhov, Ž.Vuković, "Defect Formation in Crystals Grown from Aqeous Solutions", J.C.S.Faraday I, 2017 (1975) 2017.

[4] I.V.Melikhov, Ž.Vuković, S.Lazić, "Mathematical Modelling of Separation and Removal of Radionuclides by the Method of Coprecipitation", Radiochimica Acta 27 (1980) 155.

THEORETICAL BASYS OF RADIOACTIVE WATER PURIFICATION

Živorad Vuković, Slavica Lazić

Abstract

Theoretical analyses of radioactive waste water purification on molecular kinetic level are performed. The processes of precipitation and coprecipitation are analysed. Transition of substances from liquid to solid phase are considered and principal regimes of radionuclide of Sr coprecipitation are described during $BaSO_4$ and $BaCO_3$ precipitation.

Key words: radionuclides, water, purification, precipitation, coprecipitation.

OSNOVNI PRINCIPI I STANDARDI SIGURNOSTI ZA TRETMAN RAO MATERIJALA

Radojko Pavlović, Ilija Plećaš, Aleksandar Perić
Institut za nuklearne nauke "VINČA"

Rezime U radu su prikazana savremena shvatanja fundamentalnih principa i standarda sigurnosti u procesima tretmana RAO materijala, od njihovog nastanka, do konačnog odlaganja. Konačno zbrinjavanja RAO materijala je jedan od značajnih problema i "kamen spoticanja" nuklearne energetike, prevashodno sa aspekta radijacione sigurnosti budućih generacija i očuvanja kvaliteta životne sredine i raspoloživosti prirodnih resursa. Sumirajući naučna saznaja i iskustva zemalja sa ravijenim nuklearnim programom IAEA definiše osnovne principe i standarde sigurnosti i odgovornosti Države, njenih institucuja i svih subjekata u procesu tretmana RAO materijala.

Ključne reči: RAO materijali, konačno odlaganje, radijaciona sigurnost

1. Uvod

RAO materijali kao izvori jonizujućih zračenja predstavljaju potencijalnu opasnost za ljudsko zdravlje. Internacionalne organizacije i institucije koje se bave zaštitom od zračenja, kao i nacionalna regulatorna tela u oblasti zaštite od zračenja razradila su čitav sistem zaštite od zračenja RAO materijala. Posebna pažnja je u ovom slučaju posvećena zaštiti budućih generacija. Razmatranja uticaja RAO materijala u budućnosti moraju uključiti analizu potencijalnih izlaganja zračenju, mogućne ekonomske posledice, kao i potrebu monitoringa i eventualnih popravki, dogradnji i rekonstrukcija trajnih odlagališta.

RAO materijali mogu sadržati i hemijski ili biološki opasne materijale, pa je važno u procesu obrade, tretmana i sigurnog zbrinjavanja voditi računa i o ovim aspektima opasnosti.

Fundamentalni principi sigurnosti u oblasti rukovanja, tretmana i zbrinjavanja RAO materijala razvijeni su na bazi iskustava članica IAEA i kontinualnog procesa uspostavljanja internacionalnog konsenzusa, kroz pripremu brojnih IAEA dokumenata vezanih za probleme RAO materijala. ***Radioactive Waste Safety Standards (RADWASS)*** serije dokumenata integrišu ta iskustva u koherentan set principa, standarda, uputstava i procedura za ostvarivanje sigurnog rukovanja, tretmana i zbrinjavanja RAO materijala.

Problematiku tretmana i zbrinjavanja RAO materijala IAEA obrađuje kroz nekoliko hijerarhijski kategorizovanih dokumanata, kao što su: ***Safety Fundamentals, Safety Standards, Safety Guides, Safety Practices i Safety Reports***.

2. Osnovni principi tretmana i zbrinjavanja RAO materijala

Osnovni cilj i svrha tretmana i zbrinjavanja RAO materijala je rukovanje, predtretman, tretman, kondicioniranje, stokiranje i konačno odlaganje, na način i u cilju zaštite ljudskog zdravlja i zaštite životne sredine, bez neprihvatljivog radijacionog opterećenja budućih generacija. RAO materijali poseduju i značajan potencijal za narušavanje kvaliteta životne sredine. Kako ovi efekti mogu trajati do u daleku budućnost, adekvatan tretman i zdrinjavanje RAO materijala zahteva implementaciju mera za dugotrajnu zaštitu ljudskog zdravlja i zaštite životne sredine.

Formiranje normativne i organizacione infrastrukture na državnom nivou obezbeđuje osnove za adekvatan tretman i zbrinjavanje RAO materijala. Pojedinačne faze tretmana RAO materijala su međusobno zavisne, što se mora imati u vidu za efikasnu realizaciju sigurnog tretmana i zbrinjavanja RAO materijala. Za obezbeđivanje sigurnog zbrinjavanja RAO materijala, njihov tretman,

kondicioniranje, stokiranje i konačno odlaganje moraju biti u skladu sa nekoliko jasno izdiferenciranih fundamentalnih principa [1]:

2.1. Zaštita zdravlja ljudi. *RAO materijali moraju biti tretirani na način da osiguraju prihvatljiv nivo zaštite zdravlja ljudi.*

Tretman RAO materijala može štetno uticati na zdravlje ljudi, i to, kako profesionalno izloženih, tako i stanovništva. Zbog toga je neophodno osigurati prihvatljiv nivo zaštite, odnosno predvideti i sprovesti neophodne mere zaštite koje će izlaganje jonizujućem zračenju zadržati u prihvatljivim granicama. Granice doza za profesionalno izložena lica i stanovništvo uspostavljene su u skladu sa preporukama ICRP, zasnovanim na konceptu opravdanosti primene, optimizacije zaštite od zračenja i ograničavanja individualnog izlaganja [2,3].

Pri uvođenju u praksu bilo kog tehnološkog procesa u toku kojeg će neminovno doći do stvaranja RAO materijala, tehnološki proces - praksa mora biti opravdan. U kontekstu tretmana RAO, za tehnološki proces - praksu sa primenom radionuklida i drugih izvora jonizujućih zračenja, mora biti dokazana opravdanost, uračunavajući i sve štetne efekte koje mogu proizvesti stvoreni RAO materijali, kao i cenu koštanja tretmana i zbrinjavanja RAO materijala.

Koncept optimizacije podrazumeva postizanje balansa između radiološkog impakta, cene koštanja i drugih relevantnih faktora. Ovaj princip se primenjuje i u tretmanu RAO materijala, kao i pri planiranju i projektovanju konačnog odlagališta. Međutim, za konačno odlagalište za dugoživeće RAO materijale primena koncepta optimizacije zahteva specijalna razmatranja, jer procena radiološkog impakta i njegova kvantifikacija u dalekoj budućnosti može biti otežana i nesigurna.

2.2. Zaštita okoline. *RAO materijali moraju biti tretirani na način da osiguraju adekvatnu zaštitu životne sredine.*

RAO materijali i njihova odlagališta, kao i hemijski i drugi opasni otpadni materijali, mogu imati štetne efekte na raspoloživost prirodnih resursa u bližoj i daljoj budućnosti. Projektovanje konačnih odlagališta i kompletnog tehnološkog procesa tretmana, obrade, kondicioniranja i konačnog odlaganja mora biti sa dovoljno visokim sigurnosnim kriterijumima koji će obezbediti korišćenje prirodnih resursa, bez značajnih ograničenja. Poštovanje ovih sigurnosnih kriterijuma, takođe, treba da osigura da buduće korišćenje prirodnih resursa ne ugrozi sigurnost odlagališta.

2.3. Zaštita izvan državnih granica. *Tretman RAO materijala mora zadovoljavati takve sigurnosne kriterijume da potencijalno štetni efekti na ljudsko zdravlje i životnu sredinu izvan državnih granica ne budu veći od prihvatljivih nivoa u zemlji koja odlaže RAO materijale.*

Ovaj princip je zasnovan na realnoj pretpostavci da je, iz etičkih razloga, država vlasnik RAO materijala dužna da se ponaša odgovorno prema susednim zemljama.

2.4. Opterećenje budućih generacija. *RAO materijali moraju biti tretirani i konačno odloženi na način da opterećenje budućih generacija bude u razumski prihvatljivim granicama.*

Vođenje računa o negativnom uticaju na buduće generacije je jedan od fundamentalnih principa pri usvajanju tehnologija i tehničko-tehnoloških rešenja konačnog centralnog odlagališta RAO materijala. Ovaj princip je zasnovan na etičkom načelu da generacije koje stvaraju otpad nose odgovornost i za njegovo zbrinjavanje. Neke aktivnosti, međutim, mogu i moraju biti ostavljene i za buduće generacije. To su pre svega aktivnost kje se odnose na nastavljanje kontinualne kontrole odlagališta RAO materijala i njegove neposredne okoline.

Odgovornost i obaveza generacije koja proizvodi RAO materijale je razvoj tehnologija, izgradnja postrojenja i obezbedivanje neophodnih materijalnih i tehničkih sredstava za siguran tretman i odlaganje RAO materijala. Tretman RAO materijala, izbor pogodnih lokacija za konačno odlaganje i način konačnog odlaganja moraju obezbediti prihvatljive nivoe sigurnosti budućih generacija, i, ostavljanjem preciznog inventara RAO materijala i tehničko-tehnološke dokumentacije, omogućiti budućim generacijama adekvatan nadzor konačnih odlagališta.

2.5. Zaštita budućih generacija. *RAO materijali moraju biti tretirani i zbrinuti na način da predvideni štetni uticaj na zdravlje budućih generacija ne prede u ovom trenutku prihvatljive nivoe.*

I ovaj princip je izveden iz osnovnih etičkih normi ponašanja u odnosu na buduće generacije. S obzirom da konačno odlagalište ne može obezbediti potpunu izolaciju RAO materijala od životne sredine za dovoljno dug vremenski period, osnovni cilj je da radionuklidi koji dospeju u životnu

sredinu nemaju značajan negativan uticaj na zdravlje i radijacionu sigurnost budućih generacija. Nesigurnosti u pogledu modelovanja štetnog uticaja na buduće generacije moraju biti sa određenim sigurnosnim faktorom uzete u obzir pri izboru tehnologija tretmana RAO materijala, izboru lokacije i načina konačnog odlaganja.

2.6. **Legalni okviri tretmana RAO materijala.** *Tretman RAO materijala mora biti u odgovarajućim legalnim okvirima i orgaizacionoj infrastrukturi, sa nezavisnom regulatornom funkcijom.*

Države u kojima se proizvode i koriste radionuklidi, odnosno koje na bilo koji način stvaraju RAO materijale, moraju razviti nacionalnu regulativu i planove koji uključuju potpunu strategiju, dužnosti, odgovornosti i uputstva za tretman RAO materijala. Država, odnosno odgovarajuća nadležna državna tela i institucije, može jasno preneti ovlaščenja, odgovornosti i obaveze na bilo koju instituciju uključenu u proces tretmana RAO materijala u bilo kojoj fazi, od njegovog stvaranja do konačnog odlaganja.

Zbog prirode problema sa kojim se susrećemo pri tretiranju RAO materijala, odnosno potencijalno mogućnog dugotrajnog negativnog uticaja na zdravlje ljudi, kvalitet životne sredine i raspoloživost prirodnih resursa za buduće generacije, pri uspostavljanju nacionalne regulative i infrastrukture, pored osnovnih mera sigurnosti i zaštite, potrebno je osigurati i proces dugotrajnog administriranja u smislu permanentnog posedovanja preciznih inventara odloženih RAO materijala, kao i preciznih informacija o tehnologijama primenjenim u procesu tretmana RAO materijala i informacija o tehničkim parametrima i karakteristikama konačnog odlagališta, koji uključuje i postojanje kontinuiteta u preuzimanju obaveza i odgovornosti.

2.7. **Integralni koncept.** *Integralni koncept tretmana RAO materijala mora da obezbedi:*

a) održavanje generisanja RAO materijala na onoliko niskom nivou koliko je to razumski mogućno postići i

b) uzimanje u obzir međuzavisnosti procesa generisanja RAO materijala i faza tretmana RAO materijala.

Integralni koncept podrazumeva i održavanje generisanja i ispuštanja RAO materijala u različitim fazama tretmana RAO materijala na optimalnom nivou, onoliko nisko koliko je to razumski mogućno dostići.

3. Državno-nacionalni okviri za tretman RAO materijala

Nacionalna politika. Države koje poseduju RAO materijale morale bi imati definisanu nacionalnu politiku u oblast tretmana RAO materijala, u skladu sa svojim potrebama, ali politiku koja respektuje fundamentalne principe sigurnosti (***Safety Fundamentals***) u domenu tretmana i zbrinjavanja RAO materijala [4].

Strategija. Za efikasnu realizaciju definisane politike u oblasti tretmana RAO materijala, koja će, između ostalog, zavisiti i od nacionalnog i državnog okruženja, društvenih okolnosti, definisanih nacionalnih prioriteta, ekonomskih prilika, raznolikosti tipova i količine RAO materijala i, naravno, od stanja javnog mnjenja u odnosu na rešavanje ovog problema.

Sistem. Realizaciju ciljeva i zadataka definisanih u nacionalnoj politici i strategiji tretmana RAO materijala treba da osigura potpuno definisan i razvijen sistem, operativno i regulatorno potkrepljen da je u mogućnosti da realizuje sve neophodne faze tretmana RAO materijala i sprovodi kontrolu ispunjenosti fundamentalnih zahteva i standarda sigurnosti. Operativna sposobnost sistema podrazumeva postojanje i izgradnju odgovarajućih postrojenja, opreme i profesionalnog osoblja, dok je za ostvarivanje regulatorne sposobnosti sistema neophodno obezbediti zakonske okvire i odgovarajuća regulatorna tela, sa zakonskim ovlašćenjima neophodnim za osigiranje poštovanja u zakon implementiranih fundamentalnih principa i standarda sigurnosti.

Zbog vrlo značajnog uticaja stava javnosti o problemima tretmana i zbrinjavanja RAO materijala, Država mora prepoznati i shvatiti potrebu pravilnog i blagovremenog informisanja javnosti, i svojim pozitivnim stavom, edukativnim informisanjem i blagovremenim i potpunim obaveštavanjem, javnost pridobiti za svog saradnika u rešavanju ovih problema.

4. Odgovornosti u procesu tretmana RAO materijala

U okviru nacinalnog sistema tretmana RAO materijala neophodno je identifikovati sve subjekte sistema i definisati odgovornosti i obaveze svakog od njih.

4.1. Odgovornosti Države

1. Uspostavljanje i implementacija legalnih okvira. Država ima obavezu i odgovornost da uspostavi i implementira legalne - zakonske okvire za tretman RAO materijala, zasnovane na fundamentalnim principima i standardima sigurnosti. Ovo podrazumeva donošenje odgovarajućih zakona, zakonskih propisa i drugih zakonskih dokumenata. Pojedine komponente ovih legalnih okvira zavise od političkih okolnosti i struktura, organizacije državne strukture, regulatorne prakse, ali i od vrsta i količina RAO materijala i nivoa tehnološkog i opšteg razvoja.

Za realizaciju programa sigurnog tretmana RAO materijala, legalni - zakonski okviri treba da omoguće: sigurnosne aspekte zaštite od zračenja i zaštite životne sredine; regulatorni sistem, koji uključuje nadležnosti i ovlašćenja, a može uključiti i izdavanje sertifikata i dozvola, i evidentiranje subjekata uključenih u proces tretmana RAO materijala; poštovanje zakonskih zahteva sigurnosti; definisanje i klasifikaciju RAO materijala; osiguranje kvaliteta; zahtevanu dokumentaciju i izveštaje; planove za slučaj akcidenta; i odgovarajuće informisanje i konsultovanje javnosti.

2. Uspostavljanje regulatornog tela. Država bi trebalo da uspostavi regulatorno telo sa odgovornošću realizacije regulatorne funkcije u odnosu na sigurnost i zaštitu zdravlja ljudi i zaštitu životne sredine. Ukoliko je regulatorna funkcija podeljena na više nadležnih institucija ili državnih organa, Država je dužna da obezbedi koherentnost regulatornog sistema, sa jasno definisanim nadležnostima, ovlašćenjima i odgovornostima.

3. Definisanje odgovornosti subjekata koji proizvode RAO materijale i subjekata uključenih u tretman RAO materijala. Država bi trebalo da definiše obaveze i odgovornosti subjekata koji stvaraju RAO materijale i subjekata uključenih u proces tretmana i sigurnog zbrinjavanja RAO materijala. Sve aktivnosti oko tretmana RAO materijala (sakupljanje, tretman, kondicioniranje, transport, stokiranje i konačno odlaganje) može realizovati jedna ili veći broj institucija - subjekata. Ako je veći broj institucija uključen u tretman RAO materijala, Država bi trebalo da osigura kontinuitet odgovornosti, do konačne verifikacije ispunjenosti sigurnosnih zahteva i kvaliteta realizovanih aktivnosti.

4. Obezbeđivanje odgovarajućih resursa. Država bi trebalo da obezbedi odgovarajuće finansijske, materijalne i ljudske resurse, kao podršku i preduslov sigurne realizacije svih aktivnosti u procesu tretmana RAO materijala.

4.2. Odgovornost regulatornog tela

1. Obezbeđivanje poštovanja legalnih okvira tretmana RAO materijala. Odgovornost regulatornog tela je da definiše set sigurnosnih zahteva i standarda i da nadgleda i obezbeđuje njihovo ispunjavanje i poštovanje. U izvršavanju svojih obaveza i odgovornosti regulatorno telo, zajedno sa drugim nadležnim državnim institucijama i organima bi trebalo da:

a) razvija i inovira zakonske propise i druga regulatorna dokumenta, kriterijume i uputstva za implementaciju nacionalne politike u oblast tretmana RAO materijala u zakonske okvire;
b) osigura da aktivnosti i tehnologije koje će proizvoditi RAO materijale ne mogu biti odobrene bez prethodnog obezbeđivanja odgovarajućeg i dovoljnog prostora za privremeno skladištenje RAO materijala za dovoljno dug vremenski interval, do obezbeđivanja njegovog tretmana i konačnog odlaganja;
c) osigura implementaciju nadzora i inspekcije programa, u cilju provere njegove saglasnosti sa legalnim okvirima tretmana RAO materijala;
d) vrši analizu izveštaja o proceni sigurnosti i proceni uticaja postrojenja na životnu sredinu i uputstava za preduzimanje korekcionih mera;
e) osigura postojanje adekvatne dokumentacije o postrojenjima i lokacijama za tretman RAO materijala i o lokacijama privremenog stokiranja; i
f) osigura saglasnost pojedinih programa i celog sistema tretmana RAO materijala sa zakonskim odredbama i zahtevima.

2. Implementacija procesa definisanja ovlašćenja i davanja dozvola. Regulatorno telo bi

trebalo da bude ovlašćeno da vrši pregled, odobrava, izdaje, daje primedbe, modifikuje, suspenduje ili zaustavlja i donosi druga akta o planovima, ovlašćenjima i nadležnostima u procesu tretmana RAO materijala i predlaže Vladi ili drugim državnim telima pokretanje i sprovođenje akcija.

3. Ostvarivanje savetodavne funkcije Vlade i drugih državnih tela u pogledu tretmana RAO materijala. Regulatorno telo bi trebalo da daje predloge državnim i vladinim nadležnim telima u pogledu stvaranja i implementacije nacionalne politike, strategije, zakonskih okvira i obaveza u pogledu sigurnog tretmana RAO materijala.

4.3. Odgovornost subjekata - institucija koje proizvode RAO materijale i institucija koje učestvuju u procesu tretmana RAO materijala

1. Identifikacija prihvatljivih lokacija za skladištenje i konačno odlaganje RAO materijala. Institucije koje proizvode RAO materijale i institucije koje se bave sakupljanjem, tretmanom i konačnim odlaganjem RAO materijala odgovorne su da se izvrši identifikacija lokacija za destinaciju svog RAO materijala, koje su prihvatljive za Vladu, regulatorno i druga nadležna državna tela. Ove institucije mogu samostalno tretirati i odlagati RAO materijale, prema jasno definisanim zakonskim okvirima, ili ih transportovati u druge institucije ovlašćene za sakupljanje, tretman, skladištenje i konačno odlaganje RAO materijala.

2. Radijaciona sigurnost tretmana RAO materijala. Odgovornosti za siguran tretman RAO materijala i siguran rad postrojenja za tretman RAO materijala su na instituciji - vlasniku postrojenja za tretman RAO materijala, koja je odgovorna za:

a) obezbeđivanje sigurnosti i procene uticaja postrojenja na okolinu;
b) obezbeđivanje adekvatne zaštite od zračenja profesionalno izloženih lica i populacije i zaštite životne sredine;
c) obezbeđivanje profesionalnog osoblja, uređaja i postrojenja, neophodnih da se sa zahtevanom sigurnošću realizuju pojedine faze ili ceo postupak tretmana RAO materijala;
d) uspostavljanje i implementaciju programa osiguranja kvaliteta za institucije koje prizvode i/ili procesiraju, skladište i odlažu RAO materijale;
e) uspostavljanje i čuvanje zapisa (dokumentacije) sa odgovarajućim informacijama o institucijama koje proizvode i/ili procesiraju, skladište i odlažu RAO materijale;
f) obezbeđivanje pregleda i kontrola, prema zahtevima regulatornog tela; i
g) sakupljanje, analizu i razmenu operativnih iskustava o postrojenjima i tehnologijama za tretman RAO materijala.

3. Poštovanje legalnih okvira za tretman RAO materijala. Institucije koje proizvode RAO materijale i institucije koje učestvuju u realizaciji programa tretmana RAO materijala dužne su da poštuju zakonske okvire koji definišu ovu problematiku. Ovo uključuje i obavezu prilaganja dokaza regulatornom telu o poštovanju zakonskih okvira i zahteva u pogledu obezbeđivanja sigurnosti i zaštite od zračenja i zaštite životne sredine.

5. Neke bitne pretpostavke za rađijaconu sigurnost tretmana RAO materijala

5.1. Osiguranje kvaliteta (*Quality Assurance*) za siguran tretman RAO materijala. Program osiguranja kvaliteta mora biti ustanovljen i implementiran u institucijama koje su ovlašćene za poslove tretmana i odlaganja RAO materijala, kako bi se osigurala adekvatnost mera za zaštitu zdravlja ljudi i zaštitu životne sredine. Organizaciona infrastruktura tih institucija mora osigurati dovoljnu nezavisnost onih organizacionih delova institucije koji se bave osiguranjem kvaliteta.

Program osiguranja kvaliteta trebalo bi primeniti na dizajn, rukovanje, konstrukciju, upravljanje, tehnološki proces, monitoring, modifikacije i dekomisiju postrojenja, naročito u onim komponentama bitnim za sigurnost postrojenja.

5.2. Istraživanje i razvoj. Istraživanje i razvoj u oblasti tretmana i odlaganja RAO materijala trebalo bi sprovoditi u skladu sa obimom i potrebama programa tretmana RAO materijala. Verifikaciju sopstvenih specifičnih istraživanja i programa razvoja sopstvenih tehnologija trebalo bi vršiti analizirajući iskustva u istraživanju i razvoju programa tretmana RAO materijala u drugim zemljama i iskustva koja su u ovoj problematici sakupljena u Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju (IAEA).

Internacionalna i nacionalna iskustva, operativna i istraživačka, trebalo bi da analiziraju i institucije koje se bave tretmanom RAO materijala i regulatorna tela, u cilju ocene i donošenja odluka da li su uređaji, procedure, obuka i trening, kao i odgovarajući sigurnosni zahtevi u skladu sa fundamentalnim zahtevima i standardima sigurnosti (*Safety Fundamentals i Safety Standards*), ili ih je potrebno modifikovati.

5.3. Dokumentacija i zapisi. Regulatorna tela, institucije koje proizvode RAO materijale, institucuje koje se bave tretmanom i odlaganjem RAO materijala dužne su da obezbede odgovarajuću dokumentaciju o postrojenjima, tehnologijama, lokacijama za privremeno stokiranje, konačnom odlagalištu, kao i adekvatan inventar - katastar RAO materijala, saglasno zakonskim zahtevima i sopstvenim potrebama. Ova dokumentacija i zapisi katastra moraju biti u stanju u kojem je mogućno na jednostavan način vršiti unošenje novih i izmenu postojećih podataka. Informacije moraju biti dostupne za pregled i analizu i moraju biti u takvoj formi u kojoj će biti razumljive i budućim generacijama. Ovo se posebno odnosi na informacije organizovane u kompjuterskim bazama podataka. Regulatorno telo može preuzeti odgovornost za dugotrajno čuvanje i održavanje podataka, posebno podataka u kompjuterizovanim bazama podataka, odnosno za definisanje formata za unošenje podataka i strukturu baza podataka.

Dokumentacija i zapisi inventara - katastra treba da sadrže detaljne informacije o:

a) inventaru RAO materijala, uključujući i lokaciju, količinu, tip, fizičke i hemijske karakteristike, kao i informacije o dislokacijama i transportu RAO materijala;
b) planove i inženjerske i tehnološke projekte odlagališta;
c) podatke koji se odnose na program osiguranja kvaliteta i podatke o procedurama za kontrolu kvaliteta i o vršenim kontrolama kvaliteta i podatke o operativnim aktivnostima postrojenja;
d) podatke o metodama i kompjuterskim kodovima za ocenu sigurnosti i ocenu uticaja postrojenja na životnu sredinu;
e) rezultate sigurnosnih analiza i analiza o uticaju postrojenja na životnu sredinu; i
f) podatke o monitoringu efluenata iz postrojenja i monitoringu radijacionih parametara kvaliteta okoline postrojenja, kao i podatke o eventualno zatvorenim postrojenjima za tretman RAO materijala i popunjenim odlagalištima RAO materijala.

Literatura

[1] IAEA. 1993, *The Principles of Radioactive Waste Management*, RADWASS, Safety Series No 111-F

[2] ICRP, 1991, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60, Pergamon Press

[3] IAEA, 1994, *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Attachmment to Gov./2715

[4] IAEA 1994, *Establishing a National Legal System for Radioactive Waste Management*, Safety series No 111-S-1, RADWASS Programme

SAFETY FUNDAMENTALS AND SAFETY STANDARDS IN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Radojko Pavlović, Ilija Plećaš, Aleksandar Perić

Institute of nuclear sciences "VINČA"

Abstract The fundamental safety principles and safety standards in radioactive waste management processes from its generation to final disposal, based on latest international recommendations, are presented in this paper. Final disposal of RW is one of the important problems and "falling ston" of nuclear energy, primarily from radiation safety of future generations and preservation of environmental quality. Summarising scientific knowledge and experience of developed countries IAEA defined basic safety principles and safety standards including responsibilities of states, their institutions and other subjects in the process of RW treatment.

Key words: RWM, final disposal, radiation safety

SIGURNOST NA NUKLEARNU KRITIČNOST ODLAGALIŠTA OZRAČENOG GORIVA ISTRAŽIVAČKOG REAKTORA RA

N. Marinković, M. V. Mataušek, R. Simović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

Rezime

Izvršeni su proračuni sigurnosti na nuklearnu kritičnost odlagališta ozračenog goriva istraživačkog Reaktora RA. Analizirana je mogućnost primene reaktorskog računarskog programa WIMSD4 za proračun parametara kritičnosti nereaktorskih konfiguracija koje sadrže nuklearno gorivo. Dati su tipični rezultati i izvedeni su zaključci o potrebama i mogućnostima daljeg rad na ovoj problematici, zavisno od izabrane opcije budućeg statusa Reaktora RA.

Ključne reči: odlaganje ozračenog goriva, sigurnost na nuklearnu kritičnost, istraživački Reaktor RA

1. Uvod

Problemi sigurnosti na nuklearnu kritičnost javljaju se uvek kada se rukuje svežim ili ozračenim nuklearnim gorivom, pa i gorivom za istraživačke nuklearne reaktore, i kada se vrši transport ili skladištenje fisibilnog materijala u bilo kom obliku. Ovaj problem takodje dolazi do izražaja kod razmatranja mogućnosti različitih diverzija i zloupotrebe fisibilnog materijala.

U svetu postoje standardi [1], koji propisuju uslove za rukovanje fisibilnim materijalima van nuklearnih reaktora. Pored toga što definišu dozvoljeni stepen potkritičnosti i daju preporuke u vezi sa količinama fisibilnih materijala koje je moguće tretirati u odredjenom sastavu i odredjenom vidu, standardi definišu i metodologiju kojom se za dati konkretni slučaj može vršiti provera potkritičnosti. Štaviše, samim standardima je predvidjeno da se u odredjenim vremenskim intervalima mora vršiti inovacija podataka i ponovna evaluacija metoda proračuna.

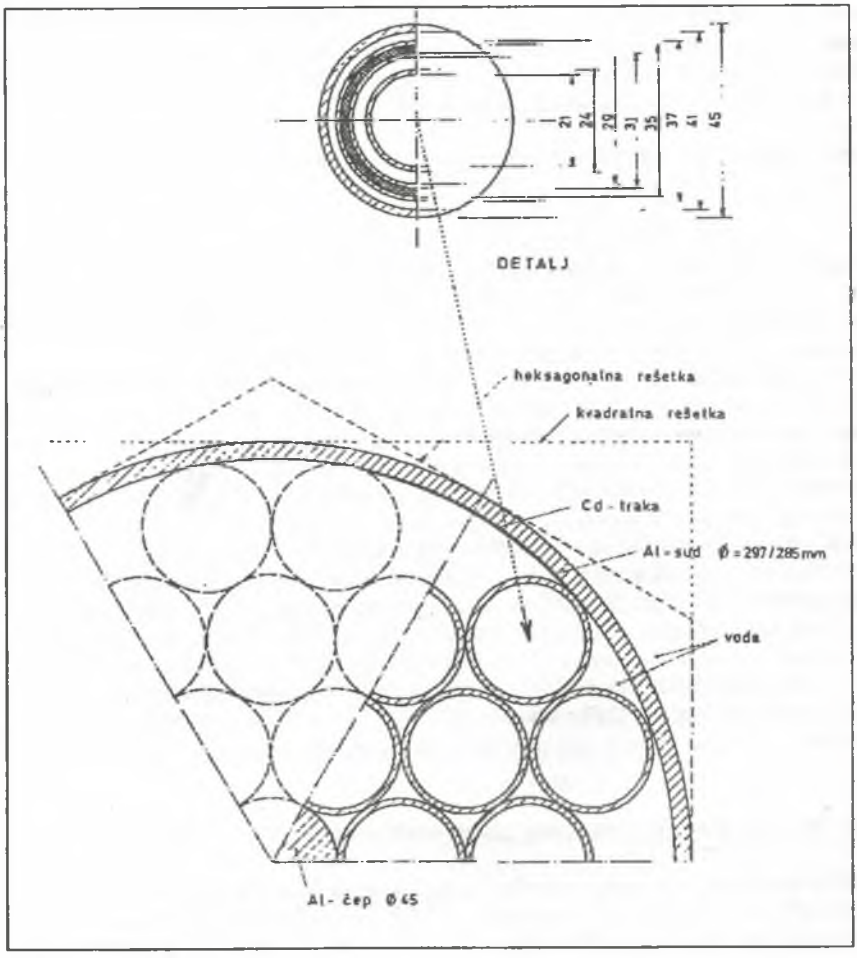
U procesu realizacije budućeg statusa istraživačkog Reaktora RA, nezavisno od izabrane opcije, javiće se problem odlaganja ozračenog goriva u obimu većem od onog koji je predvidjen prvobitnim projektom postrojenja, a u vezi sa tim i problem sigurnosti na nuklearnu kritičnost privremenog odlagališta. Ovaj rad predstavlja pokušaj sistematskog pristupa razmatranju sigurnosti na nuklearnu kritičnost ozračenog goriva na Reaktoru RA. Primenom različitih opcija reaktorskog programa WIMSD4 izvršen je proračun parametara kritičnosti trenutne konfiguracije odlagališta ozračenog goriva, kao i procena parametara kritičnosti odlagališta u slučaju nastavka rada reaktora. Izvedeni su zaključci od interesa za sigurnost na nuklearnu kritičnost zavisno od izabrane opcije budućeg statusa reaktora.

2. Opis privremenog odlagališta ozračenog goriva Reaktora RA

Odlagalište ozračenog goriva Reaktora RA [2] sastoji se od četiri medjusobno spojena bazena, debelih betonskih zidova obloženih nerdjajućim čeličnim limom i ispunjenih vodom. Projektom reaktora je predvidjeno da se kompletni tehnološki kanali sa po 11 ozračenih gorivnih elemenata smeštaju u hermetizovane čelične cevaste kontejnere (čehole), koji se vešaju na tzv. češljeve u pomenutim bazenima. Ovakav način smeštanja ozračenog goriva je sa aspekta ispunjavanja svih osnovnih kriterijuma sigurnosti potpuno zadovoljavajući, ali je odgovarajući smeštajni kapacitet nedovoljan, ukoliko se gorivo povremeno ne uklanja iz bazena, radi slanja na preradu ili trajno skladištenje.

U cilju povećanja gustine smeštaja ozračenog goriva naknadno je uvedeno smeštanje odležanog goriva u aluminijumske sudove sa 30 tesno spakovanih aluminijumskih cevi u koje staje najviše 6 gorivnih elemenata, slika 1. Do sada je u ove sudove smeštano isključivo 2% obogaćeno metalno gorivo. Trideset ovakvih sudova, gusto poredjanih u dva nivoa, smešteno je u ispust četvrtog bazena. Prostor u bazenu dozvoljava i eventualno formiranje trećeg nivoa ovakvih sudova.

U skladištu ozračenog goriva trenutno se nalazi 6656 ozračenih 2% obogaćenih gorivnih elemenata, od čega je 4929 prepakovano u burad, kao i 884 ozračenih i 10 svežih 80% obogaćenih gorivnih elemenata. To znači da se u "čeholima" nalazi ukupno 2621 gorivni element, odnosno da je popunjeno 239 "čehola", a nepopunjeno je svega 66. S obzirom da propisi nalažu da uvek postoji dovoljan broj praznih "čehola", da bi se u slučaju potrebe (zemljotres, ratna opasnost) moglo izvršiti incidentno odlaganje goriva iz jezgra reaktora, u slučaju ponovnog puštanja u rad Reaktora RA javiće se problem daljeg prebacivanja u burad odležanog goriva, kako 2% tako i 80% obogaćenog, i/ili potreba nalaženja nekog trajnijeg rešenja. U vezi sa tim nužno će se postaviti i pitanje sigurnosti na nuklearnu kritičnost odlagališta ozračenog goriva kao celine.



Slika 1. Shema dela suda za dugotrajni smeštaj ozračenog goriva

3. Postupak analize sigurnosti na nuklearnu kritičnost

U ovom radu za proračun parametara kritičnosti odlagališta ozračenog goriva primenjen je reaktorski program WIMSD4 [3]. Osnovna prednost ovog programa je u tome što poseduje sopstvenu konzistentnu i veoma obimnu biblioteku osnovnih nuklearnih podataka, te zahteva samo elementarne ulazne podatke koji opisuju posmatrani problem. Program pruža mogućnost izbora velikog broja fizičkih modela i aproksimacija, kao i metoda rešavanja, različitog stepena tačnosti i različite namene.

Program WIMSD4 prvo računa detaljni energetski spektar u 69 grupa u pojedinim zonama sistema, zatim koristi ovaj spektar za kondenzovanje grupa i dobijanje višegrupnih podataka, rešava sistem višegrupnih transportnih jednačina uzimajući u obzir i isticanje iz sistema i, konačno, određuje detaljnu prostorno-energetsku zavisnost neutronskog fluksa i odgovarajuće iznose reakcija odredjenog tipa, kao i faktor umnožavanja neutrona. Postupak se može ponavljati sa zadatim korakom vremena rada reaktora, odnosno izgorelosti goriva.

Prethodne analize su pokazale [4] da se reaktorski program WIMSD4 može sa dovoljnom tačnošću koristiti za proračune sigurnosti na nuklearnu kritičnost sistema koji sadrže uranijum niskog i srednjeg obogaćenja, odnosno sistema koji sadrže razblaženi visokoobogaćeni uranijum. Samo za sisteme koji sadrže nerazblaženi fisibilni materijal visokog obogaćenja neophodno je koristiti metode transportne teorije specijalno prilagodjene rešavanju problema ove vrste [5]. Uporedjenje sa rezultatima poznatim iz literature pokazuje da su kritične dimenzije posmatranih konfiguracija proračunate programom WIMSD4 uvek niže od referentnih vrednosti, pri čemu maksimalno odstupanje ne prelazi 10%. To znači da program WIMSD4 precenjuje kritičnost sistema, što je povoljno sa stanovišta sigurnosti.

4. Rezultati proračuna

Različiti aspekti kritičnosti odloženog nuklearnog goriva Reaktora RA analizirani su u više navrata. Konstatovano je da je smeštaj goriva u "ćeholima" sasvim bezbedan, čak i u slučaju odlaganja svežeg 80% obogaćenog goriva. Smeštaj 2% obogaćenog goriva u sudovima razmatran je još u vreme uvodjenja sudova kao novog vida smeštaja isluženog goriva, a problem sigurnosti na nuklearnu kritičnost rešen je ubacivanjem kadmijumskih traka koje treba da osiguraju bezbedno odlaganje.

U ovom radu prvo je izvršen ponovni proračun parametara kritičnosti buradi sa isluženim 2% obogaćenim gorivom različitog izgaranja, sa ili bez kadmijumskih traka, tabela 1. Vrednosti izgaranja odgovaraju realnim vrednostima izgorelosti goriva u pojedinim burićima u bazenu, o čemu postoje detaljni podaci u dokumentciji reaktora [6]. Programom WIMSD4 prvo je izvršen proračun parametara elementarne ćelije sa gorivom date izgorelosti, a zatim je korišćenjem klaster opcije ovog programa izvršen proračun parametara kritičnosti za tipičnu konfiguraciju buradi.

Tabela 1. Faktor umnožavanja neutrona za bure sa 2% obogaćenim gorivom zavisno od izgorelosti. Proračun PIJ opcijom programa WIMSD4.

Izgorelost (MWd/t)	bure bez kadmijuma		bure sa kadmijumom	
	kvadratna rešetka	heksagonalna rešetka	kvadratna rešetka	heksagonalna rešetka
4000	0.8792	0.9462	0.5120	0.5948
4500	0.8695	0.9360	0.5058	0.5882
5500	0.8494	0.9147	0.4930	0.5732
6000	0.8394	0.9041	0.4866	0.5657
7200	0.8146	0.8778	0.4710	0.5475
7700	0.8020	0.8644	0.4630	0.5382

Na isti način izvršen je i proračun parametara kritičnosti buradi sa 80% obogaćenim gorivom različitog stepena izgorelosti, koji se može očekivati u slučaju nastavka rada Reaktora RA, tabela 2. Dobijeni rezultati treba da posluže za utvrdjivanje parametara kritičnosti odlagališta kao celine.

Tabela 2. Faktor umnožavanja neutrona za bure sa 80% obogaćenim gorivom zavisno od izgorelosti. Proračun PIJ opcijom programa WIMSD4.

Izgorelost (MWd/t)	bure bez kadmijuma		bure sa kadmijumom	
	kvadratna rešetka	heksagonalna rešetka	kvadratna rešetka	heksagonalna rešetka
30000	1.064	1.153	0.5845	0.6901
50000	1.050	1.138	0.5738	0.6775
70000	1.035	1.122	0.5631	0.6648
100000	1.017	1.096	0.5458	0.6443
130000	0.998	1.072	0.5290	0.6244
200000	0.928	1.013	0.4890	0.5773

5. Zaključak

Dobijeni rezultati ukazuju na to da sadašnja konfiguracija isluženog goriva smeštenog u bazenu za odlaganje goriva Reaktora RA ispunjava zahteve u pogledu sigurnosti na nuklearnu kritičnost. Medjutim, svako dalje odlaganje isluženog goriva bez uklanjanja postojećeg, zahtevaće veoma detaljni proračun sigurnosti na nuklearnu kritičnost i preduzimanje odgovarajućih mera u cilju obezbedjenja potkritičnosti. Posebno treba razmotriti mogućnost incidentnog odlaganja relativno malo izgorelog 80% obogaćenog goriva. Za ovu vrstu proračuna biće potrebno koristiti trodimenzione programe za globalni proračun reaktora, a rezultati navedeni u ovom radu mogu se koristiti kao ulazni podaci za taj proračun.

Literatura

[1] "American National Standard for Nuclear Criticality Safety in Operations with Fissionable Materials Outside Reactors", ANSI/ANS-8.1, American National Standards Institute, INC., New York, 1983.

[2] Sigurnosni izveštaj Reaktora RA, Vol. 10, Nov. 1986.

[3] M.J. Halsall, A Summary of WIMSD4 Input Options, AEEW-M, 1327, 1985.

[4] M. V. Mataušek i N. Marinković, "Proračuni sigurnosti na nuklearnu kritičnost sistema koji sadrže ^{235}U", XXXIX Konferencija ETRAN-a, Zlatibor 1995.

[5] M. V. Mataušek and N. Marinković, "Application of Spherical Harmonics Method for Criticality Safety Studies", *Int. Conf. on Nuclear Criticality Safety*, Albuquerque, New Mexico, Sept. 1995.

[6] Interna dokumentacija Reaktora RA.

NUCLEAR CRITICALITY SAFETY OF THE STORAGE POOL FOR IRRADIATED FUEL OF THE RESEARCH REACTOR RA

N. Marinković, M. V. Mataušek, R. Simović

Abstract

Nuclear criticality safety calculations for the irradiated fuel storage pool are performed, having in mind different options for the research Reactor RA future status. The possibility of applying the reactor code WIMSD4 to calculate the criticality parameters of the away-from-reactor configurations of nuclear fuel has been analyzed. Typical results are presented and conclusions concerning the future work on the subject are drown.

Key words: irradiated fuel storage, nuclear criticality safety, research Reactor RA

Sekcija 7.

RADIOBIOLOGIJA

Ispitivanje unutrašnje kontaminacije radionuklidima stanovništva Republike Srbije u periodu od 1991 do 1994 godine

Irena Knežević, Ljiljana Novak
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu,
"Dr Dragomir Karajović", Beograd, Deligradska 29

Kratak sadržaj

U grupi od 917 slučajno izabranih ispitanika sa teritorije Republike Srbije vršena su ispitivanja unutrašnje kontaminacije prirodnim i fisionim radionuklidima. Rezultati pokazuju da aktivnosti ^{210}Pb, ^{210}Po, ^{131}J, ^{134}Cs i ^{137}Cs u 24-časovnom urinu ispitanika nisu povećane u periodu od 1991 do 1994 godine.

Ključne reči: čovek, radioaktivnost, unutrašnja kontaminacija

Uvod

Radioaktivna kontaminacija životne sredine i svih bioloških zajednica u njoj predstavlja danas činjenicu sa kojom se mora ozbiljno računati, kako u sadašnjosti, tako i u budućnosti. Radijaciona sigurnost ljudske populacije uslovljena je poznavanjem radioekoloških karakteristika i praćenjem stepena unutrašnje kontaminacije. Prirodni i veštački radionuklidi iz životne sredine, koji u organizam dospevaju vazduhom, vodom i hranom, prouzrukuju unutrašnje ozračivanje ljudskog organizma. Osnovna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg ozračivanja je u trajanju zračenja kao i dometu radioaktivnih čestica. Prema tome, jedan od osnovnih parametara koji osigurava maksimalnu radijacionu zaštitu stanovništva je praćenje unutrašnje kontaminacije, tj. unetih radionuklida u organizam čoveka.

Lanac dugoživećih radonovih potomaka sačinjavaju ^{210}Pb, ^{210}Bi i ^{210}Po. Inhalacija i ingestija ovih prirodnih radionuklida dovodi do unutrašnje kontaminacije. U uzorcima biološkog materijala, vrši se radiohemijsko ispitivanje aktivnosti ^{210}Pb i ^{210}Po. Gamaspektrometrijskim merenjem određuju se radionuklidi, koji su najčešće prisutni u životnoj sredini prilikom nuklearnog akcidenta, a to su ^{134}Cs, ^{137}Cs i ^{131}J.

Materijal i metode

Alikvot 24-časovnog urina mineralizovan je azotnom kiselinom na temperaturi od oko 100^0C, a polonijum izdvojen iz rastvora spontanom depozicijom na srebru. Drugom depozicijom, izvršenom posle 90 dana, izdvojen je polonijum koji je nastao raspadom ^{210}Pb u rastvoru. Koncentracija ^{210}Pb u uzorku izračunata je na osnovu koncentracije ^{210}Po posle druge depozicije. Merenja su vršena na scintilacionom alfa-detektoru koji sadrži sloj cink-sulfida aktiviran srebrom (ZnS(Ag)), firme "NUCLEAR ENTERPRISES LTD".

Za određivanje biološki toksičnih fisionih produkata ^{131}J,^{134}Cs i ^{137}Cs, uzorak 24-časovnog urina se meri direktno bez predhodnog tretmana, u Marineli posudi na

germanijumskom detektoru visoke čistoće, koji je povezan sa 8000 kanalnim analizatorom firme "ORTEC". Relativna efikasnost detektora je 25% a, rezolucija 1,95 keV.

Rezultati i diskusija

U tabeli 1. su date srednje vrednosti aktivnosti prirodnih radionuklida ^{210}Pb i ^{210}Po u 24-časovnom urinu ispitanika, u periodu od 1991 do 1994 godine. Izmerene aktivnosti izlučenog ^{210}Pb i ^{210}Po su na nivou prirodnog fona, u ovom vremenskom periodu.

U tabeli 2. su dati rezultati merenja aktivnosti radiotoksičnih fisionih produkata ^{131}J, ^{134}Cs i ^{137}Cs u 24-časovnom urinu ispitanika tokom 1991-1994 godine. Kod 65% ispitanika nisu pronađeni fisioni produkti u urinu, tj. njihove vrednosti su ispod granice detekcije. Uglavnom svi ovi podaci pokazuju da su prisutne aktivnosti veoma niske.

Tabela 1. Srednja vrednost aktivnosti ^{210}Pb i ^{210}Po u urinu [mBq/l]

godina ispitiva.	^{210}Pb [mBq/l]	^{210}Po [mBq/l]	broj ispitanika
1991	54,0 ± 18,7	19,9 ± 9,4	98
1992	77,8 ± 15,1	39,1 ± 7,9	188
1993	63,3 ± 18,7	34,3 ± 11,4	144
1994	65,9 ± 14,9	35,5 ± 16,9	198

Tabela 2. Aktivnost radiotoksičnih fisionih produkata u urinu [Bq/l]

godina ispiti.	^{131}J[Bq/l]	^{134}Cs[Bq/l]	^{137}Cs[Bq/l]	broj ispitani.
1991	<0,20 do 0,95	<0,42	<0,20 do 1,51	58
1992	<0,33	<0,20 do 1,60	<0,20 do 20,50	80
1993	<0,30	<0,33	<0,20 do 3,44	66
1994	<0,20	<0,20	<0,20 do 1,28	85

Zaključak

Kod slučajno izabranih ispitanika, sa teritorije Republike Srbije, vršena su ispitivanja unutrašnje kontaminacije radiotoksičnim prirodnim i veštačkim radionuklidima. Dobijeni rezultati pokazuju da aktivnosti ^{210}Pb, ^{210}Po, ^{131}J, ^{134}Cs i ^{137}Cs u 24-časovnom urinu ispitanika nisu povećane tokom 1991-1994 godine.

Literatura

[1] Blook S.C.,"Low Level Polonium and Radiolead Analisis, Health Physics. Vol.7, pp. 87-91., 1961.

[2] Kargačin B., "Unutrašnja kontaminacija radionuklidima i metode terapije", Arhiv za higijenu rada i toksikilogiju, Vol.37, Br. 2, pp. 199-225., 1984.

[3] Knoll G.F.,"Radiation detection and measurement", John Wiley and sons, New York, 1979.

Examination of internal radionuclides contamination in the population in Serbia during 1991-1994

Irena Knežević, Ljiljana Novak
Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health
"Dr Dragomir Karajovic", Belgrade, Deligradska 29

Abstract

The internal contamination of 917 members of general population with natural and fission products in Serbia was investigated. The results show that concentrations of ^{210}Po, ^{210}Pb, ^{131}J, ^{134}Cs i ^{137}Cs in 24 hour urin samples of examined persons were not elevated during 1991-1994.

Key words: man, radioactivity, internal contamination.

HEMATOPOEZA U RADNIKA NA RENDGENU

Zeljko Engelman,Snezana Milacic
Institut za med.rada i radiolosku zastitu
"Dr D.Karajovic,Beograd,Deligradska 29

Rezime
Analizirane su numericke vrednosti celularnih elemenata i hemoglobina periferne krvi izlozene i kontrolne grupe u toku desetogodisnjeg perioda(1984-94).Izlozenu grupu cini 111 osoba u zoni jonizujuceg zracenja,57muskaraca i 54 zene radioloskih tehnicara,zaposlenih u vise domova zdravlja sirom Srbije.Za kontrolnu grupu odabrano je 27 otpravnika vozo,a i 25 blagajnica.Najvece su promene na leukocitnoj lozi i zavise od duzine vremena izlozenosti,a vise su ispoljene kod muskaraca.

Kljucne reci: krvne celije,rad na rendgenu

UVOD

Radiosetljivost hematopoeznog tkiva pokazana je nebrojano puta.Medjutim,reparaciona moc kostne srzi takodje je neiscrpna kada su u pitanju vrlo male doze jonizujuceg zracenja,pa je pracenje broja celija u krvi profesionalno izlozenih lica u rutinskim periodicnim pregledima izgubilo znacaj za preventivnu dijagnozu profesionalnih ostecenja.Cilj ovog rada je da na konkretnom materijalu uocimo eventualna variranja u vrednostima krvnih celija zdravih ispitanika u funkciji vremena i u odnosu na ne eksponovana lica-kontrolnu grupu.

MATERIJAL I METODE

U 111 radioloskih tehnicara domova zdravlja u Srbiji(57 muskaraca i 54 zene),kao i 27 otpravnika vozova i 25 blagajnica - kontrolna grupa iste prosecne starosti i radnog staza,analizirane su numericke vrednosti elemenata krvne slike iz ekspertiznih lista periodicnih pregleda od 1984. do 1994.godine.Uzete su u obzir prosecne vrednosti godisnjih absorbovanih doza od 1990-94.godine,merene termolumiscentnim dozimetrom (TLD).

REZULTATI I DISKUSIJA

Prosecna godisnja absorbovana doza(TLD) je 1,03(mGy) u muskaraca i 1,08(mGy) u zena,sto je daleko isped maksimalno dopustenih(50 puta) a 5puta manje nego sto je nadjeno u ranijim istrazivanjima nasih autora(1,2) verovatno zbog sve bolje zastite i edukacije.
Nije bilo znacajne razlike hematoloskih parametara(eritrociti,hemoglobin,leukociti,trombociti,granulociti,limfociti i monociti)muske eksponovane i kontrolne grupe kada se uporede u 1984.,1989.i 1994.-oj godini.Ni posle 5 ni posle 10 godina rada sa rendgenom nema otstupanja od ostale profesionalno ne izlozene populacije a sve se vradnosti krecu u fizi-

oloskim granicama a radi se o zdravim licima kako kontrolne tako i izlozene grupe ispitanika oba pola.
Medjutim,uporedjivanjem srednjih vrednosti ispitivanih parametara po godinama u eksponovanih radnika,(parni T-test), uocili smo signifikantne razlike u okviru normalnih vrednosti vec nakon 5 godina ERS u muskaraca a nakon 10godina u zena.

Tabela 1.KRETANJE BROJA LEUKOCITA U RADIOLOSKIH TEHNICARA

Pol	1984.g.	1989.g.	1994.g.
muski	7,16+1,96	6,28+1,54	6,04+1,39
T	1984/89,2,67		
P	0,01 S		
T		1984/94; 3,61	
P		0,001 S	
zenski	6,40+1,36	6,10+0,89	5,94+1,29
T	1984/89; 1,36		
P	0,20 NS		
T		1984/94; 1,91	
P		0,05 S	

Nosioci promene broja leukocita su neutrofili koji se smanjuju sa duzinom ekspozicije,dok promene u drugim krvnim lozama osciliraju i nisu statisticki znacajne,sto se slaze sa.ranijim istrazivanjima (3).Promene su izrazenije kod muskaraca.
Mozemo da zakljucimo da postoji izvesna inhibicija hematopoeze i pored velike sposobnosti srzi za regeneraciju,koja se vidi tek u funkciji vremena kada su u pitanju male doze spoljasnjeg ozracivanja,a za te promene potrebno je najmanje 5-10 godina rada u zoni zracenja.

LITERATURA

(1)Snezana Milacic:Hematoloske promene u radiologa i rendgen tehnicara,Zbornik radova,Prvi Jug.kongres radiologa, Vrnjacka Banja,1994.,115-120
(2)Snezana Milacic:Znacaj broja leukocita i leukocitne formule za brzo pracenje efekata jonizujucih zracenja,Zbornik radova,XV Jug.simpozijum za zastitu od zracenja,1989,233/6
(3)Dragan Stojanovic:Mogucnosti koriscenja med.testova za procenu patoloskih efekata jonizujucih zracenja,Zbornik radova,XVI Jug.simp.za zastitu od zracenja,1991,188/91

HEMATOPOIESIS IN X-RAY OPERATORS

Željko Engelman, Snežana Milačić

Institute of Occupational and Radiological Health Protection "Dr.Dj. Karajović", Belgrade, Deligradska 29

Summary

Numerical values of cellular elements and peripheral blood hemoglobin obtained from both exposed and control groups during the ten-year period (1984/1994) were analysed.

The expoed group included 111 individuals subjected to ionizing irradiation, 57 male and 54 female x-ray tecnicians, employed at numeorus health centers throughout Serbia. The control group comprised 27 selected train dispathcers and 25 cashiers. Most significant changes of leukocytic line depended on duration of exposure, and they were more prominent in males.

Key words: blood cells, x-ray operator

UPOREDNI PRIKAZ AKTIVNOSTI LEUKOCITNIH ENZIMA USLED RADA SA RAZLICITIM RADIO-AKTIVNIM IZVORIMA

Snezana Milacic,Petar Bulat,Aleksandar Milovanovic
Medicinski fakultet,Beograd,(Katedra za medicinu rada),
Deligradska 29,Beograd

Rezime
Ispitivana je leukocitna alkalna fosfataza i mijeloperoksi-daza u zaposlenih na:rendgenu,industrijskoj defektoskopiji, (192Ir);radioizotopskoj laboratoriji (125J);nuklearnoj medi-cini(131J,99mTc);industriji satova(3H-tricijum)tokom niza godina i uporedjene su srednje vrednosti,medjusobno i sa kontrolnom grupom.Najvece promene aktivnosti su u radnika sa otvorenim izvorima zracenja usled kontaminacije,a medjusobno se ne razlikuju iako se radi o razlicitim radionuklidima. Najnize vrednosti su u radnika sa tricijumom u industriji satova.

Kljucne reci: leukocitni enzimi,radioaktivni izvori.

UVOD

Znacaj odredjivanja aktivnosti alkalne fosfataze-APL i mijeloperoksidaze-MPO u leukocitima za diferencijaciju blasta i diferencijalnu dijagnozu leukoza odavno je poznat u hematologiji.(1,2)Pre vise od 25godina eksperimentalno se ispituje aktivnost leukocitnih enzima pod uticajem raznih toksicnosti(organski rastvaraci,plasticne mase,jonizujuca zracenja,metali...),(3,4),a od pre 10godina ukazujemo na znacaj u dijagnozi profesionalnih ostecenja raznim profesi-onalnim stetnostima,lekovima,otrovima i zracenjem. Posebno se istice znacaj APL i MPO u radioloskoj zastiti, zbog diferencijalne dijagnoze profesionalne preleukemije, hronicne leukocitoze i leukopenije,mijelofibroze i aplasti-cne anemije,kao i diferencijalne dijagnoze profesionalnih prema drugim endogenim hematoloskim bolestima(5,6) s kojima se mozemo sresti na periodicno-preventivnim pregledima.

MATERIJAL I METODE

Nase ispitanike cine radnici u zoni jonizujuceg zracenja i kontrolna grupa:

-sa zatvorenim izvorima zracenja
 1.na rendgenu(27ispitanika)
 2.u industrijskoj defektoskopiji,192Ir(25ispitanika)
-sa otvorenim izvorima zracenja
 3.u industriji satova,3H-tricijum(53ispitanika)
 4.u nuklearnoj medicini,131J;99mTc(74ispitanika)
 5.u radioizotopskoj laboratoriji,125J(21ispitanik)
-van zone zracenja,kontrolna grupa(52ispitanika).

Aktivnost enzima odredjivana je semikvantitativnim,citohe-mijskim metodama-po Kaplow,modifikovanim od strane domacih

autora(Juncic 1969.i Milacic 1990),(7,8).Specificno obojeni kapilarni krvni razmazi mikroskopiraju se pod imerzijom,a intenzitet boje citoplazme granulocita indeksira se od 0-4. Zbir dobijenog proizvoda indeksa boje i broja celija na 100 granulocita cini skor aktivnosti enzima(APL i MPO).

REZULTATI I DISKUSIJA

Analize su uzimane u vise navrata tokom 6 godina u radnika sa minimalno 5 godina ekspozicionog radnog staza a uzete su u obzir srednje vrednosti skora za svakog pojedinca.Prosecne vrednosti aktivnosti APL i MPO za svaku grupu ispitanika prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1 UPOREDNI PRIKAZ AKTIVNOSTI APL I MPO

R.br.	N	APL	MPO
		M	
1.	27	40,30	132,30
2.	25	38,54	112,40
3.	53	31,45	83,45
4.	74	36,79	98,49
5.	21	34,24	88,56
K	52	54,31	144,02

Statistickim neparametrijskim testovima(WilCoxon i Kruskal Wallis)uporedjene su navedene vrednosti medjusobom kao i sa kontrolom.Signifikantno su snizene vrednosti skora APL i MPO u svih izlozenih radnika(svih 5 grupa)u poredjenju sa kontrolnom grupom.Vecu znacajnost razlike pokazuje MPO, sto govori u prilog njene vece osetljivosti na zracenje. Nema znacajne razlike aktivnosti enzima medju radnicima sa zatvorenim izvorima.Takodje,znacajno se medjusobno ne razlikuju ni radnici sa otvorenim izvorima.Medjutim, oni koji rade sa otvorenim izvorima,sa radionuklidima, imaju signifikantno inhibirane enzime u odnosu na radnike sa zatvorenim izvorima zracenja,verovatno usled interne kontaminacije koja usledi nakon 5 godina ERS zbog stalno prisutnog ovakvog profesionalnog rizika.Radionuklid postaje unutrasnji izvor i kontinuirano inhibira enzimsku aktivnost u leukocitnim celijama krvi i koštne srzi,a koju reparacioni mehanizmi tada ne mogu da kompenzuju. Najnize vrednosti su u radnika sa tricijumom,u industriji satova,sto se moze objasniti dugim vremenom poluraspada 3H,ravnomernom distribucijom u telu(prati metabolizam vode)i ugradjivanjem u primarnu gradju proteina, a i losim uslovima na radu i niskim stepenom obrazovanja radnika na ovim radnim mestima.Iako inhibirana,enzimska aktivnost nije bila ispod donjih granica(2o;80) te ne ukazuje na nastanak hematoloske bolesti vec na ostecenje celije radijacijom i stoga zahteva dalje pracenje.

LITERATURA

(1:Dienstbier,T.,Arient,M.,Pospisil,J.:Post-iradiation

changes in the bone marrow and peripheral blood,Panel Proceedings Series,Effects of ionizing radiations on the haematopoietic tissue,IAEA,Vienna,1967.
2)Vigodskoj,A.L.,Osanova,O.P.:Rukovodstvo po radiacionoj gematologii,Medicina,Moskva,1974.
3)Fodorov,B.,Delianov,M.:Leukocyte enzyme activity in the gamma irradiation of lambs,Vet Med Nauki,20,52-7 1983.
4)Micu,D.,Mihailescu,E.,Vilau,C.,et al:The value of some cytoenzymochemical investigations of the leukocytes and platelets in estimating the efects of occupational exposure to benizine,vinyl chloride and carbon disulphide,Rev.roum.Med.Ser.Med.Int,23/2, 115-20,1985.
5)Jancic,M.:Dijagnostički i prognostički značaj određivanja aktivnosti alkalne fosfataze u granulocitima,Doktorska teza,Medicinski fakultet,Beograd,1969.
6)Milacic,S.:Ispitivanje aktivnosti alkalne fosfataze i peroksidaze u granulocitima periferne krvi pod uticajem jonizujuceg zracenja,Magistarski rad, Medicinski fakultet,Beograd,1990.

COMPARATIVE STUDY OF LEUKOCYTIC ENZYMES ACTIVITY INDUCED BY WORKING EXPOSURE TO DIFFERENT SOURCES OF RADIOACTIVITY

Snežana Milačić, Petar Bulat, Aleksandar Milovanović, Faculty of Medicine, Belgrade, Department of Occupational Medicine

Leukocytic alcaline phosphatase and myeloperoxydase were studied in individuals dealing for years with: x-ray apparatus, industrial defectoscopy (Ir192), clock industry (3H), nuclear medicne (J131, mTc99), radioisotopic laboratory (J125). The obtained mean values were compared within the studied group and subsequently to controls. The most prominent changes of enzyme activity were evidenced among workers exposed to unsealed irradiation sources, due to the contamination, and the values obtained within the group failed to reveal any difference in spite of different radionuclides applied. The lowest values were evidenced in workers exposed to tritium, i.e. in clock industry.

Key words: Leukocytic enzymes, radioactive sources

NOVI ICRP MODEL RESPIRATORNOG TRAKTA

Dragoslav Nikezić, Dusica Vučić*
Prirodno- matematički fakultet, Kragujevac, R.Domanovića 12
* Tehnološki fakultet, Leskovac

Ključne reči: respiratorni trakt, ICRP model

REZIME: Internacionalna Komisija za Radiološku zaštitu (ICRP) je nedavno prihvatila novi dozimetrijski model ljudskog respiratornog trakta, koji je izdat kao ICRP publikacija 66. U ovom rereratu dat je opis tog "novog modela". Model je zasnovan na ICRP publikaciji 30, ali je znatno proširen. Može se primeniti na sve članove ljudske populacije, a ne samo na osoblje koje je profesionalno izloženo radonu; odnosi se na inhalaciju gasova, para i čestica. Data je procena doze po jediničnom izlaganju, kao i biološka interpretacija.

1.UVOD

Još od 1984 godine, "Task Group" ICRP -a razvija i dogradjuje dozimetrijski model respiratornog trakta, koji je prvobitno publikovan u ICRP 30 [1]. Novi model je formalno prihvaćen od strane Komisije (ICRP) u aprilu 1993 i izdat je kao ICRP publikacija 66. U ICRP 30, ljudsku respiratorni trakt je podeljen u tri dela: N-P (nosno-pharyngealni deo), T-B (traheo-bronhijalni deo) i P (pulmonarni). Depozicija u svakom od ovih delova zavisi od dimenzija unetih čestica, a čišćenje od njihove hemijske forme. Model je razvijen za računanje doze za radnike (za procenu godišnje granice unošenja) i primenjuje se na "referentnog" čoveka. Postoji, medjutim, potreba procene doze za celokupnu ljudsku populaciju, a ne samo za radnike profesionalno izložene radioaktivnosti u atmosferi.

Izvršena je revizija ovog modela na osnovu raspoloživih informacija (sakupljenih u zadnjih 30 god) o morfologiji, fiziologiji, depoziciji, čišćenju i radijacionim efektima.

U ovom referatu je ukratko (na 4 strane) dat opis novog ICRP modela respiratornig trakta (koji ima oko 600 strana).

2.NOVI ICRP MODEL LJUDSKOG RESPIRATORNOG TRAKTA [2]

U ovom novom modelu respiratorni trakt je podeljen u pet regiona; kao osnov podele uzeta su radiobiološka razmatranja ali i razlike u funkciji, depoziciji i čišćenju. Vazdušni putevi van grudnog koša (extrathoratic) su podeljeni u ET_1 (prednji nosni prolaza) i ET_2 koji se sastoji od zadnjeg nosnog i usnog prolaz pharynx-a i larynx-a. Grudni region čine BB (bronhije, generacije 1-8), bb (bronhiole) i AI (alveole-region izmene gasova). Limphatični sistem je pridružen ET_1 i vazdušnim putevima u grudnom košu.

Vrednosti dimenzija pojedinih delova respiratornog trakta i faktori skaliranja za pojedince različite starosti, su takodje dati. Dimenzije vazdušnih puteva se skaliraju prema visini tela, dok se masa AI skalira prema masi tela. Pretpostavljeno je da je struktura (grananje) T-B stabla data sa rodjenjem, a da broj alveola raste linearno za 40 % u toku prva tri meseca, a 80 % do prve godine života.

3.RIZIČNA TKIVA I ĆELIJE

Poznavanje efekta zračenja na respiratorni trakt, dobijeno

iz eksperimenata na životinjama i ozračene ljudske populacije, omogućilo je identifikovanje tkiva i ćelija koje su najosetljivije na zračenje udahnutih radionuklida. Kao najvažnije razmatraju: se bazalne ćelije u oba ET regiona; bazalne i sekretorne ćelije u bronhijalnom epitelu; Clara ćelije (vrsta sekretornih ćelija) u bronhijalnom epitelu i endothelialne ćelije u kapilarnim zidovima.

4.FIZIOLOGIJA

Novi ICRP model omogućava odredjivanje "unete" aktivnosti po jediničnom izlaganju, kao i dozu po jediničnom unošenju. Poželjno je odrediti dozu po jediničnom unošenju. Faktori koji povezuju unošenje i izlaganje su inhalabilnost i brzina udisanja.

Inhalabilnost je količnik koncentracije čestica u vazduhu koji je unet u respiratorni trakt,prema njihovoj koncentraciji u ambijentalnom vazduhu.

Brzina udisanja, učestanost i zapremina, glavni faktori u modelu, zavise od starosti i od fizičke aktivnosti. U novom ICRP modelu preporučene su vrednosti ovih parametara za različite grupe u populaciji kao i za razne nivoe fizičke aktivnosti (odmor, sedenje, lake i teške vežbe), uzimajući u obzir kako nosno tako i usno disanje.

Ovi parametri odredjuju unošenja ali se koriste i u modelu taloženja za odredjivanje regionalne depozicije.

5.DEPOZICIJA

Model depozicije odredjuje taloženje aerosola u svim regionima respiratornog trakta, za sve moguće veličine aerosola (0.0006-100 μm). Depozicija u ET regionima je odredjivana empirijski. Merenje depozicije je povezano sa parametrima veličine čestica i toka vazduha. Efikasnost depozicije, eksperimentalno odredjena za odrasle muškarce, skalirana je prema anatomskim dimenzijama žena i dece.

Za odredjivanje depozicije u vazdušnim putevima u grudnom košu korišćen je teorijski model depozicija čestica [3]. Pri tome računa se depozicija u svakom BB,bb i AI regionu; moguće je kvantifikovati efekte veličine pluća i brzine disanja. Tri mehanizma taloženja (gravitaciono, inercijalno i difuziono) su uzeta u obzir.

Nataložena frakcija je izračunata za aerosolne čestice koje imaju lognormalnu raspodelu po veličinama. Vrednosti taloženja su, generalno uzev, manje nego što to predvidja ICRP 30. Depozicija u BB i bb regionima je za polovinu manja nego prema ICRP 30.

Odgovarajuće krive depozicije su date za sve grupe populacije i za razne nivoe fizičke aktivnosti, uzimajući u obzir nosno i usno disanje.

6.GASOVI I PARE

U principu model se može primeniti i na inhalaciju gasova i para, ali za razliku od depozicije čestica, retencija je zavisna od vrste materijala koji se unosi. Može se uzeti da svi molekuli gasova "dodirnu" površinu vazdušnih puteva, ali se obično ponovo vrate u vazduh, ukoliko ne interaguju sa površinom ili se ne rastvore u njoj. Tako, zadržani deo unetih gasova i para zavisi od njihove rastvorljivosti i reaktivnosti i mora se svaki slučaj tretirati posebno.

U ovom modelu gasovi i pare su podeljeni u tri klase.

Klasa SR-0. Nerastvorljivi i ne-reaktivni gasovi

U ovu klasu ubrajaju se (H_2,SF_6) i doza od njih može se izračunati pretpostavljajući da su vazdušni putevi uniformno ispunjeni ovim gasovima, pri čemu je koncentracija u plućima ista kao i u spoljnem vazduhu. Doza od apsorpcije gasova ove klase se može zanemariti.

Klasa SR-1. Rastvorljivi ili reaktivni gasovi

Ova klasa gasova i para (kao O_3, NO_2, H_2O) doprinosi izlaganju svih vasdušnih puteva, a preko apsorpcije i ostalih tkiva i krvi. Ovi gasovi zahtevaju individualni tretman; neka uputstva su data u ICRP 66, ali u odsustvu informacija uzeta je konzervativna pretpostavka o 100 %-tnoj depoziciji sa raspodelom od 10% u ET_1, 20 % u ET_2, 10 % u BB, 20 % u bb i 40% u AI.

Klasa SR-2. Visoko rastvorljivi i reaktivni gasovi

Gasovi ove klase su potpuno apsorbovani u krvi u ET regionima (SO_2, HF).

7.CIŠĆENJE

Model opisuje tri različita puteva čišćenja. Materijal deponovan u ET_1 se uklanja preko nosnog izduvavanja. U drugim regionima čišćenje je u konkurenciji sa transportom u GI trakt, transportom u limfni sistem i apsorpcijom u krv. Pretpostavlja se da su brzine transporta iste za sve materijale, a da je apsorpcija u krv zavisna od vrste materijala. Brzina apsorpcije u krv je ista u svim delovima respiratornog trakta, sem za nos, gde se ovaj proces ne dogadja.

8.TRANSPORT ČESTICA

U publikaciji je dat "kompartment" model transporta čestica. Kinetikom čišćenja meterijala u pojedinim regionima ljudskog respiratornog trakta nije u potpunosti poznata. Ova "nepoznanica" unosi znatnu neodredjenjost u odredjivanje doze.

Studije na ljudima, obavljene aerosolima koji su obeleženi radioaktivnošću, pokazale su da se znatan deo materijala nataložen u ET_1 izbaci za oko 1 dan. Ostali vazdušni putevi su pokriveni fluidom koji se pokreće i prenosi se u GI trakt gutanjem, sa karakterističnim vremenom reda nekoliko minuta.

Materijal nataložen u BB i bb regionima se čisti brzo, (reda sati) pomoću mukusa. Medjutim, skorašnje studije na ljudima pokazuju da se veliki deo materijala nataložen u BB i bb može čistiti znatno sporije usled rastvaranja materijala. Mogu se razmatrati dve faze, od kojih se jedna rastvara brzo, a druga sporo. Čišćenje je u kompeticiji sa prenosom u krv. Relativno malo eksperimentalnih podataka je na raspolaganju u vezi sa ovim pitanjima. Izvori podataka su eksperimenti na životinjama ili autopsije.

Apsorpcija u krv

Apsorpcija u krv se odvija u dva koraka. Prvi je rastvaranje čestica u materijalu koji se može preneti u krv, a drugi je apsorpcija materijala u krv. Oba stanja su zavisna od vremena. U odsustvu podataka o brzini apsorpcije za specifična hemijska jedinjenja, preporučuju se tri klase materijala. Tip F (fast), M (moderate) i S (slow) koje odgovaraju klasama D,W i Y resp. u publikaciji 30.

Tip F. Brza apsorpcija, oko 100 % za 10 min u BB, bb i AI regionima i oko 50 % u ET_2.

Tip M. Brza apsorpcija oko 10% za 10 min, dok se 90% prenese u krv sporo za oko 140 d.

Tip S. Svega 0.1 % se prenese u krv za 10 min, a ostatak od 99.9 % za oko 7000 dana.

I u ovoj oblasti se oseća nedostatak eksperimentalnih podataka.

9.RAČUNANJE DOZE

U skladu sa generalnim pristupom ICRP, doza u svakom regionu je srednja doza u osetljivim tkivima (meti) tog regiona. Ćelije mete su identifikovane za svaki region i date su relevantne dimenzije i mase tkiva u tim regionima. Takodje su dati i izvori zračenja u svakom regionu. Na primer izvor može biti u mukus-u iznad cilija, izmedju cilija, u sloju makrofaga (ispod ćelija mete) i dr. Za svaku kombinaciju izvor/meta, ICRP 66 daje apsorbovani deo energije α i β zračenja i to u zavisnosti od energije. U ovim računanjima korišćena je prosta cilindrična geometrija.

Da bi se uzela u obzir različita osetljivost pojedinih tkiva, doza u svakom regionu je množena sa odgovarajućim faktorima A_i, koji predstavljaju relativnu osetljivost tkiva u odnosu na ceo organ. Utežnjena suma je jednaka ekvivalentnoj dozi za taj organ, prema sledećoj jednačini:

$$H_T(TH) = H_{T,BB}A_{BB} + H_{T,bb}A_{bb} + H_{T,AI}A_{AI} + H_{T,LN_{TH}}A_{LN_{TH}} \quad (1)$$

gde indeks T označava dozu delu respiratornog trakta u grudnom košu (Thoracic). Vrednosti relativnih osetljivosti su takodje date u preporukama 66. Isti faktor 0.333 je pridružen regonima BB, bb i AI.

Prema preporukama ICRP tkivni težinski faktor se primenjuju za tkiva i organe u cilju dobijanja njihovog doprinosa efektivnoj dozi. Težinski faktor 0.12 je specificiran za pluća i primenjuje se za ekvivalentnu dozu u vazdušnim putevima u grudnom košu. Težinski faktor od 0.025 se preporučuje za dozu u vazdušnim putevima van grudnog koša, kada doza u njima predje najveću dozu u bilo kom organu od dvanaest organa za koje je težinski faktor specificiran.

THE NEW ICRP MODEL FOR THE HUMAN RESPIRATORY TRACT

Dragoslav Nikezić and Dušica Vučuć

The Internationa Commission on Radiolagical Protection has recently adopted a new model of the human respiratory tract, issued as ICRP publication 66. A summary of the new model is presented in this report.

REFERENCE

1. ICRP 30. Limits for intakes of radionuclides by workers. Publication 30. Pergamon. Ann.ICRP 2(3/4) (1979)
2. ICRP 66. Human respiratory tract model for radiological protection. Publ 66. Pergamon Ann. ICRP 24(1/4) (1994)
3. Egan, M.J. and Nixon,W.A. A model of aerosol deposition in the lung for use in inhalation dose assessments. Radiat. Prot. Dosim. 11, 5-17 (1985)

CITOLOSKE I CITOHEMIJSKE PROMENE

LEUKOCITA U RADNIKA NUKLEARNE MEDICINE U SRBIJI

Snezana Milacic,Slobodan Dodic
Institut za med.rada i radiolosku zastitu,'Dr Dragomir Karajovic',Beograd,Deligradska 29

Rezime
U radnika nuklearne medicine u Srbiji ispitivali smo broj i izgled celija leukocitne loze i aktivnost enzima u granulocitima.U odnosu na kontrolnu grupu(zdravo stanovnistvo Srbije)broj leukocita i neutrofilnih granulocita je smanjen dok su eozinofili povecani.Znacajnije je snizena aktivnost alkalne fosfataze i mijeloperoksidaze u granulocitima,narocito u morfoloski izmenjenim celijama koje su postojale u 43% ispitanika.Promene nisu u linearnoj korelaciji sa ekspozicionim radnim stazom.

Kljucne reci:leukociti,radionuklidi

UVOD

Primena radioaktivnih izotopa u nuklearnoj medicini danas je najznacajnija komponenta u ukupnoj kolicini zracenja iz otvorenih izvora koju jedna populacija absorbuje tokom duzeg vremenskog perioda.
Dok radiolog u dijagnostici pri radu sa zatvorenim izvorom prima prosecno 0,0003(mSv) po pacijentu,pri davanju radionuklida u dijagnosticke svrhe radnik prosecno prima 0,04 (mSv) a 0,70(mSv) pri davanju radionuklida u terapijskim dozama.(1)Kontaminacioni rizik ljudi tokom rada sa radionuklidima(RN) zavisi od kontaminacije radnog prostora (2) Istrazivanja domacih autora ukazuju na pocetne poremecaje u krvnoj slici ,prvenstveno u leukocitnoj lozi,kao pretecu radiotoksicnih ostecenja u radnika nuklearne medicine (3). Uticaj profesionalne ekspozicije RN na velicinu i oblik leukocita,polimorfonuklearnu rezervu i kinetiku granulocita a posebno na aktivnost leukocitnih enzima (alkalnu fosfatazu-APL,mijelo- i eozinofilnu peroksidazu-MPO,EPO)opisali su Rossi i Bernabei jos 1981.g.a potvrdili i nasi autori 1992.g. Cilj nam je da u nasih radnika nuklearne medicine u Srbiji uocimo medjuzavisnost eventualnih promena leukocita i rada sa radioaktivnim izotopima u dijagnosticke svrhe radi rane dijagnoze radiotoksicnih ostecenja.

MATERIJAL I METODE

Nase ispitanike cini 74 radnika nuklearne med.(NM),prosecne starosti 41,3god.i sa 81% zastupljenim zenskim polom.Vrednosti jacine absorbovanih doza u vazduhu,kontaminacije radnih

povrsina i ruku ispitanika kretale su se u vrlo sirokom rasponu,a samo u nekoliko slucajeva nije utvrdjena kontaminacija. Za procenu povecane absorbovane doze u ispitanika,uzeli smo u obzir pozitivan nalaz hromozomskih aberacija(HA)u limfocitima Leukociti su brojani automatskim brojacem iz venske krvi.Krvni ramazi za morfolosku analizu bojeni su M.G.Giemsa-om.Razmazi kapilarne krvi bojeni su na APL,MPO modifikovanom metodom po S.I.Kaplow-u(4,5)i mikroskopirani pod imerzijom a velicina aktivnosti enzima izracunata je u vidu skora.
Kontrolnu grupu cini 52 zdrava ispitanika prosecne starosti 34g.,pretezno zenskog pola-75%,koji su pri prethodnom pregledu ispunjavali zahteve za rad sa RN.

REZULTATI I DISKUSIJA
U nasih ispitanika nije bilo odstupanja u broju eritrocita, retikulocita i trombocita.Znacajne su razlike u broju leukocita

Tabela 1. LEUKOCITI I ELEMENTI LE-FORMULE U IZLOZENOJ I KONTROLNOJ GRUPI

Gr	N	Le	Nf6	So	Ly	Mo	Baz	SS
		x+SD	Srednja vredn.apsolut.br.+ SD					
NM	74	5,8+1,5	3,5+1,1	0,2+0,1	2,0+0,5	0,2	0,013	0,047
K	52	6,5+1,2	4,1+1,0	0,1+0,0	2,1+0,4	0,2	0,001	0,001
	P	0,02 S	0,003 S	0,0001 S	0,24	0,73	0,06	0,33

Signifikantno su snizene vrednosti svih ispitivanih enzima u granulocitima($p<0,001$; Wilcoxon-ov test).
Morfoloske promene granulocita zastupljene su u 21,62% ispitanika a 1,92% u kontrolnoj grupi.Najcesce su udruzene toksicne granulacije i hipersegmentacija jedra(43%),ali su prisutne i smanjena segmewntacija jedra sa degranulacijom u citoplazmi, atipicno jedro i vakuole u citoplazmi pa cak i pseudo Pelger, (6%).U radnika sa ovim promenama enzimska aktivnost je znacajnije snizena nego u ostalih.Takodje,i u radnika koji su imali HA, aktivnost leukocitnih enzima se znacajno razlikuje u odnosu na ostale radnike u kojih nisu nadjene HA,($p<0,0001$),kao i broj neutrofilnih granulocita,$p=0,05$.Kada smo nase ispitanike uporedili medjusobno po intervalima duzine izlozenosti(ERS),uocili smo najvecu znacajnost promena posle 5-te godine,odnosno u intervalu 6-15god.ERS.Postoji izvesna reverzibilnost aktivnosti enzima sa kompenzatornom regeneracijom celija usled hiperaktivnosti kostne srzi,te posle duzeg vremena rada sa RN,(15g.) nema signifikantnog opadanja vrednosti leukocita i enzima,vec se i dalje odrzavaju niskim,te nisu u direktnoj,tj.linearnoj korelaciji sa vremenom.Promene verovatno zavise od konkretne kontaminacije a ne od vremena ekspozicije.Mozemo pretpostaviti na osnovu naseg istrazivanja da se u profesionalnom riziku od interne kontaminacije,ona prosecno dogodi do 15-te god. rada. Obzirom da su promene i morfoloske i numericke,mozemo pretpostaviti,takodje,da se radi o radiotoksicnom ostecenju srzi,a u prilog tome govori i inhibicija enzima koji su merilo zrelosti celije s jedne strane,a neophodni za funkciju u periffernoj krvi,s druge strane.

LITERATURA

(1) Leung,P.M.K.:Personnel radiation exposure analysis in a radiotherapy center:Fourteen year retrospective study,Int. J.Radiat.oncol.biol.Phys.9/11,1983.,1705-13
(2) Schuerabraud,P., Thal,H.:Studies on the contamination and incorporation risk during in vitro work with 125J,Nuc. Compact,1980.,11/3,102-104
(3) Milacic,S.:Analysis of workers in nuclear medicine,Periodicum biologorum,1989.,Vol 91,No4,417-418
(4) Jancic,M.:Dijagnosticki i prognosticki znacaj odredjivanja aktivnosti alkalne fosfataze u granulocitima,Doktorska teze,Medicinski fakultet,Beograd 1969.
(5) Milacic,S.:Ispitivanje aktivnosti alkalne fosfataze i peroksidaze u granulocitima periferne krvi pod uticajem jonizujuceg zracenja,Magistarski rad,Medicinski fakultet,

CYTOLOGIC AND CYTOCHEMICAL LEUKOCYTIC CHANGES IN NUCLEAR MEDICINE WORKERS IN SERBIA

Snežana Milačić, Slobodan Dodić
Institute of Occupational and Radiological Health Protection "Dr.Dj. Karajović", Belgrade, Deligradska 29

Summary

We have studied number and appearence of leukocytic lines and enzyme activity in granulocytes among nuclear medicine workers in Serbia. When compared to the control group (healthy population of Serbia), leukocytic and neutrophilic granulocytes counts were decreased, while eosinophilic count was higher. Alcaline phosphatase and myeloperoxidase activites in granulocytes were significantly lower, particularly in the morphologically changed cells evidenced in 43% of the subjects. The changes were not linearly correlated with the duration of the exposure.

Key words: leukocytes, radionuclides

BIOLOŠKA DOZIMETRIJA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA U USLOVIMA PROFESIJSKE EKSPOZICIJE

Gordana Joksić,Budislava Marković

Klinički Centar Srbije, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović",
Deligradska 29, Beograd

Rezime

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja učestalosti hromozomskih aberacija u različitim grupama profesionalno izloženih lica za perid 1991-1994.god. U poredjenju sa rezultatima ispitivanja prethodnog četvorogodišnjeg perioda (1986-1990), zapaža se promena u strukturi ozračenosti mnogih grupa profesionalno izloženih lica.

ključne reći:hromozomske aberacije,profesijska ekspozicija

U V O D

Analiza hromozomskih aberacija, kao sastavni deo zdravstvene kontrole lica profesijski izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja u laboratoriji za citogenetiku Instituta za medicinu rada i radiološku zastitu "Dr Dragomir Karajović" sprovodi se više od 25 godina. U tom vremenskom periodu analizirana je učestalost hromozomskih aberacija u najrazličitijim grupama profesijski izloženih lica.

Uslovi rada proteklih nekoliko godina (1990-1994) veoma su uticali na strukturu ozračenosti profesijski izloženih lica. Najupečatljivija slika dobija se poredjenjem rezultata ispitivanja 1986-1990. god sa rezultatima 1991-1994.

M E T O D E R A D A

Za analizu hromozomskih aberacija korišćena je modifikovana Morhaed-ova [1] mikrometoda za limfocite periferne krvi i klasična citogenetska tehnika (analiza 200 metafaza po ispitaniku na vremenu fiksacije kultura 48h).

Selekcija pacijenata koji su upućeni na analizu hromozomskih aberacija izvršena je na osnovu medicinskih indikacija.

R E Z U L T A T I

Rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija za period 1986-1990.god prikazani su na Tabeli 1, dok su rezultati za period 1991-1994 god. prikazani na tabelama 2,3,4 i 5.

Tabela 1.
Rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija za period 1866-1990

zanimanje	broj ispitanika	hromozomske aberacije povećana učestalost	bez hromoz.aber.
radiolozi	96	13.54%	86.46%
rendgen--tehničari	285	17.89%	82.11%
nuklearna medicina	79	28.57%	72.43%
industrujska primena tricijuma	51	17.32%	83.36

Tabela 2.
Rezultati ispitivanja za 1991.god

zanimanje	broj ispitanika	hromozomske aberacije povećana učestalost	bez hr. aberac.
radiolozi	53	9.4%	91.6%
rendgen--tehničari	135	4.4%	95.6%
nuklearna medicina	27	3.7%	96.3%
industrijski tehničari	84	5.3%	94.7%

Tabela 3.
Rezultati ispitivanja u 1992 godini

zanimanje	broj ispitanika	hromozomske aberacije povećana učestalost	bez hrom. aberacija
radiolozi	46	2.1%	97.8%
rendgen-tehničari	88	2.2%	97.2%
nuklearna medicina	38	2.6%	97.4%
industrijski tehničari	84	2.3	97.7%

Tabela 4.
Rezulati ispitivanja u 1993.godini

zanimanje	broj pacijenata	hromozomske aberacije povećana učestalost	bez hromoz. aberac.
radiolozi	10	20%	80%
rendgen--tehničari	67	3.7%	96.3%
urolozi i m.s instrumentrke	9	42.4%	57.8%
Inep	11	/	100%
industrijski tehničari	10	/	100%

Tabela 5.
Rezultati ispitivanja u 1994.godini

zanimanje	broj ispitanika	hromozomske aberacije povećana učestalost	bez hr. aberacija
radiolozi	37	10.8%	89.2%
rendgen-tehničari	88	5.7%	94.3%
nuklearna medicina	30	/	100%
kardiologija	10	51.3%	48.7%
stomatolozi	6	14.28	85.72
industrijski tehnicaři	21	9.5%	91.5%

D I S K U S I J A

Rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija pokazuju evidentno smanjenje procenta pacijenata sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija , po kriterijumima IAEA [2] . To smanjenje je naročito izraženo u 1992-oj godini, kada se kod svega 2% radiloga i rendgentehničara mogu naći hromozomske aberacije tipa dicentričnih i prstenastih hromozoma.Nakon toga može se zapaziti da dolazi do povećanja profesijske izloženosti zračenju ali samo u grupi radiologa (koji sada više primenjuju skopije nego grafije) i kod kardiologa i urologa koji rade na primeni invazivnih metoda u rendgen dijagnostici. Zapaža se i visok procenat lica sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija u grupi medicinskih sestara-instrumentarki koje rade sa kardiolozima ili urolozima. U periodu 1991-19994.god procenat pacijenata sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija u grupi koja radi sa radionuklidima (nuklearna medicina i industrijska primena tricijuma) je drastično smanjen i iznosi oko 2%. U periodu 1986-1990.god taj procenat je iznosio čak 28%.

BIODOSIMETRY OF IONIZING RADIATION IN OCCUPATIONAL EXPOSURE

Gordana Joksic, B. Markovic

Abstract

In this paper we compared the results of chromosome aberration frequency in different groups of occupationals for two four years periods:1986-1990 and 1991-1994. We found signifficant differencies in occupational exposure due to economy situation and working conditiones .

EFEKAT X-ZRAKA I HIPOTERMIJE NA BAZALNE I STRESNE NIVOE ADRENOKORTIKOTROPNOG HORMONA (ACTH) U CIRKULACIJI KOD PACOVA

Miroslav Demajo, Olivera Ivanišević-Milovanović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Lab. za mol. biol. i endokrinol. P.B.O. 522,11001, Beograd

Rezime

Ispitivane su bazalne i stresne vrednosti ACTH u plazmi: 1) normalnih kontrola (N), 2) kontrola podvrgnutih hipotermiji (NH), 3) ozračenih sa 9.6 Gy X-zraka region glave (9.6 Gy) i 4) podvrgnutih hipotermiji u vreme ozračivanja regiona glave sa 9.6 Gy (9.6 GyH). Manji bazalni nivo ACTH u plazmi ($p<0.05$) imali su 9.6 Gy životinje u odnosu na ostale tri grupe životinja, izmedu kojih nije bilo razlika ($p>0.05$). Stresni odgovor ACTH u plazmi u odnosu na bazalni nivo bio je najveći u N (323,92%), a najmanji u 9.6 Gy zivotinja (67,41%). Povećanje stresnog odgovora ACTH u odnosu na 9.6 Gy ($p<0.001$) zapaženo je u pacova 9.6 GyH (118,83%). Može se zaključiti da jednokratna visoka doza x-zraka značajno smanjuje ACTH u cirkulaciji, dok hipotermija pokazuje značajni zaštitni efekat.

Ključne reči: pacov, X-zračenje, hipotermija, ACTH

Uvod

Lokalna primena ozračivanja regiona glave je do sada izučavana od brojnih autora. Uglavnom su praćeni efekti zračenja na sekreciju gonadotropina iz hipofize kao i na funkcionisanje jajnika [1,2,3,4,5]. Manje je podataka o uticaju zračenja na druge hormone hipofize. S obzirom da su posle ozračivanja sa visokim dozama X-zraka, histološkom analizom utvrdjene degenerativne promene na adrenokortikotropnim ćelijama hipofize [6] nas je interesovalo kako visoke doze X-zraka od 9.6Gy usmerene na region glave 8 dana starih pacova utiču, posle 6 nedelja, na oslobadjanje ACTH u cirkulaciju, kao i koliki je zaštitni efekat duboke hipotermije primenjene u toku ozračivanja.

Materijal i metode

Glave mužjaka pacova, Wistar soja, starih 8 dana ozračene su dozom od 9.6Gy X-zraka pod uslovima: 300KV, 10mA, 0.5mm Cu filter, udaljenost 66cm, brzina doze 0.96Gy/min. Tokom zračenja telo je bilo zaštićeno olovnim štitom debljine 5mm. Hipotermija je postignuta metodom konfinovanja na 4^0C snižavanjem rektalne temperature do $\approx 5.96^0$C. Životinje su držane pod standardnim uslovima. Šest nedelja posle ozračivanja, životinje su žrtvovane dekapitacijom izmedju 9:00 i 10:00h, a stresirane 5 minuta posle primene stresa. Akutni stres je izazvan injiciranjem 1 ml fiziološkog rastvora u zadnju nogu i.m. Analiza ACTH u plazmi izvršena je RIA metodom (ACTH RIA-komplet "Vinča"). U statističkoj obradi korišćen je Student-T test na nivou značajnosti $p<0.05$.

Rezultati

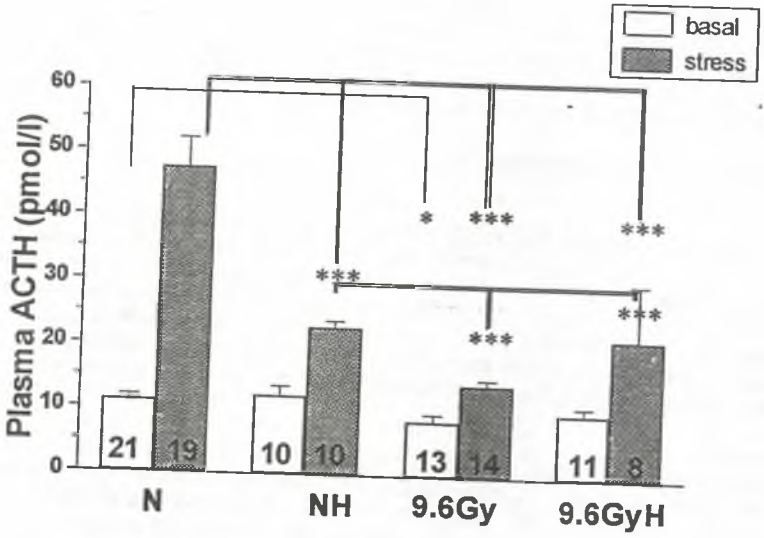
1.1. Bazalne vrednosti ACTH u plazmi

Razlike između vrednosti ACTH u plazmi normalnih kontrola (11.20±0.77 pmol/l) i kontrola podvrgnutih hipotermiji (12.10±1.44 pmol/l) kao i podvrgnutih hipotermiji u vreme ozračivanja glave sa 9.6 Gy (9.93±1.08 pmol/l) nisu bile statistički značajne ($p>0.05$),Tabela1, Slika 1. Međutim, bazalni nivo ACTH u plazmi ozračenih sa 9.6 Gy x-zraka (8.50±1.12 pmol/l) u odnosu na sve tri gore pomenute grupe bio je značajno manji ($p<0.05$).

Tabela 1. Bazalne i stresne vrednosti ACTH u plazmi u kontrolnih i eksperimentalnih pacova

		ACTH* (pmol/l)	% povećanja stresnih u odnosu na bazalne nivoe
normalne kontrole	bazalni nivo (21)	11.20±0.77	323.92
	stresni nivo (19)	47.48±4.53	
hladene kontrole	bazalni nivo (10)	12.10±1.44	89.25
	stresni nivo (10)	22.90±0.97	
zračene 9.6Gy	bazalni nivo (13)	8.50±1.12	67.41
	stresni nivo (14)	14.23±0.84	
hladene zračene 9.6Gy	bazalni nivo (11)	9.93±1.08	118.83
	stresni nivo (8)	21.73±1.90	

* srednja vrednost ± SE
(N^0) broj pacova



Slika 1. Bazalne i stresne vrednosti ACTH u plazmi kontrolnih i eksperimentalnih životinja

* $p<0.05$
*** $p<0.001$
broj u kolonama predstavlja broj životinja

1.2. Stresne vrednosti ACTH u plazmi

Stresni odgovor ACTH izmeren u plazmi bio je značajno najveći u normalnih kontrola (47.48±4.53 pmol/l) ($p<0.001$) u odnosu na kontrole podvrgnute hipotermiji (22.90±0.97 pmol/l), na ozračene sa 9.6 Gy (14.23±0.84 pmol/l), kao i u odnosu na ozračene sa 9.6 Gy i podvrgnute hipotermiji (21.73±1.90 pmol/l). S druge strane, stresni odgovor ACTH ozračenih sa 9.6 Gy bio je značajno manji ($p<0.001$) u odnosu na kontrole podvrgnute hipotermiji kao i u odnosu na grupu pacova podvrgnutih hipotermiji u vreme ozračivanja sa 9.6 Gy, Tabela 1,

Diskusija

Rezultati merenja bazalnih vrednosti ACTH u plazmi su pokazali da ozračivanje regiona glave 8 dana starih pacova sa visokom dozom od 9.6 Gy X-zraka utiče na značajno smanjenje bazalnog nivoa ACTH u odnosu na kontrolne životinje (N), što je u saglasnosti sa rezultatima Pantić i Hristić (6), koji su našli degenerativne promene u adrenokortikotropnim ćelijama hipofize posle ozračivanja regiona glave sa visokim dozama X-zraka. Međutim, ako se u toku ozračivanja životinje podvrgnu dubokoj hipotermiji (9.6GyH) dolazi do izrazito značajnog zaštitnog delovanja hlađenja jer se bazalni nivo ACTH u plazmi značajno povećava u odnosu na samo ozračene životinje (9.6Gy) ($p<0.001$), dok u odnosu na bazalni ACTH u plazmi kontrolnih životinja (N) nema značajnih razlika ($p>0.05$). Samo hlađenje nezračenih životinja (NH) nije uticalo na promene bazalnog nivoa ACTH u odnosu na normalne kontrole(N).

Stresno povećanje nivoa ACTH u plazmi u odnosu na bazalni nivo pokazale su sve 4 grupe životinja, stim što je najveće povećanje (323.92%) u N, a najmanje u 9.6Gy pacova (67.41%). Značajno zaštitni efekat hipotermija je pokazala u odgovoru na stres kod 9.6GyH pacova, kod kojih je stresni nivo u odnosu na bazalni bio uvećan za 118.83%. Možemo zaključiti da visoke doze X-zraka usmerene na region glave značajno utiču na smanjenje nivoa ACTH u cirkulaciji i da hladjenje primenjeno za vrema ozračivanja životinje, znatno ublažava štetno delovanje zračenja.

Literatura

[1] Martinovitch P.N., Ivanišević O.. Martinović J., "The effects of X-irradiation, applied in infancy to the head region, on the reproductive system of female rats", Experientia, Vol.26, pp. 95-96, 1970.

[2] Martinovitch P.N., Ivanišević-Milovanović O.K., Miličić A.F., "The effects of X-ray irradiation of the head region of 8 day-old female rats on their reproductive capacity when 10-17 months old", Experientia, Vol.30, pp. 182-184, 1974.

[3] Matsumoto A., "Effect of X-ray irradiation in early postnatal rats on subsequent development of ovaries". Anat. Zool. Japan., Vol.40, pp. 80-87. 1972.

[4] Ivanišević-Milovanović O.K., Demajo M., "The pituitary content of somatotropin and prolactin in 25-months old rats with head region X-irradiated when 8 days old", Iugoslav. Physiol. Pharmacol. Acta, Vol.13, No.1., pp. 115-119, 1977.

[5] Milovanović O.K., Božin D., "The influence of the locally irradiated head region on the functioning of the hypothalamus-pituitary-gonads "feed back" mechanism in female rats", Iugoslav. Physiol. Pharmacol. Acta Vol.15, No.3., pp. 362-264, 1979.

[6] Pantić V., Hristić M., "Adrenocorticotropic (ACTH) cells of rats after head irradiation", Int. J. Radiat. Biol. Vol.28, pp. 53-60, 1975.

Zahvalnica

Kolegama iz Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Instiuta"Vinča" zahvaljujemo na uslugama zračenja i dozimetrije.

Rad je iz projekta 0301 koji finansira Ministarstvo za nauku Srbije.

THE EFFECT OF X-RAYS AND HYPOTHERMIA ON BASAL AND STRESS LEVELS OF CIRCULATORY ADRENOCORTICOTROPIC HORMONE (ACTH) IN RATS

Miroslav Demajo, Olivera Ivanišević-Milovanović
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Lab. Mol. Biol. Endocrinol. PBO 522, 11001, Beograd, Yugoslavia

Abstract

Basal and stress values of plasma ACTH were studied in: 1.normal controls(N), 2.hypothermic controls (NH), 3.Irradiated with 9.6Gy of X-rays in the head region (9.6Gy) and 4.hypothermic irradiated with 9.6Gy (9.6GyH).A lower basal level of ACTH ($p<0.05$) was detected in 9.6Gy animals compared to the other groups, between which there was no significant difference ($p>0.05$). The stress response of ACTH in relation to the basal level was hightest in N (323.92%),the lowest in 9.6Gy animals (67.41%). The significant increase of ACTH sress response ($p<0.001$) was detected in the group 9.6GyH (118.83%) compared to 9.6Gy. In conclusion, a single dose of X-rays significantly reduced ACTH i circulation, while hypothermia shows a significant protective effect.

Key words: rats, X-irradiation, hypothermia, ACTH

ULOGA ESTRADIOLA U KONTROLI NIVOA SUPEROKSID RADIKALA MODULACIJOM AKTIVNOSTI SUPEROKSID-DISMUTAZA U JETRI I TIMUSU PACOVA

Jelena Kasapović, Snežana Pajović i Jovo V.Martinović
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju,
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, Jugoslavija.

Rezime

Aktivnost MnSOD i CuZnSOD merena je u uzorcima pripremljenim od tkiva jetre i timusa ciklirajućih, ovarijektomisanih (OVX) i OVX pacova tretiranih sistemski estradiol benzoatom (EB). U timusu se tokom estrusnog ciklusa menja samo aktivnost CuZnSOD, a u jetri se menja aktivnost obe SOD. Bilateralna ovarijektomija ima za posledicu u jetri sniženje aktivnosti MnSOD i povećanje aktivnosti CuZnSOD u odnosu na aktivnost u proestrusu. U timusu OVX životinja snižena je aktivnost CuZnSOD u odnosu na aktivnost u proestrusu, a aktivnost MnSOD je nepromenjena. Tretman OVX životinja sa EB suprimira aktivnost CuZnSOD u jetri i timusu, dok se aktivnost MnSOD ne menja.

Ključne reči: superoksid-dismutaze; estradiol; jetra; timus; pacov.

Uvod

Slobodni reaktivni radikali oštećuju žive ćelije reagujući direktno sa neorganskom i organskom komponentom, i indirektno, pokretanjem lančanih reakcija u toku kojih nastaju nove vrste reaktivnih radikala. U organizmima funkcioniše kompleksan i efikasan mehanizam enzimske zaštite ćelija od toksičnih efekata slobodnih radikala. Deo tog mehanizma čine superoksid-dismutaze (SOD), enzimi koji uklanjaju višak superoksid radikala $O_2^{\cdot-}$ katalizirajući reakciju dismutacije $O_2^{\cdot-}$ u H_2O_2 i O_2.

Podaci iz literature pokazuju da se aktivnost SOD menja pod delovanjem različitih egzogenih i endogenih faktora. U poslednje vreme sve je više podataka koji pokazuju da hormoni mogu modulisati aktivnosti SOD u različitim tkivima. Tako su, na primer, Pereira i sar. (1994) ukazali na značajne promene aktivnosti CuZnSOD i MnSOD u limfoidnim organima pacova kod kojih je eksperimentalno izazvan hipertireoidizam ili hipotireoidizam [1]. Petrović i sar. su ustanovili da tireoidni hormoni [2] i deksametazon [3] imaju značajnu ulogu u regulaciji aktivnosti CuZnSOD i MnSOD u nekim tkivima pacova. Roy i sar. [4] su pokazali da estradiol ne menja aktivnost ukupne SOD u tkivu jetre i bubrega. Mi smo pokazali da estradiol i progesteron suprimiraju aktivnost MnSOD u mozgu pacova, dok aktivnost CuZnSOD ostaje nepromenjena [5]. U ovom radu nas je interesovalo kakav efekat estradiol ostvaruje na aktivnost CuZnSOD i MnSOD, u metabolički aktivnom tkivu jetre i limfoidnom organu timusu.

Materijal i metode

Eksperimenti su rađeni na intaktnim i ovarijektomisanim (OVX) ženkama pacova soja Wistar, starim 3,5 meseca. Bilateralna ovarijektomija rađena je pod etarskom narkozom tri nedelje pre hormonskog tretmana. Pre žrtvovanja, ciklirajućim ženkama određena je faza estrusnog ciklusa. OVX životinje injecirane su sc jednom dozom od 5 μg estradiol 17β-benzoata (EB), rastvorenog u 0,1 ml maslinovog ulja, 24 sata pre žrtvovanja. Kontrolnim OVX životinjama injecirano je 0,1 ml maslinovog ulja. Životinje su žrtvovane dekapitacijom pomoću giljotine. Iz svežih tkiva jetre i timusa pripreman je ćelijski homogenat modifikovanim metodama Rossi-a i sar. [6] i De Waziers i Albrecht-a [7]. Aktivnost SOD određivana je metodom Misra i Fridovich-a [8] pre i posle inhibicije CuZnSOD sa KCN [9]. Koncentracija proteina određivana je metodom Lowry-a i sar. [10]. Specifična enzimska aktivnost je izražavana u jedinicama/mg proteina. Jedna jedinica definisana je kao količina proteina koja inhibira 50% auto-oksidacije adrenalina u adrenohrom. Rezultati su analizirani Studentovim "t"-testom. Razlika između srednjih vrednosti prihvatane su kao značajne na nivou signifikantnosti od 5%.

Rezultati

Efekat EB na aktivnost MnSOD u jetri (slika 1A). Aktivnost MnSOD u proestrusu (26,4 ± 1,9 jedinica/mg proteina) značajno je povećana u odnosu na aktivnost ovog enzima u estrusu (19,9 ± 3,3; $p < 0,05$) i diestrusu (18,6 ± 0,7; $p < 0,05$), dok je kod OVX životinja ona značajno snižena (16 ± 1,4; $p < 0,05$) samo u odnosu na vrednost izmerenu u proestrusu. EB ne menja aktivnost MnSOD kod OVX životinja (23,1 ± 2,5) u odnosu na OVX kontrole (21,6 ± 2,6).

Efekat EB na aktivnost CuZnSOD u jetri (slika 1B). Aktivnost CuZnSOD u proestrusu (38 ± 3,6) značajno je snižena u odnosu na aktivnost ovog enzima u estrusu (63,6 ± 6,2; $p < 0,05$) i diestrusu (65,7 ± 5,5; $p < 0,05$). Kod OVX životinja aktivnost CuZnSOD je značajno povećana (60,2 ± 5,2; $p < 0,05$) samo u odnosu na vrednost izmerenu u proestrusu. EB značajno snižava aktivnost CuZnSOD kod OVX životinja (23 ± 2,1) u odnosu na OVX kontrole (37,2 ± 2; $p < 0,05$).

Efekat EB na aktivnost MnSOD u timusu (slika 2A). Aktivnost MnSOD stabilna je tokom estrusnog ciklusa (proestrus: 11,3 ± 1,1; estrus: 10 ± 1,5; diestrus: 13,5 ± 2,9) i ne menja se nakon ovarijektomije (9,7 ± 0,7). EB nema efekta na aktivnost MnSOD kod OVX životinja (9,8 ± 1,3) u odnosu na OVX kontrole (9,9 ± 1,1).

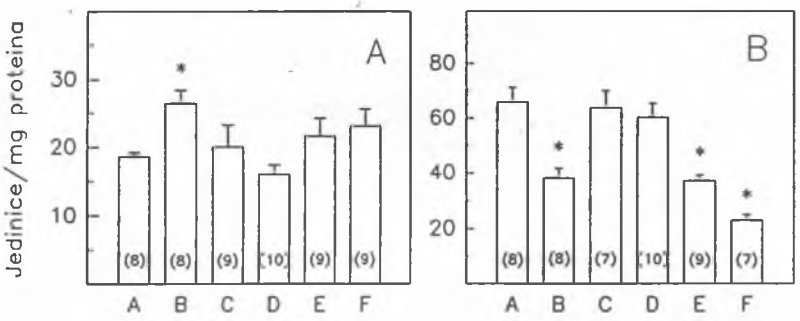
Efekat EB na aktivnost CuZnSOD u timusu (slika 2B). Aktivnost CuZnSOD u proestrusu (27,5 ± 2,9) značajno je povećana u odnosu na aktivnost u estrusu (20,2 ± 1,8; $p < 0,05$) i diestrusu (14,5 ± 1,3; $p < 0,05$). Kod OVX životinja aktivnost CuZnSOD je značajno snižena (17,1 ± 1,4; $p < 0,05$) samo u odnosu na vrednost izmerenu u proestrusu. Tretman sa EB značajno snižava aktivnost CuZnSOD kod OVX životinja (18,5 ± 2,5) u odnosu na OVX kontrole (26,4 ± 2,1; $p < 0,05$).

Diskusija

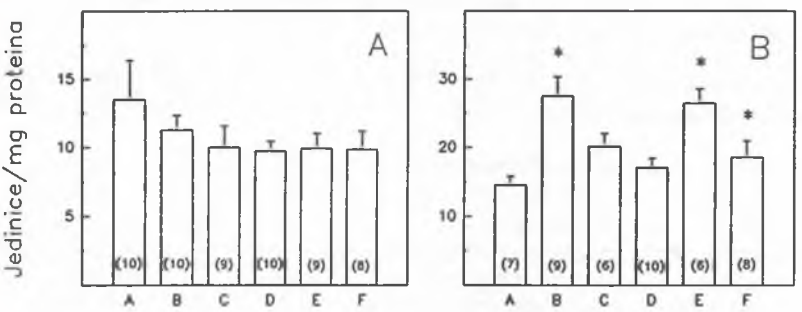
Rezultati prikazani u ovom radu pokazuju da tretman OVX pacova hormonom EB izaziva značajno sniženje aktivnosti CuZnSOD u jetri i timusu. Ovi rezultati, zajedno sa našim ranijim nalazima o supresivnom efektu estradiola i progesterona na aktivnost MnSOD u mozgu pacova, pokazuju da seksualni steroidi, kontrolišući aktivnost antioksidativnih enzima, igraju značajnu ulogu u održavanju dinamičke ravnoteže slobodnih reaktivnih radikala kiseonika u raznim tkivima pacova.

Aktivnost CuZnSOD u jetri najniža je u ranom proestrusu, u vreme naglog skoka nivoa estradiola i niskih toničnih nivoa gonadotropina u cirkulaciji, dok se nakon hronične ovarijektomije, kada je nivo cirkulirajućih gonadotropina visok, aktivnost ovog enzima značajno povećava. Ovi podaci sugerišu da estradiol suprimira aktivnost CuZnSOD u jetri. Ovaj efekat estradiola verovatno se ostvaruje posrednim putem, promenom nivoa gonadotropina. U prilog ovakvoj mogućnosti govore rezultati Laloraya-e i sar. [11], koji su pokazali da lutropin, fiziološki analog LH, specifično indukuje aktivnost SOD u ovarijumu pacova.

Aktivnost CuZnSOD u timusu najviša je u proestrusu, dok se kod OVX životinja ona značajno snižava. Tretman OVX životinja sa EB izaziva još veće sniženje aktivnosti ovog enzima. Ovaj podatak indirektno ukazuje na ulogu progesterona, drugog hormona jajnika, u kontroli enzimske aktivnosti CuZnSOD u timusu pacova, što će biti predmet daljih istraživanja.



Slika 1. Aktivnost MnSOD (A) i CuZnSOD (B) u jetri pacova. A - diestrus; B - proestrus; C - estrus; D - OVX; E - OVX kontrole; F - OVX + EB. Stubovi predstavljaju srednje vrednosti, a vertikalne linije predstavljaju SEM, za broj životinja naznačen u zagradama.



Slika 2. Aktivnost MnSOD (A) i CuZnSOD (B) u timusu pacova. A - diestrus; B - proestrus; C - estrus; D - OVX; E - OVX kontrole; F - OVX + EB. Stubovi predstavljaju srednje vrednosti, a vertikalne linije predstavljaju SEM, za broj životinja naznačen u zagradama.

Literatura

[1] Pereira,B., Rosa,L.F., Safi,D.A., Bechara,E.J. and Curi,R., "Control of superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase activities in rat lymphoid organs by thyroid hormones", J.Endocrinol. Vol. 140, 1, pp. 73-77, 1994.

[2] Petrović,V.M., Saičić,Z., Spasić,M., Radojičić,R. and Milić, B., "Effect of noradrenaline and thyroid hormones on superoxide dismutase activity in the liver, brown adipose tissue and brain", Bull.Acad.Serbe Sci. Vol. 72, 20, pp. 11-18, 1980.

[3] Petrović,V.M., Saičić,Z.S., Spasić,M., Radojičić,R. and Buzadžić,B., "Hormones and antioxidative defence". In: Anticarcinogenesis and Radiation Protection (Nygaard,O. F., ed.), pp. 405-416, Plenum Press, New York 1991.

[4] Roy,D. and Liehr,J.G., "Changes in activities of free radical detoxifying enzymes in kidneys of male Syrian hamsters treated with estradiol", Cancer Research 49, pp. 1475-1480, 1989.

[5] Pajović,S., Nikezić,G. and Martinović,J.V., "Effects of ovarian steroids on superoxide dismutase activity in the rat brain", Experientia, Vol. 49, 1, pp. 73-75, 1993.

[6] Rossi,M.A., Cecchini,G. and Dianzini,M.M., "Glutathione peroxidase, glutathione reductase and glutathione transferase in two different hepatomas and in normal liver", IRCS, Medical Science 11, pp. 805, 1983.

[7] De Waziers,I. and Albrecht,R., "The effects of vitamin A nutritional status on glutathione transferase and glutathione peroxidase activities in rat intestine", Experientia 43, pp. 394-395, 1987.

[8] Misra,H.P. and Fridovich,I., "The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase", J.Biol.Chem. Vol. 247, pp. 3170-3175, 1972.

[9] Geller,B.L. and Winge,D.R., "A method for distinguishing CuZn- and Mn- containing superoxide dismutases", Anal.Biochem. 128, pp. 86-92, 1983.

[10] Lowry,O.H., Rosebrough,N.J., Farr,A.L. and Randall,R.J., "Protein measurement with the Folin phenol reagent", J.Biol.Chem. 193, pp. 265-275, 1951.

[11] Laloraya,M., Kumar,G.P. and Laloraya,M.M., "Changes in the levels of superoxide anion radical and superoxide dismutase during the estrous cycle of Rattus norvegicus and induction of superoxide dismutase in rat ovary by lutropin", Bioch.Bioph.Res.Commun. Vol. 157, 1, pp. 146-151, 1988.

THE ROLE OF ESTRADIOL IN THE CONTROL OF SUPEROXIDE RADICAL LEVELS BY MODULATION OF SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITIES IN RAT LIVER AND THYMUS

Kasapović,J., Pajović,S. and Martinović,J.V.

Abstract

MnSOD and CuZnSOD activities were measured in liver and thymus homogenates prepared from cycling, ovariectomized (OVX) and OVX rats treated systemically with estradiol benzoate (EB). During the estrous cycle, only CuZnSOD activity changed in the thymys, whereas both MnSOD and CuZnSOD varied in the liver. Bilateral ovariectomy decreased MnSOD and increased CuZnSOD activity in the liver, as compared to SOD acitivties at proestrus. In OVX animals, the activity of thymus CuZnSOD was lowered in comparison to the activity at proestrus, whereas thymus MnSOD was not changed. EB in OVX animals suppressed CuZnSOD both in the liver and thymus, whereas the activity of MnSOD was stable.

Key words: superoxide dismutases; estradiol; liver; thymus; rat.

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM JDZZ-a, BEČIĆI, 24-26 MAJ,1995

ZAŠTITNI EFEKAT AFCF NA SMANJENO DEPONOVANJE Cs-137 U MESU BROJLERSKIH PILIĆA

Gordana Vitorović, Borislav Draganović
Veterinraski fakultet, Beograd
Irena Petrović, Gordana Pantelić
Inst.za med.rada i radiol.zaštitu"dr D.Karajović", Beograd
Jovan Stanković
Onkološki Institutu, Beograd

Rezime

Nuklearni akcident u Černobilu stimulisao je nove diskusije i eksperimente po pitanju, kako i na koji način se može redukovati deponovanje radiocezijuma u organizmu životinja, unetog alimentarno, putem hrane ili vode. Jedno od sredstava koje je pokazalo zapažene efekte [80-90%] u radioprotekciji životinja od Cs-137 je AFCF.

U ovom radu utvrđena je efikasnost ovog radioprotektora u slučaju kontaminacije brojlerskih pilića različitim nivoom Cs-137.

Pored toga određen je i nivo aktivnosti Cs-137 u mesu pilića u zavisnosti od proteklog vremena od kontaminacije.

Ključne reči: radioprotekcija, AFCF, Cs-137, pileće meso.

1. Uvod

Na otvorenom prostoru preživari kako divlji tako i domaći, su najugroženije kategorije u slučaju radiokontaminacije širokih razmera [1]. Meso i mleko ovih životinja najčešće nije upotrebljivo sa radijacionohigijenskog aspekta. Ne treba zaboraviti da i druge vrste životinja, putem hrane mogu biti kontaminirane.

Pedesetih godina, posle prvih nuklearnih katastrofa započinju prva ispitivanja, dodavanjem **kalijuma** u hranu, u cilju stimulisanja izlučivanja cezijuma iz organizma [2],[3]. Pozitivni efekti u smanjenju nivoa ^{137}Cs u mesu svinja postignuti su i upotrebom **prirodnih mineralnih smeša-gline** [4]. Zaštitno sredstvo sa kojim su u svetu i kod nas urađena brojna istraživanja je bilo **klasično berlinsko plavo** [5],[6],[7], ali postignuti rezultati nisu pokazali zapažen protekcioni efekat. Drugi autori [8],[9] koriste **bentonit** kao protektor i postižu zaštitni efekat od 20-80%. Međutim, veliki problem u primeni ovog sredstva su bile negativne nuzpojave u vidu oštećenja sluzokože digestivnog trakta [10]. Prema dosadašnjim istraživanjima, najbolje protekcione rezultate je pokazala kompleksna so **amonijum gvožđe [III] heksacijanoferat [II]** [AFCF] ispitivana kod različitih vrsta životinja [11],[12]. I pored ishrane ovaca visokokontaminiranom hranom [600-700 Bq ^{137}Cs dnevno] uz upotrebu 2 g AFCF/dan, postignut je efekat zaštite u mesu i unutrašnjim organima od 67-90% [13],[14]. Slični rezultati [90-98 % protekcije] su [15],[16] su ustanovljeni kod krava [sa 3 g AFCF/dan] , teladi i svinja [sa 2g AFCF/dan].

Imajući sve navedeno u vidu, cilj ovog rada je bio da se ispita efikasnost radioprotektora AFCF pri alimentarnoj kontaminaciji brojlreskih pilića sa ^{137}Cs.

3. Materijal i metod rada

U ovom eksperimentu su korišćeni brojlerski pilići linijskog hibrida Hybro, uzrasta 42 dana. Prvi eksperiment je obuhvatio dve kontrolne grupe pilića, koje su dobijale samo rastvor ^{137}Cs [1250 Bq/pile i 5000 Bq/pile]. i pet ogledних grupa u kojima je postepeno rastao nivo datog ^{137}Cs [1250-6250 Bq/pile], pilići svih pet ogledних grupa su istovremeno sa kontaminacijom, dobijali po 200 mg AFCF u rastvoru. Posle 24 sata od kontaminacije određivan je nivo ^{137}Cs u mesu. U drugom eksperimentu ispitivan je nivo aktivnosti ^{137}Cs u mesu u zavisnosti od vremena [1, 7 i 14 dana] proteklog od kontaminacije.

Merenje nivoa aktivnosti ^{137}Cs u kompletnim uzorcima homogenizovanog mesa vršeno je na detektoru sa čistim kristalom germanijuma [HP Ge]. Karakteristika detektora je visoka moć rezolucije od 1,85 KeV, za Co-60 E od 1,33 MeV, relativne efikasnosti od 28 %.

4. Rezultati i diskusija

Rezultati ispitivanja u okviru kojih je proveravana efikasnost protektora AFCF kod brojleraskih pilića u slučaju kontaminacije sa ^{137}Cs prikazani su u tabeli 1 i slici 1.

U tabeli 1, dati su rezultati prvog eksperimenta, gde se može zapaziti koliki efekat zaštite u mesu pilića se postiže ukoliko se primenjuje protektor AFCF.

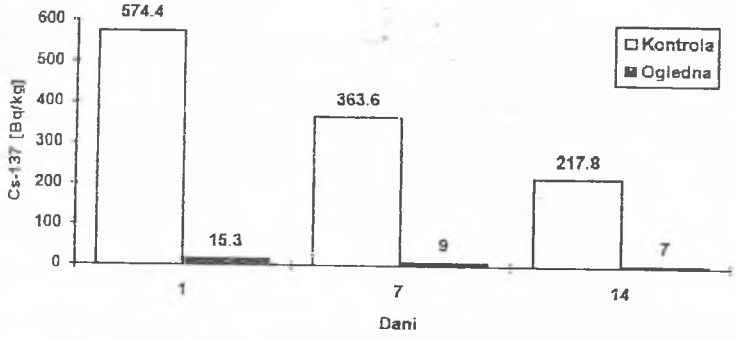
Tabela 1. Efikasnost AFCF pri različitom nivou ^{137}Cs

Grupa	AFCF po pileću	^{137}Cs	^{137}Cs u mesu
	mg	Bq/pile	Bq/kg sv. uz.
Kontrola 1	-	5000	2597,0 ± 308,4
Kontrola 2	-	1250	575,4 ± 7,8
Ogledna 1	200	1250	15,5 ± 1,5
Ogledna 2	200	2500	67,3 ± 16,6
Ogledna 3	200	3750	74,3 ± 12,7
Ogledna 4	200	5000	78,3 ± 18,3
Ogledna 5	200	6250	139,7 ± 46,0

U prvim dvema kontrolnim grupama, kojima je dat samo rastvor ^{137}Cs, posle 24 sata u mesu pilića je izmeren nivo ^{137}Cs od 575,4 do 2597 Bq/kg sv.uz., a u ostalih pet ogledних grupa gde je upotrebljen protektor, u koncentraciji od 200 mg/pile, u mesu je izmerena aktivnost od 15,5 do 139,7 Bq/kg sv.uz. i pored povećanja nivoa ^{137}Cs. Poređenjem ogledних [1 i 4] i kontrolnih grupa sa istim nivoom datog ^{137}Cs, može se zapaziti da protektor AFCF doprinosi visokom efektu zaštite od 97-98 %.

Na slici 1, prikazan je rezultat drugog eksperimenta u kom je praćen nivo ^{137}Cs u zavisnosti od vremena peroralne kontaminacije pilića.

U kontrolnoj grupi, gde su pilići dobijali peroralno samo ^{137}Cs [1250 Bq/pile] izmereni nivo aktivnosti ^{137}Cs u mesu, od 1. - 14. dana kretao se od 574,4 do 217,8 Bq/kg sv.uz.. U ogledној grupai, u kojoj je pored ^{137}Cs dat i protektor, izmeren je nivo od 15,7-7,0 Bq/kg sv.uz. Poređenjem kontrolne i ogledne grupe zapaža se se visok stepen zaštite, od oko 97,5 %, bez obzira na proteklo vreme.



Slika 1. Nivo aktivnosti ^{137}Cs u mesu pilića posle 1,7 i 14 dana

5. **Zaključak**

1. Upotreba protektora AFCF, bez obzira na povećanje unetog ^{137}Cs, doprinosi smanjenom deponovanju ^{137}Cs u mesu pilića, za oko 97 %.

2. Sa radijaciono higijenskog aspekta, meso pilića kontrolnih grupa, bez obzira na proteklo vreme od kontaminacije, nije za ljudsku upotrebu. Međutim, meso pilića gde je upotrebljen AFCF, već posle 24 sata, može biti upotrebljivo.

Literatura

[1] Howard B., Beresford.,"Transfer of radiocesium to ruminants in natural ecosystems and appropriate countermeasures", Health Physics,vol.61.No.6,715- 725,1991.

[2] Wiliams, R., Patrick, H.,"Metabolism of Cs-137 in rabbits",Arch.Biochem.Biophys.,70:464-468,1957.

[3] Mraz, F., Patrick, H.,"Organic factors controling the excretory pattern of K-42 i Cs-134 in rats", J.Nutr., 541,1957.

[4] Mirna A.,"Beinflussung der radioaktivenkontamination von tieren durch zufutterung von tonmineralien", Z.Tierphysiol, 26:72-82,1970.

[5] Nigrović, V.,"Retention of radiocesium by the rats as influenced by prussian blue and other compounds", Phys.Med.Biol.,10:81-91,1965.

[6] Gligorijević, J., Draganović, B., Begović, J., Gačević, M.,"Ispitivanje protekcionog efekta berlinskog plavog kod peroralno kontaminitanih kokoši radiocezijumom-137", V jug.simp. o rad.zašt.,58,1970.

[7] Joyce L., Bertelly L., Oliviera C., Dantas B." Studies of Cs retention in the human body related to body parameters and prussian blue administration", Health Physics, vol.60,No.1,57-61,1991.

[8] Hazzard G.,"Percent Cs-137 and Sr-85 in milk, urine and feces of goats an normal and verxite containing diets J.Dairy Sci.,52,960-994,1969.

[9] Iben, C., Holdt, C., Leibetseder, J," Versuch zur reduction der Cs-137 und Cs-134 ruckstande beim schwein durch beifutterung adsorbierend mineralien", In 41 tagung der Gesellshaft fur Ernahrungphysiologie der Haustiere, Gotingen,1987.

[10] Ridsig R., Schultz H.,"Effects of bentonite on nitrogen and mineral balance and ration digestibility of high-grain ration fed to lactating cows.", J.Dairy Sci., 53,888-892,1970.

[11] Torstein G., Asmund E., Knut H.,"Radiocesium contamination of norwegian mountain pastures and grazzing animals after the Chernobyl accident", VI Conf. of Anim. Prod., Helsinki,1-13,1988.
[12] Hove K., Hansen H."Reduction of radiocesium transfer to animal products using sustained release boli with ammonium iron [III] hexacyanoferrate [II].", Acta Vet. Scand.,34,287-297,1993.
[13] Margenthal, A.,"Futterungsversuch zur erprobung von ammonium-eisen-hexacyaniferrat fur die dekorporation von radiocesium bei moorschunken", Inaug. Disert. , Hanover, 1988.
[14] Bailer, B."Zur beschleiunigten Ausschleidung von Radiocesium bei Schafen durch Zufutterung von Ammonium-eisen-hexacyanoferrat",Inaugural disertation,Hanover,1988.
[15] Giese, W.,"Ammonium-Ferric-Cyano-Ferrat [II] - AFCF as an effective antidote against radiocesium burdens in domestic animal derived food", Br.Vet.J.,144:363-369,1988.
[16] Giese, W."Countermeasures for reducing of radiocesium to animal derived food", Sci.Tot.Envir.,317-326,1989.

Abstract

EFFECT OF AFCF ON DECREASING DEPOSITION OF Cs-137 IN BROILERS MEAT

Gordana Vitorović, Borislav Draganović, Irena Petrović,
Gordana Pantelić, Jovan Stanković

Nuclear Chernobyl accident was stimulatetd a new discusiosn and investigations about a way to reduce the radiocesium concentration in animals body, ingested throug food or drinking water. As a one of the most effectivenes radation protective substances for ^{137}Cs in animals [80-90 % protection] was established AFCF.

In this work was determined efficency of AFCF in case of alimentary contaminated broiler chickens with differen levels of ^{137}Cs.Also, the concentration activity of ^{137}Cs was investigated in chicken meat depending of time after the contamination.
Key words: radiation protection, ^{137}Cs, AFCF, chicken meat.

MOGUĆNOSTI POTENCIRANJA ZAŠTITNOG DEJSTVA RADIOPROTEKTORA WR-2721

Silva Dobrić, Slobodan R. Milovanović
Vojnotehnički institut, 11000 Beograd, Katanićeva 15

Rezime
U odraslih mužjaka Wistar pacova (200-250 g) ozračenih X-zracima u dozi od 9 Gy i 12 Gy ispitana je efikasnost radioprotektora WR-2721 (300 mg/kg ip, 20 min pre zračenja), samog ili u kombinaciji s ekstraktom lišća Ginkgo biloba (Tebonin^R) (17.5 mg/kg ip, 20 min pre i 1h i 24h posle zračenja), ekstraktom timusa (Thymolip^R) (10 mg/kg sc, 24h pre i 15 min posle zračenja), biljnim mitogenom agrosteminom (0.1 mg/kg ip, 24h pre i neposredno posle zračenja) i kalcijumskim antagonistom verapamilom (1 mg/kg ip, neposredno pre zračenja). Ustanovljeno je da navedeni lekovi, izuzev radioprotektora WR-2721, ne uspevaju da spreče letalan ishod u ozračenih pacova. Dati u kombinaciji s radioprotektorom WR-2721 jedino su agrostemin i verapamil uspeli da povećaju efikasnost samog protektora. Pri tom je kombinacija s verapamilom bila efikasnija obezbeđujući zaštitu čak i kod supraletalno ozračenih pacova.
Ključne reči: radioprotektori, WR-2721, agrostemin, Tebonin^R, Thymolip^R, verapamil.

Uvod

Savremeni trendovi u hemijskoj radioprotekciji idu ka iznalaženju najpogodnijih kombinacija dve ili više radioprotektivnih supstancija kojima bi se obezbedio viši nivo zaštite i smanjila incidencija njihovih neželjenih dejstava zbog, u pravilu, primene nižih doza u kombinaciji. U tom smislu poslednjih godina intenzivno se ispituju kombinacije trenutno najperspektivnijeg radioprotektora WR-2721 s različitim jedinjenjima. Posebna pažnja posvećuje se jedinjenjima prirodnog porekla koje karakteriše dobra podnošljivost i dokazana efikasnost u povećanju otpornosti organizma na različite nokse [1,2,3] i kalcijumskim antagonistima, za koje je nedavno pokazano da ispoljavaju radioprotektivna svojstva [4,5].

U ovom radu ispitana je efikasnost radioprotektora WR-2721, samog ili u kombinacioji s pročišćenim ekstraktom lišća biljke Ginkgo biloba (Tebonin^R), ekstraktom timusa (Thymolip^R), biljnim mitogenom agrosteminom i kalcijumskim antagonistom verapamilom u zaštiti pacova od jonizujućeg. zračenja.

Materijal i metode

Eksperimenti su izvedeni na odraslim mužjacima Wistar pacova (200-250 g). Životinje su jednokratno ozračene X-zracima u dozi od 9 Gy i 12 Gy na linearnom akceleratoru (SL 75-20, Philips). Ove doze su letalne, odnosno supraletalne za pacova.

Kao pretretmani korišćeni su sledeći lekovi: 1) radioprotektor WR-2721 u dozi od 300 mg/kg ip, 20 min pre zračenja, 2) ekstrakt Ginkgo biloba (Tebonin^R) u dozi od 17.5 mg/kg ip, 20 min pre, a zatim 1h i 24h posle zračenja, 3) ekstrakt timusa (Thymolip^R) u dozi od 10 mg/kg sc, 24h pre i 15 min posle zračenja, 4) agrostemin u dozi od 0.1 mg/kg ip, 24h pre i neposredno posle zračenja i 5) verapamil u dozi od 1 mg/kg ip, neposredno pre zračenja. Pored pojedinačnih pretretmana ispitana je i efikasnost kombinacija radioprotektora WR-2721 s ostalim preparatima datim u naznačenim dozama i vremenima aplikacije. Svaka eksperimentalna grupa sastojala se od najmanje 10 životinja.

U toku 30 dana posle zračenja praćeno je preživljavanje životinja, njihov izgled, promene u telesnoj težini, na osnovu čega je zaključivano o efikasnosti preduzetih terapijskih mera.

Rezultati su statistički obrađeni Student-ovim t-testom, a značajnim su smatrane razlike srednjih vrednosti za $p<0.05$.

Rezultati

U Tabeli 1. dati su podaci o procentu preživelih životinja 30-og postradijacionog dana i o srednjem vremenu preživljavanja u zavisnosti od primenjenih tretmana. Kao što se može videti, od pojedinačnih pretretmana jedino je radioprotektor WR-2721 obezbedio zadovoljavajući stepen zaštite. Kombinacija radioprotektora WR-2721 s gore pomenutim jedinjenjima bila je bolja od samog protektora jedino u slučaju agrostemina, i to samo kod niže doze zračenja, i verapamila koji je povećao efikasnost WR-2721 kod obe upotrebljene doze zračenja.

U dodatnom eksperimentu određen je dozno redukcioni faktor (DRF= $LD_{50/30}$ uz protektor/ $LD_{50/30}$ bez protektora) kombinacije WR-2721 i verapamila. Iz Tabele 2. vidi se da dodatak verapamila podiže DRF protektora sa 1.59 na 1.86, što potvrđuje nalaz o poboljšanju efikasnosti WR-2721 u kombinaciji s verapamilom.

Diskusija

Dobijeni rezultati pokazuju da pojedinačno dati preparati Tebonin^R i Thymolip^R, kao i agrostemin i verapamil ne ispoljavaju radioprotektivan efekt, najverovatnije zbog visokih doza zračenja upotrebljenih u ovom eksperimentu. Naime, dosadašnja istraživanja pokazala su da ova jedinjenja ispoljavaju radioprotektivne efekte kod nižih doza zračenja i to prvenstveno na nivou hematopoeze [2,3,6]

U našim eksperimentalnim uslovima najbolji zaštitni efekti postignuti su kombinovanom primenom radioprotektora WR-2721 i verapamila što je rezultiralo povećanjem preživljavanja i produženjem srednjeg vremena preživljavanja ozračenih životinja. Kombinacija je obezbedila preživljavanja čak i kod supraletalno ozračenih pacova. Ovaj rezultat potvrđuje važnu ulogu kalcijuma u patološkim procesima u organizmu izazvanim zračenjem [7]. Osim toga, on potvrđuje naše ranije rezultate o poboljšanju efikasnosti radioprotektora WR-2721 primenom kalcijumskih antagonista [4].

Tabela 1. Uticaj različitih tretmana na preživljavanje i srednje vreme preživljavanja (SVP) ozračenih pacova

Tretman	9 Gy		12 Gy	
	% preživelih 30-og dana	SVP X ± SE (dani)	% preživelih 30-og dana	SVP X ± SE (dani)
Kontrola	0	4.7 ± 0.8	0	3.1 ± 0.2
WR-2721	60	22.7 ± 1.8[a]	0	7.2 ± 1.4[a]
Thymolip[R]	0	5.7 ± 0.5	-	-
Tebonin[R]	0	5.3 ± 0.8	-	-
Agrostemin	0	6.8 ± 0.8	-	-
Verapamil	0	8.7 ± 1.5[a]	-	-
WR-2721 + Thymolip[R]	40	20 ± 3[a]	0	6.8 ± 1 5[a]
WR-2721 + Tebonin[R]	60	19 ± 2.5[a]	0	11 ± 3[a]
WR-2721 + Agrostemin	80	27.6 ± 1.5[ab]	0	8.1 ± 2.8[a]
WR-2721 + Verapamil	90	28.5 ± 2.1[ab]	20	18.6 ± 2[ab]

[a]$p < 0.05$ u odnosu na kontrolu; [b]$p < 0.05$ u odnosu na WR-2721

Tabela 2. Efikasnost radioprotektora WR-2721, verapamila i njihove kombinacije u pacova ozračenih rastućim dozama X-zraka

Tretman	$LD_{50/30}$ (granice poverenja)	DRF
Kontrola	6.55 (6.2 - 6.93)	1.0
WR-2721	10.41 (9.5 - 11.25)	1.59
Verapamil	6.55 (6.2 - 6.93)	1.0
WR-2721 + Verapamil	12.18 (11.39 - 13.05)	1.86

Litertatura

[1] Weiss, J.F., Kumar, K.S., Walden, T.L., Neta, R., Landauer, M.R., Clark, E.N., "Advances in protection through the use of combined agent regimens", Int. J. Radiat. Biol., Vol. 57, pp.709-722., 1990. [2] De Feudis, F.V.,"Ginkgo biloba extract (EGb 761): Pharmacological activities and clinical applications", Elsevier, Paris, 1991.
[3] Suto, T., Funakoshi, S., Manita, H., Dobashi, K., Asano, H., Namba, S., "Lymphocytopoietic and radioprotective effects of a highly purified calf thymus preparation", Radiat. Res., Vol. 50, pp.136-157., 1972.
[4] Milovanović, S.R., Dobrić, S., Milovanović, A., Cvetković, M., "Uticaj nekih radioprotektivnih supstancija na efikasnost radioprotektora WR-2721 u zaštiti pacova od jonizujućeg zračenja", Zbornik radova, XVI JSZZ, Neum, 28.-31. maj., pp.173-176., 1991.
[5] Floersheim, G.L., "Radioprotective effects of calcium antagonists used alone or with other types of radioprotectors", Radiat. Res., Vol. 133, pp. 80-87, 1993.
[6] Ninkov, V., Karanović, D., Milić, O., Savovski, K., Pujić, N., "Stimulativno dejstvo Bioregulatora na postradijacione procese hematopoeze", Zbornik readova, XII JSZZ, Ohrid, 31. maj-3. jun, 1983.
[7] Gabaj, V.L., Mosin, A.F., Poverennyj, A.M., "Povišenie koncentracii svobodnogo kalcija v timocitah pri gamma-oblučenii možet byt induktorom ih gibeli", Radiobiologiia, Vol. 30, pp. 837-839., 1990.

ENHANCEMENT OF PROTECTIVE ACTION OF RADIOPROTECTOR WR-2721

Silva Dobrić, Slobodan R. Milovanović

Abstract
The efficacy of radioprotector WR-2721 (300 mg/kg ip, 20 min before irradiation), alone or in combination with an extract of Ginkgo biloba (Tebonin^R) (17.5 mg/kg ip, 20 min before, and then 1hr and 24hr after irradiation), an extract of thymus (Thymolip^R) (10 mg/kg sc, 24 hr before and 15 min after irradiation), herbal mitogen agrostemin (0.1 mg/kg ip. 24hr before and immediately after irradiation) and calcium antagonist verapamil (1 mg/kg ip, immediately before irradiation), was studied in adult male Wistar rats irradiated by 9 Gy and 12 Gy of X-rays. It was established that above mentioned compounds, except WR-2721, failed to protect irradiated animals. Given in combination with WR-2721 only agrostemin and verapamil enhanced the efficacy of the protector. The combination with verapamil was more effective providing protection even in supralethal irradiated rats.
Key words: radioprotectors, WR-2721, agrostemin, verapamil, Tebonin^R, Thymolip^R

NA^+-ZAVISNO OSLOBAĐANJE $^{45}CA^{2+}$ IZ NERVNIH ZAVRŠETAKA MOZGA PACOVA

G. Nikezić, N. Nedeljković, R. Metlaš*
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju, Institut za nuklearne nauke "Vinča", P.O.B. 522, 11001 Beograd
*Laboratorija za multidisciplinarna istraživanja i inžinjering, Institut za nukolearne nauke "Vinča", P.O.B. 522, 11001 Beograd

Rezime

Transport Ca^{2+}, koji se u nervnim završecima odvija preko sekundarnog aktivnog transporta, odnosno, Na^+/Ca^{2+} izmene, je simetričan proces. U zavisnosti od koncentracionog gradijenta Na^+, Ca^{2+} se može transportovati u oba smera. U ovom radu rezultati su dobijeni u uslovima koji su bliži fiziološkim u odnosu na one na kojima je zasnovana ideja o ulozi Na^+/Ca^{2+} izmene. Pokazano je da povećana ekstracelularna koncentracija Na^+ ($[Na^+]_o$) dovodi do efluksa Ca^{2+} iz nervnih završetaka. S obzirom na ekvilibracione parametre (Km i Vmax), koji pokazuju da Na^+/Ca^{2+} antiporter ima znatno veći kapacitet od drugih mehanizama odgovornih za efluks Ca^{2+} (na pr. Ca-ATPaze), može se zaključiti da bi povećana koncentracija $[Na^+]_o$ omogućila efikasniju eliminaciju $^{45}Ca^{2+}$ iz nervnih završetaka. Takođe, ovi rezultati mogu poslužiti kao osnov za istraživanja koja imaju za cilj eliminaciju drugih izotopa iz ćelija, a ne baziraju se na dosadašnjim substitucionim tehnikama.

Ključne reči: Na^+/Ca^{2+} izmena; sinaptozomi; Na^+-zavisan transport; kalcijum

1. Uvod

Na^+/Ca^{2+} izmena predstavlja sekundarni aktivni transport. S obzirom da se Ca^{2+} transportuje nasuprot svom koncentracionom gradijentu, energiju obezbeđuje elektrohemijski gradijent Na^+. Ovaj vid transporta je sekundarno zavisan od ATP (adenozin trifosfat), odnosno on je neophodan za formiranje i održavanje elektrohemijskog gradijenta Na^+ (posredstvom Na,K-ATPaze), čija je koncentracija unutar ćelije manja. Ovaj vid transporta, koji se odvija u suprotnom smeru, u literaturi je označen kao antiportni ili "counter", a u ovom radu označen je kao izmena. Primere za antiportni transport, koji je zavisan od elektrohemijskog gradijenta Na^+, srećemo u različitim tkivima [1-3]. Postojanje Na^+/Ca^{2+} izmene kao mehanizma koji reguliše koncentraciju unutarćelijskog Ca^{2+} u nervnom tkivu zapaženo je još 1969. g. Pokazano je na aksonu sipe da efluks Ca^{2+} zavisi od prisustva Na^+ u spoljašnjoj sredini [4,5]. Podaci o Na^+/Ca^{2+} izmeni u nervnim završecima centralnog nervnog sistema (CNS) sisara dobijeni su na sinaptozomima mozga pacova [6] ili vezikulama formiranim od sinaptičkih plazma-membrana [7], ali je fiziološka uloga ovog mehanizma diskutabilna, s obzirom na eksperimentalne uslove iz kojih su proistekli ovi rezultati.

U ovom radu ispitan je uticaj $[Na^+]_o$ na efluks Ca^{2+} iz nervnih završetaka mozga pacova, u uslovima koji su bliže fiziološkim u odnosu na one koji su do sada primenjivani, s ciljem da se omogući efikasnija eliminacija $^{45}Ca^{2+}$ iz ćelija.

2. Materijal i metode

U eksperimentima su korišćeni mužjaci pacova Wistar soja, slobodno ukrštani i uzgajani više od 50 godina na farmi Instituta za nuklearne nauke "Vinča". Starost pacova bila je 2-3 meseca, a težina 180-200 g. Obeleženi kalcijum ($^{45}Ca^{2+}$) nabavljen je od firme New England Nuclear Chemical Co. (specifična aktivnost 68 mCi/mmol), a sve ostale hemikalije nabavljene su od firmi Sigma Chemical Co. i Calbiochem-Behring.

2.1. Preinkubacija sinaptozoma

Sinaptozomi korteksa mozga pacova izolovani su prema modifikovanoj metodi [8] zasnovanoj na originalnoj metodi Gray i Whittaker [9]. Koncentracija proteina je doterana na 1 mg/ml fiziološkim medijumom (FM), koji sadrži (u mM): 4 KCl, 10 glukoza, 2 $MgCl_2$, 25 Tris-HCl, pH 7,4 i različite koncentracije NaCl (70, 96, 142). Izotoničnost je doterana saharozom. Preinkubacija otpočinje odmah po suspendovanju sinaptozoma u odgovarajućem FM-u i traje 10 min na 36° C, nakon čega se suspenzija stavlja na led i određuje influks Ca^{2+}.

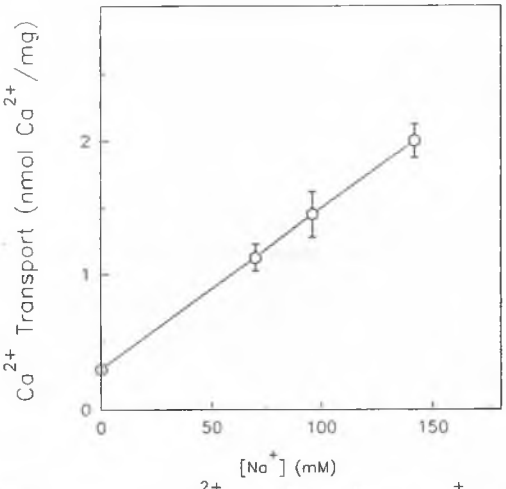
2.2. Influks Ca^{2+}

Influks Ca^{2+} u sinaptozome praćen je u FM, koji sadrži 4 ili 50 mM KCl, u zavisnosti od toga da li se prati bazalni ili depolarizacijom izazvani transport Ca^{2+}. Reakcija počinje dodavanjem 50 μl preinkubiranih sinaptozoma u inkubacionu smešu odgovarajućeg sastava i 0.6 μCi $^{45}CaCl_2$. Transport Ca^{2+} prati se u različitim vremenskim intervalima i prekida se dodavanjem 2 ml hladnog FM, koji sadrži 2 mM $CaCl_2$. Nakon prekidanja transporta uzorci se filtriraju kroz celulozne filtre (veličina pora je 0,45 μm) pod vakuumom. Nakon ispiranja sa 5 ml FM, filteri se suše na sobnoj temperaturi, a zatim se meri radiokativnost zadržana na njima. Dobijene vrednosti aktiviteta preračunavaju se na nmol Ca^{2+}/mg proteina i predstavljaju količinu Ca^{2+} koja se transportovala u sinaptozome i zadržala na filtrima.

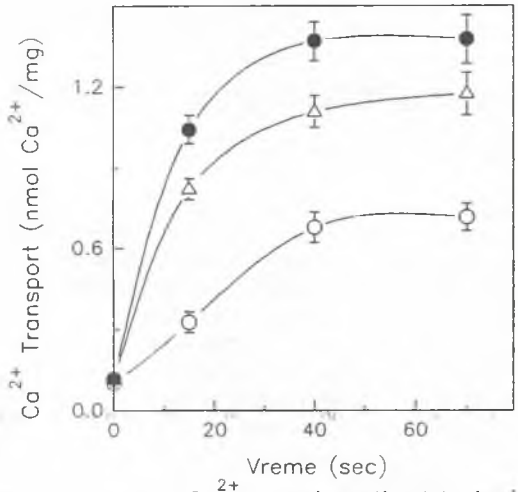
3. Rezultati i diskusija

Da bi dokazali uticaj Na^+ na efluks Ca^{2+}, pošli smo od pretpostavke da, ukoliko Na^+ ima uticaj na ovaj efluks, sinaptozomi preinkubirani u prisustvu Na^+, morali bi naknadno, u inkubacionom medijumu da akumuliraju više Ca^{2+} u odnosu na sinaptozome koji su preinkubirani u prisustvu nižih koncentracija Na^+. Na Slici 1. prikazan je transport Ca^{2+} u sinaptozome, koji su posle izolovanja preinkubirani 10 min u prisustvu različitih koncentracija Na^+ (70, 96, 142 mM). Zapaža se da svako sniženje $[Na^+]_o$ u toku preinkubacije sinaptozoma ima za posledicu smanjenje transporta Ca^{2+} tokom inkubacije, što ukazuje da je iz sinaptozoma, koji su bili inkubirani u prisustvu viših koncentracija Na^+, izvučeno više Ca^{2+}, a što se odražava na veću sposobnost sinaptozoma da akumuliraju Ca^{2+} u toku inkubacije. Takođe, sinaptozomi preinkubirani 0, 5 i 10 min. u FM-u (142 mM NaCl) akumuliraju Ca^{2+} proporcionalno dužini trajanja inkubacije (Slika 2). Transport Ca^{2+} praćen je do 70 sec i zapaža se da sve krive ulaze u plato nakon 40 sec, što pokazuje da se proces koji utiče na akumulaciju Ca^{2+} tokom inkubacije, dogodio za vreme preionkubacije sinaptozoma. Potencijal sinaptozoma da akumuliraju Ca^{2+} za vreme depolarizacije u zavisnosti od uslova preinkubacije (prisustvo Na^+ i trajanje preinkubacije) dati su u Tabeli 1.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da Na^+ utiče na efluks Ca^{2+} iz sinaptozoma, odnosno da povećanje $[Na^+]_o$ omogućava efikasniju eliminaciju $^{45}Ca^{2+}$ iz



Slika 1. Transport Ca^{2+} u zavisnosti od $[Na^+]_o$ u preinkubacionom medijumu



Slika 2. Transport Ca^{2+} u zavisnosti od trajanja inkubacije.

Tabela 1. Uticaj Na^+ na transport Ca^{2+} u sinaptozome

Uslovi preinkubacije		K^+-stimulisan Ca^{2+} transport (nmol Ca^{2+}/mg/40 sec)
Vreme (min)	NaCl (mM)	
0	142	1.3 ± 0.09
10	142	5.4 ± 0.47
10	0	1.3 ± 0.10

ćelije. Takođe, ovi rezultati mogu poslužiti kao osnov za istraživanja koja imaju za cilj eliminaciju drugih izotopa iz ćelija, a ne baziraju se na dosadašnjim supstitucionim tehnikama.

Literatura

[1] Stock, J. and Roseman, S., "A sodium-dependent sugar co-transport system in bacteria",Biochem.Biophis.Res.Comm. 44, 132-138, 1971

[2] Belliveau, J.W. and Lanyi, J.K., "Calcium transport in *Halobacterium Halobium*" Arch.Biochem.Biophys. 186, 98-105,1978

[3] Nicoll, D.A., Longoni, S. and Phillipson, K.D., "Molecular cloning and functional expression of the cardiac sarcolemmal Na^+-Ca^{2+} exchanger", Science 250, 562-565, 1990

[4] Baker, P.F., Blaustein, M.P., Hodgkin, A.L. and Steinhardt, R.H., "Influence of calcium on sodium efflux in squid axons", J. Physiol.(London) 200, 497-527, 1969

[5] Blaustein, M.P. and Hodgkin, A.L., "Effect of cyanide on the efflux of calcium from squid axons", J. Physiol. (London) 200, 497-527, 1969

[6] Blaustein, M.P. and Ector, A.C., "Carrier-mediated sodium-dependent and calcium-dependent calcium efflux from pinched-off presynaptic nerve terminals (synaptosomes) *in vitro*", Biochem.Biophys.Acta 419, 2295-308, 1976

[7] Gill, D.L., Chueh, S.H. and Whitlow, C.L., "Functional importance of the synaptic plasma membrane calcium pump and sodium-calcium exchanger", J. Biol. Chem. 259, 10807-10813, 1984

[8] Cotman, C.W., " Synaptic plasma membranes from rat brain synaptosomes: Isolation and partial characterization", Biochim.Biophys.Acta 249, 380-394, 1971

[9] Gray, E.G. and Whittaker, V.P., "The isolation of nerve endings from brain: an electron-microscopic study of cell fragments derived by homogenization and centrifugation", J. Anat. 96, 79-88, 1962

NA^+-DEPENDENT $^{45}CA^{2+}$ EFFLUX FROM RAT BRAIN NERVE ENDINGS

G. Nikezić, N. Nedeljković, R. Metlaš*

Summary

In nerve endings Ca^{2+} transport, which operates via secondary active transport, i.e., Na^+/Ca^{2+} exchange, is symmetric process. Depending on prevailing Na^+ gradient, Ca^{2+} can be transported in either direction. In this study results were obtained in conditions closer to physiological in respect to those on which the idea of Na^+/Ca^{2+} exchange is based. We have demonstrated that Ca^{2+} efflux is enhanced when extracellular Na^+ concentration ($[Na^+]_o$) is increased. With regard to the equilibrium parametars (Km and Vmax) which show that Na^+/Ca^{2+} antyporter has higher capacity then other mechanisms responsible for Ca^{2+} efflux (e.g., Ca-ATPase), it appears that increased $[Na^+]_o$ can enable more efficient elimination of $^{45}Ca^{2+}$ from nerve endings. Furthermore, these results may be a good basis for other studies aimed to examine elimination of other isotopes, and are not based on known substitutional techniques.

Key words: Na^+/Ca^{2+} exchange; synaptosomes; Na^+-dependent transport; calcium

PROBLEMI MIKROBIOLOŠKIH ISPITIVANJA RADIOFARMACEUTIKA

Tatjana Maksin, Drina Janković[1], Olga Berger-Jekić, Ruben Han[2]
[1]Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd
[2]Medicinski fakultet, Beograd

Rezime:

U radu su izloženi problemi mikrobioloških ispitivanja radiofarmaceutika jer u većini slučajeva njihovo korišćenje u Nuklearno-medicinskim centrima "in vivo" počinje pre završetka testa sterilnosti čiji se rezultat, po propisima Ph.Jug.IV, dobija posle 10-14 dana. Radiofarmaceutici obeleženi ^{131}I ($t_{1/2}$=8 dana) mogu da se sterilišu nakon završetka procesa proizvodnje, čime se obezbeđuje njihova sterilnost, dok kod ^{99m}Tc-eluata to nije moguće. Rezultat testa sterilnosti ^{99m}Tc-eluata nije od praktičnog značaja za korišćenje ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora zbog kratkog vremena poluraspada ^{99m}Tc. Iz tih razloga neophodna je kontrola svih proizvodnih faza da bi se obezbedio visok stepen pouzdanosti u sterilnost ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora.

Ključne reči: ^{99m}Tc- eluat, radiofarmaceutici, sterilnost

Uvod

Metode nuklearne medicine imaju značajno mesto za izučavanje, otkrivanje i diferencuijalnu dijagnozu različitih bolesti čoveka. Ove metode se zasnivaju na činjenici da se određene supstance obeležene radioaktivnim atomom: ^{131}J, ^{125}J, ^{51}Cr, ^{99m}Tc i dr., radiofarmaceutici, nakupljaju u pojedine organe ili tkiva nakon dospevanja u organizam. Uporedo sa razvojem novih radiofarmaceutika razvijale su se i metode kontrole kvaliteta istih, kao što su: fizičke, radiohemijske, hemijske, biološke i mikrobiološke metode. Imajući u vidu specifičnost radiofarmaceutika, a naročito eluata ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora, u radu će biti razmatrani problemi mikrobioloških ispitivanja.

Rezultati i diskusija

Za ispitivanje sterilnosti ^{99m}Tc-eluata ($t_{1/2}$=6.02^h) kojim se vrši markiranje velikog broja jedinjenja za potrebe nuklearne medicine, a koriste se "in vivo", kao i ostalih radiofarmaceutika, koji se proizvode u Laboratoriji za radioizotope, Ph. Jug. IV[1] i USP XXI[2] propisuju dve metode:

1) metodu direktne inokulacije odgovarajućih hranljivih podloga
2) metodu membranske filtracije (kao metodu izbora kod preparata koji imaju bakteriostatičko i fungistatičko dejstvo, kod injekcionih rastvora sa niskim pH vrednostima i kod rastvorljivih masti i ulja).

Farmakopeja propisuje da je preparat sterilan ako se u određeno vreme ne pojavi rast mikroorganizama ni na jednoj inokulisanoj podlozi, a ako se rast pojavi na makar jednoj podlozi, ispitivanje se ponovi još dva puta.
Pravi rezultat testa sterilnosti po propisu farmakopeje (Ph.Jug.IV) se može dobiti tek posle 10-14 dana.

Rutinska kontrola sterilnosti ^{99m}Tc-eluata izvodi se metodom direktne inokulacije hranljivih podloga (tioglikolatna podloga, dekstrozni bujon i Sabouraud-ov maltozni agar), aseptičkim postupkom u boksu sa laminarnim protokom vazduha. Analiza sterilnosti se radi za svaku proizvodnu seriju, a uzorkovanje

se vrši metodom slučajnog izbora. Pošto je vreme poluraspada ^{99m}Tc svega 6.02 sata, a za test sterilnosti neophodno je 10-14 dana, rezultat testa sterilnosti više nije od praktičnog značaja za korišćenje ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora. Zbog toga se rast mikroorganizama posmatra u toku 48-96 sati posle inokulacije i ako se ne pojavi rast mikroorganizama preparat se koristi, a podrazumeva se da se test sterilnosti nastavlja do kraja po propisu. Ovo je u skladu sa propisima farmakopeje koje imaju monografije o ^{99m}Tc-eluatu: European Pharmacopoeia 2nd Edition Part II-3[3] iz 1981.godine., u monografiji Natrii pertechnetatis (^{99m}Tc) fissione formati solution injectabilis, predvida korišćenje pre završetka testa sterilnosti. Isto propisuje i USP XXI, a tako se postupa i u drugim radiofarmaceutskim laboratorijama.

Rezultati mikrobioloških ispitivanja sterilnosti vršenih u Laboratoriji za radioizotope sistematizovani su za period od 10 godina i prikazani su u Tabelil i Tabeli 2.

Tabela 1. Rezultati testa sterilnosti za period od 1982-1992 godine za ^{99m}Tc-eluat

godina	broj proizvedenih serija ^{99m}Tc-eluata	broj nesterilnih serija posle 48^{h}	broj nesterilnih serija posle 10 dana
1983	106	1	2
1984	106	-	-
1985	103	-	-
1986	103	-	-
1987	104	1	3
1988	103	1	3
1989	66	-	4
1990	52	-	7
1991	52	-	2
1992	22	-	-

Tabela 2. Rezultati testa sterilnosti pribora za eluiranje ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora za period od 1987-1992 godine

godina	broj proizvedenih serija vak. bočica	broj nesterilnih serija posle 48 sati	broj nesterilnih serija posle 10 dana	broj proizvedenih serija fiz. rastvora	broj nesterilnih serija posle 48 sati	broj nesterilnih serija posle 10 dan
1987	97	1	2	69	1	-
1988	41	-	1	35	-	-
1989	41	2	2	42	-	-
1990	40	1	1	38	-	-
1991	29	-	-	23	-	-
1992	7	-	-	7	-	-

Prikazani rezultati pokazuju da je od ukupno 817 ispitanih serija ^{99m}Tc-eluata u tri serije uočena nesterilnost posle 48 sati. Ispitivanja sterilnosti ^{99m}Tc-eluata dobijenog ponovnim eluiranjem ^{99}Mo-^{99m}Tc generatora ukazuju da su uzorci sterilni, što se može objasniti produženim dejstvom zračenja prisutnog u samom sistemu. Ovakvi rezultati su inicirali seriju istraživanja[4] koja se rade i u našoj laboratotiji.

Zaključak

Da bi se obezbedio visok stepen pouzdanosti u sterilnost proizvoda, potrebno je sve faze proizvodnog ciklusa sukcesivno mikrobiološki kontrolisati. To podrazumeva procenu mikrobioloških uslova proizvodne sredine (poznavanje broja i tipova mikroorganizama-kontaminanata tj. inicijalna kontaminacija i njihovu otpornost na γ zračenje), kao i kontrolisanje aerozagađenja u proizvodnim prostorijama. Takođe je važno praćenje nivoa kontaminacije mikroorganizmima radnih površina, opreme kao i zaposlenih radnika na tim poslovima. Važno je da se utvrdi na koji nivo inicijalne kontaminacije deluje zračenje pri čemu bi se obezbedila sterilnost finalnog proizvoda.

Literatura

1. Ph. Jug. IV.
2. USP XXI
3. European Pharmacopoeia 2nd edition Part II-3., (1981)
4. K.Sorensen, K.Kristensen and P.Frandsen, Eur. J. Nucl. Med.2, 105-107 (1977)

PROBLEMS IN MICROBIOLOGICAL INVESTIGATIONS OF RADIOPHARMACEUTICAL

Tatjana Maksin, Drina Janković[1], Olga Berger-Jekić, Ruben Han[2]

[1] Vinča institute of nuclear sciences, Beograd, Yugoslavia

[2] Faculty of Medicine, Beograd

Abstract: *Cartain problems in microbiological investigation of radiopharmaceuticals are presented. A sterility test in accordance with the pharmacopoeias normally laste 14 days. This period however is too long for ^{99}Mo-^{99m}Tc generators ($t_{1/2}$ = 6.02 hours). For this reason, it is permitted to use the product before the sterility test has been completed.*

key words: ^{99m}Tc-eluate, radiopharmaceuticals, sterility

REAKTIVNE KISEONIČNE VRSTE I SISTEM KOMPLEMENTA KAO POTENCIJALNI BIOMARKERI U KONTROLI RADIJACIONOG OKSIDATIVNOG STRESA

Zora Zunić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", P. fah 522, Beograd"
Gordana Bogdanović
Institut za onkologiju, Sremska Kamenica, Institutski put 4
Bojana Rodić-Polić
Zavod za transfuziju krvi Srbije, Beograd
Vojin Gordanić
Geoinstitut, Beograd, Rovinjska 12
Svetlana Dusinović
Gradski zavod za hitnu medicinsku pomoć, Beograd
Tomislav Jovanović
Medicinski fakultet, Institut za fiziologiju, Beograd

Rezime

U radu je razmotren koncept praktičnog korišćenja reaktivnih kiseoničnih vrsta i sistema komplementa kao indikatora radijacionog oksidativnog stresa.

Ključne reči: Radioekologija, oksidativan stres, komplement, biomarker, antioksidant

Uvod

Kiseonik ćelije koriste u toku procesa disanja za dobijanje energije oksidacijom organskih molekula proteina, ugljenih hidrata i lipida. U procesima oksidativne fosforilacije, i katalitičkom aktivnošću enzima i metala, molekulski kiseonik se transformiše u kiseonične (oksi) slobodne radikale [1] koji su identifikovani kao medjuprodukti autooksidacije [2,3,4] i koji se smatraju začetnicima procesa koji izazivaju trajna oštećenja bioloških molekula i ćelijskih funkcija [5,6]. Pojedinačne analize parametara antiradikalske odbrane [7] pokazale su da je vrsta zagadjivača dominantna za nastale promene jer upliviše koje će se vrste radikala stvarati u organizmu, odnosno koji će mehanizam [8] antiradikalske odbrane biti najviše pogođen. Istovremeno kao posledica interakcije biosistema sa jonizujućim zračenjem dolazi do promena i u okviru imunološke homeostaze [9], posebno sistema komplementa. Odredjivanje oksidativnih biomarkera i funkcionalne aktivnosti komplementa kao indikatora radijacionog oksidativnog stresa u biosistemima se razmatra sa praktičnog stanovišta kontrole osoba u profesionalnoj i ambijentalnoj ekspoziciji.

Kiseonični slobodni radikali (reaktivne kiseonične vrste)

Oksidacija organskih i neorganskih materijala u vazduhu je posledica direktnog ili indirektnog učešća molekulskog kiseonika koji je biradikal, prolazi kroz radikalske medjufaze i naziva se autooksidacija [6]. U biosistemima posledice autooksidacije su izuzetno složene. Prošavši u toku svog evolutivnog razvoja anaerobnu fazu u kojoj za obezbedjivanje hemijske energije nije koristila kiseonik, živa materija je usložnjavajući se i doživljavajući više nivoe organizacije, razvijala nove vrste sa metabolizmom zasnovanim na kiseoniku. To je značilo da se sagorevanjem organskih molekula u kiseoniku

obezbedjivalo mnogo više upotrebljive hemijske energije i tako osiguravao dalji evolutivni progres. Istovremeno, sa mogućnošću da koristi kiseonik ćelija se suočavala sa neizbežnim prisustvom kiseoničnih slobodnih radikala kao rezultat metabolizma. Identifikacija enzima superoksiddismutaze 1969 godine [10] nedvosmisleno je uticala na i stimulisala istraživanja o ulozi slobodnih radikala u zapaljenskim procesima [11] i razvoju bolesti, eksperimentalnoj radijacionoj traumi [12], kanceru [13], tkivnim izmenama nakon infarkta srca [14], u transplantacionoj hirurgiji [15] i u izvesnim tipovima hemijskih trovanja [16], naročito onih koja su izazvana trovanjima teškim metalima [17]. Tako su istraživanja fokusirana na ulogu superoksid radikala ($O_2^{\cdot}$), hidroksiradikala (·OH), vodonikperoksida (H_2O_2), razne organske peroksiradikale (ROOH),1 singletnog kiseonika ($^1O_2$), alkoksi, arilalkoksi, ariloksi i viniloksi kiseoničnih radikala koji se medjusobno razlikuju po strukturi, reaktivnosti i redox potencijalima [18]. Ove reaktivne hemijske vrste se smatraju začetnicima procesa koji izazivaju trajna oštećenja bioloških molekula (prevashodno DNK i membrana) i ćelijskih funkcija što u utvrdjivanju načina reagovanja ćelija na jonizujuće zračenje, neki drugi kontaminant odnosno na neki od slobodno radikalskih zagadjivača životne sredine dovodi do replikativne inaktivacije DNK, smrti ćelija, kancerogeneze ili starenja.

Rezultati radijaciono hemijskih ispitivanja slobodnoradikalskih procesa su pokazali da indirektno dejstvo zračenja na ćeliju potiče od reakcija OH radikala sa biomolekulima - komponentama ćelija [19]. Radikal OH može da ošteti važne biomolekule preko reakcija adicije, oksidacije i oduzimanja H-atoma sa C-H veza, i da na taj način začne lanac autooksidacije, ili rezultuje u kidanju jednog ili oba lanca DNK. Direktno dejstvo zračenja na ćelijske komponente obuhvata direktnu jonizaciju i ekscitaciju biomolekula, pri čemu nastaju jonski parovi elektron i bioradikal katjon i tripletna stanja biomolekula [20]. Ovo je mnogo manje proučena vrsta oštećenja živih ćelija. Dakle, bez obzira na uzrok povećane produkcije slobodnih radikala u svim slučajevima poremećene ravnoteže između prooksidanata i antioksidanata u korist prooksidanata nastaje oksidativni stres organizma [21].

Tretirajući jonizujuće zračenje kao prooksidant koji izaziva oksidativni stres, nameće se zaključak o "osetljvoj" meti. Za održavanje homeostaze neophodno je da se neprekidno obnavlja antioksidativna rezerva organizma, a ako to nije slučaj oksidativna oštećenja se akumuliraju što onda dovodi do poremećaja fizioloških procesa. Iako se za većinu vitalnih oštećenja misli da su prouzrokovana ostećenjem DNK molekula (ireverzibilna denaturacija, kidanje lanca, oštećenje baza), postoje dokazi o još jednom tipu "osetljivih" molekula, a to su molekuli membrane. Ćelijske membrane su bogate nezasićenim masnim kiselinama i zbog toga su izuzetno osetljive na povećano prisustvo slobodnih radikala. Uticaj jonizujućih zračenja na biološke membrane [22] izaziva peroksidaciju nezasićenih masnih kiselina, povećanu permeabilnost membrana za jone, promene u elektroforetskoj pokretljivosti i inaktivaciji enzima vezanih za membrane i oksidativnu razgradnju lipida koja je proces sa osobinom samoodržavanja. Sama arhitektonika biomembrana pogoduje grananju slobodnoradikalskih procesa.

Direktno merenje stepena oksidativnog stresa preko slobodnih radikala je izuzetno delikatno (konstanta brzine reakcije sa kiseonikom 10^9 mol^{-1} s^{-1} ili manje [23]) i izvodi se u vrlo malom broju laboratorija tako da se u kliničkoj praksi merenje stepena oksidativnog stresa do danas nije koristilo [24]. Zahvaljujući novom konceptu u pristupu radijaciono hemijskoj leziji organizma poslednjih godina razvijen je veliki broj indirektnih neinvazivnih metoda za merenje oksidativnog stresa koje koriste specifične oksidativne biomarkere.

U odbrani organizma od dejstva slobodnih radikala razlikuju se neenzimske i enzimske komponente sistema odbrane. Biohemijski mehanizmi popravke obuhvataju "prepoznavanje" oštećenja, "isecanje" i "ugradnju" originalnog biomolekula u enzimske reakcije. Hemijski mehanizmi popravke predstavljaju reakcije u kojima se inaktiviraju, odnosno efikasno uklanjaju oksiradikali koji dovode do oštećenja, ili procese sa potpunom regeneracijom biomolekula u reakciji hemijskog agensa sa bioradikalom. Dakle, procena koncentracije slobodnih radikala u organizmu ili stepenu oksidativnog stresa je odraz opterećenja antioksidativne odbrane organizma i nivoa esencijalnih elemenata koji su integralni deo biomarkera i vrši se praćenjem koncentracije i aktivnosti enzimskih i neenzimskih

komponenata sistema antiradikalske odbrane organizma. Praktično, odredjuje se koncentracija antioksidativnih enzima (glutation peroksidaze, glutation reduktaze, glutation transferaze, katalaze,superoksid dismutaze, glukozo-6-fosfat dehidrogenaze), sistema oksidovanog i redukovanog glutationa, mikroelemenata (mangan, gvozdje, bakar, cink, selen), vitamina A, E, C. Sa druge strane kada se govori o procesu peroksidacije lipida prate se metaboliti [25,26] u koju svrhu se najčešće odredjuje malondialdehid i supstance koje reaguju sa tiobarbiturnom kiselinom u krvi, eritrocitima i urinu, ili se mogu odredivati derivati nukleoproteina [27] kada najčešće odredjujemo timin glikol, timidinglikol, 8-hidroksiguanin i deoksiguanozin.

Sistem komplementa

Poslednjih godina pažnja se posvećuje i drugim fiziološkim procesima koji posredno "doprinose" produkciji slobodnih radikala. Pre svega se to odnosi na sistem komplementa [28] kao osnovnog medijatora humoralne imunološke reakcije. Jedna od najizraženijih posledica aktivacije sistema komplementa jeste aktivacija neutrofilnih granulocita [29] za koje je poznato da remete kvantno stanje kiseonika i na taj način ostvaruju termodinamički potencijal za direktnu reaktivnost kiseonika, drugim rečima proizvodjenje slobodnih radikala.

Komplement predstavlja složen proteinsko-enzimski sistem za koji je karakteristično da daje brz i amplifikovan odgovor na pokretački stimuls (aktivator) preko niza kaskadskih reakcija kod kojih je proizvod jedne reakcije istovremeno katalizator sledeće. Za ceo sistem se može reći da je uvek "spreman" da odgovori na prisustvo aktivatora. U normalnim uslovima za sistem komplementa je karakteristično stanje ravnoteže izmedju formiranja kompleksnih proteaza, koje omogućavaju ispoljavanje bioloških efekata komplementa i delovanja regulatorskih proteina koje ograničavaju aktivnost prema supstratima. Aktivator komplementne kaskade je bilo koji agens koji dovodi do pomeranja ravnoteže u pravcu formiranja kompleksnih proteaza; aktivator ujedno odredjuje kojim od dva moguća puta će teći aktivacija: klasičnim ili alternativnim putem [30]. U toku i nakon aktivacije sistema ispoljavaju se brojni biološki efekti komplementa koji se načelno mogu podeliti na grupu koju sačinjava kompleks zapaljenske reakcije koji obavezno prati i radijacionu traumu (opsonizacija, spazmogeni efekti, hemotaksa, kininski efekti, citoliza, regulacija funkcija fagocita, modifikacija imunokompleksa) i grupu reakcija koja predstavlja učešće komplementa u imunoregulaciji (mitogeneza limfocita, inhibicija sekundarnog imunog odgovora, generacija B-memorije itd.). Za sistem komplementa je takodje pokazano da trpi značajne promene nakon traume eksperimentalne i incidentne. U ranoj posttraumatskoj fazi ispoljava se pad aktivnosti sistema komplementa [30], da bi se kasnije ispoljila povišena aktivnost kao odraz odlike ovog sistema u smislu reakcije akutne faze. Ispitivani su različiti modeli eksperimentalne traume (termička povreda, mehanička) a posebno interesantni rezultati dobijeni su u slučaju radijacione traume. Značajne promene u funkciji komplementa [31] uočavaju se nakon jednokratnog ozračenja (doze od 1, 3 i 5 Gy) što ukazuje na osetljivost ovog sistema na delovanje jonizujućeg zračenja i upućuje na eventualnu primenu u praćenju promena imunološkog statusa nakon ozračenja organizma.

U oba slučaja radi se o neinvazivnim metodama čiji je značaj prognostički (oksidativni stres manifestuje se mnogo pre nastanka i razvoja bolesti), dijagnostički (epidemiološke studije pokazale su da smanjenje antioksidativne odbrane dovodi do povećanog rizika od pojedinih bolesti - maligna oboljenja degenerativna oboljenja odnosno starenje) i terapeutski (primenom antioksidanata može se smanjiti potencijalno oštećenje organizma). Drugim rečima, obzirom da je koncentracija slobodno radikalskih zagadjivača sve veća u životnoj sredini, pa samim tim i verovatnoća ekološkog disbalansa raste, da je stres sve prisutniji, i pad antiradikalske i imunološke odbrane organizma značajniji, u cilju pravovremene i verodostojne kontrole, poboljsanja prevencije oboljenja i unapredjivanja zdravlja neophodno je što preciznije saznati mehanizme interakcije zračenja sa živom materijom.

Literatura

[1] del Maestro F. R., Acta Physiol. Scand., suppl. 492, 153-168, 1980.
[2] Cheeseman H. K., Slater F.T., British Medical Bulletin, 49, (3), 481-493, 1993.
[3] Ferrari R., Ceconi C., Curello S., Cargnoni A., Alfieri O., Pardini A., Marzollo P., Visioli O., The American Journal of Medicine, 91, (suppl 3C), 3C-95s-3C-104s, 1991.
[4] Pryor AW., Free Radicals in Biology, vol 1-7, Academic Press, New York, 1976-1984.
[5] Schwarz A. H., Dodson W. R., J. Phys. Chem., 88, 3643-3647, 1984.
[6] Cochrane C.., The American Journal of Medicine, 91, (suppl 3C), 3C-23s-3C-30s, 1991.
[7] Wayner D., Burton G., Ingold K., Barclay L., Locke S., Biochem. Biophys. Acta, 924, 408-419, 1987.
[8] Crystal G. R., The American Journal of Medicine, 91, (suppl. 3C), 3C-1s, 1991.
[9] Rother K., Till O. G., The Complement System, Springer-Verlag,, Hamburg, 327-439, 1988.
[10] McCord J. M., Fridovich I., J. Biol. Chem., 244, 6049-6055, 1969.
[11] Fantone J. C., Ward P. A., Am. J. Pathol., 107, 397-427, 1982.
[12] Sevilla D. M., Yan M., Becker D., Gillich S., Free Radic. Res. Commun., 6, 21-24, 1989.
[13] Pryor A.W., Ann. Rev. Physiol. 48, 457-667, 1986.
[14] McCord J. M., New England J. of Medecine, 312, 159-163, 1985.
[15] Cadet J., Berger M., Int. J. Radiat. Biol., 47, 127-143, 1985.
[16] Simić G. M., Mechanism of DNA Damage and Repair, ed. Grossman L. and Upton D. A., Plenum Press, New York, 1986.
[17] Effects of Ionizing Radiation on DNA, ed. Huttermann J., Kohlein W., Teoule R., Bertinchamps A., Springer-Verlag, Berlin, 1978.
[18] Scholes G., Brit. J. Radiol., 56, 221-231, 1983.
[19] Halliwell B., The American Journal of Medecine, 91, (suppl 3C), 3C-14s-3C-17s, 1991.
[20] Hohn M., Huttermann J., Int. Radiat. Biol. 45, 99-116, 1984.
[21] Sies H., Oxidative stress: Introductory Remarks, in: Sies H, ed., Oxidative Stress, London, Academic Press, 1985, p. 18.
[22] Edwards J.C., Chapman D., Cramp A.W., Yatvin B. M.., Prog. Biophys. Molec. Biol., 43, 71-93, 1984.
[23] Landolt-Borstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Radical Reaction Rates (new series), ed. Fisher H., Springer-Verlag, Berlin, 13, 1984.
[24] Inoue M., Watanabe N., Utsumi T., Sasaki J., Free Rad. Res. Comm., 12-13, 391-399, 1991.
[25] Esterbauer H., Cheesman K., Methods Enzymol., 186, 407-421, 1990.
[26] Dormandy T., Wickens T., Chem. Phys. Lipids, 45, 353-364, 1987.
[27] Simić M., Mut. Res., 267, 277-290, 1992.
[28] Rother K., Till O. G., Biological Effects of Complement in The Complement System, Springer-Verlag, Hamburg, 327-439, 1988.
[29] Ulmann S. K., Nort Hrop Y. P., Verneij L.C., Crabtre R.G., Ann. Rev. Immunol. 8, 421-452, 1990.
[30] Yamada Y., Gelfand J., Advances in Host Defense Mechanism, 6, 37-61, 1987.
[31] Rodić B., Radojčić Č.., Popović O., Miletić V., Clin. Exp. Imm., 97, (suppl. 2), 40-41, 1994.

REACTIVE OXYGEN SPECIES AND COMPLEMENT ACTIVITY AS POTENTIAL BIOMARKERS IN RADIATION OXIDATIVE STRESS CONTROL

Zora Zunić, Gordana Bogdanović, Bojana Rodić-Polić, Vojin Gordanić, Svetlana Dusinović and Tomislav Jovanović

Abstract: The paper deals with the current concepts related to reactive oxygen species - generating system and complement activity as practical tools in the radiation oxidative stress control.

Keywords: Radioecology, Oxidative stress, Complement activity, Biomarkers, Antioxidant.

JONIZUJUĆE ZRAČENJE I SELEN

Ivana S. Djujić[1], Olga Jozanov-Stankov[2], Olivera K. Frim[3], Mirislav A. Demajo[2]

[1]Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Centar za hemiju, Njegoševa 12, 11000 Beograd
[2]Institut za nuklearne nauke - Vinča, 11000 Beograd: [3]Institut za onkologiju i radiologiju, 11000 Beograd

Rezime

U radu je istaknuto da naša zemlja, na osnovu rezultata merenja selena u nacionalnim reprezentativnim uzorcima namirnica i uzorcima krvi, kose i urina ispitanika, spada u zemlje koje su deficitarne u selenu. Navedeni su rezultati dosadašnjih ispitivanja uloge selena u zaštiti od jonizujućeg zračenja kod ljudi i životinja. Istaknuto je da osobe sa optimalnom količinom selena se bolje brane od oksidativnog stresa izazvanog jonizujućim zračenjem i drugim štetnim agensima.

Ključne reči: jonizujuće račenje, selen, radioprotekcija, mikroelementi, antioksidativna odbrana

Uvod

Selen je esencijalan mikroelement za većinu sisara i ljude. Prosečan sadržaj selena u organizmu odrasle osobe je 6 - 12 mg, a preporučen dnevni unos 50-200 μg (1). U organizmu je selen najvećim delom vezan za enzime i proteine. Od enzima sa selenom kao aktivnom komponentom najznačajniji su: glutation-peroksidaza (GSHPx), fosfolipid-hidroperoksid glutation-peroksidaza (PLGSHPx) i 5'-dejodinaza. Svi do danas poznati selenoenzimi i proteini, kao što je selenoprotein-P, imaju kao aktivnu komponentu selenocistein. Potrebnu količinu selena organizam obezbedjuje unošenjem neorganskih soli selena, selenita i selenata, ili organskih oblika selena, najčešće selenometionina ili selenocisteina, koje metaboliše u selenocistein. Većina jedinjenja selena in vitro i in vivo katalizuje antioksidativnu odbranu, ali u toksičnim uslovima pokazuje prooksidativnu aktivnost.

Selen može da bude toksičan, ukoliko se unosi duže u količini koja je 3-5 puta veća od preporučene. Analiza toksičnosti jedinjenja selena je pokazala da sličnu toksičnost imaju selenit, selenat i selenocistin. Selenometionin, dimetilselenid, trimetilselenonijum jon i selenobetain su mnogo manje toksični. Selenit mnogo efektnije katalizuje redukciju citohroma c od selenata i selenocistina, dok selenometionin ne pokazuje katalitičku aktivnost. Beutler i saradnici su našli da selenometionin i selenat ne katalizuju aktivnost GSHPx, a selenit i selenocistin katalizuju (2). Jedinjenja selena deluju toksično na neke ćelije tumora. Ispitivanja citotoksičnih efekata selena na eritrocitima pacova su pokazala da selenometionin i selenat nisu toksični za eritrocite, a da hemolizu ćelija izazivaju selenocistin, selenit i selendioksid. Dodavanje glutationa jedinjenjima selena povećava citotoksičnost kod raznihih ćelija (3).

Noviji rezultati ukazuju da optimalan unos selena i drugih komponenti hrane koje direktno ili indirektno povećavaju antioksidativnu odbranu organizma (vitamini C i E, beta-karotin, tio-amino kiseline, mikroelementi, bakar, cink i mangan) može da odloži ili spreči nastanak kancera, bolesti srca i krvnih sudova i drugih degenerativnih bolesti, kao i da uspori proces starenja.

Selen u hrani i humanoj populaciji Jugoslavije

Rezultati naših ispitivanja sadržaja selena u nacionalnim reprezentativnim uzorcima namirnica su pokazali da su sve namirnice manje ili više selen-deficitarne (tabela 1). Doprinos pojedinih grupa namirnica prosečnom dnevnom unosu selena je u 1991 godini bio: 27% -mleko i mlečni proizvodi, 42% meso i proizvodi od mesa, 24% cerealije, 7% povrće, voće i alkoholna pića (4). Analize selena u

kosi, krvi i urinu naše populacije su, takodje, pokazale da smo deficitarni u selenu. Deficit selena je kod pojedinih grupa ispitanika, zbog geohemijskih svojstava zemljišta, zagadjenosti životne sredine, neizbalansirane ishrane, bolesti i načina života, bio vrlo izražen (slika 1) (5,6,7).

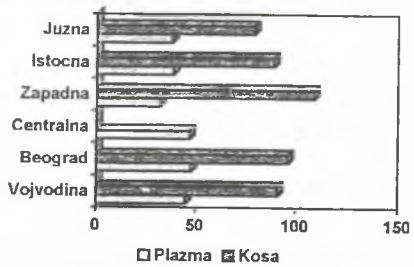
Tabela 1. Prosečan dnevni unos selena sa heanom u Srbiji

	Potrošnja, g/dan	Sadržaj selena, μg/kg	Unos selena , μg/dan
Mlečni proizvodi			
Mleko*	270.4	12.2	3.29
Beli sir	27.9	52.5	1.46
Tvrdi sir	3.6	78.2	0.28
Jaja	22.2	138.0	3.04
Meso i riba			
Svinjsko*	48.2	85.6	4.12
Govede*	26.8	92.0	2.47
Živinsko	32.1	122.4	3.93
Jagnjeće	8.5	86.2	0.73
Rečna riba	8.8	90.3	0.79
Morska riba	1.9	221.4	0.42
Žitarice			
Hleb	221.3	16.4	3.63
brašno pšenično*	194.8	17.0	3.31
brašno kukuruzno*	24.1	13.5	0.32
Povrće			
Krompir*	92.1	0.1	<0.01
Pasulj	17.8	0.46	<0.01
Luk	4.7	13.7	0.06
Mrkva	9.3	14.4	0.13
Kupus	41.6	12.3	0.51
Paradajz	35.1	2.5	0.09
Paprika	29.9	1.2	0.04
Voće			
Jabuke	38.6	1.2	0.05
Kruške	9.9	2.3	0.02
Dinje	23.6	1.1	0.03
Grožđe	9.4	0.9	<0.01
Alkoholna pića			
Pivo	48.2	3.2	0.15
Vino	15.1	1.4	0.02
Rakija	15.3	52.4	0.80

* nacionalni reprezentativni uzorci namirnica sakupljeni tokom 1991-1992 godini.

Analize oksidativnog stresa i antioksidativne zaštite radjene kod više od 400 osoba profesionano izloženih jonizujućem zračenju, aluminijumu, olovu, kadmijumu, živi, fenolima, ugljenoj prašini i drugim štetnim agensima, velikim fizičkim i umnim naporima i drugim faktorima koji izazivaju stres su pkazale da je kod njih, zbog hiperprodukcije slobodnih radikala, antioksidativna zaštita oslabljena (8,9,10). Radi što preciznijeg odredjivanja oksidativnog stresa i kvantifikovanja nastalih promena ispitivanjem su obuhvaćeni sledeći parametri: substance koje reaguju sa tiobarbiturnom kiselinom (TBK) u plazmi, eritrocitima i urinu, selen, bakar, cink, mangan i gvožđje u plazmi, eritrocitima i urinu, glutation-peroksidaza (GSHPx), u plazmi i eritrocitima, superoksid-dizmutaza (SOD) u eritrocitima, katalaza (KAT), oksidovan (GSSG) i redukovan (GSH) glutation, glukoza-6-fosfat dehydrogenaza (G6PDH) i glutation-reduktaza (GR) u eritrocitima. Analizom

podataka utvrdjeno je da dominantnu ulogu u faktorskom doprinosu imaju sledeće promenljive: GSHPx, selen i TBK u eritrocitima i plazmi. Ovim faktorima se u 60-82 % slučajeva mogu objasniti varijacije ispitivanih pojava u grupama koje su izložene navedenim štetnim agensima. Navedeni rezultati su, pored analitičkih podataka za sadržaj selena u krvi, kosi i urinu, još jedna potvrda da je naša populacija selen deficitarna. Da su ispitivane grupe imale optimalan sadržaj selena i aktivnost GSHPx, promene u antioksidativnoj odbrani bi bile odraz mehanizma nastajanja oksidativnog disbalansa, koji je za svaki pojedinačan agens različit.



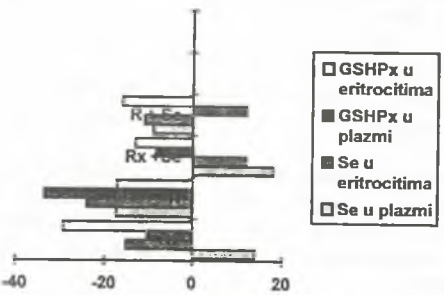
Slika 1. Selen u krvi i kosi zdrave populacije u Srbiji

Selen i radioprotekcija

Poznato je da izlaganje jonizujućem zračenju izaziva stvaranje slobodnih radikala i razvoj oksidativnog stresa. Posledica su pad koncentracije selena u organizmu, poremećaj metabolizma selena i drugih mikroelemenata značajnih za oksidativni stres, pad antioksidativne odbrane i imunološkog satusa i razvoj patoloških promena. Danas znamo da je, obzirom na brzinu nastajanja oštećenja DNA u ćelijama i njihovu sporu, često pogrešnu reparaciju, jedina efikasna mera zaštite maksimalno povećanje specifičnih sistema odbrane ćelije.

Rezultati našeg ispitivanja na eksperimentalnim životinjama su pokazali da dodavanje selenom obogaćenog kvasaca (0.5 μg dnevno) 4 nedelje pre izlaganja jonizujućem zračenju od 4.2 Gy i 8.6 Gy povećava preživljavanje i redukuje promene u koncentraciji i distribuciji selena i drugih esencijalnih mikroelemenata (Cu, Zn, Mn) u tkivima, ali ne i gvoždja. Analiza oksidativnih promena u eritrocitima životinja je pokazala da suplementacija selenom izaziva redukciju oksidativnih promena (13). Dobijeni rezultati su bili bolji od dobijenih sa natrijum-selenitom. To ukazuje da je efikasnost organski vezanog selena za kvasac, a delom i mehanizam delovanja različit.

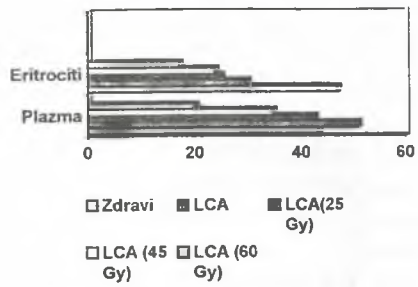
Ispitivanja obavljena na ljudima su koji su kontinualno izloženi malim dozama jonizujućeg zračenja su pokazala da ono izaziva merljiv pad aktivnosti GSHPx u krvi, dok profesionalna ekspozicija visokim dozama zračenja u toku kratkog vremena izaziva signjifikantan pad aktivnosti GSHPx i selena u krvi (slika 2).



Slika 2. Promene u sadrzaju Se i aktivnosti GSHPx u krvi izazvane jinizujućim zračenjem

Signjifikantan pad aktivnosti GSHPx i selena u krvi je nadjen i kod pacijenata koji primaju radioterapiju (TD 45-60 Gy) (slika 3). Analiza krvi dobrovoljaca koji su uzimali selen najmanje 14

dana pre profesionalnog izlaganja jonizujućem zračenju su pokazale da veći unos selenom obogaćenog kvasca redukuje pad aktivnosti GSHPx i koncentracije selena u krvi (slika 2).



Slika 3. Promene u sadržaju Se kod obolelih od kancera pluća u toku radioterapije

Zaključak

Optimalna količina selena i selen zavisnih enzima i proteina je potrebna za zaštitu organizma od jonizujušeg zrađenja. Zaštitni - radioprotektivni efekti dužeg uzimanja većih količina selena od optimalnih još nisu dovoljno dugo ispitani da bi se moglo preporučiti unošenje jedinjenja selena u većoj količini.

Literatura

1. National Research Council, Recommanded Dietary Alowances, 10th Edition, National Academi Press, Washigton, D.C. 1989.
2. Spallholz J.E.,On the nature of Selenium Toxicity and carcinostatic Activity, Free Radical Biology & Medicine, Vol 17, 1, pp. 45-64, 1994.
3. Combs G.F., Selenium, in Nutrition and Cancer Prevention, eds. Moon T.E and Micozzi M.S., 1989.
4. Djujic I., Djujic B., Trajkovic Lj.,Dietary intake of Selenium in Serbia, Bilten SANU, 1995 (in press).
5. Maksimović Z, Djujić I., Jović V., Ršumović M., Selenium deficiency in Yugoslavia and possible effects on health, Sedimentology in Geochemistry-4, University of Reading, 1-12, 1990.
6. Djujić I., Maksimović Z., Matić M., Influence of Lifestyle and Environmental Pollutants on Selenium Status in Serum, Seventh International Symposium on Trace Elements in Man and Animals, Dubrovnik, Proc. 189-191, 1990.
7. Maksimović Z., Djujić I, Ršumović M., Jović V., Selenium deficiency in Yugoslavia, Biological Trace Element Research, Vol. 33. 187-196, 1992.
8. Potkonjak B., Bulat P, Djujić I., Malondialdehid kao marker oksidativnog stresa kod radnika profesionalno izlozenih aluminijumu,II. simpozijum "Hemija i zastita zivotne sredine", V. Banja, Abs. 285-286, 1993.
9. Jozanov-Stankov O., Žunić Z., Potkonjak B., Djujić I., Milić V., The influence of harmful agents on lipid peroxidation and glutathione in red blood cells at thermal power plant workers.
10. Djujić I, Frim O., Mandić M., Jozanov-Stankov O., Petrović J., Effect of Ionizing Radiation on Selenium Content and Glutathione-peroxidase Activity in Blood, Conference on Selenium, Belgrade, Abs. 22-23, 1993.
11. Djujić, M. Demajo, M. Mandić, M. Spasić, Z. Sajčić,Influence of pretreatment with selenous yest on radiation sensitivity, Anticancerogenesis and Radiation Protection 2, Ed. M. Simic, Plenum Press, New York, 323-326, 1991.

12. Djujić I., Jozanov-Stankov O., Demajo M., Mandić M., Effect of Ionizing Radiation and Selenium on Microelement Concentration, Conference on Selenium, Belgrade, Abs. 28-29, 1993.
13. Djujić I, Jozanov-Stankov O., Demajo M., Ionizing Radiation, Selenium and Antioxidative System In Erythrocytes,Conference on Selenium, Belgrade, Abs. 24-25, 1993.

IONIZING RADIATION AND SELENIUM

Ivana S. Djujić, Olga Jozanov- Stankov, Olivera K. Frim, Miroslav A, Demajo

Abstract

Data obtained for average daily intake of selenium and selenium content in human blood, hair and urine, that are below the recommendations are presented. The effects of ionizing radiation on antioxidative defense in rats and humans, supplemented and nonsupplemented with selenium enriched yeast, were presented. It was stressed that supplementation with selenium reduces changes in antioxidative defense and trace elements distribution caused by ionizing radiation and other harmful agents.

Key words: ionizing radiation, selenium, radioprotection, microelements, antioxidative defense

XVIII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM JDZZ-a. BEČIĆI, 24-26.MAJ.1995

JONIZUJUĆE ZRAČENJE I OKSIDATIVNI STRES -- MOGUĆNOSTI MERENJA I ZAŠTITE

Ivana S. Djujić
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Centar za hemiju, Njegoševa 12, 11000 Beograd

Rezime

U svetlu postojećih znanja o delovanju i efektima jonizujućeg zračenja, analizirane su prednosti i nedostatci metoda za procenu oštećenja izazvanog oksidativnim stresom. Istaknut je značaj prevencije u zaštiti od oštećenja koja izazivaju razni oblici zračenja i oksidativni stres.

Ključne reči: jonizujuće zračenje, oksidativni stres, markeri, rizik, zaštita

U prvoj polovini 20-og veka naučnici su otkrili da izlaganje jonizujućem zračenju kod viših organizama dovodi do pojave kancera i da vrlo visoke doze zračenja mogu da izazovu smrt ćelije. Sredinom 40-ih godina ovog veka je konstatovano da zračenje oštećuje DNA, gradivnu substancu gena.

Danas se veliki broj naučnika bavi detaljnim eksperimentalnim i teorijskim ispitvanjem mehanizama zračenjem izazvanih oštećenja DNA i posledicama naslednih genetskih promena ili mutacija, uključujući i one koje dovode do kancera.

Prirodno zračenje koje potiče od kosmičkog zračenja iz vasione, radona i drugih radioaktivnih gasova oslobođenih iz tla je uvek postojalo na Zemlji. Naučnici veruju da je to zračenje odigralo vitalnu ulogu u evoluciji bioloških vrsta. Međutim, u 20-om veku se izloženost ljudi jonizujućem zračenju dramatično povećala. Ljudi su danas izloženi x-zracima u bolnicama i stomatološkim ordinacijama, folautu od testiranja nuklearnog oružja i akcidenata u nuklearnim reaktorima, većem kosmičkom zračenju koje je posledica vazdušnog saobraćaja, a veliki broj obolelih od kancera prima i radioterapiju.

Sve navedene vrste zračenja mogu da napadnu i oštete DNA izazivajući mutacije koje od normalne ćelije prave kanceroznu. Sve navedeno ukazuje da je pre upotrebe jonizujućeg zračenja u medicinskom tretmanu i dijagnostici potrebno odmeriti benefit i rizike. Potrbno je, za zaposlene u avio-saobraćaju odrediti prihvatljivo vreme boravka u vazduhu, ustanoviti direktive za zaposlene u nuklearnim reaktorima i druge radnike izložene prirodnom ili proizvedenom jonizujućem zračenju i proceniti rizik koji potiče od radona u kućama i testiranja nuklearnog oružja.

Naučnici i javnost žele da znaju koje doze pojedinih vrsta zračenja mogu da izazovu trajna oštećenja DNA i kako se zdrave ćelije mogu zaštititi od takvih oštećenja. Zahvaljujući Chatterjee-u i njegovom timu (1) razvijen je kompjuterski model za ispitivanje oštećenja DNA izazvanih jonizujućim zračenjem (x-zracima, kosmičkim zračenjem i produktima raspada radioaktivnih elemenata) i omogućeno ublažavanje štetnih efekata jonizujućeg zračenja. Poznato je da jonizujuće zračenje disosuje molekule na jone ili visoko reaktivne slobodne radikale koji mogu da napadnu i oštete DNA i druge važne komponente u ćeliji.

Jedan od puteva kojim jonizujuće zračenje izaziva oštećenje DNA počinje jakim sudarom sa molekulom vode i formiranjem hidroksi (*OH) radikala. Ako hidroksi radikal nađe put do molekula DNA, on može da privuče vodonikov atom DNA i ponovo nagradi vodu. Kad hidroksi radikal uzme vodonik sa jednog od molekula šećera DNA strukture dolazi do niza lančanih hemijskih reakcija čija posledica je kidanje DNA niza.

Oštećenje DNA izazvano hidroksi radikalom je indirektan mehanizam oštećenja DNA molekula. Alternativno, zračenje može direktno da prekine i ošteti DNA molekul. Kad zračenje ekscituje ili jonizuje bilo koje mesto strukture šećera vodonikov jon se može prebaciti sa šećera do najbližeg molekula vode. Samo u slučaju napada sa hidroksi readikalom krajnji rezultat je kidanje DNA niza. Zračenje može takođe da raskine ugljenik-ugljenik vezu šećera i veže ili dimerizuje DNA baze (adenin, timin,citozin i guanin). Vezane za šećere, baze su izuzetno važne komponente DNA molekula.

Chatterjeev model je pokazao da najveći broj oštećenja DNA izazvanih energetskim elektronima i drugim vrstama zračenja male energije prenosa je izazvan indirektnim mehanizmom, kao i da samo dva procenta proizvedenih hidroksi radikala stigne do DNA molekula. Nasuprot ovome zračenje visoke energije prenosa, kao što je zrak jona neona izaziva prekide DNA putem direktnog efekta.

Indirektno oštećenje može se sprečiti antioksidantima koji uklanjaju ili hvataju hidroksi radikale i nekim lekovima koji mogu indirektnim mehanizmom promeniti pravac delovanja jonizujućeg zračenja pre nastanka trajnog oštećenja. Nasuprot tome, oštećenje izazvano direktnim efektom jonizujućeg zračenja se ne može sprečiti i mnogo ga je teže reparirati.

Saznanja o mehanizmu nastanka radijacionih oštećenja imala su veliki značaj za pravilnu primenu radioterapije u tretmanu kancera. Dobijeni rezultati su pokazali i da se antioksidanti mogu koristiti u zaštiti normalnih ćelija od oštećenja izazvanih malim dozama nisko-energetskog zračenja dok zraci teških jona pogađaju metu.

Antioksidanti se takođe mogu koristiti i u slučaju katastrofalnih akcidenata nuklearnih reaktora, kao što je bio Chernobyl, da bi se sprečilo inicijalno oštećenje DNA kod ljudi koji žive na teritoriji koja može da bude izložena kontaminaciji iz vazduha nekoliko sati ili dana posle akcidenta. Dosadašnji razultati su pokazali da antioksidanti mogu delovati radioprotektivno samo ako se uzimaju pre izlaganja zračenju, ne posle, jer je brzina nastanka oštećenje DNA ekstremno velika (2), a proces oporavka (reparacije) mnogo sporiji i podložan čestim greškama. Dovoljna je femtosekunda da se energija jonizujućeg zračenja deponuje u ćeliju, a kad hidroksi radikal napadne strukturu DNA, potreban je milioniti deo sekunde za nasatanak prekida. Dovoljno je da se pod uticajem jonizujućeg zračenja na 10.000.000 izloženih molekula proizvede samo jedan slobodan radikal da smrtnost bude 50 % (3).

Ispitivanja oštećenja izazvanih alfa česticama koje su produkt radioaktivnog raspada radona iz tla, koji se može nagomilavati i u kućama, su pokazala da je oko 20 procenata oštećenja DNA posledica delovanja hidroksi radikala, a 80 procenata mnogo opasnijeg direktnig efekta (4). Dobijeni podaci ukazuju na urgentnost preduzimanja potrebnih koraka u cilju prevencije delovanja radona u kućama.

Eksperimentalni podaci su potvrdili da model Chatterjee-a koji uzima u obzir strukturne osobine DNA molekula i fizičke osobine zračenja i na osnovu metode Monte Carlo izračunava produkciju hidroksi radikala i dela hidroksi radikala koji stiže do DNA molekula tačno predviđa broj oštećenja DNA po jedinici doze zračenja u ćelijama sisara.

Danas je, zahvaljujući osetljivim metodama za merenje enzimatskih i neenzimatskih indikatora oksidativnog stresa i imunološkim tehnikama moguće na nivio ćelije posmatrati efekte izlaganja jonizujućem zračenju i drugim štetnim agenasima životne sredine. One obezbeđuju mnogo tačnije informacije o izloženosti ljudi od onih koje se mogu dobiti monitoringom životne sredine jer uzimaju u obzir individualne razlike u absorpciji, metabolizmu i oporavku. Šta više, one omogućuju mnogo tačniju procenu rizika uključujući i identifikaciju jedinki kod kojih je rizik za razvoj kancera I drugih bolesti veći. Mnoge studije su u toku i mnoge metode u razvoju. Odnos između većine bioloških markera i rizika tek treba da se odredi retrospektivnim "case control" studijama. Analize uzoraka obavljene primenom više metoda ponekad daju i konfliktne rezultate. Nalazi ukazuju i na postojanje velikih varijacija između pojedinačnih vrednosti kod jedinki sa sličnim izlaganjima. Razlike koje su prvenstveno posledica razlika u absorpciji, metabolizmu i oporavku ukazuju na prednosti bio-monitoringa nad monitoringom životne sredine.

Sve navedeno ukazuje da su zdravstveni efekti DNA oštećenja najvažnije pitanje na koje treba dati odgovor.

Dosadašnji rezultati monitoringa eksterne i interne ekspozicije ljudi jonizujućem zračenju su pokazali da se sa mnogo većom tačnošću mogu predvideti zdravstveni efekti velikih doza zračenja (5).

Zdravstvene efekte kumulativnog delovanja malih doza zračenja je mnogo teže predvideti i dokazati (6). Glavni problem je istovremeno delovanje velikog broja različitih ekstenih i internih faktora (slika 1) čiji su primarni ili sekundarni proizvod takođe hidroksi radikali i očekivani tip oštećenja sličan ili isti. Delovanje ovih faktora individualno i/ili povremeno ne predstavlja direktnu opasnost po zdravlje, ali u kombinaciji, zbog sinergističkog delovanja, oni mogu da postanu ozbiljan problem. Da bi mogli da ublažimo i/ili odložimo efekte štetnog delovanja faktora životne
i radne sredine nije dovoljno da identifikujemo i kvantifikujemo štetne agense kojima smo svakodnevno i periodično izloženi, poznajemo mehanizme i efekte njihovog delovanja, već i da znamo efekte i mehanizme simultanog delovanja kombinacija štetnih agenasa i individualne razlike u absorpciji, metabolizmu i oporavku od njihovog delovanja.

Slika 1.

Brzina razvoja novih tehnologija i promena u životnoj sredini i načinu života je danas toliko velika da se određene mere zaštite moraju preduzimati pre dobijanja konačnog odgovora na sva postavljena pitanja.

Jedna od mera koja će doprineti ublažavanju posledica tehnološkog razvoja je pravilna ishrana i maksimalno prilagodjavanje načina života uslovima životne i radne sredine. Da bi ovo mogli da sprovedemo potrebno je da svaki pojedinac bude upoznat sa faktorima rizika i merama zaštite koje može i treba da preduzme njegova porodica i on sam da bi sprečio, odložio i/ili ublažio nastanak ili razvoj patoloških promena u organizmu. Svakako je potrebno da i društvo preduzima potrebne mere, ali to nije i dovoljno, jer mnogo faktora ekonomskih, političkih, regionalnih limitira delovanje države i Svetske zajednice.

Danas se zna da su niskomolekulski fiziološki konstituenti ćelije - glutation, vitamin E, beta-karotin, vitamin C, bilirubin i antioksidativni enzimi superoksid-dismutaza, katalaza i glutation-peroksidaza protektivni agensi anti-radikalse odbrane (7,8,9). Njihova osnovna funkcija je da spreče razvoj oksidativnig stresa, stanja u kom je antioksidativna odbrana nedovoljna da štiti ćelijske komponente od delovanja reaktivnih kiseoničnih radikala (Slika 2).

Slika 2.

Poznat je i veliki broj uzročnika oksidativnog stresa (tabela 1). Medjutim, metode merenja oksidativnog stresa još nisu u potpunosti razvijene, a postojeće zahtevaju najsavremeniju laboratorijsku opremu, dosta vremena i materijalnih sredstava. Poslednjih godina je istina, zahvaljujući novom konceptu, razvijen veliki broj indirektnih metoda za merenje oksidativnog stresa. One koriste specifične oksidativne biomarkere za njegovo merenje. Njihovo odredjivanje je danas moguće u mnogo većem broju laboratorija i samo je pitanje dana kada će se one uvesti u kliničku praksu. Na standardizaciji neinvazionih metoda danas se ubrzano radi. Materijalna sredstva potrebna za njihovo odredjivanje su još uvek velika, ali je zato efikasnost preduzetih mera zaštite od oksidativnog stresa veća, a uštede koje se ostvaruju ciljanom zaštitom i/ili terapijom znatne.

Tabela 1.

A. Neizbalansirana ishrana

1. Neodgovarajući unos antioksidanata	
Vitamin E	Smanjuje kapacitet za hvatanje singleta kiseonika i slobodnih radikala; remeti strukturu membrane; povećava ksantin oksidazu
Selen	Smanjuje aktivnost glutation-peroksidaze
Mangan	Smanjuje aktivnost mangan-superoksid-dizmutaze
Cink i bakar	Smanjuje aktivnost cink-bakar-superoksid dismutaze
Beta-karotin	Smanjuje kapacitet za hvatanje singleta kiseonika i slobodnih radikala
Vitamin C	Smanjuje kapacitet za hvatanje singleta kiseonika i slobodnih radikala; manja regeneracija vitamina E; remeti metabolizam gvoždja
Tio-amino kiseline	Smanjuju aktivnost redukovanog glutationa
Vitamin A	Izaziva poremećaj integriteta epitela; smanjuje nivo redukovanig glutationa, superoksid-dismutaze i glutation-peroksidaze
Riboflavin	Smanjuje aktivnost glutation-reduktaze
Post/gladovawe	Smanjuje redukovan glutation i opšti antioksidativni status
2. Višak prooksidanata	
Polinezasićeni lipidi	Povećavaju sadržaj polinezasićenih lipida u membrani
Gvoždje	Katalizuje stvaranje slobodnih radikala
Bakar	Katalizuje stvaranje slobodnih radikala
Vitamin C	Otpušta/zadržava prelazne metale u redukovanom (katalitičkom) stanju

B. Izlaganje životnoj sredini

1. Hemikalije i narkotici	
Alkohol	Smanjuje nivo redukovanog glutationa; stvara etanol radikale; povećava depoziciju gviždja
Ugljentetrahlorid	Stvara ugljentetrahlorid radikale
Parake	Stvara parake radikale
Meti-etilketon	Oštećuje mikrozomalne citohrome R-450 peroksidaze
Acetaminofen	Stvara acetaminofenoksi radikale
Fenilhidrazini	Stvaraju fenilhidrazin radikale
Adriamicin	Stvara adriamicin radikale
6-hidroksidopamin	Otpušta gvoždje iz fernitina
2. Zagadjivači vazduha	
Ozon	Oksiduje biološke molekule; inicira peroksidaciju lipida
Azot dioksid	Oksiduje biološke molekule; inicira slobodno-radikalske reakcije
Dim cigarete	Oksiduje biološke molekule; povećava stvaranje slobodnih radikala preko fagocita
3.Povećan/smawen kiseonik	Stvara slobodne radikale
Zračenje	Stvara singlet kiseonika/slobodne radikale

C. Nasledna obolenja

1. Kongenitalne hemolitičke bolesti	
Beta talasemia	Povećana depozicija gvoždja i bakra remeti strukturu hemoglobina
Srpasta anemija	Povećava depozicija gvoždja i bakra remeti strukturu hemoglobina
Enzimatski defekti	Smanjuje odnos redukovan glutation/NADPH i aktivnost glutation-peroksidaze
2. Poremećaji metabolizma gvoždja i bakra	
Hemohromatoza	Povećana depozicija gvoždja
Vilsonova bolest	Nagomilavanje bakra
3. Poremećaji absorpcije masti	
Lipoproteinemija	Razvija nedostatak vitamina E
Cistična fibroza	Razvija nedostatak vitamina E

G. Naporne fizičke aktivnosti

Vežbe i trening	Stvaraju slobodne radikale

D. Povrede i rane

Ishemiono-reperfuzione povrede	Stvaraju slobodnesl radikale
Rane, traume ili kompresione povrede	Povećavaju potrošnju fagocita i stvaranje obodnih radikala

U dosadašnjim ispitivanjima mi smo sa uspehom koristili neke od neinvazionih metoda za merenje oksidativnog stresa kod ljudi. Medjutim, one još nisu ušle u kliničku praksu.

Literatura

1. Chatterjee A., Holley B., "The Mechanisms of Radiation Induced Damage",LBL Research Rewiew, Vol 15, 2pp.2-12, 1990.
2. Davies K.J.A. (ed.) "Oxidative Damage and Repair", New York, Pergamon Press, 1992.
3. Ward J.F.,"DNA damage produced by ionizing radiation in mammalian cells: identities, mechanisms of formation and repairability, Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Bioll., 35: 95, 1988.
4. Von Sonntag C., "The Chemical Basis of Radiation Biology", Nev York, Taylor and Francis,1987.
5. Gledhill B.L.,Mauro F. (eds.),]New Horizons in Biological Dosimetry, New York, Willey-Liss, 1991.
6. Karam L.R., Bergtold D.S., Simic M.G.,"Biomarkers of OH radical damage in vivo],Free Radical Res. Commun, 12-13, 11-16, 1991.
7. Emerit I., Chance B., "Free Radicals and Aging".Birkhauser Verlag, 1992.
8. Moon T.E., Miccozy M.S., Nutrition and Cancer Prevention", New York, Marcel Dekker, 1989.
9. Meister A.,"Glutathione, Ascorbate and Cellular Protection", Cancer Research, Vol.54,7, pp.1967-1975, 1994.

IONIZING RADIATION AND OXIDATIVE STRESS -- PERSPECTIVES FOR MEASUREMENT AND PROTECTION

Ivana S. Djujić

Abstract

Advantage and disadvantage of methods used for determination damages caused by ionizing radiation and oxidative stress was analyzed. Importance of prevention in protection from damages caused by different types of radiation and oxidative stress was underline.

Key words: ionizing radiation, oxidative stress, markers, risks, protection

ZNAČAJ SISTEMA ANTIOKSIDATIVNE ODBRANE ZA PROCENU RIZIKA KOD ISTOVREMENOG IZLAGANJA JONIZUJUĆEM ZRAČENJU I TOKSIČNIM HEMIJSKIM AGENSIMA

*O. Jozanov Stankov, *Z. Žunić, **I. Djujć

*Institut za nuklearne nauke Vinča Beograd
**IHTM - Centar za hemiju, Beograd

Produkcija slobodnih radikala u organizmu, kao izuzetno reaktivnih hemijskih vrsta, uglavnom kiseonične prirode, je deo normalnog aerobnog metabolizma svake ćelije. Oksiradikali imaju veoma kratak život , meren u nsec, što je ipak dovoljno da, zbog svoje reaktivnosti, neposredno ili posredno mogu da izazovu oštećenja biomolekula ili pokrenu brojne reakcije koje će dovesti do oštećenja vitalnih funkcija ćelije i njene smrti. Dokazano je da su slobodni radikali umešani u procese replikativne inaktivacije DNK, mutacije, poremećaje ćelijske homeostaze, kancerogenezu. Da bi se u svom anaerobnom funkcionisanju zaštitila od ekstremne reaktivnosti slobodnih radikala, živi sistem je tokom evolucije razvio specifičan odbrambeni sistem tzv. endogeni antioksidativni odbrambeni sistem (AOOC). Uloga ovog odbrambenog sistema je da neutrališe ili prebaci u manje reaktivne forme stvorene opasne kiseonične slobodne radikale sprečavajući na taj način oštećenja biomolekula i da eventualno doprinese procesima reparacije već nastalih oštećenja. AOOS uključuje niz enzimskih i neenzimskih komponenti sa sopstvenim regulativnim redoks potencijalom. Iscrpljivanje ili inaktivacija pojedinih komponenti ovog sistema najčešće usled preteranog izlaganja organizma štetnim agensima uključujući i jonizujuće zračenje (što izaziva povećanu produkciju slobodnih radikala u organizmu), direktno ili indirektno vodi do niza poremećaja živog sistema, bolesnih stanja organizma od kojih se pominje artritis, zapaljenski procesi, reperfuzione povrede, kancerogeneza, povećanje osetljivosti na dejstvo jonizujućeg zračenja i povećanje oštećenja izazvanih medikamentima i starenja (1,2).

Koliko će ekstremno povećana produkcija kiseoničnih radikala uticati, kao oksidativni stres, na funkcionisanje ćelije odnosno organizma umnogome zavisi od stanja u kome se živi sistem nalazi. Kako je direktno merenje efekta i koncentracije slobodnih oksiradikala (u fmol) vrlo komplikovano, neizvesno i teško upotrebljivo u rutinskim analizama, koriste se posredne metode što najčešće znači efekti produkcije radikala i nivoi intervencije antioksidativnog odbrambenog sistema (AOOS). Mereći koncentraciju ili aktivnost pojedinih komponenti ovog sistema u stanju smo da kažemo o stepenu ugroženosti pojedinog organizma sa mogućnošću da se eventualno egzogeno interveniše na popravljanju funkcionisanja odbrane.

U ovom radu dat je primer ispitivanja pojedinih parametara AOOS kod ljudi zaposlenih u pogonu za preradu uglja za potrebe termoelektrane. Poznato je da termoelektrana (TE) koja koristi ugalj kao pogonsko gorivo, tokom procesa rada izbacuje u atmosferu i deponuje u okolini velike količine pepela i šljake (3). Neke studije su pokazale da termoelektrana od 1000 MW uprkos poboljšanjima tehnološkog procesa i mera zaštite,

oslobadja 2,5% letećeg pepela u atmosferu uz gasove: sumpor dioksid, azotne okside, amonijak, teške metale, različita organska jedinjenja, fenole i radionuklide ^{210}Pb, ^{226}Ra, ^{40}K, ^{232}Th itd (10). Ovi prirodni radionuklidi koje sadrži ugalj (^{238}U, ^{232}Th i njihovi nizovi) u toku procesa prerade uglja bivaju još koncentrovani tako da pretstavljaju dodatnog zagadjivača okoline i nose odredjen radiacioni rizik za populaciju i profesionalno izložene radnike u pogonima termoelektrane. Posebna briga je i potencijalno oslobadjanje ^{222}Rn iz ostataka pepela i šljake koja nastaje radom termoelektrane. Radovi su pokazali da izlaganje kombinaciji ovakvih štetnih agenasa i malih doza jonizujućeg zračenja izaziva povećanje produkcije slobodnih oksiradikala, pa je zadatak bio da se vidi da li dugotrajni rad u pogonu za preradu uglja za termoelektranu utiče na pojedine parametre antioksidativne odbrane organizma radnika. Sa željom da se doprinese proceni zdravstvenog rizika koji nosi rad u elektrani, odredjivane su koncentracije malondialdehida (MDA) kao indikatora lipidne peroksidacije, aktivnost katalaze (CAT)- prve u reagovanju sa vodonik-peroksidom koji se stvara kao posledica prisustva oksiradikala u organizmu, koncentracije redukovanog (GSH) i oksidovanog (GSSG) glutationa i njihov balans- važnog dela AOOSa koji se menja kao posledica oksidativnog stresa.

Ispitivano je 169 zaposlenih u odeljenju prerade uglja REIK Kolubara, uglavnom muškaraca, sa prosečnim radnim stažom od 14,1 godina i 79 kontrolnih radnika slične dužine staža i radnih uslova.

Krv je uzimana pri godišnjem sistematskom pregledu zaposlenih. Izdvojena crvena krvna zrnca - eritrociti, su poslužili kao materijal za odredjivanje parametara po savremenim opšte priznatim metodama, GSH (4), GSSG (5,6), CAT (7) i MDA (8,9).

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja odredjenih parametara AOOS pokazali su da kod ispitivanih zaposlenih TE postoje razlike u odnosu na kontrolne uzorke (Tabela 1). Ovo govori da su radnici TE hronično podvrgnuti oksidativnom stresu usled izloženosti delovanju hemijskoh štetnih agenasa i malih doza jonizujućeg zračenja čiji je izvor prirodna radioaktivnost. U ovom slučaju prosečna TLD (merena na radnim mestima) za grupu od 110 zaposlenih u TE je bila 0,627 ± 0.03 mSV (max 1,76 mSV, min 0,14 mSV) što nekoliko puta prevazilazi prosečne vrednosti okoline u tom kraju.

Glutationski sistem kao jedan od glavnih delova endogenog AOOS svake ćelije ima ulogu da reaguje sa oksiradikalima, elektrofilnim metabolitima i reaktivnim kiseoničnim vrstama takodje učestvujući u sintezi prekursora dezoksiribonukleotida i redukciji različitih disulfidnih veza (10). Povećani nivo redukovane forme glutationa - GSH (glavna forma glutationa u ćeliji), 28,6% u odnosu na kontrolu može se objasniti povećanim obimom sinteze kao odgovor na hronični oksidativni stres odnosno povećanu produkciju slobodnih radikala kod eksponovanih radnika. sa druge strane, uzrok može biti i u smanjenom obimu degradacije GSH opet zbog povećanih potreba AOOS organizma eksponovanih ljudi. Oksidovani oblik glutationa GSSG pokazuje za 73,2% povećanje koncentracije u krvi zaposlenih u TE u odnosu na kontrolu što je statistički signifikantna promena, mada postoji

veliko individualno variranje vezano za stanje AOOS svakog pojedinca. GSSG je forma u kojoj se glutation aktivno transportuje preko ćelijske membrane i njegov povećani nivo može poslužiti kao indikator da je ćelija izložena oksidativnom stresu (11). Ako se takodje pogleda promenjeni odnos GSH GSSG, on sa svoje strane predstavlja siguran znak disbalansa u AOOS kao posledica njegovog velikog angažovanja u odbrani ćelije i organizma (povećana oksiradikal - produkcija). U našem slučaju promenjeni odnos GSH-GSSG nije statistički značajan jer postoji povećanje koncentracije GSH i GSSG u isto vreme verovatno usled dugotrajne izloženosti AOOS oksidativnom stresu i možda i izvesne adaptacije ipak sa tendencijom iscrpljivanja sistema.

Tabela 1: Koncentracije GSH, GSSG, MDA i aktivnost CAT kod radnika termoelektrane

parametri	izložena grupa		kontrolna grupa	
	N	SV±SD	N	SV±SD
starost	150	37±12	79	39±8
godine zapos	150	14,1	79	15,9
GSH	31	6,87±1,33	79	5,34±0,67
GSSG	31	4,97±1,97	79	2,87±0,51
MDA	32	175,71±10,60	79	134,25±7,26
CAT	31	5,97±2,60	79	6,32±2,30
Hb	150	157,80±8,50	79	165,00±15,00

N - broj ispitivanih radnika, GSH - μmol/gHb, GSSG - nmol/gHb
CAT-10^3 mmol/L hemolizata, MDA-μmolTBA/gHb, Hb-hemoglobin g/L hemolizata

Ispitivani radnici TE takodje su pokazali povećanu količinu MDA u eritrocotima u odnosu na kontrolne uzorke mereno kao reakcioni produkt sa tiobarbiturnom kiselinom (+ 31%). Promena je visoko statistički signifikantna $p<0.001$. Povećana koncentracija MDA kao indikator povećanja lipidne peroksidacije i promene integriteta ćelijske membrane, doprinosi činjenici da postoji oksidativni stres usled izlaganja kombinaciji hemijskih štetnih agenasa i malih doza jonizujućeg zračenja u ovom slučaju.

Enzim katalaza (CAT) u eritrocitima kao jedna od glavnih komponenata za neutralizaciju endogenog vodonik-peroksida H_2O_2 (12), pokazuje samo blagu promenu kod eksponovanih radnika u odnosu na kontrolne, bez statističke značajnosti.

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati u odredjivanju pojedinih parametara u AOOS u eritrocitima radnika TE vode zaključku da uslovi rada u TE utiču na stanje endogenog AOOS. Imajući u vidu već utvrdjene činjenice da profesionalno izlaganje izvesnim hemijskim štetnim agensima kao i dugotrajni rad u uslovima malih doza jonizujućeg zračenja (u ovom slučaju prisutno i jedno i drugo), predstavlja oksidativni stres za organizam i izaziva pogoršanje funkcionisanja AOOS (13), može se reći da pod ovim uslovima rada u TE postoji odredjen zdravstveni rizik i povećanje šanse za pojavu oboljenja vezanih za oksidativni stres.

REFERENCE

[1.] Chance B. et al.: Hydroperoxyde metabolism in mammalian organs (Rev.) Physiol.Rev. 59, 27 - 605, (1979).

[2.] Meister A., Anderson M.F.: Glutathione (Rev.), An.Rev.Biochem. 52, p 711 - 760, (1983).

[3.] Murthy M.S.S., Reddy M.N.S. : Chemical pollutants from fossil fuel burning, their cancerogenic and mutagenic actions. Working paper for the IAEA research Co-ordination Meeting, Leiden, Netherland, 1979.

[4.] Beutler E., Duron O., Mikus Kelly B. : Improved method for determination of blood glutathione, J.Lab. and Clin.Med., 61, No.5, p.882 - 888, (1963).

[5.] Baker M.A., Cerniglia G.J., Zaman A. : Microtiter plate assay for the measurement of glutathione and glutathione disulfide in large numbers of biological saples,Anal.Biochem. p.360 - 365, (1990).

[6.] Tietze F. : Enzymatic method for quantitative determination of nanogram amount of total and oxidized glutathione, Anal.Biochem., 27, p.502 - 522, (1969).

[7.] Bergmeyer H.U. : Methods for enzymatic analyzes, ed. Academic Press, New York, 1965. p886

[8.] Satoh K. : Immprovment of the tiobarbituric acid method for malondialdehyde determination Clin.Chim.Acta, 90, p.37 - 43, (1978).

[9.] Uchiyama M., Michara M., : Determination of malondialdehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test , Anal. Biochem. 86, p.271 - 278, (1978).

[10.] Karlowitz N. : The ragulation of hepatic glutathione, Ann.Rev.Pharmacol.Toxicol., 25, p.715 - 720, (1985).

[11.] Sies H. et. al , : Glutathione disulfide (GSSG) efflux from cell and tissue, Methods Enzymol. p.445 - 450, (1984).

[12.] Starke P.E. and Farber J., : Endogenous defences against the cytotoxicity of hydrogen peroxide in cultured rat hepatocytes, J.Biol.Chem., 280, No.1., p. 86 - 92, (1985).

[13.] Djuic I., Frim O., Jozanov - Stankov O., Petrovic J., Conference on Selenium , Belgrade, Yugoslavia, apst. 22 and 23. (1993).

INDEX AUTORA

A
Adrović F. 256
Andrić S. 31, 188
Antić D. 273
Arandjelović M. 75
Ateljević M. 169
Avdić S. 139, 285
Avramović I. 107, 169, 265

B
Bek-Uzarov Đ. 115
Benderać R. 93, 265
Berger-Jekić O. 367
Bikit I. 221, 249, 257
Bogdanov S. 89
Bogdanović G. 371
Bojović T. 245
Boreli F. 197
Bošković Z. 103, 151, 245
Brkić D. 63
Brnović R. 229, 233
Bulat P. 331

Č
Čonkić Lj. 221, 249, 257

D
Davidović M. 93
Demajo M. 347, 375
Dobrijević R. 67
Dobrić S. 359
Dodić S. 339
Draganović B. 355
Drndarević V. 75, 119
Drndarski N. 289
Dušinović S. 371

Đ
Đujić I. 375, 381, 387
Đurakić D. 59,
Đurić D. 75
Đurić G. 225

E
Engelman Ž. 327

F
Frim O. 185, 375

G
Goldner B. 165
Goldner Lj. 165
Golubović M. 19,
Gordanić V. 371
Gršić Z. 273, 281

H
Han R. 367

I
Ivanišević-Milovanović O. 347

J
Janković A. 67,
Janković D. 367
Jelić Lj. 71, 181
Joksić G. 193, 343
Jovanović M. 211
Jovašević V. 19,
Jović V. 49,
Jozanov-Satnkov O. 375, 387

K
Kandić A. 111
Karanfilov E. 215
Kasapović J. 351
Kljajić R. 23, 237
Knežević I. 323
Knežević T. 27,
Kostić D. 115
Košutić D. 71, 177, 193
Koturović A. 75
Kovačević M. 23, 107, 169, 265, 269
Krivokapić I. 79
Krmar M. 221, 249, 257
Krstić D. 115

L
Lalić D. 147
I azić S. 303, 307
Levi N. 289
Lončar B. 79

Lj
Ljubenov V. 123, 135, 285

M
Maksić R. 19,
Maksin T. 367
Mandić M. 303
Marinković N. 317
Marinković O. 99, 193
Marinković P. 123, 139
Marković B. 343
Marković G. 261
Marković S. 39, 59,
Marković P. 261

Martinović J. 351
Mataušek M. 317
Metlaš R. 363
Merkle M. 35,
Mihajlov A. 295
Mikić R. 75
Milačić S. 327, 331, 339
Milanović S. 41,
Miljević N. 281
Milošević M. 131
Milovanović A. 331
Milovanović S. 131, 135, 285, 359
Milovanović T. 131, 135, 285
Mišović M. 103, 151
Mitrović R. 23, 237
Mrđa M. 189

N
Nedeljković N. 363
Nikezić G. 363
Nikezić D. 115, 335, 261
Ninković M. 15, 35, 253
Novak Lj. 323
Novković D. 107

O
Orlić M. 19, 59, 63,89, 245
Osmokrović P. 39, 79

P
Pajović S. 351
Pantelić G. 127, 229, 233, 355
Pantić B. 147
Pavlić B. 249, 257
Pavlović R. 27
Pavlović S. 19, 27, 41,
Pavlović Z. 85
Perić A. 299, 311
Perović S. 207
Pešić M. 131, 135, 139, 281, 285
Petrović B. 23, 237
Petrović I. 127, 229, 233, 355
Plećaš I. 49, 299, 311
Popović D. 225
Protić Lj. 27

R
Radenković M. 277
Radmilović V. 19, 181
Raičević J. 35,
Raičević S. 303
Ristić D. 59, 93
Rodić-Polić B. 371

S
Sarić M. 71, 221

Savić Z. 85
Simović R. 317
Slivka J. 221, 249, 257
Spasić-Jokić V. 103, 147, 151,
Spasojević D. 49,
Stanković A. 241
Stanković J. 71, 181, 355
Stanković S. 241
Stanković Sr. 107, 169, 265, 269

Š
Šimurina M. 59,
Šipka V. 277, 281
Šokčić-Kostić M. 273

T
Tasovac T. 59,
Telenta B. 273
Todorović D. 225, 253, 277
Tomašević M. 71, 127, 157, 173, 181
Trbojević R. 225, 253, 277
Trtić T. 211

V
Vanlić-Razumenić N. 203
Vejnović Z. 93
Veličković D. 269
Vitorović G. 355
Vraneš S. 211
Vučić D. 335
Vučina J. 67, 211, 215
Vukčević M. 107, 169
Vukotić M. 229, 233
Vuković D. 237
Vuković Ž. 303, 307
Vuksanović Lj. 211
Vulević B. 127, 233

Z
Zavaljevski N. 139

Ž
Žunić Z. 371, 387