# ZBORNIK DEL

## XI. JUGOSLOVANSKEGA SIMPOZIJA O ZAŠČITI PRED SEVANJI

PORTOROŽ,
21.–24. IV. 1981

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLAVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLOVANSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO PRED SEVANJI
JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITA OD ZRAČENJE

# ZBORNIK DEL

## XI. JUGOSLOVANSKEGA SIMPOZIJA O ZAŠČITI PRED SEVANJI

**2. ZVEZEK**

**PORTOROŽ,**
**21.–24. IV. 1981**

XI. JUGOSLOVANSKI SIMPOZIJ O ZAŠČITI PRED SEVANJI
HOTEL BERNARDIN, PORTOROŽ, 21. – 24.4.1981

**Tehnična organizacija:**
Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Jamova 39

**Organizacijski odbor:**
T. Anovski, P. Cevc, P. Čremošnik–Pajić, J. Đurović, M. Koželj, S. Lulić, R. Maksić, M. Najžer, Ž. Pavlović, M. Pirš, S. Polič, B. Simić, J. Slivnik, P. Stegnar, M. Škantar, J. Štirn, M. Trontelj, H. Ukmata, B. Varl, Ž. Vuković

**Sekretariat**
I. Kobal, J. Kristan, M. Križman, M. Mihailović, U. Miklavžič

**Tehnični odbor**
B. Smodiš, A. Stanovnik, D. Ude, D. Zavrtanik

**Uredniški odbor**
Z. Đukić, M. Jeremić, I. Kobal, P. Marković, M. Mihailović, R. Radovanović

Razmnožila: DDU UNIVERZUM, Ljubljana 1981

# V s e b i n a

1. ZVEZEK stran

1. s e k c i j a: SPLOŠNA NAČELA ZAŠČITE PRED SEVANJI, ETIČNA IN PRAVNA VPRAŠANJA 1

1. M. Vidmar, M. Zarić: Predlog numeričkih vrednosti nivoa prihvatljivog ozračenja stanovništva i pojedinaca usled rada nuklearnih elektrana 3

2. P. Marković, D. Nikezić, Dj. Ristić: Diferencijalna cena - korist analiza za slučaj gradjevinskih materijala sa povišenom prirodnom koncentracijom radionuklida 11

3. M. Tomašević: Zakonski propisi o transportu radioaktivnih materija i njihova primena u praksi 17

4. G. Hrušovar: Sanitarni nadzor nad izvajanjem aktivnega zdravstvenega varstva delavcev, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj 21

5. Dj. Bek-Uzarov, J. Vujić: Medjunarodni standardi naziva i oznaka fizičkih veličina i jedinica medjunarodnog sistema jedinica - SI u oblastima atomske, nuklearne, molekularne fizike, fizičke hemije, nuklearnih reakcija i jonizujućih zračenja 29

6. B. Katušin-Ražem, D. Ražem, I. Dvornik, B. Briski: Kontrola ozračivanja namirnica i zaštita potrošača 35

2. s e k c i j a: RADIOEKOLOGIJA 45

7. P.S. Bojović: Izveštaj o projektu "Zaštita od zračenja"/1980 47

8. M. Zarić: Istraživanje zaštite od jonizujućih i nejonizujućih zračenja u okviru programa naučno istraživačke aktivnosti na zaštiti i unapredjivanju prirode i čovekove sredine u SR Srbiji 57

stran

9. M. Mihailović, M.V. Mihailović, M. Toplišek:
Predikcija aktivnosti $^{90}Sr$ u mleku iz podataka o aktivnosti $^{90}Sr$ u padavinama 61

10. M. Vukotić, R.G. Radovanović:
Optimalnost monitoring sistema radioaktivnih aerosola u životnoj sredini 67

11. T. Anovski, B. Minčeva, D. Kačurkov, P. Kirkov:
Doprinos studiji radioekologije reke Vardar 73

12. S.S. Milojević, R.G. Radovanović, P.D. Marković:
Model prenosa Sr-90 iz padavina i zemljišta u vodu akumulacije "Grošnica" 79

13. R. Smiljanić, D. Patić:
Odredjivanje faktora spiranja radioaktivnih materija iz vazduha analizom trajanja padavina 87

14. Dj. Bek-Uzarov, Z. Djukić:
Procena apsorbovane doze zračenja od radionuklida u organizmu stanovnika beogradskog regiona 91

15. S. Popovski:
Ukupna beta radioaktivnost u površinskim vodama u Makedoniji u periodu 1973-1980 95

16. A.H. Baha Al-Deen, S. Lulić, K. Košutić:
Odredjivanje Sr-90 brojenjem Sr-90 - Y-90 u ravnoteži 99

17. D. Brajnik, I. Kobal, U. Miklavžič, M. Seruga:
Nekateri vplivi radioaktivnosti pri predelavi fosfatov na okolje 107

18. V. Južnič, M. Graunar:
Sorpcija radiocezija na ionsko izmenjalni koloni 109

19. P. Strugar:
Stvaranje C-14 u vazduhu usled nuklearnih eksplozija 115

20. P. Marković, Dj. Ristić, D. Nikezić:
Doprinos ozračivanju stanovništva od zračenja uslovljenog gradjevinskim materijalima 121

21. D. Patić, R. Smiljanić, D. Stojanović:
Klase stabiliteta i prirodna radioaktivnost vazduha 127

22. R. G. Radovanović, M. Džambasević:
Jonsko stanje u prizemnom sloju atmosfere 133

stran

23. Dj. Bek-Uzarov, J. Simonović:
Difuzija radionuklida Cs-137 iz biosfere 137

24. S.S. Milojević, R.G. Radovanović:
Prilog istraživanju zavisnosti specifične beta aktivnosti vode od enormno visokih padavina 141

25. L. Saračević, Z. Milošević, E. Horšić, R. Kljajić, A. Mihalj:
Nivo aktivnosti Po-210 u uzorcima tla na području B i H 147

26. E. Horšić:
Ispitivanje radioaktivnosti u nekim vrstama riba rijeke Save 151

27. R.G. Radovanović, M. Vukotić, Lj. Mijatović:
Klasifikacija mineralnih voda u odnosu na sadržaj prirodnih radionuklida 157

28. R. Kljajić:
Nivo radioaktivnosti u mesu i kostima domaće i divlje svinje 161

29. R. Mitrović, S. Stanković, J. Begović:
Nivo radioaktivnosti u produktima veterinarskog nadzora podrinjsko - kolubarskog regiona 165

30. Z. Milošević, E. Horšić, A. Bauman, R. Kljajić, L. Saračević:
Koncentracija plutonija u nekim unutarnjim organima goveda u B i H 171

31. T. Fanka, G. Djurić:
Izdvajanje cezijuma-137 pomoću natrijum-tetrafenilborata iz namirnica i hraniva 179

32. A. Bauman, J. Kovač:
Godišnja doza koju prima stanovništvo SR Hrvatske hranom 185

33. A. Vertačnik, S. Lulić:
Distribucija Cr-51, Co-60, Zn-65, J-131 i Cs-137 izmedju morske vode i sedimenata 191

34. R. Martinčič, J. Marsel, U. Miklavžič, A. Stanovnik:
Ekološki laboratorij z mobilno enoto 197

35. S.Mihailović:
Veličine i jedinice koje se koriste u nuklearnom oružju i detekciji i dozimetriji radioaktivnog zračenja 201

stran

3. s e k c i j a: ZAŠČITA PRED SEVANJI V JEDRSKI ENERGETIKI 209

36. D. Hajduković:
Parcijalni radijacioni rizik od inhalacije radona i njegovih kratkoživećih potomaka 211

37. M. Kilibarda:
Uticaj nivoa zaprašenosti i radioaktivnosti na pojavu hroničnog bronhitisa i emfizema pluća u rudnicima uranijuma i drugim rudnicima metala 217

38. Č. Stanojlović, I. Kobal:
Kontinualno merenje koncentracije radona (Rn-222) u rudnicima urana 231

39. D. Brajnik:
Raziskave za napoved vplivov rudnika urana Žirovski vrh na okolje in določitev sedanjega stanja 237

40. J. Slivnik, A. Stergaršek:
Postopek predelave uranove rude v zaprtem krogu tehnološke vode in s suhim odlagališčem jalovine 243

41. B. Maršićanin:
Postupci tokom pripreme za gradnju nuklearne elektrane u cilju obezbedjenja zaštite od zračenja 247

42. N. Ajdačić, M. Martić:
Distribucija radioaktivnosti u delu vodotoka Dunava 253

43. Lj. Knežević, O. Janković:
Sorpcija i migracija radionuklida u zemljištu u okolini reaktora RA u Vinči 259

44. N. Marinković:
Kontrola reaktivnosti reaktorskog jezgra gadolinijumom sa aspekta zaštite od zračenja 263

45. D. Petrović:
Razmatranje akcidenta na nuklearnim postrojenjima u svetu 269

46. M. Budnar, A. Trkov, A. Perdan:
Banka nevtronskih podatkov 277

stran

4. s e k c i j a: ZAŠČITA PRI RABI VIROV IONIZIRAJOČIH SEVANJ V ZDRAVSTVU 281

47. Z. Kalendarov: Aktualni problemi zaštite od zračenja u medicinskoj radiologiji 283

48. M. Tomašević: Izloženost lekara hirurga X-zračenju za vreme hirurške intervencije ugradnje "pacemaker"-a 291

49. S. Gnjatović, S. Marković: Ispitivanje zaštitne moći sredstava koje se koriste za zaštitu pacijenata pri Rö-dijagnostici u stomatološkoj praksi 299

50. D. Križanović: Ozračenje gonada pri X-dijagnostici i radijacioni rizik 303

51. M. Tomašević: Izloženost radnika zračenju u radioizotopnim laboratorijama pri primeni radioizotopa 99m-Tc za dijagnostička ispitivanja jetre i bubrega 309

52. N. Stipčić-Šolić: Mogućnost zaštite pojedinih organa pri telekobaltnoj terapiji malignoma u zdjelici 315

53. I. Ružička: Udio opravdanosti upućivanja na rendgendijagnostičke pretrage u izloženosti stanovništva ionizirajućem zračenju 321

5. s e k c i j a: DEKONTAMINACIJA IN OBDELAVA RADIOAKTIVNIH ODPADKOV 327

54. R. Despotović, M. Pirš, B. Subotić: Strategija obrade, sakupljanja te privremenog i trajnog odlaganja radioaktivnog otpada iz nuklearnih postrojenja 329

55. S. Bačić, Ž. Vuković: Analiza sorpcije na mikrokristalnim sorbentima - metodika izučavanja defektne strukture mikrokristala 333

56. B. Subotić, R. Despotović: Obrada radioaktivnog otpada iz nuklearnih elektrana 339

stran

57. M. Mandić, Ž. Vuković:
Sorpcija hipojodaste kiseline iz vodenog rastvora na aktivnom uglju biljnog porekla 345

58. I. Plečaš, Ž. Vuković:
Analiza procesa prečiščavanja vode flokulacijom - eksperimentalno izučavanje taloženja ferifosfatnih flokula u LAMELLA aparatima 351

59. B. Draganović, G. Djurić, G. Ivanović-Mićić:
Termička obrada kao metoda za smanjenje ukupne beta aktivnosti pilećeg mesa 357

2. ZVEZEK

6. s e k c i j a: DOZIMETRIJA 361

60. I. Mirić, Dj. Bek-Uzarov, P. Mirić, D. Križanović:
Analiza stepena ozračenosti od različitih izvora zračenja 363

61. R. Ilić, M. Vukčević, I. Mirić:
Odredjivanje raspodele doze neutrona primenom metode Monte Karlo 369

62. F. Cvelbar:
Nevtronska dozimetrija s polprevodniškimi dozimetri 375

63. F. Cvelbar, J. Barlič, I. Vilfan, R. Martinčič, A. Likar, H. Udovč:
Polprevodniški nevtronski dozimeter IJS-Iskra 383

64. I. Mirić, Ž. Ubović, P. Mirić:
Procena ukupne (n+gama) doze u akcidentima na osnovu aktivnosti Na-24 u krvi i gama doze registrovane ličnim dozimetrima 391

65. K. Milivojević, D. Stojanović, P. Marković:
Procena apsorbovanih doza u uslovima eksterne i interne kontaminacije organizma radionuklidima 397

66. I. Dvornik, M. Živadinović:
Odnos izmedju doze izmjerene na površini tjela i djelovanja zračenja na čovjeka u realno mogućim uvjetima ozračenja nevtronima i fotonima 403

67. I. Dvornik, S. Miljanić, M. Ranogajec-Komor, M. Antić:
Kalibracija polja n+gama zračenja pomoću kemijskog dozimetra DL-M3 409

68. V. Švarcer:
Ograničene mogućnosti interne dozimetrije 413

69. G. Dražić, M. Trontelj, D. Kolar:
Lastnosti termoluminiscenčnih dozimetrov na osnovi $CaSO_4$ 419

stran

70. M. Ranogajec-Komor, B. Vekić, I. Dvornik:
Merenje raspodjela doza zračenja po cijelom tijelu pomoću TLD 427

71. R. Mijailović, M. Ninković:
Procena doza u polju rendgenskog zračenja korišćenjem termoluminiscentnih i film--dozimetara 433

72. S. Miljanić, I. Dvornik, M. Ranogajec-Komor:
Greške očitavanja doza dozimetara DL-M3 na čitaču ČDL-M3 439

73. Lj. Vasiljević, D. Veličković, I. Mirić, J. Simonović:
Odredjivanje doze neutrona primenom celuloznih nitrata proizvodnje"Milan Blagojević" 447

74. Z. Milavc, I. Žerovnik, F. Spreizer, M. Mihelič, D. Sušnik, L. Trontelj, U. Miklavžič:
TL akcidentalni dozimetrični sistem za žarke gama 453

75. M. Šobajić:
Osetljivi elektronski sistem za merenje jačine ekspozicijone doze zračenja sa jonizacionom komorom 467

76. B. Pendić, N. Barjaktarović, V. Kostić, Z. Pendić, S. Andrić, V. Vujnić, A. Kukoč:
RBE elektronskog zračenja energije 42 MeV-a u odnosu na gama zračenje Co-60 473

7. s e k c i j a: METROLOGIJA IN MERILNA OPREMA 483

77. Lj. Dobrilović, M. Šmelcerović, M. Simović, V. Drndarević, D. Paligorić:
Optimizacija merenja alfa aktivnosti u prisustvu beta i gama zračenja Si detektorom 485

78. D. Brajnik, A. Stanovnik:
Avtomatizacija meritev nizkih aktivnosti gama 491

79. A.M. Koturović:
Skaler/tajmer sa programabilnom obradom i kalkulatorom 495

80. M. Orlić:
Efikasnost GM brojača u polju gama zračenja produkata fisije U-235 501

81. A. Kocić:
Primena dvostrukog odabiranja u Monte Karlo prilazu proračuna biološkog štita 507

stran

82. R. Simović:
Rešavanje energetski zavisne transportne jednačine neutrona metodom polinomijalnih aproksimacija fluksa 513

83. J. Krstić, R. Antanasijević, Ž. Todorović:
Uticaj karakteristika celuloznih nitrata na energetsku rezoluciju alfa-čestica 519

84. M. Tomašević:
Kontrola X-zračenja kod TV prijemnika za prijem programa u boji 525

85. M. Mitrović, I. Tomljenović:
Uredjaj za automatsko snimanje platoa 529

86. R.S. Pavlović, D.P. Stojanović, F. Boreli:
Teorijska razmatranja i primena refleksije gama zračenja u merenju debljina 535

87. Dj. Ristić, S. Vuković, P. Marković:
Eksperimentalno odredjivanje koeficijenata slabljenja ravno vučenog silikatnog stakla za X zračenje proizvedenog na naponima do 400 kV 541

8. s e k c i j a: RADIOTOKSIKOLOGIJA 547

88. B. Kargačin, I. Šimonović, K. Kostial:
Metoda za istovremeno sniženje tjelesnog opterećenja radioaktivnim stroncijem, cezijem i jodom 549

89. B. Momčilović, N. Gruden:
Utjecaj celuloznih vlakana na retenciju Sr-85 u neonatalnoj dobi 553

90. N. Gruden, M. Buben:
Utjecaj laktoze i celuloze na apsorpciju radioaktivnog cinka 557

91. M. Trajković, Ž. Ubović:
Tricijum kao unutrašnji kontaminant radnika reaktora RA u Vinči 561

92. Z. Milošević, E. Horšić, R. Kljajić:
Ispitivanje primjene feri-ferocijanida kao hemioprotektora kod koza interno kontaminiranih sa Cs-134 565

93. Lj. Novak, D. Panov:
Značaj odredjivanja malih koncentracija plutonijuma 239 u urinu 569

stran

94. A. Bauman, N. Lokobauer, J. Kovač: Ispitivanje interne kontaminacije osoba koje nisu profesionalno izložene prirodnom radioaktivnom zračenju 573

95. R. Brnović: Stroncijum 90 u ljudskoj ishrani 575

96. R. Brnović: Sadržaj i distribucija Sr-90 u životinjskim kostima u uslovima globalne kontaminacije životne sredine 579

97. M. Gačević, R. Mitrović, S. Stanković, J. Begović: Prilog poznavanju peroralne kontaminacije svinja sa nekim produktima fisije 583

9. s e k c i j a: RADIACIJSKA MEDICINA 589

98. Dj. Horvat, J. Račić, R. Rozgaj: Strukturna oštećenja kromosoma u osoba profesionalno izloženih rendgenskom zračenju 591

99. R. Rozgaj, Dj. Horvat, A. Bauman, J. Račić: Citogenetski učinak uranilnitrata na ljudske limfocite u kulturi 597

100. V. Višnjić, M. Jeremić, D. Panov: Ispitivanje morfologije i otpornosti kapilara kod profesionalne ekspozicije X zračenju 605

101. M. Besarabić, B. Aleksić: Učestalost i karakteristike kardiovaskularnih promena kod radnika na nuklearnom reaktoru 609

102. D. Stojanović, K. Milivojević: Neki aspekti simptomatske farmakoterapije akutne radijacione bolesti u eksperimentalnim uslovima 615

103. Ž. Deanović, J. Pavelić, B. Vitale: Specifičnosti radijacijske bolesti u miševa ozračenih brzim neutronima 621

104. I. Selak, Z. Milošević, Z. Marković, E. Horšić, R. Klajić: Manifestacije radijacionog sindroma kod letalno ozračenih eksperimentalnih koza 629

105. J. Begović, S. Stanković, R. Mitrović: Uticaj X-zraka na blast transformaciju i mitotski indeks limfocita svinja in vitro 635

6. s e k c i j a

DOZIMETRIJA

XI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21. - 24.04.1981.

Mirić I., Bek-Uzarov Dj., Mirić P., Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

Križanović D., Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd

# ANALIZA STEPENA OZRAČENOSTI OD RAZLIČITIH IZVORA ZRAČENJA

R E Z I M E

U radu su prikazani rezultati odredjivanja ukupnih doza od spoljašnjeg i unutrašnjeg ozračivanja za stanovnike SR Srbije koji dolaze u dodir sa različitim izvorima zračenja.

Za 1978.godinu izvršena je analiza dodatnog ozračivanja pri profesionalnom radu sa izvorima jonizujućih zračenja u različitim oblastima medicine i industrije.

## U V O D

Jedan od važnih zadataka dozimetrije zračenja je identifikacija, merenje i praćenje doza zračenja kojem je izložen čovek u svakodnevnom životu, u toku rada sa izvorima zračenja, pri medicinskoj dijagnostici i terapiji.

Da bi se opasnost od primene zračenja svela na razumne mere, potrebno je izmedju ostalog pratiti stepen ozračenosti ljudi od različitih vrsta zračenja i korelirati sa stepenom ozračenosti od prirodnog fona ("zračenje iz prirode"), za koji se može smatrati da je ljudski organizam uspostavio biološku ravnotežu. Može se pretpostaviti da je razuman nivo dodatnog ozračivanja grupe stanovnika zbog primene zračenja (zračenje koje potiče od ljudske delatnosti) reda veličine fona, ili čak i unutar uobičajene varijacije fona[1].

Cilj ovog rada je bio da se na osnovu raspoloživih podataka za 1978.god. izvrši procena srednje vrednosti doza za pojedinca iz grupe radnika koji van nuklernih instituta rade sa izvorima jonizujućih zračenja i da se dobijene vrednosti uporede sa dozama koje prima šire stanovništvo.

Pri rasmatranju ozračivanja usvojena je sledeća podela izvora zračenja:

- izvori koji su sadržani u samom ljudskom telu, bez obzira na to kojim su putem u njega dospeli (interno ozračivanje),

- izvori koji se nalaze u okolini i vrše spoljašnje ozračivanje.

GLOBALNO OZRAČIVANJE

Interno ozračivanje

Interno ozračivanje čoveka potiče od radionuklida iz prirode (prirodni radionuklidi) i radionuklida koji su proizvod ljudske delatnosti (veštački radionuklidi).

Od prirodnih radionuklida sa dozimetrijske tačke gledišta su najznačajniji $^{40}K$ i produkti radioaktivnih nizova $^{238}U$ i $^{232}Th$, zatim $^{14}C$, a od veštačkih $^{137}Cs$ i $^{3}H$. Značajno interno ozračivanje ljudi drugim radionuklidima je posledica profesionalnog rada sa izvorima zračenja ili njihove primene u medicinskoj dijagnostici i terapiji.

Na uredjaju MAČT/2/ u Institutu "Boris Kidrič" vršena su merenja prirodnog sadržaja beta-gama radionuklida $^{40}K$ i $^{137}Cs$.(Pod prirodnim sadržajem podrazumeva se sadržaj radionuklida u osobama koje nemaju kontakt sa većim koncentracijama radionuklida osim onih u prirodi). Dobijeni rezultati ukazuju da je u 1978.godini srednja jačina doznog ekvivalenta od $^{40}K$ i $^{137}Cs$ u Beogradskoj regiji iznosila

$$\dot{D}_K = (7,0 \pm 0,2)\ pSv.s^{-1} \qquad (1)$$

$$\dot{D}_{Cs} = (0,64 \pm 0,03)\ pSv.s^{-1} \qquad (2)$$

Na osnovu literaturnih podataka/3/ može se pretpostaviti da su jačine doznog ekvivalenta od čistih beta radioaktivnih izotopa($^{3}H$ i $^{14}C$) u istom periodu bile

$$\dot{D}_H = 0,32.10^{-3}\ pSv.s^{-1} \qquad (3)$$

$$\dot{D}_C = 0,14\ pSv.s^{-1} \qquad (4)$$

Zanemarujući dozu od interne kontaminacije drugim radionuklidima, dobija se da je ukupna vrednost srednjeg doznog ekvivalenta od internog ozračivanja u 1978.godini iznosila približno

$$\dot{D}_{int} \approx 8,1\ pSv.s^{-1} \qquad (5)$$

što odgovara srednjem godišnjem doznom ekvivalentu od

$$D_{int} = 0,25 \text{ nSv} \qquad (6)$$

Spoljašnje ozračivanje

Glavni izvori zračenja u prirodi koji vrše spoljašnje ozračivanje su kosmičko zračenje, radioaktivni nizovi $^{238}U$ i $^{232}Th$ i $^{40}K$.

Merenja jačine ekspozicione doze od prirodnog gama zračenja u SR Srbiji koja je vršio Institut "Dr Dragomir Karajović"/4/ su pokazala da na 1 m od površine tla srednja vrednost jačine ekspozicione doze varira u intervalu $(0,22 - 2,01).10^{-12} C.kg^{-1}.s^{-1}$. a da u oblastima sa najvećom gustinom stanovništva jačina ekspozicione doze varira u intervalu $(0,83 - 11,1).10^{-12} C.kg^{-1}.s^{-1}$.

U Institutu "Boris Kidrič" vršena su merenja topografije zračenja oko radioaktivnih gromobrana sa ugradjenim gama-radionuklidima ($^{60}Co$, $^{152,154}Eu$) i izvršena je procena procena ozračenosti populacije koja se nalazi u bližoj okolini ovih gromobrana. Rezultati su pokazali da je jačina ekspozicione doze manja od $0,71.10^{-12} C.kg^{-1}s^{-1}$ odnosno u granicama varijacije prirodnog fona/5/.

Izvršena merenja ukazuju da se za grubu procenu spoljašnjeg ozračivanja grupe stanovnika SR Srbije gama zračenjem u prirodi može uzeti da je srednja jačina ekspozicije na 1 m visine

$$\dot{K}_{gama} = 0,924.10^{-12} C.kg^{-1}.s^{-1} \qquad (7)$$

što odgovara srednjem godišnjem doznom ekvivalentu od

$$D_{gama} = 1,085 \text{ mSv} \qquad (8)$$

Na osnovu izloženog sledi da srednja vrednost godišnjeg doznog ekvivalenta od fona za pojedinca iznosi

$$D_{tot} = 1,34 \text{ mSv} \qquad (9)$$

pri čemu se može uzeti da oko 1,31 mSv potiče od fona u prirodi, a oko 0,03 mSv od dodatnog fona koji je posledica ispitivanja nuklearnog oružja i primene nuklearne energije u drugim zemljama.

PROFESIONALNO IZLAGANJE U 1978.GODINI

Merenje doza od interne kontaminacije pomoću MACT pokazuje da u posmatranom periodu kod osoba koje rade sa izvorima jonizujućih

zračenja van nuklearnih instituta, nisu identifikovane kontaminacije koje bi prouzrokovale značajne doze od internog ozračivanja (Odredjivanje interne kontaminacije ljudi na osnovu radioaktivnosti ekskreta ili kontaminacije okoline nije obuhvaćeno ovim radom).

Izvršena obrada podataka ozračenosti se bazirala na vrednostima značajnih godišnjih doza za pojedince ("per capita")

$$\overline{D} = \Sigma D_i / N \qquad (10)$$

($D_i$-je registrovana vrednost doznog ekvivalenta za svakog pojedinca, a N - srednji broj osoba u posmatranoj grupaciji), odredjenih na osnovu vrednosti doznog ekvivalenta za pojedine grupacije koje profesionalno rade sa izvorima jonizujućih zračenja.

Vrednosti doza od spoljašnjeg ozračivanja odredjene su na osnovu rezultata individualne dozimetrijske kontrole koju su vršili Instituti "Dr Dragomir Karajović" i "Boris Kidrič". Ranije je pokazano[6] da, iako do sada nisu vršena komparativna merenja u cilju jedinstvenog odredjivanja doze za pojedinca, metode koje se primenjuju u navedenim Institutima daju usaglašene rezultate.

Globalni podaci iz raspoložive evidencije registrovanih doza u 1978.godini prikazani su u Tabeli 1. Podaci iz Tabele pokazuju da, ako se u celini posmatra profesionalna ozračenost osoba zaposlenih u industriji, odnosno medicinskim ustanovama, srednji dozni ekvivalent za 1978.godinu iznosi

u industriji - 0,742 mSv, odnosno oko 50% od doze prirodnog fona,

u medicinskim ustanovama - 1,486 mSv, koliko iznosi i godišnja doza od prirodnog fona.

Ove vrednosti su dobijene primenom jednačine

$$\overline{DE} = 12 \times \text{srednji DE po obradjenom dozimetru} \qquad (11)$$

Na taj način je smanjen uticaj nepostojanja potpune evidencije primljenih doza usled neredovnog vraćanja dozimetara.

Detaljnija analiza raspoloživih podataka pokazuje da raspodela ozračenosti osoba zaposlenih u industriji, odnosno medicinskim ustanovama,zavisi značajno od vrste posla i načina korišćenja izvora jonizujućih zračenja (Tabela 2).

Postojeća evidencija ozračenosti najbrojnije grupacije (ref

XI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21-24.04.1981.god.

Ilić D.Radovan, Vojnotehnički institut - Beograd
Vukčević Mladen, Mirić Ivanka, Institut za nuklearne nauke
"Boris Kidrič" - Vinča

# ODREDJIVANJE RASPODELE DOZE NEUTRONA PRIMENOM METODE MONTE KARLO

## R E Z I M E

Primenom metode Monte Karlo odredjena je raspodela doze neutrona unutar fantoma ozračenog fisionim neutronima koji se mogu dobiti na reaktorima TRIGA i Silene. Izračunata raspodela doze u cilindričnom fantomu, napunjenom vodom, uporedjena je sa rezultatima koji se dobijaju pomoću aktivacionih detektora.

## U V O D

Jedan od vrlo važnih problema u dozimetriji zračenja vezan za potrebe zaštite od zračenja je uspostavljanje veze izmedju doze registrovane pomoću fizičkih dozimetara (dozimetri polja, lična dozimetrijska sredstva) i srednje, maksimalne doze, odnosno doze apsorbovane u kritičnom organu ozračene osobe, a za date uslove ozračivanja.

Teorijsko odredjivanje raspodele doze neutrona vrši se primenom metode Monte Karlo. koja omogućava praćenje sudbine svake čestice od trenutka ulaska u posmatrani medijum do apsorpcije, napuštanja medijuma ili smanjenja energije ispod odredjene, unapred date vrednosti. J.Auxier i saradnici /1,2/ su prvi sistematski primenili ovu metodu da bi odredili promenu doze monoenergetskih neutrona sa dubinom homogeno ozračenog cilindričnog tkivno-ekvivalentnog fantoma poluprečnika 15 cm i visine 60 cm.

Pri analizi raspodele doze neutrona u fantomu, ozračenom fisionim neutronima, obično se pretpostavlja da je izotropno rasejanje u sistemu CM dominantan efekat u interakciji neutrona sa molekulima vode. Za eksperimentalno odredjivanje fluksa i doze neutrona najčešće se koriste aktivacioni detektori ili/i tkiv-

noekvivalentne komore.[3]

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja raspodele spektra, fluksa i doze neutrona energije veće od 1 keV unutar cilindričnog fantoma napunjenog vodom, ozračenog fisionim neutronima koji se mogu dobiti na nuklearnim postrojenjima TRIGA i Silene. Primenom metode Monte Karlo dobijeni rezultati uporedjeni su sa eksperimentalnim podacima dobijenim primenom aktivacionih detektora.

## IZVORI NEUTRONA

Za sva ispitivanja korišćeni su fisioni neutroni koji se dobijaju iza konvertorske ploče reaktora TRIGA (sa značajnim prinosom intermedijarnih neutrona) i na 3 m od nuklearnog postrojenja Silene[4]. (Silene je eksperimentalno postrojenje malih dimenzija kod kojeg se kritičnost postiže dovodjenjem rastvora uranil nitrata do kritične zapremine).

Spektar neutrona na mestu ozračivanja odredjen je pomoću niza aktivacionih i fisionih detektora[5]. Dobijeni rezultati su pokazali da se na reaktoru TRIGA spektar neutrona može aproksimirati funkcijama oblika

$$\Phi(E)dE = 7{,}613\cdot 10^{10} E^{-0{,}85} dE \qquad (1)$$

za neutrone u oblasti 1 keV$<E_n<$0,6 MeV, a

$$\Phi(E)dE = 2{,}119\cdot 10^{10} E^{1/2} e^{-0{,}82E} dE \qquad (2)$$

za neutrone energije 0,6 MeV$<E_n<$14 MeV.

U slučaju postrojenja Silene, spektar neutrona se može aproksimirati funkcijama

$$\Phi(E)dE = 1{,}17\cdot 10^{10} E^{-0{,}89} dE \qquad (3)$$

u oblasti 1 keV$<E_n<$0,6 MeV i

$$\Phi(E)dE = 5{,}45\cdot 10^{10} E^{1/2} e^{-0{,}82E} dE \qquad (4)$$

za 0,6 MeV$<E_n<$14 MeV.

## FANTOM

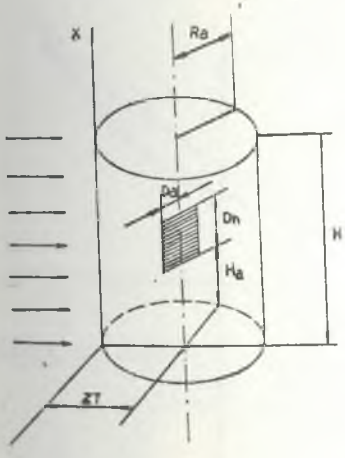
U ovom radu je kao fantom poslužila polietilenska boca $\emptyset 20\times 40.10^{-6} m^2$, koja može da aproksimira trup čoveka[6]. Kao tkivno-

ekvivalentni rastvor korišćena je voda. Debljina zida boce od oko 1 kg/m$^2$ ne utiče na promenu spektra i fluksa neutrona[7].

## PRORAČUN RASPODELE DOZE NEUTRONA

Za opisani fantom i izvor neutrona izračunati su fluks, spektar i doza neutrona u različitim dubinama fantoma. Kao što je ranije rečeno, u modelu rasejanja neutrona u vodi usvojeno je izotropno elastično rasejanje, a vrednosti za efikasne preseke posmatranih reakcija uzete su iz biblioteke nuklearnih podataka UKNDL[8].

Pri modelovanju transporta neutrona kroz fantom pretpostavljeno je da uniforman snop od 48 000 neutrona pada normalno na fantom, prodire u vodu u kojoj dolazi do elastičnog rasejanja sa atomima vodonika i kiseonika. Sudbina svakog neutrona se prati do njegovog napuštanja fantoma ili dok mu energija ne padne na 1 keV. Detaljniji opis primenjene metodologije dat je ranije[9,10]. Spektar, fluks i doza neutrona računati su na dubinama od 1; 5,5; 10,5 i 15 cm, pri čemu je posmatrana površina iznosila 7x7,5·10$^{-4}$m$^2$ (slika 1).

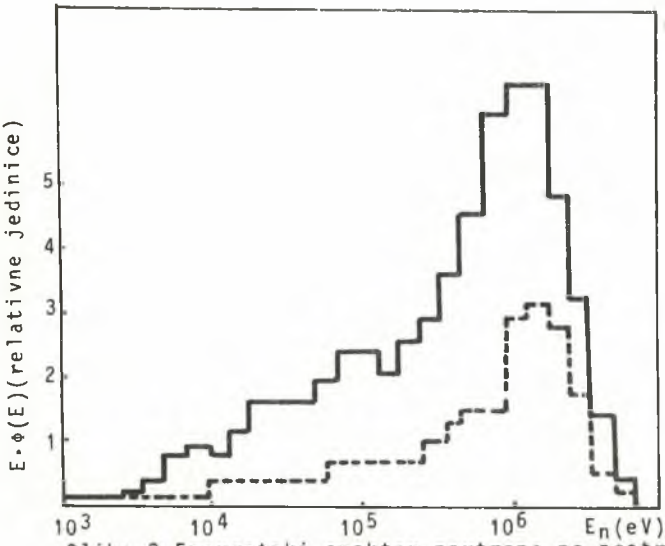



Slika 1. Šematski prikaz fantoma sa jednom posmatranom površinom (mesto mete)

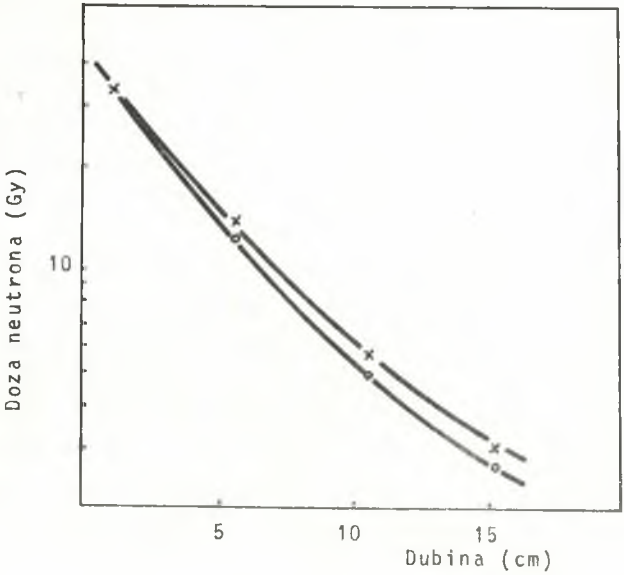
Spektar neutrona je podeljen u 30 energetskih intervala koji su kompromis izmedju potrebne statističke tačnosti, energetske rezolucije i potrebnog vremena za računanje. Primera radi, na slici 2 prikazani su rezultati dobijeni za energetske spektre neutrona sa postrojenja Silene na dubinama 1 i 5,5 cm.

Polazeći od dobijenog spektra neutrona i koristeći konverzione faktore koji koreliraju energiju neutrona i apsorbovanu dozu, numeričkom integracijom su dobijene vrednosti apsorbovane doze u posmatranoj dubini fantoma.

Teorijski rezultati su verifikovani merenjem fluensa neutrona u različitim dubinama fantoma pomoću aktivacionih detektora.




Slika 2.Energetski spektar neutrona na postrojenju Silen: ____ dubina 1 cm; --- dubina 5,5 cm



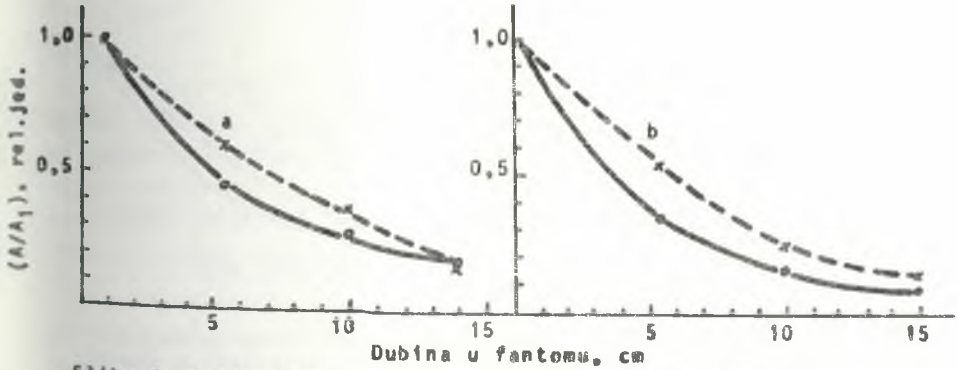

Slika 3. Raspodela apsorbovane doze u fantomu: x - TRIGA; o - Silen

## EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Eksperimentalno odredjivanje raspodele fluksa brzin neutrona vršeno je pomoću sumpornih detektora prečnika 2 cm i mase $2.10^{-3}$kg, koji su se u toku ozračivanja nalazili u posmatranim tačkama fantoma. Konačne dimenzije detektora i uslovi ozračivanja su prouzrokovali da je neodredjenost položaja,odnosno dubine iznosila do 5 mm. Aktivnost ozračenih pastila su merene pomoću GM brojača u konstantnoj geometriji, a statistička greška izmerenih aktivnosti u svim slučajevima je bila manja od 2%.

Na slikama 4a i 4b uporedjeni su eksperimentalni rezultati sa teorijskim predvidjanjima koja su dobijena proračunom promena spektra i fluensa neutrona u fantomu i uzimanjem u obzir energetske zavisnosti efikasnog preseka detektora.

Komparacija nije izvršena za intermedijarne neutrone zbog nedovoljnog broja neutrona značajnih za korelaciju sa aktivnošću detektora.




**Slika 4. Aktivacija sumpornih pastila u različitim dubinama fantoma (relativne vrednosti u odnosu na dubinu 1 cm); x-eksperimentalne, o-teorijske vrednosti**

## ANALIZA REZULTATA

Upadni neutronski fluks je u oba slučaja bio fisioni i modeliran za 48 000 neutrona. Taj broj nije bio dovoljan da u oblasti preko 2 MeV generiše dovoljan broj neutrona za precizniju korelaciju sa aktivnošću sumpornog detektora. Time se izmedju ostalog može objasniti odstupanje izmedju teorijskih i eksperimentalnih

rezultata, koja su ipak u svim posmatranim slučajevima bila manja od 20%.

## ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u ovom radu mogu se smatrati preliminarnim, imajući u vidu potrebna ispitivanja u oblasti dozimetrije neutrona. Medjutim, već i ovi rezultati pokazuju da se može očekivati dobro slaganje izmedju teorijski i eksperimentalno odredjenih dozimetrijskih veličina, čak i u složenijim fisionim spektrima, ako se za teorijsku analizu primenjuje metoda Monte Karlo.

MONTE CARLO METHOD FOR NEUTRON DOSE DISTRIBUTION DETERMINATION - The Monte Carlo method is used to determine neutron fluence,spectrum and dose distributions inside a bottle phantom irradiated by fission neutrons from the Triga and Silene nuclear installations. The calculated distributions for the water-filled phantoms are compared with the corresponding values obtained from activation detector data.

## REFERENCE

1. Attix F.H., Roesch W.C., Eds "Radiation Dosimetry, Vol I" Chap.6, by Auxier J., Snyder W.C., Jones T.D., Academic Press, N.Y. 1968
2. NCRP Report No 38 "Protection against Neutron Radiation" NCRP Washington, 1971, p.46
3. Ing. H., Cross W.G., Phys.Med.Biol.20, No.6 (1975) 906
4. The Reactor Silene, Internal Publ.
5. Mirić I., i saradn. Merenje neutronskih spektara na nuklearnim postrojenjima pomoću aktivacionih i fisionih detektora,u štampi
6. Trajković M. i saradn. "Advances in Physical and Biological Radiation Detectors" (Proc.Symp. Vienna, 1970), IAEA, 1971,906
7. Mastrocola A., "Neutron Monitoring" (Proc.Symp. Vienna,1966), IAEA Vienna,1967,575
8. UKNDL-AWRE-70/63, (1963)
9. Ilić R., "Studija transporta gama kvanta i sekundarnih elektrona kroz lični dozimetar metodom Monte Karlo" doktorska disertacija EFB, Beograd, 1978
10. Vukčević M., Ilić R., Mirić I., Veličković D., "IBK-1506", Dec.1979.

XI. Jugoslovanski simpozij iz zaščite pred sevanji
Portorož, 21. - 24.4.1981

F.Cvelbar
Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za fiziko in
Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja, Ljubljana

# NEVTRONSKA DOZIMETRIJA S POLPREVODNIŠKIMI DOZIMETRI

Podane so najosnovnejše značilnosti polprevodniških nevtronskih dozimetrov in fizikalne osnove njihovega delovanja. Dozimetri se odlikujejo po robustnosti, majhnem aktivnem volumnu, enostavnem odčitavanju, predvsem pa po tem, da njihova občutljivost malo zavisi od energije nevtronov in da so praktično neobčutljivi za žarke gama. Glede na ponovljivost meritev in temperaturno odvisnost signala ne zaostajajo za drugimi dozimetri.

## Uvod

Kljub temu, da je preteklo že pol stoletja od odkritja nevtrona, danes še nimamo zadovoljivega množično uporabnega dozimetra za merjenje nevtronske doze. To velja tako s fizikalne kot s tehnične strani. Niti eden od njih neposredno ne meri absorbirane nevtronske doze. Pri dani energiji nevtronov jih sicer umerimo, toda pri drugi energiji nevtronov so drugače občutljivi.

Korak naprej pri iskanju ustreznega nevtronskega dozimetra predstavlja polprevodniški diodni nevtronski dozimeter[1-6]. Zgoraj omenjena pomanjkljivost je pri tem dozimetru manj opazna - njegova občutljivost je n.pr. v energijskem intervalu med 0,3 MeV in 14 MeV znotraj ± 20 % neodvisna od energije nevtronov. Poleg tega je majhen, mehansko neobčutljiv in enostaven za odčitavanje doze. V temperaturni odvisnosti signala in njegovi časovni stabilnosti je primerljiv z nekaterimi drugimi dozimetri.

Prikazane so fizikalne lastnosti in tehnična izvedba polprevodniških nevtronskih dozimetrov, ki so opisani v literaturi.

## Opis dozimetra

Delovanje dozimetra sloni na merjenju posledic trajnih seval-

nih poškodb v trdni snovi. V polprevodniku se zaradi sevalnih poškodb zmanjša življenjska doba nosilcev naboja. Poškodbe, t.j. mesta, ki zaradi trka nevtronov z jedri ali pa trkov odrinjenih jeder s sosednjimi jedri, ostanejo "trajno" prazna ali pa prezasedena namreč postanejo rekombinacijski centri. Velja, da je razlika obratnih vrednosti življenjske dobe obsevanega ($1/\tau$) vzorca in neobsevanega vzorca ($1/\tau_0$) sorazmerna fluensu $\phi$ vpadnih nevtronov oziroma absorbirani nevtronski dozi D: $1/\tau - 1/\tau_0 = K_1\phi = K_2 D$
Sorazmernostni konstanti zavisita od vrste materiala in nekoliko tudi od nevtronskega spektra.

Nevtronsko dozo, ki jo je prejel polprevodniški vzorec torej lahko določimo tako, da n.pr. z notranjim fotoefektom (obsevanjem z vidno svetlobo) v času, ki je veliko krajši od $\tau$ ustvarimo pare elektron-vrzel in opazujemo časovni potek njegove ohmske upornosti. Eksperimentalni rezultati kažejo, da je tak način merjenja nevtronske doze možen, je pa razmeroma zapleten.

Nevtronsko dozo, ki jo je prejel vzorec lahko določimo tudi z merjenjem difuzijske dolžine nosilcev naboja L, saj velja $L=\sqrt{D\tau}$, kjer D pomeni difuzijsko konstanto. V praksi ne določamo L neposredno, ampak merimo količine, ki so od nje odvisne. Tak primer imamo pri polprevodniški diodi (sl.1), ki ima med močno dopiranima plastema $p^+$ in $n^+$ skoraj nedopirano plast, ki je debelejša od difuzijske dolžine. Upornost take diode v prevodni smeri odvisi od difuzijske dolžine nosilcev naboja in od debeline vmesne plasti. Če je n.pr. L nekoliko daljša od debeline vmesne plasti pridejo skoznjo skoraj vsi vbrizgani nosilci naboja. Upornost diode je zato majhna. Če se zaradi obsevanja difuzijska dolžina zmanjša n.pr. na desetino debeline vmesne plasti, se vbrizgani nosilci naboja rekombinirajo takoj po vstopu v vmesno plast in torej malo prispevajo k prevajanju toka. Upornost diode se bistveno poveča.

Ker imajo nosilci naboja v obsevani vmesni plasti krajši življenjski čas in torej tudi krajšo difuzijsko dolžino kot če plast ni bila obsevana, sledi, da ima obsevana dozimetrijska dioda večjo upornost kot neobsevana dioda. U-I karakteristika diode se premakne v desno (sl.2). Najpogosteje merimo dozni signal na diodi tako, da pri konstantnem toku primerjamo padec napetosti na diodi pred obsevanjem oz. ob izdelavi in po obsevanju. Razlika

med obema padcema napetosti je merilo za dozo, ki jo je prejela dioda med obsevanjem. Zveza med prejeto dozo in signalom je v nekaterih primerih skoraj linearna (angleške diode, diode IJS-ISKRA) včasih pa od linearnosti rahlo odstopa (sl.3). Nevtronski polprevodniški diodni dozimetri so najpogosteje namenjeni za akcidentalno dozimetrijo (doze od 0,1 Gy do 10 Gy).

PIN diode so izdelane iz visokoomskega silicija (upornost večja od 50Ωcm) tipa p ali n, ki je z ene strani predopiran z nosilci naboja p (področje $p^+$), z druge strani pa je predopiran z nosilci naboja n (področje $n^+$). Take $p^+pn^+$ oz. $p^+nn^+$ diode imajo slične lastnosti kot če bi bila srednja plast nedopirana (intrinsic), zato jih imenujemo kar PIN diode. Sloja $p^+$ in $n^+$ sta debela okrog 0,025 mm, medtem ko je debelina vmesnega sloja, ki ga imenujemo tudi baza debel okrog 1,2 mm. Presek diode je nekaj $mm^2$. Izvedbe dozimetrskih diod različnih proizvajalcev so slične shematski predstavitvi na sl.1. Dovodni kontakti diod so izdelani iz plemenitih kovin. Tako se izognejo velikim razlikam v kontaktnih napetostih. Tok skozi diodo, pri katerem odčitavajo dozo je med 25 mA in 300 mA. Da se dioda med odčitavanjem doze ne bi pregrela spustijo skoznjo tok le za kratek čas (okrog 1s).

Poškodbe, ki nastanejo v kristalni mreži zaradi obsevanja z nevtroni niso vse trajne oz. zamrznjene. Nekatere poškodbe prenehajo takoj po nastanku, nekatere pa ostanejo le nekaj časa. Signal, ki ga dobimo na diodi takoj po obsevanju je torej večji kot pozneje. V prvi uri po obsevanju pade signal za nekaj % ali pa celo samo nekaj desetin %, odvisno od proizvajalca (tabela 1). Po stotih dneh se signal zniža za okrog 20 %. S tabele 1 je razvidno, da se pri diodah nekaterih proizvajalcev signal manjša močneje kmalu po obsevanju, pri drugih pa je to manjšanje enakomerno preko daljšega časovnega obdobja.

Temperaturna odvisnost signala na dozimetrski diodi je prav tako kot popuščanje, odvisna od izdelovalca. S sl. 4 je razvidno, da so večje razlike predvsem pri dozah pod 1 Gy, ko je temperaturni koeficient signala lahko celo različnega predznaka. Pri dozah nad 1 Gy pa je pri vseh diodah koeficient pozitiven in manjši od 1 %/°C. Diode, ki spreminjajo predznak temperaturnega koeficienta, so v področju doz med 1 Gy in 4 Gy, ki je za akcedentalno dozimetrijo najbolj zanimivo, zelo malo občutljive za temperaturne spremembe.

Kot že omenjeno je občutljivost polprevodniških diodnih dozimetrov razmeroma malo odvisna od energije nevtronov. S tem v zvezi je bilo po svetu opravljenih veliko teorijskih in eksperimentalnih raziskav[6]. Vse kažejo na to, da se v območju nevtronskih energij od 0,3 MeV do 14 MeV njihova občutljivost menja za manj kot ± 20 % (sl. 5), kar je gotovo njihova velika prednost. Naj omenimo n.pr. da je za nevtrone jedrske eksplozije, ki preidejo 2 m debelo zaščitno plast zemlje z atenuacijo $10^7$, občutljivost zmanjšana le za 20 %.

## Zaključek

Prednost polprevodniškega nevtronskega diodnega dozimetra so njegove majhne dimenzije, robustnost, enostavno odčitavanje doze. Njegova občutljivost je malo odvisna od energije nevtronov, orientacije v nevtronskem polju in kot kažejo analize je neodvisna do hitrosti doz 7 do $10^5$ Gy/s. Dozimeter je praktično neobčutljiv za žarke gama.

Želeli bi seveda, da bi signal diode po obsevanju ostal konstanten. To bi omogočilo uporabo iste diode za več zaporednih obsevanj. Trenutno je to mogoče samo, če vemo kdaj je bila dioda obsevana in poznamo tudi odčitke po vsakem obsevanju. Celotno dozo dobimo nazadnje z računskim popravkom.

Večina dozimetrov, ki so opisani v literaturi je namenjenih le za enkratno uporabo. Prejetega signala ni mogoče izbrisati in dozimeter ponovno uporabiti. Te diode so zalite v plastično ohišje. Angleške diode, ki so zalite v keramiko pa omogočajo segrevanje do 300°C in s tem skoraj popoln izbris signala zaradi prejete doze.


## Abstract

Fundamental characteristics of semiconducting diode neutron dosimeters are presented. Their main advantages are: robust construction, small active volume, simple reading and especially their insensitivity for the change in neutron energy, and insensitivity for gamma rays. In what concerns the temperature stability of the signal and reproducibility of the measurements, diode dosimeters are comparable with other dosimeters.

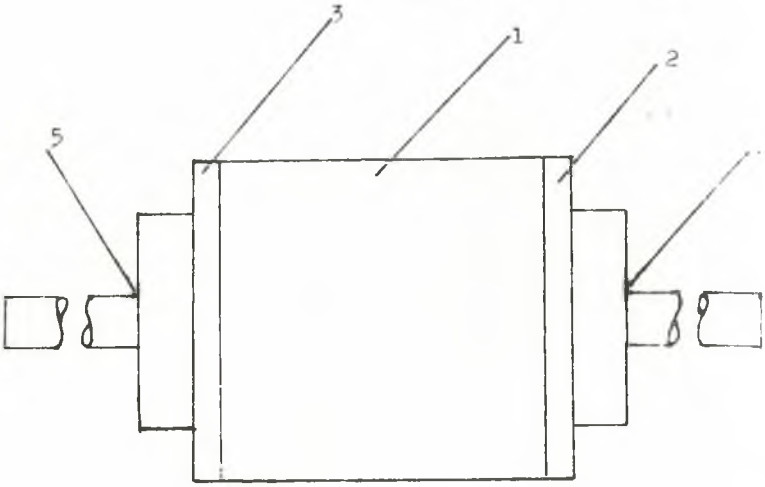

## Literatura


1. J.M.Swartz, IEEE Trans. Nucl. Sci. 10 (1963) 63
2. G.Kramer, IEEE Trans. Nucl. Sci. 13 (1966) 4

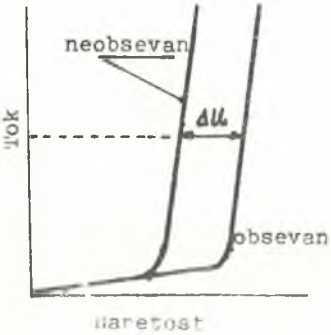
3. M.O.Thurston, J.M.Swartz, R.R.Speers and W.H.Closer, Neutron Monitoring Vienna 1966, IAEA Vienna 1967, p. 245
4. R.R.Speers, IEEE Trans. Nucl. Sci. 15 (1968) 9
5. C.O.Widell, First Symp. on Neutron Dosimetry in Biol. and Medicine EUR 4896 d-f-e (1972) p. 343
6. B.F.Wall, ibid p. 343
7. F.Cvelbar, J.Barlič, I.Vilfan, R.Martinčič, A.Likar in H.Udovč, VI. Jugoslovanski simpozij o zaščiti pred sevanji

TAB. 1: Popuščanje signala diode z ozirom na nominalni odziv (40 min po obsevanju) v odvisnosti od časa po končanem obsevanju

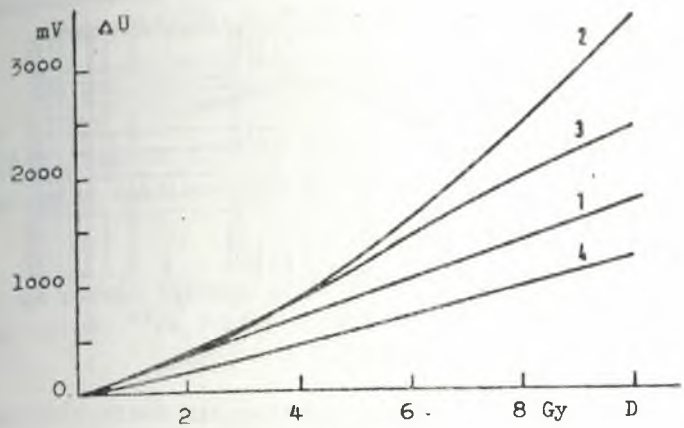
| Čas po končanem obsevanju | POPUŠČANJE F (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | angleške diode | ameriške diode | švedske diode | diode IJS-ISKRA |
| 1 ura | 0.1 | 0.3 | 5 | 3.1 ± 1.8 |
| 2 uri | 0.1 | 0.5 | 7 | 4.6 ± 2.5 |
| 10 ur | 1 | 2.3 | 12 | 7.6 ± 2.8 |
| 1 dan | 1 | 3.5 | 14 | 8.6 ± 2.9 |
| 2 dni | 5 | 5.4 | 16 | 10.7 ± 2.9 |
| 100 dni | 15 | 26 | 18 | 28 ± 3 |



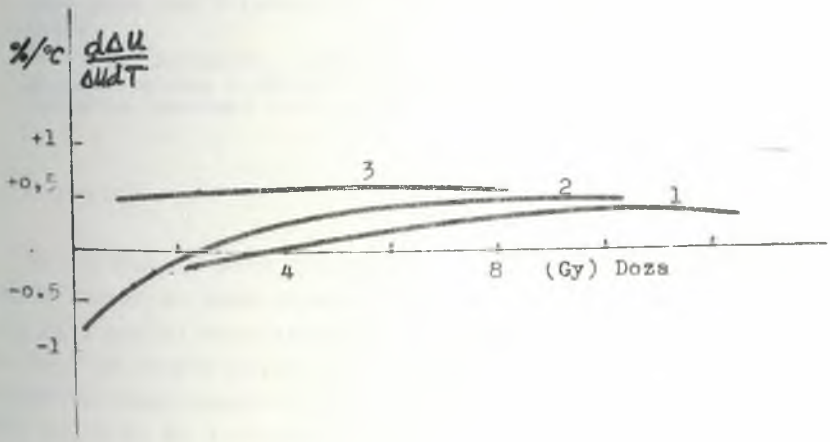

Sl.1 Shema polprevodniškega diodnega dozimetra
1 vmesna plast
2-3 predopirani plasti $p^+$ oz. $n^+$
4-5 metalni kontakt



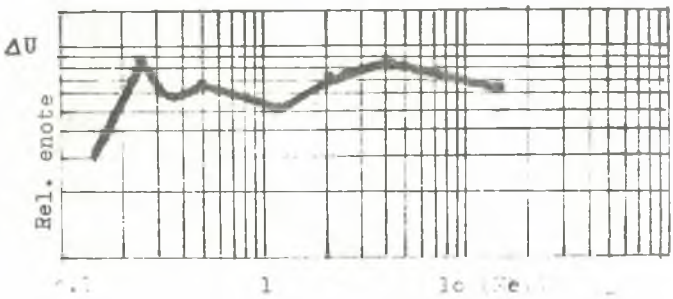

Sl.2 Zaradi sevalnih poškodb se upornost diode v prevodni smeri poveča, U-I karakteristika se premakne v desno




Sl.3 Zveza med absorbirano dozo in signalom za polprevodniške dozimetre različnih proizvajalcev: 1-dioda IJS-ISKRA, 2-ameriške diode, 3-švedske diode, 4-angleške diode[6,7]




Sl.4 Temperaturna odvisnost signala polprevodniških diod različnih proizvajalcev: 1-dioda IJS-ISKRA, 2-angleške diode, 3-švedske diode[6,7)]




S1.5 Občutljivost polprevodniških nevtronskih dozimetrov pri raz ličnih nevtronskih energijah[6]. Podobne eksperimentalne rezultate so dobili tudi v drugih laboratorijih in se ujemajo z računskimi napovedmi.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.04.1981.

Mirić I., Ubović :, Mirić P.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

# PROCENA UKUPNE (n+gama) DOZE U AKCIDENTIMA NA OSNOVU AKTIVNOSTI $^{24}$Na U KRVI I GAMA DOZE REGISTROVANE LIČNIM DOZIMETRIMA

## R E Z I M E

U radu je analizirana mogućnost procene ukupne doze zračenja za pojedinca u slučaju akcidenta merenjem indukovane aktivnosti Na-24 u krvi i na osnovu registrovane doze ličnim gama dozimetrom. Eksperimentalno su odredjene vrednosti srednje specifične aktivnosti Na-24 po jediničnoj dozi neutrona dobijene ozračivanjem rastvora natrijumovih soli u fantomima tipa Bomab. Izvršeno je uporedjivanje vrednosti gama doza registrovanih pomoću ličnog dozimetra i dozimetra polja.

Eksperimentalni rezultati su poslužili kao osnova za procenu greške u odredjivanju ukupno primljene doze za akcidentalno ozračene osobe u nepoznatom polju zračenja.

## U V O D

Na nuklearnim postrojenjima sve osobe koje se nalaze u kontrolisanim zonama po pravilu nose lična gama dozimetrijska sredstva kojima se mogu meriti doze zračenja u intervalu $5.10^{-4}$Gy - 10 Gy. Medjutim, čest je slučaj da ove osobe, kao i osobe čije je prisustvo u kontrolisanim zonama moguće, ne raspolažu nikakvim dozimetrijskim sredstvom kojim bi se u slučaju akcidenta odredila vrednost apsorbovane doze neutrona. U tim situacijama za procenu doze neutrona koriste se sve informacije do kojih se može doći, a posebno podaci dobijeni merenjem indukovane aktivnosti $^{24}$Na u krvi i $^{32}$P u kosi.

Ispitivanje korelacije izmedju specifične aktivnosti $^{24}$Na u telu, odnosno krvi i apsorbovane doze neutrona vršio je veći broj autora[1-5]. Njihovi rezultati su pokazali da je specifična aktiv-

nost $^{24}$Na relativno proporcionalna fluksu neutrona (unutar faktora 2) nezavisno od oblika spektra, dok veza specifična aktivnost - apsorbovana doza može da varira i za faktor 20. Detaljnija analiza primene ove metode u akcidentalnoj dozimetriji izvršena ja ranije.[6,7,8,9]

U ovom radu je izvršena analiza mogućnosti procene ukupne (n+gama) doze pri homogenom ozračivanju na osnovu srednje specifične aktivnosti natrijuma u krvi i doze gama zračenja registrovane gama dozimetrom koji se u toku ozračivanja nalazio ne grudima ozračene osobe. Za ovu analizu korišćene su vrednosti srednje specifične aktivnosti $^{24}$Na u fantomima i odgovarajuće vrednosti gama doza izmerene na površini fantoma. Fantomi tipa Bomab bili su ozračeni u različitim poljima u okolini nuklearnih postrojenja.

## EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Ozračivanje fantoma vršeno je prilikom nacionalnih i medjunarodnih interkomparacija u oblasti akcidentalne dozimetrije, u različitim spektrima karakterističnim sa tačke gledišta akcidentalne dozimetrije[10,11,12,13,14]. Neke karakteristike polja prikazane su u Tabeli 1, uporedo sa izmerenim srednjim specifičnim aktivnostima $^{24}$Na u fantomima i registrovanim gama dozama na površini fantoma.

TABELA 1. Podaci u uslovima ozračivanja, izmerenim vrednostima doze i aktivnosti Na-24

| SPEKTAR NEUTRONA | Doza neutrona u vazduhu (J/kg) | Gama doza u vazduhu (J/kg) | Gama doza na fantomu (J/kg) | Srednja aktivnost Na-24 (Bq/kg Na) |
|---|---|---|---|---|
| HPRR | 3,65 | 0,58 | 1,00 | 38,85 |
| HPRR* | 2,98 | 0,48 | 1,01 | 33,56 |
| HPRR-13 cm Fe | 1,52 | 0,17 | 0,44 | 21,24 |
| HPRR-12 cm Lucite | 0,41 | 0,46 | 0,63 | 6,29 |
| HPRR-5 cm Fe* | 1,95 | 0,23 | 0,63 | 25,16 |
| HPRR-20 cm beton | 0,34 | 0,13 | 0,25 | 6,10 |
| CRAC | 2,67 | 2,51 | 3,21 | 33,30 |
| CRAC-20 cm beton | 1,23 | 1,99 | 2,10 | 30,71 |
| Silene** | 4,30 | - | - | 47,36 |
| Viper | 1,90 | 0,83 | 1,78 | 59,38 |
| RB | 0,80 | 2,36 | 3,08 | 41,07 |

Napomena: * - podaci AERE
**- interkomparacija neutronskih dozimetara; gama doza nisu merene

Odabiranje referentnih vrednosti za spektar, doze neutrona i gama zračenja, kao i odgovarajuće aktivnosti $^{24}Na$ predstavljalo je poseban problem, jer se nije raspolagalo kompletnim podacima određenim od strane iste grupe autora (uključujući i autore ovog rada). Zbog toga je pretpostavljeno da su na interkomparativnim merenjima najpouzdanijim podacima raspolagale ekipe domaćina. Izuzetak predstavljaju merenja označena sa *, koja su vršena 1979.godina i za njih postoje samo podaci objavljeni od strane grupe autora iz AERE [15]. Izvršena analiza je pokazala da se ovakvim kombinovanjem ulaznih informacija pouzdanost zaključaka nije smanjila za više od 10%.

## Procena doze neutrona

U Tabeli 2 prikazane su izmerene vrednosti $^{24}Na$ po kg natrijuma u fantomu, odgovarajuće aktivnosti po jediničnoj dozi neutrona izmerenoj u vazduhu na mestu fantoma, kao i očekivane aktivnosti $^{24}Na$ u 5 ml krvi standardnog čoveka [16] ozračenog dozom neutrona od 0,25Gy.

TABELA 2. Izmerene srednje aktivnosti $^{24}Na$ u fantomu, aktivnosti po jediničnoj dozi i aktivnost uzorka od 5 ml krvi standardnog čoveka ozračenog dozom neutrona od 0,25 Gy

| SPEKTAR NEUTRONA | Aktivnost $^{24}Na$ u fantomu Bomab | | Aktivnost krvi |
|---|---|---|---|
| | (Bq/kg Na).$10^6$ | (Bq/J).$10^6$ | Bq u 5ml za dozu od 0,25 Gy |
| HPRR | 38,85 | 10,64 | 22,30 |
| HPRR* | 33,56 | 11,26 | 18,50 |
| HPRR-13 cm Fe | 21,24 | 13,97 | 22,27 |
| HPRR-12 cm Lucite | 6,29 | 15,34 | 22,20 |
| HPRR-5 cm Fe* | 25,16 | 12,90 | 22,20 |
| HPRR-2o cm beton* | 6,10 | 17,94 | 24,00 |
| CRAC | 33,30 | 12,47 | 22,27 |
| CRAC-20 cm beton | 30,71 | 24,97 | 51,19 |
| Silene | 47,36 | 11,01 | 26,54 |
| Viper | 59,38 | 31,25 | 75,82 |
| RB | 41,07 | 51,34 | 96,62 |

Napomena: * na osnovu podataka AERE

Prikazani rezultati pokazuju da ako se ne uzmu u obzir reaktor RB i reaktor Viper, srednje specifične aktivnosti po jediničnoj dozi nalaze se u intervalu(10,6-25).$10^6$ Bq.$kg^{-1}$. To znači da bi se doze neutrona, određene na osnovu aktivnosti $^{24}Na$ razlikovale od

realnih i za faktor 3, ako se ne raspolaže informacijom o obliku primarnog spektra i njegovim mogućim deformacijama.

U slučaju kada je izvor neutrona teškovodni reaktor (RB) ili reaktor kod kojeg je srednja energija neutrona niska (Viper), aktivnost $^{24}Na$ po jediničnoj dozi neutrona nalazi se u intervalu $(31,2-51,3).10^{6}$ Bq/kg, što znači da bi razlika izmedju prave i procenjene vrednosti doze iznosila oko 40%.

Jedna od važnih karakteristika detektora namenjenih za merenje doza neutrona predstavlja njihova osetljivost. U slučaju natrijuma obično se uzima da detektor predstavlja uzorak manji od 5 ml krvi ($9,6.10^{-6}$ kg Na). Za posmatrane spektre neutrona odredjena je očekivana aktivnost $^{24}Na$ u 5 ml krvi standardnog čoveka ozračenog dozom neutrona od 0,25 Gy. Rezultati prikazani u Tabeli 2 (kolona 5) ukazuju da se NaJ(Tl) kristalom s jamom bez teškoća može meriti indukovana aktivnost $^{24}Na$ u uzorku krvi čak i 7 h posle ozračivanja kada se vrše pouzdana merenja aktivnosti jer je uticaj aktivacije hlora zanemarljiv[17].

## Procena doze gama zračenja

Odredjivanje gama doza u mešovitim (n+gama) poljima pomoću ličnog dozimetrijskog sredstva uključuje probleme koji su različiti od problema koji se javljaju pri odredjivanju doza neutrona. Spektralna osetljivost gama dozimetara se zanemaruje, a registrovanje doze gama zračenja od 0,1 Gy ne predstavlja problem. Umesto toga značajno je izražena osetljivost gama dozimetara na neutrone, koja zavisi od sastava dozimetra i spektra neutrona. U nepoznatom polju zračenja osetljivost dozimetra na neutrone se ne može proceniti.

Ako oseljivost ličnog gama dozimetra može da se zanemari, ono registruje dozu primarnog ga zračenja i od gama zračenja nastalog H(n,gama) reakcijom u telu ozračene osobe. H(n,gama) doza značajno zavisi od oblika neutronskog spektra i može da bude čak i veća od gama doze upadnog zračenja (Tabela 1, kolone 3 i 4).

Uticaj ovog efekta na grešku u proceni ukupne doze za potencijalno ozračene osobe može se smanjiti ako se neutronska H(n,gama) doza registruje kao doza upadnog gama zračenja. U ovom slučaju se

aktivacija krvi korelira sa neutronskom dozom od jezgara uzmaka, što je i učinjeno u ovom radu.

Procena ukupne doze neutrona

Polazeći od prikazanih rezultata izvršena je procena najveće tačnosti koja bi se mogla postići u proceni ukupne doze zračenja za osobu čije dimenzije odgovaraju standardnom čoveku, a koja je u toku nuklearnog akcidenta

- homogeno ozračena,
- bila licem okrenuta izvoru zračenja,
- raspolagala gama dozimetrom čija je osetljivost na neutrone zanemarljiva.

Rezultati prikazani u Tabeli 2 pokazuju da se na nuklearnim postrojenjima sa značajnom komponentom brzih neutrona može uzeti da je veza izmedju specifične aktivnosti natrijuma ($\bar{A}$) i doze neutrona od jezgara uzmaka ($\bar{D}_n$) data izrazom

$$\bar{A} = 11,34.\bar{D}_n \qquad (1)$$

ili

$$\bar{D}_n = 8,818.10^{-2}\bar{A} \qquad (2)$$

Jednačina (2) daje maksimalni faktor sigurnosti jer korelira specifičnu aktivnost $^{24}Na$ sa najvećom vrednošću doze neutrona. Polazeći od ove relacije izračunate su doze neutrona od jezgara uzmaka koje odgovaraju izmerenim aktivnostima $^{24}Na$ u fantomu Rezultati su prikazani u Tabeli 3 (kolona 2). Vrednostima neutronskih doza, procenjenim na opisani način su dodate vrednosti gama doza registrovane na grudima fantoma (Tabela 1, kolona 4) i dobijena vrednost ukupne procenjene doze za potencijalno ozračenu osobu (Tabela 3, kolona 3).

Ako se vrednosti ukupnih doza, odredjenih na opisani način uporede sa odgovarajućim referentnim vrednostima (Tabela 3, kolona 4), dolazi se do zaključka da su procenjene vrednosti u većini slučajeva znatno veće od realnih i da razlika može da prevazidje i 100%.

ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u ovom radu pokazuju da se ne mogu dobiti pouzdani podaci o ozračenosti ljudi u toku akcidenta bez prethodnog poznavanja spektra na mestu ozračivanja. Ma da je u svim opisanim slučajevima procenjena vrednost doze bila veća od realne,

TABELA 3. Procenjene vrednosti ukupnih doza zračenja na osnovu radioaktivnosti Na-24 i pokazivanja ličnog gama dozimetra

| SPEKTAR NEUTRONA | Procenjena doza neutrona (J/kg) | Procenjena ukupna doza (J/kg) (1) | Referentna ukupna doza (J/kg) (2) | $\frac{(2)-(1)}{(2)} \cdot 100$ |
|---|---|---|---|---|
| HPRR | 3,51 | 4,51 | 4,23 | 6,6 |
| HPRR* | 2,96 | 3,97 | 3,46 | 14,7 |
| HPRR-13 cm Fe | 1,87 | 2,31 | 1,69 | 36,7 |
| HPRR-12 cm Lucite | 0,55 | 1,18 | 0,87 | 35,6 |
| HPPR- 5 cm Fe* | 2,22 | 2,85 | 2,18 | 23,5 |
| HPRR-20 cm beton* | 0,54 | 0,79 | 0,47 | 68,1 |
| CRAC | 2,94 | 6,15 | 5,18 | 19,3 |
| CRAC-20 cm beton | 2,71 | 4,81 | 3,22 | 49,3 |
| Viper | 5,24 | 7,02 | 2,73 | 158,0 |
| RB | 3,62 | 6,70 | 3,16 | 112,0 |

veličina greške je čak i pod zamišljenim idealizovanim uslovima u nekim spektrima bila veća od 50%, odnosno od vrednosti koja se toleriše 48 h posle ozračivanja.

(n+gamma) DOSE EVALUATION I NUCLEAR ACCIDENTS BY USING BLOOD SODIUM ACTIVATION AND PERSONNEL GAMMA DOSIMETERS

This paper represents the results of investigation of the possibility of total dose evaluation in case of an accident by using blood sodium activation and data registered by personnel gamma dosimeters. Sodium activity per unit neutron dose was determined for neutron spectra arising at different nuclear installations. Gamma doses registered on phantoms were compared with the corresponding values in air. The results are used to evaluate the minimal error in accidental dose evaluation if the radiation field is not known.

REFERENCE

1. SandersF.W.,Auxier J.A. Health Physics 8 (1962) 371
2. Jones T.D., ORNL-3849 (1966) 163
3. Mc Guire S.A., LA-3721 (1967)
4. Delafield H.J., AERE-R-7728 (1974)
5. Cross W.G., Health Physics, u štampi
6. Trajković M., et al. Advances in Phys.Biol.Rad.Det.,Proc.Symp. Vienna 1971, str 697
7. Mirić I., et al.Neutron Monitoring for Rad.Prot.Purp, Proc,Symp. Vienna,Vol.2, IAEA (1973) 273
8. Ubović Ž. et al VIII Simp.JDZZ, Herceg Novi, 1975,137
9. Ubović Ž., Mirić I., Proc Symp Rad.Prot. Monitoring IAEA (1979) 15
10-14 Izveštaji sa medjunarodnih interkomparacija
15. Delafield H.J. et al AERE-R-9657 (1980)
16. ICRP Publication 23, Pergamon Press, 1974 str.290
17. Ubović Ž. Mirić I., Metrologija br.2-3 (1976) 11

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

Milivojević Katarina, Stojanović Dragoslav i Marković Petar
Laboratorija za medicinsku zaštitu Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Institut za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta - Kragujevac

# PROCENA APSORBOVANIH DOZA U USLOVIMA EKSTERNE I INTERNE KONTAMINACIJE ORGANIZMA RADIONUKLIDIMA

U eksperimentalnim uslovima kontaminacije kože i kožne povrede radionuklidima vršena je procena stepena lokalnog ozračivanja u regiji izvedene dekontaminacije i apsorbovanih doza u organima selektivnog nakupljenja pomoću matematičkih modela i tkivnoekvivalentnih termoluminiscentnih dozimetara. Procena apsorbovanih doza zasnivala se na koncepciji da u adekvatnoj analizi efekta izvedene dekontaminacije, kao najefikasnije mediko-profilaktičke mere od lokalnog i opšteg ozračivanja, treba voditi računa o ukupnom telesnom sadržaju prodrlog radionuklida, selektivnom nakupljanju u kritičnim organima ili tkivima i o rezidualnoj radioaktivnosti u dekontaminiranoj regiji.

U oblasti zaštite od zračenja mnogi nerešeni problemi vezani su za spoljašnju i unutrašnju kontaminaciju, nastalu prodiranjem radionuklida preko različitih kontaktnih barijera, zatim za aspekte radijacione dozologije i uopšte procenu radijacionog rizika. Specifični problemi su vezani za utvrdjivanje karaktera i nivoa kontaminacije, procenu apsorbovanih doza i odgovarajućeg rizika od radioaktivne kontaminacije. Brzo izvedena i adekvatna dekontaminacija predstavlja u praksi najefikasniju profilaksu štetnih posledica kontaminacije. Procema apsorbovanih doza primenom matematičkih modela i termoluminiscentnih dozimetara zavisila je od mogućnosti detekcije i sprovodjene koncepcije u našem radu, da u relevantnoj proceni efekta dekontaminacionog tretmana treba voditi računa o ukupnom telesnom sadržaju prodrlog radionuklida, selektivnom nakupljanju u kritičnim organima ili tkivima i rezidualnoj radioaktivnosti u dekontaminiranoj lokaciji (1,2).

---

Tehnički saradnici Radosav Sapundžić i Ružica Kostić

METODOLOGIJA RADA

Ogledne životinje.- Za oglede su korišćeni beli pacovi, mužjaci, telesne težine oko 2oo g, iz zapata Farme laboratorijskih životinja Instituta "Boris Kidrič" - Vinča.

Uslovi kontaminacije.- Kontaminacija je izvodjena nanošenjem na obeleženu površinu kože od 5 $cm^2$ ili cirkumskriptnu povredu kože prečnika o,5 cm rastvora $NaJ^{131}$, radioaktivnosti 1,85 x M Bq. Vrednost pH rastvora je iznosila 7,o. Radiojod je bio u kontaktu sa kožom ili kožnom ranom 1o i 3o minuta.

Dekontaminacioni tretman.- Dekontaminacija kože je vršena lokalnom obradom a tretman radiomiksta je bazirao na akciji ispiranja pomoću vakum sistema. Kao materija za dekontaminaciju služio je 1‰ rastvor toaletnog sapuna.

Tehnike merenja.- Merenja su obuhvatala:

a) Ukupni telesni sadržaj prodrlog radionuklida i nivo zaostale aktivnosti u dekontaminiranim lokacijama mereni su na adaptiranom brojačkom uredjaju za kontrolu ukupne telesne aktivnosti kod malih oglednih životinja, čiji je detektor beta-gama scintilacionog uredjaja kristal NaJ, prečnika 2 inča.

b) Za merenje radioaktivnosti uzoraka i tkiva korišćen je Automatic Gamma Counting Systems 1197-Searle, sa kristalom NaJ od 3 inča.

c) Direktna procena apsorbovanih doza vršena je pomoću tkivnoekvivalentnog termoluminiscentnog dozimetra na bazi magnezijum borata, proizvedenog u Institutu za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine IBK-Vinča (3), gde je i vršeno očitavanje doza. Izbor TLD su uslovile njegove karakteristike u pogledu mernog opsega i mogućnosti jednostavne primene u proceni apsorbovanih doza kod različitih tipova r-kontaminacije i dekontaminacije. TLD je korišćen za procenu apsorbovanih gama doza od radiojoda, a u kontaktu sa kontaminiranom barijerom bio je 3 h.

Osnovne formule za izračunavanje apsorbovanih doza. Za izračunavanje jačine doze uslovljenu beta emiterima u tkivu, neophodno je poznavati koncentraciju aktiviteta u tkivu i energiju čestica. Pri izračunavanju koristi se srednja beta energija čestica, koja je približno 1/3 maksimalne energije beta čestica. Za izračunavanje jačine doze od beta emitera korišćena je formu-

TAB br. 2. Specifična aktivnost i jačina doze beta zračenja kod tireoidne i ekstratireoidne inkorporacije radiojoda

| Tkivo | Specifična aktivnost ( MBq/kg) | Jačina doze ( uGy/s ) |
|---|---|---|
| Tireoideja | 342,4 | 11,oo |
| Krv | 15,5 | o,5o |
| Jetra | 5,o | o,16 |
| Bubrezi | 9,3 | o,3o |
| Slezina | 7,3 | o,23 |
| Srce | 5,4 | o,17 |
| Mišići | 9,8 | o,31 |
| Koža | 31,2 | 1,oo |

3. Merenje apsorbovane gama doze.- Na tabeli 3 date su vrednosti izmerenih doza u in vivo uslovima pomoću termoluminiscentnih dozimetara (TLD) kod izvedene dekontaminacije kože i radiomiksta.

TAB br. 3. Srednja apsorbovana gama doza u dekontaminiranoj regiji kože i rane pri kontaminaciji radiojodom

| Barijera | Kontaminacija (min.) | Kontakt TLD sa dekontaminiranom regijom (min.) | D o z a ( uGy ) |
|---|---|---|---|
| Koža | 1o | 18o | 59o |
| Rana | 1o | 18o | 36o |

Inicijalna aktivnost iznosila je 1,85 MBq, a izmerena doza TLD-om bila je 3,6 mGy.

Na tabeli 4 prikazana je u funkciji vremena akumulacija radiojoda merenjem pomoću TLD koji je postavljen nad štitastom žlezdom neposredno posle dekontaminacije radiomiksta izvedene 2 časa nakon kontaminacije.

TAB br.4. Akumulirana doza nad štitastom žlezdom u funkciji vremena kontakta

| Vreme merenja (čas) | Izmerena doza pomoću TLD (mGy) |
|---|---|
| 2 | o,11 |
| 6 | o,26 |
| 24 | 1,22 |

la po Buldakovu i Moskalevu (4), čija konverzija u jedinice SI daje sledeći izraz:

$$\dot{D}_{beta} = \bar{E} \cdot C \text{ (Gy/s), gde je}$$

$\bar{E}$ - srednja energija beta čestica po raspadu, J

C - koncentracija aktivnosti radionuklida, Bq/kg.

Za izračunavanje apsorbovane doze od beta emitera prisutnog u tkivu koristi se formula:

$$D_{beta} = 1{,}44 \cdot \bar{E} \cdot C_o \cdot T_{ef} \cdot \left(1 - e^{-\frac{0{,}693 \cdot t}{T_{ef}}}\right) \text{ greja,}$$

gde je

$\bar{E}$ - srednja energija beta čestica, J

$C_o$ - početna koncentracija aktivnosti radionuklida, Bq/kg

$T_{ef}$ - efektivno vreme polueliminacije radionuklida, s

t - vreme za koje se izračunava doza.

REZULTATI I DISKUSIJA

Dobijeni rezultati sistematizovani su u sledeća poglavlja:

1. Efekat dekontaminacije.- Na tabeli 1 dat je prikaz efikasnosti dekontaminacije kože i rane kontaminirane radiojodom, koja je procenjivana na osnovu ukupnog telesnog sadržaja prodrlog radionuklida i rezidualnih aktivnosti u dekontaminiranoj regiji.

TAB br. 1. Efikasnost dekontaminacije normalne kože i ekscizione kožne rane kontaminiranih radiojodom ( u % nanete radioaktivnosti)

| Barijera | Radioaktivnost u telu | Radioaktivnost u tretiranoj zoni | Efikasnost dekontaminacije |
|---|---|---|---|
| Koža | 1,66±0,51 | 19,16±1,89 | 79,18±1,89 |
| Rana | 51,57±9,15 | 13,02±2,94 | 35,41±9,15 |

- Dekontaminacija izvedena 10 minuta nakon kontaminacije.
- Svaka ogledna grupa je brojala po 20 životinja.

2. Distribucija radiojoda u tkivima i organima.- Na tabeli 2 prikazana je specifična aktivnost radiojoda i jačina beta doze.

Dobijeni rezultati pokazuju da na efikasnost primenjene dekontaminacije u uslovima kontaminacije normalne kože radiojodom utiče u prvom redu zaostala aktivnost u dekontaminiranoj lokaciji, dok kod radiokontaminovane povrede su od većeg značaja količine prodrlog radionuklida u organizam.

Stepen tireoidne inkorporacije radiojoda i apsorbovane dozu pri kontaminaciji kožne povrede su od značaja sa aspekta dopustivih doza (5). Uzimajući u obzir da su izračunate doze dobijene za kratak vremenski period, jasno je da nisu zanemarljive, a poznato je da je zračenje značajan mogući promotor za nastanak kancera tireoideje i da doza od o,5-o,6 Gy ima blastomogeno dejstvo (6).

Koža predstavlja značajan depo ekstratireoidne inkorporacije radiojoda, što je od posebnog značaja sa aspekta incidencije kancera kože kao dodatnog kritičnog organa.

Radijaciono-dozni aspekti kod kontaminacije organizma radionuklidima su od posebnog praktičnog značaja za procenu radijacionog rizika u profesionalnim i drugim uslovima eksponicije, kao i za ekspertizu kod radioaktivne kontaminacije i ozračivanja, a što je naročito važno ako se uzme u obzir da ne postoje opšte prihvaćene mere i jedinice za kvantitativnu ocenu rizika.


## A b s t r a c t

EVALUATION OF THE ABSORBED DOSES IN CONDITIONS OF EXTERNAL CONTAMINATION WITH RADIONUCLIDES. In experimental conditions of contamination with radionuclides of the skin and skin injuries, an evaluation of the degree of local irradiation in decontamined region and doses absorbed in organs of selective accumulating was carried out by use of mathematical models and tissue-equivalent thermoluminiscent dosimeters. The evaluation of the absorbed doses based on conception, that in adequate analyses of decontamination effect, as a most efficient medico-prophilactic measure from local and total irradiation, should be taken account the total body burden of the penetrated radionuclide, selective accumulating in critical organs or tissues, as well as the residual radioactivity in decontamined region.

LITERATURA

1. Milivojević K., Stojanović D., III European IRPA Congress, L-1, Amsterdam, 1975.

2. Stojanović D., Milivojević K., VI International Congress of Radiation Research, Tokyo, 1979.

3. Prokić M., Zbornik radova X simp. JDZZ, s.247, Arandjelovac, 1979.

4. Buldakov L.A., Moskalev Y.I., Problemi raspredelenija i eksperimentalnoj ocenki dopustimih urovnej $^{137}Cs$, $^{90}Sr$ i $^{106}Ru$, Atomizdat, Moskva, 1968.

5. ICRP Publication 26, Pergamon Press, 1977.

6. Letavet A.A. i sot., Materiali po toksikologii radioaktivnih veščestv (J-131), Medicina, Moskva, 1972.

XI Jugoslavenski simpozij o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981

Dvornik Igor i Milutin Živadinović
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# ODNOS IZMEĐU DOZE IZMJERENE NA POVRŠINI TIJELA I DJELOVANJA ZRAČENJA NA ČOVJEKA U REALNO MOGUĆIM UVJETIMA OZRAČENJA NEUTRONIMA I FOTONIMA

Ako svaki dio tijela primi jednaku dozu gama zračenja između 3,5 i 3,8 Gy i ne bude liječenja vjerojatnost smrti u čovjeka je 50%. Ako je raspodjela doze po tijelu neravnomjerna doza 50% smrtnosti je veća, to veća što je veća razlika maksimalne i minimalne doze. Pri ozračenju neutronima stupanj neravnomjernosti raspodjele doze po tijelu je u pravilu veći. Maksimalna doza, koja se mjeri dozimetrom na površini tijela, će zato u pravilu biti manje opasna pri ozračenju neutronima nego pri ozračenju gama zračenjem kadgod se opasnost procjenjuje težinom pojava akutne radijacione bolesti. Izlažu se savremena saznanja o odnosu doza-efekt pri realno mogućim uvjetima ozračenja neutronima i fotonima u akcidentalnim i vanrednim uslovima.

Primjena jakih izvora zračenja u medicini, industriji i energetici razvija se uz mjere sigurnosti i zaštite koje rizik ozračenja čovjeka smanjuju na minimum. Radijacione nezgode (akcidenti) se ipak ne mogu sasvim isključiti ma koliko malo bile vjerojatne. Za čovječanstvo je veći rizik nuklearno oružje. Ranije su to bile bombe ogromne snage sposobne da letalnim dozama gama zračenja radioaktivnih padavina ugroze čovjeka na površini oko hiljadu kvadratnih kilometara. Toj opasnosti se danas i u budućnosti sve više dodaje rizik primjene nuklearnog oružja "male" snage sa dominantnim radijacionim djelovanjem neutrona i gama zračenja same nuklearne eksplozije, zanemarljivim (za ratne uvjete) rizikom radioaktivne kontaminacije teritorija i relativno jako smanjenim djelovanjem udarnog vala i topline. Predmet ovog rada je problem prognoze posljedica ozračenja na osnovi dozimetrijskih informacija lične dozimetrije koje se mogu dobiti u prvim satima poslije ozračenja. Takva rana prognoza posebno je značajna u slučaju nuklearnih akcidenata velikih razmjera i nuklearnih katastrofa, a ona se ne može zasnivati na starim i opće poznatim saznanjima o odnosu doza-efekt za akutno kratkotrajno ozračenje cijelog tijela (doza 50% smrtnosti je 3,5 do 3,8 Gy ako je svaki dio tijela primio istu dozu;

u literaturi je najčešće prisutan podatak za ekspozicionu dozu gama zračenja 450 R što odgovara 0,116 C $kg^{-1}$ po SI sistemu). Rana prognoza težine radijacione bolesti potrebna je prije svega liječnicima da bi mogli racionalno i brzo rasporediti snage za pomoć ozračenima, a i zato da bi mogli ohrabriti one koji nisu ugroženi, a mogli bi biti zahvaćeni panikom. U malo vjerojatnim, ali mogućim najtežim situacijama nezgode s nuklearnim oružjem ili njegove ratne primjene prijeko su potrebne krajnje jednostavne, ali ipak što je moguće točnije upute koje će pomoći da se ispravno planiraju kapaciteti za medicinsko zbrinjavanje velikog broja ozračenih, da se predvidi raspoloživo ljudstvo fizički sposobno za akcije spasavanja i akcije osposobljavanja zajednice za život i rad. U uvjetima katastrofe tačno planiranje znači ekonomiju snaga, a osnovni kriterij za metode kojima se dobivaju podaci je jednostavnost postupka. Zato i sama lična dozimetrija i uputstvo o postupku,kojim se sirova dozimetrijska informacija tumači i pretvara u podatak o statistički najvjerojatnijoj prognozi posljedica ozračenja mase ljudi, moraju biti jednostavni. Idealno rješenje ovog zadatka ne postoji, ali savremena naučna dostignuća omogućuju da se upotrebivo rješenje postigne na osnovi objavljenih podataka, te da se ono u budućnosti dalje usavršava primjenom novih naučnih rezultata.

PROBLEM

Ozračenje čovjeka jednakom dozom po svim dijelovima tijela nije moguće zbog ekranirajućeg efekta samog tijela. Pri ozračenju na radioaktivno kontaminiranom zemljištu gdje gama zračenje na tijelo pada slobodno sa svih strana, doza u osi tijela je za 20% manja od one na površini. Eksperimenti i proračuni preživljenja na psima (1) su pokazali da i tako neznatna neravnomjernost ozračenja znatno povećava šansu preživljenja: pri idealno ravnomjernom ozračenju dozom 3 Gy(300 rad) preživjelo bi 10% pasa, dok pri realnom ozračenju dozom 3 Gy na površini tijela uz 15% manju dozu u osi tijela (2,55 Gy) preživljava 25% pasa! Isti rad pokazuje da doza 50% smrtnosti ($LD_{50}$) pri ozračenju pasa s boka uz koeficijent neravnomjernosti ($K_n$), tj. omjer maksimalne i minimalne doze, jednak 3 raste za faktor 2,3, pa je $LD_{50}$ = 6 Gy (uz $K_n$=3); pri $K_n$= 5 $LD_{50}$ je 8,75 Gy, odnosno 3,3 puta više nego pri idealno ravnomjernom ozračenju. Slična opsežna ispitivanja na štakorima (2), kao i ispitivanja na drugim životinjama pokazala su vrlo slični odnos $K_n$ i faktora povećanja doze određenog biološkog efekta zračenja, odnosno (što je isto) indeksa smanjenja efekta (I). Tako je preživ-

ložena empirijska formula koja na osnovi eksperimenata s životinjama raznih vrsta ekstrapolacijom pokušava predvidjeti ponašanje ljudskog organizma (3):

$$D_r = D_n \cdot 0{,}2^{1-1/K_n} \quad (i \quad I = A^{1-1/K_n} \ (2))$$

U ovom izrazu je $D_r$ doza ravnomjernog ozračenja koja daje isti biološki efekt kao doza neravnomjernog ozračenja $D_n$ (tj. maksimalna doza na površini organizma) kada je koeficijent neravnomjernosti jednak $K_n$, a doza od $D_n$ do minimuma pada eksponencijalno. Pri ozračenju pasa gama zračenjem ili X zračenjem je pokazano da za $K_n$ do 5 radijacionu bolest i preživljenje određuje isključivo oštećenje krvotvornog tkiva (1). "A"(izraz u zagradi) je brojčani koeficijent. Među značajnim tipovima ozračenja čovjeka letalnim dozama fotona prevladavaju fotoni visoke energije (gama zračenje kobalta-60, fotoni neposrednog zračenja nuklearne eksplozije ili zračenja nadkritičnih konfiguracija fisionog materijala), pa $K_n$ samom atenuacijom fotona u tijelu ne bi mogao poprimiti vrijednosti veće od 3. Pri akcidentalnim ozračenjima dešava se međutim da je izvor zračenja vrlo blizu tijela, pa $K_n$ može jako narasti zbog jake divergencije snopa zračenja (brzina doze pada s kvadratom udaljenosti). U tim slučajevima se značajnije ozrači jedna osoba, a ozračenje ima lokalni karakter, pa nije predmet našeg razmatranja. Prema tome fotoni ne bi predstavljali težak problem baš u slučaju koji može masovno ugroziti čovjeka: kontaminirano zemljište, radioaktivni oblak plinova iz nuklearnog reaktora, gama zračenje eksplozije. Tip zračenja i $K_n$ mogu tu biti dosta točno poznati.
Neutronska komponenta zračenja nuklearnih eksplozija predstavlja daleko teži problem. Fisioni neutroni svih spektara gube u tkivu vrlo naglo svoju energiju, pa je i pad doze po dubini strm, ali je RBE tih neutrona na nivou ozračenih stanica tkiva veći. Neutroni viših energija, koji čine degradacione spektre izvornih neutrona termonuklearnog porijekla, sporije gube energiju, ali im je i RBE manji. Tabela 1 pokazuje pad kerme neutrona (tj. komponente ukupne neutronske doze koja ima visoki RBE i sastoji se od doze svih teških nabijenih čestica nastalih djelovanjem neutrona) i fotonske komponente neutronske doze($D_g$) po dubini organizma. Vidi se da neutroni niske energije (dakle i reflektirani višekratno raspršeni neutroni) ozračuju česticama visoke biološke efektivnosti samo površinski sloj tijela, te poslije termalizacije reakcijom H(n,gama)D doprinose povećanju gama doze (u tabeli: $D_g$). U tabeli (posljednji redak) je posebno data atenuacija doze gama zračenja same fisije s fotonima kratkoživućih produkata fisije. Ti fotoni

TABELA br. 1: Raspodjela kerme neutrona (K) i doze gama zračenja ($D_g$)* po dubini tijela pri ozračenju iz jednog smjera monokromatskim neutronima; posljednja dva retka daju raspodjelu za zračenje fisione eksplozije u zraku.

| Tip zračenja i energija (E/MeV) | Oznaka komponente doze | Dubina u tijelu/cm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 6 | 14 | 24 |
| Neutroni E = 0,5 | K | 100** | 20 | 0 | 0 |
| | $D_g$ | 13 | 19 | 11 | 3 |
| Neutroni E = 1,0 | K | 100 | 30 | 2,5 | 0 |
| | $D_g$ | 9 | 15 | 9 | 2,5 |
| Neutroni E = 2,5 | K | 100 | 67 | 15 | 4,3 |
| | $D_g$ | 7,5 | 13,5 | 13 | 6,5 |
| Neutroni E = 5,0 | K | 100 | 85 | 41 | 16,5 |
| | $D_g$ | 6,1 | 10 | 10,2 | 6,1 |
| Neutroni E = 10 | K | 100 | 85 | 63 | 37 |
| | $D_g$ | 4,1 | 7,5 | 9 | 5,5 |
| Neutronska komponenta doze od fisione eksplozije u atmosferi*** (2,5) | | 100 | 22-38 | 8-25 | 30 |
| Direktno gama zračenje fisije i kratkoživućih produkata fisije (2) | | 100 | 80-95 | 60-75 | 40-60 |

* $D_g$ je gama komponenta neutronske doze nastala interakcijom fotona energije 2 MeV koji se emitiraju pri reakciji H(n,gama)D. Podaci u tabeli za monokromatske neutrone su iz priručnika (4).

** Svi podaci za K i $D_g$ normalizirani su prema K = 100 na dubini 0.

*** Podaci su iz dva različita izvora (2,5); veće vrijednosti vjerojatno uključuju i $D_g$. Pri atmosferskoj nuklearnoj eksploziji znatna je uloga raspršenih neutrona i otuga veća doza straga (d=24)

imaju visoku energiju i prodornost, pa je $K_n$ oko 2. Podaci u tabeli za monokromatske neutrone dobiveni su računski za tkivu ekvivalentni fantom eliptičnog presjeka (24x36 cm) i beskonačne visine. Široki paralelni snop neutrona pada okomito na os eliptičnog cilindra u pravcu male osi elipse. Tako je dubina 24 cm u tabeli istovremeno i stražnja površina fantoma, a ovakav smjer ozračenja modelira po dimenzijama ozračenje odraslog čovjeka u smjeru od grudiju ka leđima ili obrnuto. Račun je obavljen metodom "Monte Carlo"

Zračenje nuklearne eksplozije, pa i one termonuklearnog tipa ("neutronske bombe"), ovdje razmatramo samo za slučajeve gdje je preživljenje moguće, dakle za ozračenje čovjeka na znatnim udaljenostima od centra eksplozije. Fisioni neutroni na tim udaljenostima dosti'u tako zvani "ravnotežni" energetski spektar sa srednjom energijom neutrona ispod 1 MeV. Tako neutronska kerma direktnih neutrona fisije i onih raspršenih, kao i njihova ugaona raspodjela, te njihova atenuaciona svojstva mogu da se dovoljno točno proračunaju. Spektar neutrona iz termonuklearnog izvora s početnom energijom 14 do 15 MeV mijenja se stalno s udaljenošću od centra eksplozije, i to različito u zavisnosti od odnosa tlo-atmosfera. Tu imamo stalno superpoziciju izvorne energije i degradiranih ili reflektiranih spektara i samo velikim radom možemo očekivati da ćemo uspjeti svesti moguće varijante ozračenja i dubinske raspodjele neutronske kerme na dovoljno jednostavni zajednički nazivnik. Prolazom kroz debele slojeve materijala (beton, zemlja) ovi neutroni se po energetskom spektru sve više približavaju fisionom spektru (6).
Postavljaju se slijedeći problemi:
(a) u kojoj se mjeri realni i po mjeri rizika najznačajniji fizikalni uvjeti ozračenja mogu svesti na tipične grupe;
(b) u kojoj mjeri to svođenje na mali broj tipičnih grupa može biti pojednostavnjeno kompenzacionim efektom bioloških djelovanja pojedinih faktora (npr. smanjenjem energije se povećava biološka efektivnost doze neutrona, ali se istovremeno povećava $K_n$ i time smanjuje biološka efektivnost iste doze na nivou cijelog organizma);
(c) kako se biološka efektivnost površinske doze (= maksimalne doze), izmjerene dozimetrom kao ukupna doza neutrona i gama zračenja, mijenja s promjenom upadnog neutronskog spektra i promjenom omjera neutronske kerme prema ukupnoj gama dozi;
(d) kako neravnomjernost ozračenja u raznim svojim varijantama djeluje na opću biološku efektivnost zračenja (npr. superpozicija ozračenja jednim tipom zračenja odsprijeda i drugim odostrag);
(e) kako primijeniti postojeće i kako razvijati daljnje matematsko-dozimetrijske modele potrebne za ispitivanje, razvoj i testiranje uputstava za pojednostavljeno interpretiranje ličnih dozimetrijskih informacija i za prognoziranje posljedica ozračenja.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Našu sposobnost ili nesposobnost da djelujemo u slučaju velike nuklearne nezgode ili nuklearne katastrofe danas karakterizira osnovna činjenica da imamo odličan dozimetar ali nemamo dozimetriju.

Pod pojmom dozimetrija ovdje podrazumijevamo opću sposobnost da sirove dozimetrijske informacije u rutinskoj masovnoj praksi prevedemo u podatke koje praktičari-operativci direktno koriste u svom radu na zaštiti i zbrinjavanju ljudi i u organiziranju života ugrožene društvene zajednice.

Nešto malo šturih ili zastarjelih uputa koje se nalaze u postojećoj priručnoj literaturi ne daju nikakvu pomoć ili čak daju pogrešne sugestije. Prema tome, bolje bi bilo imati nekakve nego nikakve priručnike i uputstva. Zadatak je dakle iskoristiti postojeća objavljena znanja rasuta po naučnoj literaturi i izraditi koncepciju i uputstva za zaštitu stanovništva i tretman ozračenih onoliko dobro koliko je to danas moguće.

Najnoviji sintetski radovi I.B. Keirim-Markusa i saradnika ukazuju na neke od puteva kojima u ovom naporu treba krenuti (3,6).

ABSTRACT

The dominant factor governing the effect of acute irradiation at lethal dose levels is the distribution of dose inside the organism and over critical organs. The maximum dose,as measured on the body surface with an accident or emergency dosimeter, may in case of neutrons be less efficient than the same tissue dose of gamma rays. Problems connected with interpretation of personal dosimetry data in terms of probable biological consequences are discussed.

LITERATURA

(1) GOZEMBUK V.L. i I.B. KEIRIM-MARKUS, Radiobiologija 17,6(1977)936
(2) "Biologičeskie effekty neravnomernyh lučevyh vozdejstvij", redaktor N.G. Darenskaja, Atomizdat, Moskva, 1974 (vidi i I.DVORNIK u zborniku radova III Ljetne škole zaštite od zračenja, Herceg Novi, 1976, str. 360),
(3) "Ekvidozimetrija", autor I.B. Keirim-Markus, Atomizdat, Mos.1980,
(4) "Tkanevye dozy nejtronov v tele čeloveka", priručnik, autori: Zolotuhin V.G., Keirim-Markus I.B. i dr., Atomizdat, Mos. 1972,
(5) BECKER K., u "Radiological protection of the public in a nuclear mass disaster"(Proc. Symp., Interlaken, Switzerland, 1968), Fachverband für Strahlenschutz, Bern, 1968,
(6) "Dozovaja nagruzka na čeloveka v poljah gamma-nejtronnogo izlučenija", autori: Gozembuk V.L., Keirim-Markus I.B. i dr., Atomizdat, Moskva 1978

XI jugoslavenski simpozij o zaštiti od zračenja
Portorož, 21 - 24.4.1981.

I. Dvornik, S. Miljanić, M. Ranogajec-Komor, M. Antić
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# KALIBRACIJA POLJA n+gama ZRAČENJA POMOĆU KEMIJSKOG DOZIMETRA DL-M3

Problem eksperimentalnih ozračivanja na ciklotronu je nehomogena raspodjela doza u prostoru. Polja n+gama zračenja iz reakcije $^{27}Al(d,n)$ na ciklotronu Instituta "Ruđer Bošković" (srednja energija neutrona 5 MeV) kalibrirano je pomoću kemijskog dozimetra DL-M3. Istovremeno - i u svakom ozračivanju - baždaren je kemijski dozimetar prema tkivu ekvivalentnoj ionizacijskoj komori. Slaganje doza izmjerenih kemijskim dozimetrom i ionizacijskom komorom je unutar 3.5%. Rezultati kalibracije pokazuju da se u svakom pojedinom ozračivanju u ciklotronu može odrediti raspodjela doza pomoću dozimetra DL-M3.

Za dobivanje neutronskog snopa na ciklotronu Instituta "Ruđer Bošković" koristi se unutarnji snop deuterona energije 14-15 MeV koji pada na intenzivno hlađenu metu iz aluminija. Meta se nalazi u vakuumskoj komori ciklotrona, a uzorci koji se žele ozračivati neutronima mogu se postaviti samo izvan te komore na udaljenostima od mete većim od 1 m. Tako snop neutrona polazeći od mete do uzorka prolazi kroz relativno debele metalne zapreke nejednaka debljina kojih stvara u polju zračenja nehomogenosti po dozi i energiji neutrona. Ovo je zahtijevalo da se uradi detaljna dozimetrijska topografija polja zračenja u ravninama okomitim na smjer neutrona na raznim udaljenostima od mete. Za taj zadatak stajao je na raspolaganju lični dozimetar DL-M3 koji je prethodno već bio kalibriran u neutronskim snopovima različite energije (1), te je unutar greške mjerenja pokazao isti odziv za gama fotone i neutrone za istu tkivnu dozu.

DL-M3 je prethodno orijentaciono kalibriran posebno baždarenom tkivu ekvivalentnom ionizacionom komorom,/u daljnjem tekstu TE komora/ (2), proizvod C.E.N. Fontenay aux Roses, Francuska, signal koje je interpretiran prema ICRU Report No. 26. Pritom je

gama komponenta ukupne doze posebno mjerena ionizacionom komorom Mg/Ar.

Za mjerenje homogenosti polja u horizontalnom smjeru (Slika 1.) izabrano je polje na 140 cm od mete i 35 cm desno od osi snopa (gledano prema meti) dimenzija 15 (horizontalno) x 10 cm. Polje je prekriveno s 9 vertikalno stojećih penkala dozimetara tako da je između četvrte i pete penkale smještena jedna (položaj A), a između pete i šeste penkale druga ionizaciona komora (položaj B). U takvoj konfiguraciji obavljena su četiri eksperimenta, a rezultati su grafički prikazani na Slici 1. Pravci su dobiveni metodom najmanjih kvadrata iz doza očitanih s DL-M3 na različitim udaljenostima. Točnost interpolirane doze je u sva 4 eksperimenta unutar ± 5 cGy.

U petom, šestom i sedmom eksperimentu (TAB br. 1) ispitivana je homogenost polja po vertikali, tako da je na istom mjestu u snopu zračenja poredano 10 DL-M3. Penkale su ležale horizontalno, a ionizacione komore smještene su, polazeći odozgo, poslije četvrte i pete penkale. Zbog kvara elektronike nismo dobili rezultate za ionizacione komore u šestom i sedmom eksperimentu.

TAB br. 1 Vertikalna raspodjela doza

| Udaljenost od centra snopa po vertikali (cm) | Dozimetar | $D_{n+gama}$ (cGy) u eksperimentima broj: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 6 | 7 |
| + 6.9 | DL-M3 | 375 | 381 | 369 |
| + 5.6 | DL-M3 | 387 | 388 | 374 |
| + 4.4 | DL-M3 | 374 | 400 | 386 |
| + 3.1 | DL-M3 | 391 | 400 | 373 |
| + 1.5 | Mg-komora | 31 | - | - |
| 0 | DL-M3 | 394 | 408 | 398 |
| - 1.5 | TE-komora | 398 | - | - |
| - 3.1 | DL-M3 | 396 | 397 | 390 |
| - 4.4 | DL-M3 | 394 | 389 | 394 |
| - 5.6 | DL-M3 | 393 | 394 | 399 |
| - 6.9 | DL-M3 | 379 | 391 | 398 |
| - 8.1 | DL-M3 | 394 | 385 | 394 |
| Srednja vrijednost svih DL-M3 | | 388 | 393 | 386 |

Tabela 2 prikazuje zbirne rezultate za usporedbu referentne doze i doze DL-M3.

TAB br. 2 Zbirni rezultati usporedbe referentne doze i doze DL-M3

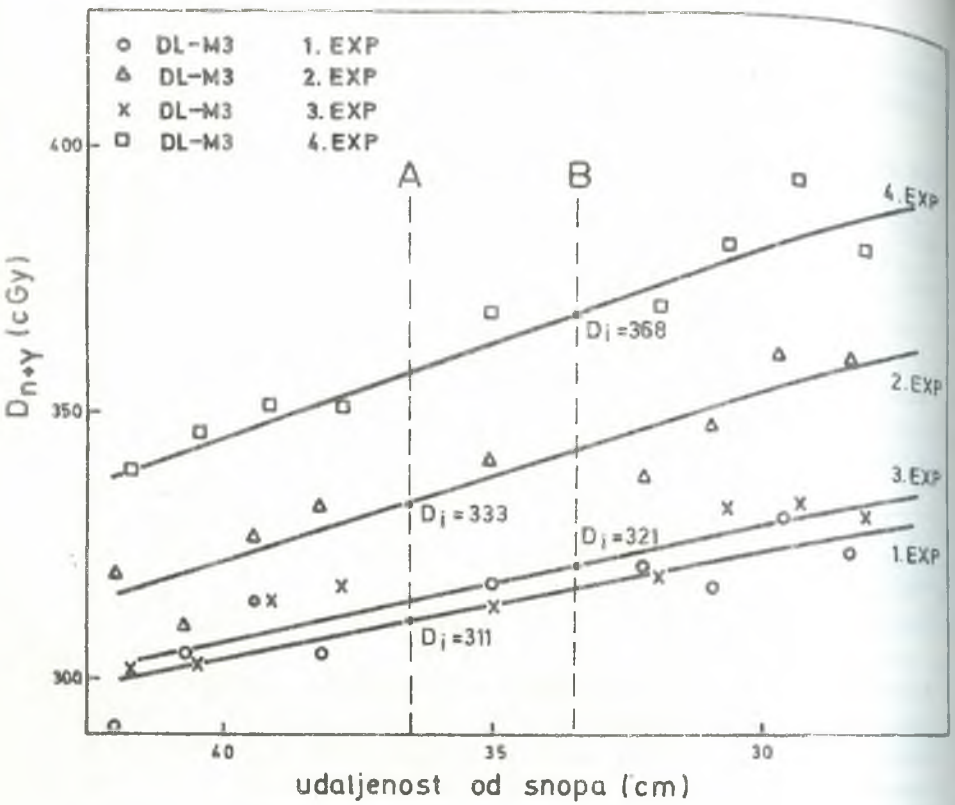
| Red. br. eksp. | Referentne doze (cGy) | | | $D_{n+gama}$ izmjerene s DL-M3 (cGy) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $D_n^*$ | $D_{gama}$ | $D_{n+gama}$ | iz grafičke interpolacije ($D_i$) | kao aritmetička sredina |
| 1 | 295 | 15 | 310 | 311 | 319 |
| 2 | 295 | 28 | 323 | 333 | 337 |
| 3 | 304 | 18 | 322 | 321 | 318 |
| 4 | 362 | 21 | 383 | 368 | 367 |
| 5 | 367 | 31 | 398 | 388 | 388 |
| Srednja vrijednost | 324 | 23 | 347 | 344 | 346 |

* $D_n$ je ovdje doza težih nabijenih čestica (i protona uzmaka)

Mjerenje ionizacionim komorama imala su funkciju referentnog mjerenja doze radi povećanja točnosti kalibracije DL-M3. Slaganje rezultata dobivenih doza iz DL-M3 s TE-komorom je unutar 3.4 % kada se koriste rezultati grafičke interpolacije, a unutar 4.4 % kada se koriste srednje vrijednosti očitanja dozimetara. Ovako dobro slaganje omogućuje da se za eksperimente na ciklotronu kao referentni dozimetar koristi DL-M3.

CALIBRATION OF n+gamma RADIATION FIELD BY CHEMICAL DOSIMETER DL-M3

Inhomogeneous dose distribution presents a problem in irradiation experiments with cyclotron. Mixed n+gamma radiation field of $^{27}Al(d,n)$ reaction of the "Ruđer Bošković" Institute's cyclotron (mean neutron energy 5 MeV) was calibrated with the chemical dosimeter DL-M3. Simultaneously the chemical dosimeter was calibrated against a tissue-equivalent ionization chamber in each irradiation. The doses measured by the chemical dosimeter and ionization chamber agree to within 3.5%. The results show that dose distribution in each cyclotron irradiation can be readily determined by the use of DL-M3.




Slika 1. Horizontalna raspodjela doza

LITERATURA


1. I. Dvornik, M. Živadinović, S. Miščević, U. Zec, D. Ražem, F. Ranogajec, Zs. Makra, T. Pàlfalvi, Proc. of the Fourth Tihany Symposium on Radiation Chemistry, Keszthely, 1976. (Ed. P. Hedvig, R. Schiller), Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977.p.295
2. M. Antić, Magisterski rad, 1979.
3. Neutron Dosimetry for Biology and Medicine, ICRU Report 26, Washington, 1977.

XI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA-PORTOROŽ, 1981.

Vesna Švarcer
Zavod za fiziku i Zavod za nuklearnu medicinu,
Medicinski fakultet Rijeka

# OGRANIČENE MOGUĆNOSTI INTERNE DOZIMETRIJE

Radioaktivni izotopi imaju važnu ulogu u suvremenoj medicinskoj dijagnostici. Primjena radioaktivnih izotopa na sve većoj populaciji obavezuje nas da sve više vodimo računa o dozama zračenja kojima se izlažu bolesnici. Razmotrili smo pouzdanost dozimetrijskih podataka koje nalazimo u literaturi, te moguće pogreške podataka u odnosu na pojedinog bolesnika kojem dajemo aktivnost. Analizirali smo fizikalne i biološke parametre koji ulaze u račun za izračunavanje internih apsorbiranih doza. Zbog promjenjene kinetike obilježenih tvari, doze zračenja bolesnika mogu biti značajno različite od onih izračunatih za zdrave ljude.

U suvremenoj medicinskoj dijagnostici sve se više koriste radioaktivni izotopi. Kod toga se u tijelo bolesnika unosi radioaktivna tvar. Na taj način dolazi do primjene radioaktivnih izotopa na sve većoj populaciji. To nas obavezuje da neprestano činimo napore da smanjimo doze zračenja kojima se izlažu bolesnici kod dijagnostičkih postupaka.

Kod primjene radioaktivne tvari za određenu dijagnostičku pretragu, najčešće se zadovoljavamo podacima o iznosima apsorbiranih doza koje daje proizvođač, odnosno literaturnim podatkom, ne razmišljajući o pouzdanosti tog podatka, odnosno o njegovoj mogućoj netočnosti. U ovom smo radu razmotrili moguća odstupanja nominalnih iznosa internih apsorbiranih doza od onih kojima zaista izlažemo bolesnika.

## Izračunavanje internih apsorbiranih doza

Poznato je da je zračenje tkiva proporcionalno broju radioaktivnih raspada koji su se zbili u vrijeme kad se radioizotop nalazio u tkivu, za slučaj beta čestica (i niskoenergetskog gama

literaturi.

Kod davanja radiofarmaka obilježenih s kratkotrajnim radioaktivnim izotopima, utjecaj bioloških parametara je razumljivo znatno manji. Dobro je poznato da su doze zračenja kod upotrebe radioaktivnih izotopa kratkog vijeka trajanja male zbog kratke efektivne eliminacije. Pored toga, budući da je biološka eliminacija u velikoj većini slučajeva sporija od fizikalnog raspada, ranije pokazane varijacije doza zračenja zbog promjene biološke eliminacije bit će male. Nadalje može se zaključiti da će varijacije doza zračenja u patološkim stanjima, kad je poremećena kinetika radioaktivne tvari biti znatno manje pri upotrebi kratkotrajnih izotopa.

U zaključku se može reći:

1. Prije početka pretrage, kad neznamo funkcionalno stanje bolesnog čovjeka, možemo samo približno ocijeniti ozračenje bolesnika.
2. Doze zračenja kod različitog funkcionalnog stanja mogu biti deset i više puta veće od izračunatih doza.
3. Kod primjene izotopa kratkog vijeka trajanja, varijacije doza zračenja znatno su manje.

Doprinos kojeg daju radioaktivni izotopi medicinskoj dijagnostici je nesumnjiv i najčešće nenadoknadiv. No, prema svakom davanju radioaktivnih izotopa treba biti kritičan. Prije odluke o primjeni radioaktivnosti treba ocijeniti korist od učinjene dijagnostičke pretrage u odnosu na rizik oštećenja od izloženosti zračenju.

Summary

Radioactive isotopes have a growing role in the moderne medical diagnostics. The radioisotopes are applied on a part of population which can not be neglected. Because of that we have to pay more attention in administering radioactivity to patients.
We analysed physical and biological parameters which are involved calculations of doses after internal application of some most frequently used radioactive substances in nuclear medicine.
The autor concludes that biological parameters can cause big incertainities.
When one performs nuclear medicine procedure, one has to be aware that the radiation dose to patient can be much higher than the dose found in literature.

## L i t e r a t u r a

1. E.W.Emery i F.F.Fowler:"Radiation dosimetry in diagnostic procedures" u E.H. Beltcher i H.Vetter: "Radioisotopes in medical diagnosis", Butterworths, London 1971.

2. G.Gaillard, D.Ducassou i D.B.Isabelle: "Dosimetrie" u:"Traite de Medicine nucleaire", Flammarion medicine-sciences, Pariz, 1975.

3. R.Wolf:"Radiation exposure of a patient in routine clinical scintigraphic investigations" u: "Proceedings of a Symposium on medical radioisotope scintigraphy", Salzburg, IAEA, 1969.

4. G.L. Brownell, W.H.Ellett i A.R.Reddy, J. nucl.med., MIRD Suppl.1, Pamphlet No 3, 1968.

5. R.Loevinger i M.Berman, J.nucl.med. MIRD, Suppl.1, Pamphlet No 1, 1968.

6. W.S. Snyder, H.L.Fisher, M.R. Ford i G.G.Warner, J.nucl.med., MIRD, Suppl. 3, Pamphlet No 5, 1969.

## IZRAČUNAVANJE INTERNIH APSORBIRANIH DOZA ZRAČENJA

- Intenzitet ili brzina doze

$$I.D. \approx \text{Broj rad. rasp. } s^{-1} kg^{-1} \times \text{Energija}$$

- Beta doza

$$I.D._{\beta} = \text{Broj rad. rasp. } s^{-1} kg^{-1} \times \bar{E}_{\beta}$$
$$I.D._{\beta} = c \times \bar{E}_{\beta} \times s^{-1} \left[Gy\, s^{-1}\right]$$

- Gama doza

$$I.D._{\gamma} = \text{Broj rad. rasp. } s^{-1} kg^{-1} \times kE_{\gamma}$$
$$I.D._{\gamma} = c \times \Sigma_i \Delta_i \Phi_i \left[Gy\, s^{-1}\right]$$

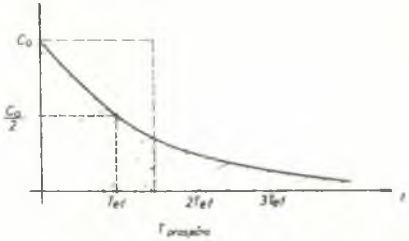
$\Delta_i$ ..... konstanta ekvilibrija apsorbirane doze

$\Phi_i$ ..... apsorbirana frakcija, dio energije koji se apsorbira u određenoj masi određenog geometrijskog oblika.

Slika 1. Intenzitet doze ili brzina doze (I.D.) proporcionalna je broju radioaktivnih raspada koji se zbivaju u jedinici vremena i energiji zračenja

*IZRAČUNAVANJE UKUPNE INTERNE APSORBIRANE DOZE*

$$U.D. = \int_0^{\infty} I.D._{\gamma,\beta}\, dt$$
$$U.D. = K \int_0^{\infty} C(t)\, dt$$
$$C(t) = C_0 e^{-\lambda_{ef} t}$$
$$\int_0^{\infty} C(t)\, dt = C_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda_{ef} t}\, dt = C_0 \frac{1}{\lambda_{ef}}$$
$$\int_0^{\infty} C(t)\, dt = C_0 \frac{T_{ef}}{0{,}693} = C_0 \cdot 1{,}44 \cdot T_{ef}$$
$$C = C_0\, T_{prosječno}$$




Slika 2. Ukupna doza zračenja (U.D.) jednaka je vremenskom integralu intenziteta doze od časa maksimalne koncentracije t=0 do neizmjernosti

XI. Jugoslovanski simpozij iz zaščite pred sevanji

Portorož, 21. - 24. 4. 1981

Goran Dražić, Marija Trontelj, Drago Kolar

Institut Jožef Stefan, Univerza E. Kardelj v Ljubljani

# LASTNOSTI TERMOLUMINISCENČNIH DOZIMETROV NA OSNOVI $CaSO_4$

POVZETEK - Termoluminiscenčni prah $CaSO_4$:Dy smo sintrali z dodatkom različnih anorganskih veziv. Z izbiro ustreznega veziva smo pripravili dozimetre v obliki tablet, ki so imeli enake TL lastnosti kot prah. Izmerili smo TL odziv v območju doz 2,58 µC/kg do 25,8 mC/kg in ga primerjali z odzivom komercialnih dozimetrov. Glavni pik imajo dozimetri pri temperaturi 150 °C, kar ima za posledico 65% fading v prvih dveh dneh, nato pa znaša približno 1,5 % na dan. Vpliv fadinga na ponovljivost rezultatov delno zmanjšamo s segrevanjem na 100 °C pred merjenjem. Na relativno velikost pikov bistveno vplivajo nečistoče v izhodnih spojinah in posamezni dodani ioni.

## 1. UVOD

V zadnjih letih se pojav termoluminiscence posameznih materialov uporablja kot uspešna metoda merjenja ionizirajočega žarčenja. Termoluminiscenčni dozimetri ( TLD ) imajo prednost pred ostalimi detektorji predvsem v osebni dozimetriji in v dozimetriji okolja. V primerjavi s filmi se odlikujejo po večji občutljivosti in natančnosti. Najbolj uporabljani materiali za TLD so LiF, $Li_2B_4O_7$:Mn, $CaF_2$:Mn in $CaSO_4$:Dy.
O zelo ugodnih TL lastnostih $CaSO_4$:Dy je že leta 1968 poročal Yamashita [1]. Ugotovil je, da ima žarilna krivulja glavni pik okoli 220 °C in da je emitirana svetloba sestavljena iz dveh pasov z maksimumi pri 480 nm in 570 nm. Fading pri $CaSO_4$:Dy je minimalen in znaša 1 do 2% na mesec pri sobni temperaturi. Meja detekcije je pod 0,1 μC/kg, odvisnost od doze žarčenja je linearna do 0,8 C/kg, supralinearna v intervalu 0,8 C/kg do 2,6 C/kg in doseže nasičenje nekje pri 26 C/kg.
Kljub temu, da se je v zadnjih letih mnogo avtorjev ukvarjalo s TLD na osnovi $CaSO_4$:Dy, pa je le nekaterim uspela priprava trdnih dozimetrov s sintranjem.[2,3,4,5] Bistvena prednost TLD v trdni obliki v primerjavi s termoluminiscenčnim prahom je v enostavnosti uporabe in večji ponovljivosti rezultatov.

## 2. EKSPERIMENTALNO DELO

### 2.1. Priprava $CaSO_4$:Dy

$CaSO_4$, dopiran z Dy, smo pripravili po znanem postopku[1,6] s kristalizacijo iz raztopine $CaSO_4$ in $Dy_2O_3$ v $H_2SO_4$ pri temperaturi 300 °C. Uporabljali smo sledeče surovine: $CaSO_4.2H_2O$ p.a. Merck, Mallinckrodt, Riedel - De Haen, $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ p.a. Riedel - De Haen, $Dy_2O_3$ Alpha Ventron, Koch - Light in $H_2SO_4$ p.a. Zorka Šabac in spec. pur. KIBK. Za določanje fadinga in določanje vpliva temperature sintranja na TL odziv smo uporabljali dozimetre, pripravljene iz $CaSO_4.2H_2O$ p.a. Merck, $Dy_2O_3$ Alpha Ventron in $H_2SO_4$ p.a. Zorka Šabac. Produkt kristalizacije so bili 0,1 - 1 mm veliki kristali $CaSO_4$, ki so vsebovali 0,2, 0,4 ali 0,[illegible] mol% Dy, odvisno od koncentracije v raztopini. Pripravili smo tudi kristale, ki so vsebovali poleg 0,2 mol% Dy tudi Na, Mg, Pr. $CaSO_4$, aktiviran z določenim procentom Dy, smo žarili v korundnem lončku pri 700 °C dve uri v lončni peči. Po žarjenju so bili kristali rahlo obarvani

( rožnato ali pa zeleno ).

2.2. Priprava veziv

$Mg_3(BO_3)_2$ - to vezivo smo sintetizirali iz MgO in $H_3BO_3$ ?/ pri 1000 °C. Rentgenska difrakcija je pokazala, da sta oksida v dobrši meri zreagirala v magnezijev ortoborat.

$Mg_3(BO_3)_2 + Li_2SO_4$ - magnezijev ortoborat z 10 ut.% $Li_2SO_4$ smo v obliki tablete žarili v silitni peči pri 900 °C pol ure in zmleli.

2.3. Priprava tablet

Kristalinični $CaSO_4$:Dy smo zmešali s 5 ut.% veziva in stisnili 50 mg tablete s tlakom 200 MPa. Zelene tablete so imele premer 6,5 mm in so bile debele približno 0,5mm. Tablete smo žgali v cevni peči pri temperaturah med 650 °C do 1250 °C, čas žganja je bil 1 do 2 uri, hitrost segrevanja 100 °C/min. Ohlajanje je bilo hitro, tako da smo tablete potegnili iz peči. Sintrane tablete so imele gostoto $2,4.10^3$ kg/m$^3$ in ocenjeno poroznost okoli 20 %.

2.4. OBSEVANJE IN MERITVE

TLD v kristalinični obliki in tablete so bile obsevane s $^{60}Co$ izvorom. Uporabljali smo dva ločena izvora, enega za doze do 30 µC/kg in drugega za doze do 30 mC/kg. Doze obsevanja so bile 2,58 µC/kg, 25,8 µC/kg, 2,58 mC/kg in 25,8 mC/kg v območju ± 10 %. Tako kristaliničen material kot tablete smo obsevali v majhnih plastičnih vrečkah ali v posebnih nosilcih iz pleksi stekla. V času od priprave pa do merjenja vzorci niso bili posebej zaščiteni proti kozmični radiaciji, vidni svetlobi ali katerikoli drugi obliki naključnega žarčenja.

Vse meritve smo opravili s čitalcem Harshaw 2000 A in B s povprečno hitrostjo segrevanja 8 °C/s.

3. REZULTATI

3.1. Osnovni material

Na sliki 1 sta žarilni krivulji za žarjene in nežarjene kristale $CaSO_4$:Dy. Mikroskopski posnetek kristalov vidimo na sliki 3. Žarilna krivulja ima tri pike in sicer pri 150 °C ( I ), 220 °C ( II ) in pri 280 °C ( III ). Žarjenje ni vplivalo na temperaturo, pri kateri se pojavijo piki, pač pa na njihovo velikost. Razmerje med glavnim pikom pri 150 °C in ostalima dvema se je povečalo. Črtkana

krivulja na diagramu predstavlja potek temperature.

3.2. Sintrani dozimetri

Na sliki 2 vidimo žarilne krivulje trdnih TLD na osnovi $CaSO_4$:Dy, ki so pripravljeni iz različnih izhodnih spojin in različne sestave. Vidimo, da različne izhodne spojine ne vplivajo bistveno na temperaturo pikov, pač pa na njihovo velikost. Podoben vpliv imajo tudi dodatki posameznih ionov ( Na, Pr ). Na sliki 4 vidimo značilno mikrostrukturo tablete $CaSO_4$:Dy z vezivom $Mg_3(BO_3)_2$ + $Li_2SO_4$. Slika 5 prikazuje odvisnost integrala žarilne krivulje od temperature sintranja tablet za različne koncentracije Dy v $CaSO_4$. Vezivo je magnezijev ortoborat. Dodatek $Li_2SO_4$ vezivu zniža temperaturo sintranja z 950 °C na 750 °C. Poleg tega dodatek $Li_2SO_4$ povzroči relativno znižanje pikov 220 in 280. Na sliki 6 vidimo odvisnost višine posameznih pikov od temperature sintranja za tablete z vezivom $Mg_3(BO_3)_2$ + $Li_2SO_4$.

3.3. Fading

Za določanje fadinga smo uporabljali integral žarilne krivulje v intervalu 110 °C do 250 °C. Kot vidimo na sliki 7 je fading v prvih dveh dneh pri sobni temperaturi 65 %, nato pa znaša približno 1,5 % na dan. Pri merjenju nismo uporabljali nobenega posebnega postopka pred ali požarjenja dozimetrov.

3.4. Požarjenje

Če v času med obsevanjem in merjenjem segrevamo dozimetre pri višji temperaturi se pik 150 močno zniža, pika 220 in 280 pa ostaneta praktično nespremenjena. Na sliki 8 vidimo, da segrevanje pri 100°C 10 min umetno postara dozimeter za približno 700 ur.

4. SKLEPI

Žarilna krivulja kristaliničnega materiala $CaSO_4$:Dy, ki smo ga uporabljali za pripravo trdnih dozimetrov, je imela tri pike. Glavni pik pri 150 °C je veliko nižje kot vrednosti v literaturi. Optimalna količina Dy v $CaSO_4$ je 0,2 mol%, kar se ujema z ugotovitvami večine avtorjev.[1,3,8,9] Material, ki je bil po kristalizaciji žarjen na 700 °C, je pokazal večjo občutljivost in boljšo ponovljivost TL odziva.

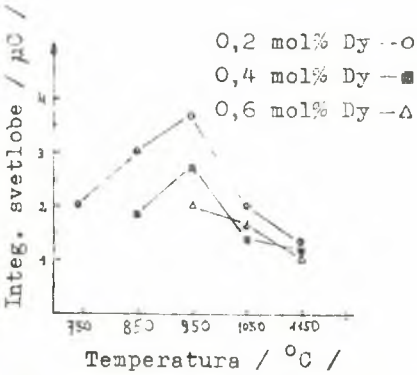
Sintrani dozimetri so pokazali podobne lastnosti kot prah. Vloga

veziva pri pripravi trdnih dozimetrov je v tem, da tvori vezno fazo med kristali $CaSO_4$ in pri tem ne vpliva na TL lastnosti. Magnezijev ortoborat z dodatkom $Li_2SO_4$ se je pokazal kot primeren material za vezivo.
Zaradi prenizke temperature glavnega pika ( 150 °C ) je fading občuten, kar ne omogoča enostavne praktične uporabe dozimetra. S požarjenjem na 100 °C se lahko v veliki meri izognemo fadingu, le da je takrat občutljivost dozimetra bistveno manjša. Spodnja meja detekcije je pod 20 nC/kg. Na relativno velikost pikov bistveno vplivajo nečistoče v izhodnih spojinah in minimalni dodatki nekaterih ionov. Naš dozimeter je približno 15 krat bolj občutljiv kot LiF ( Harshaw TLD - 100 ) pri obsevanju z 2,58 μC/kg.

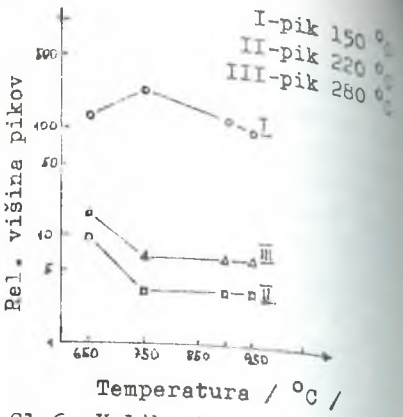
ABSTRACT - The $CaSO_4$:Dy phosphor powder was sintered with additions of different inorganic compounds as sintering aids. Dosimeter pellets were obtained wich retained the same TL properties as the phosphor. Dosimeter had too low dosimetric peak, wich means that it had enormous fading. Postannealing at 100 °C was needed for practical use of dosimeter.

## 5. LITERATURA

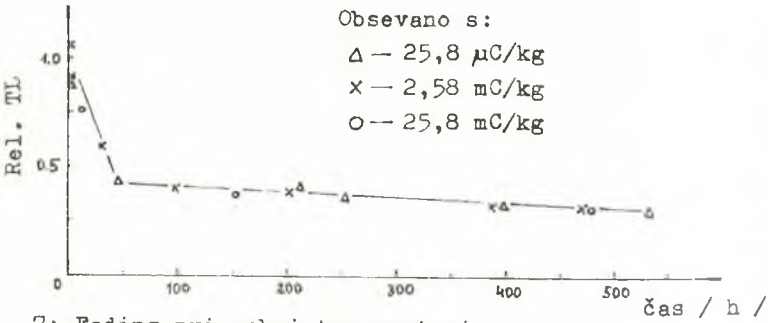
1/ T. Yamashita, Proc. 2nd Int. Conf. TLD, Gatlinburg, (1968), 4
2/ M. Prokić, X. simpozij Jug. društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac, (1979), 247
3/ M. Prokić, Nuc. Inst. Methods, 151, (1978), 603
4/ M. Prokić, Nuc. Inst. Methods, 175, (1980), 83
5/ S. Shastry, Int. J. Appl. Rad. Isot., 31, (1980), 244
6/ K. Becker, Nuc. Inst. Methods, 104, (1972), 405
7/ K. Becker, Acta Chem. Scand., 3, (1949), 660
8/ K. Schmidt, Proc. 4th Int. Conf. TLD, Krakow, (1974)
9/ K. Ayyangar, Phys. Med. Biol., 19, (1974), 656



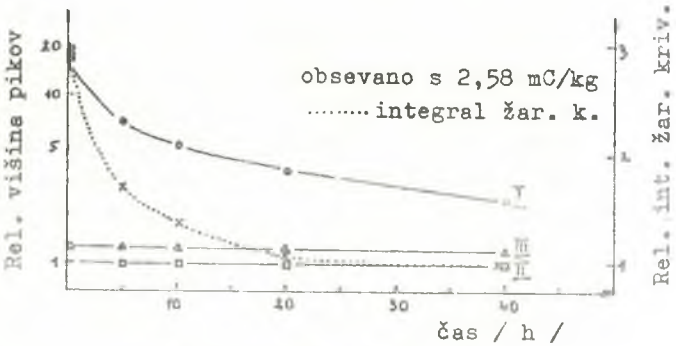

Sl.5: Integral oddane svetlobe v odvisnosti od temperature sintranja tablet ( čas 1 h ) z različno koncentracijo Dy.
Obsevano z 2,58 mC/kg



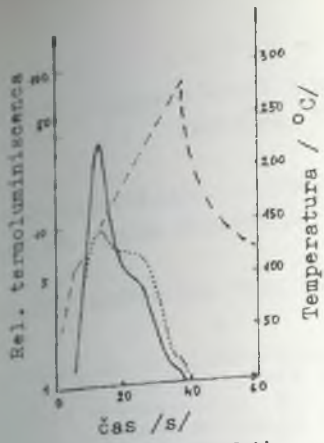

Sl.6: Velikost posameznih pikov v odvisnosti od temperature sintranja v času 1 ure.
Obsevano z 2,58 mC/kg



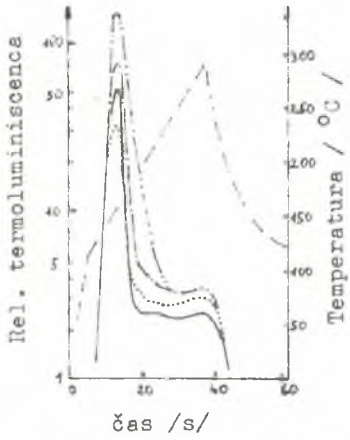

Sl. 7: Fading pri sobni temperaturi




Sl. 8: Izotermalni razpad pri 100 °C

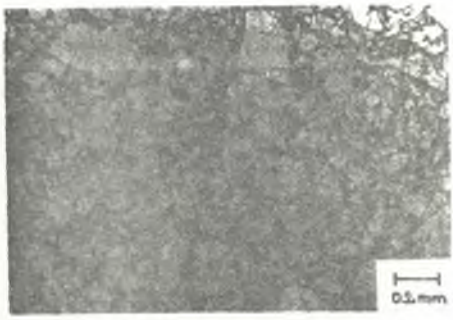



Sl.1: Žarilni krivulji kristalov $CaSO_4$:0,2% Dy
..... nežarjen material
—— žarjen material




Sl.2: Žarilne krivulje tablet z različno sestavo:
—— $CaSO_4$:0,2% Dy ($CaSO_4.2H_2O$)
—··— $CaSO_4$:0,2% Dy ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$)
—·—$CaSO_4$:0,2% Dy + 0,1% Pr
····· $CaSO_4$:0,2% Dy + 0,2% Na

Sl.4: Mikroskopski posnetek kristalov $CaSO_4$:0,2% Dy, žarjenih na 700 °C dve uri




Sl.5: Mikrostruktura tablete $CaSO_4$:0,2% Dy z vezivom $Mg_3(BO_3)_2$+$Li_2SO_4$

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.4.1981.

M. Ranogajec-Komor, B. Vekić, I. Dvornik
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# MJERENJE RASPODJELA DOZA ZRAČENJA PO CIJELOM TIJELU POMOĆU TLD

Prikazani su rezultati mjerenja raspodjele doza zračenja na različitim dijelovima tijela osoba koje su vršile separacije ciklotronskih radionuklida. Sva mjerenja načinjena su pomoću TLD. Rezultati početnih mjerenja zahtijevali su izmjenu uhodanih procesa rada pri separacijama radionuklida što je dovelo do znatnog snižavanja primljenih doza. Postignuti rezultati ukazuju na važnost mjerenja distribucije doza zračenja po cijelom tijelu u svim slučajevima kad se radi s većim količinama radioaktivnih tvari.

Usporedo sa sve većom primjenom izvora ionizirajućih zračenja u svim oblastima ljudskog djelovanja radi se na poboljšanju postojećih, kao i na razvoju i primjeni novih dozimetrijskih sistema i metoda za što preciznije mjerenje doza zračenja. Velika osjetljivost, pouzdanost i brzina dobivanja rezultata, kao i druge prednosti TL dozimetrije uočene prilikom usporednih mjerenja doza zračenja pomoću TLD strane i domaće proizvodnje i standardnih film-dozimetara (1), ukazali su na mogućnost da se TLD upotrebe, između ostalog, i za manje uobičajena mjerenja, koja nije moguće načiniti pomoću film-dozimetara.
Separacije ciklotronskih radionuklida, koji se više godina uspješno primjenjuju u nuklearnoj medicini, specifični su poslovi prilikom kojih se mogu primiti veće doze zračenja, budući da se u relativno kratkim vremenskim razmacima radi s većim aktivnostima izvora zračenja. U ovakvim slučajevima osobito je važno znati točne doze zračenja na svim dijelovima tijela, tim više što za ovakve poslove nije svojevremeno bio predviđen niti opremljen adekvatan laboratorijski prostor. Zbog toga je poznavanje primljenih doza zračenja istovremeno i najbolja mjera uspješnosti provođenja vlastitih dodatnih mjera zaštite od zračenja. S druge strane, poznavanje primljenih doza zračenja najbolji je pokazatelj da li u uhodanom radnom procesu treba nešto mijenjati ili samo poboljšavati.

Na temelju rezultata brojnih mjerenja primljenih doza, izmjena u procesima rada ili samo u radnim navikama pojedinih radnika, došlo se do nekih spoznaja koje općenito vrijede za sve vrste ovakvih i sličnih poslova.

MATERIJAL I METODE

Sve doze zračenja prikazane u ovom radu mjerene su pomoću TLD na bazi prirodnog LiF, nabavljenih od firme "Pittman", Engleska. Svi dozimetri su pločice iz teflona promjera 12.5 mm i debljine 0.4 mm a sadrže 30% LiF. Kad su korišteni za određivanje distribucije doza na određene dijelove tijela, LiF dozimetri su kalibrirani između 2 teflonske pločice debljine 2mm, a sve upakirano u za svjetlo neprozirnom plastičnom materijalu.

Da bismo poboljšali točnost očitavanja niskih doza, svi LiF dozimetri pojedinačno su kalibrirani u opsegu doza od 0 - 4 mGy (0 - 400 mrad). Apsolutna točnost kalibracije je ±7%. Temperaturni režim prilikom očitavanja doza bio je 16 sekundi na 130°C prije očitavanja, 16 sekundi na 240°C prilikom očitavanja, te napuštanje ("annealing") 26 sekundi na 300°C.

U međuvremenu usporedo s mjerenjem doza zračenja pomoću LiF dozimetara započeta su mjerenja pomoću TLD na bazi $MgB_4O_7$:Dy (1). Ovaj dozimetar proizveden je u Institutu "Boris Kidrič" (2) i predstavlja kvalitetnu alternativu za LiF sa osjetljivosti koja je za red veličine veća od osjetljivosti LiF dozimetara. Usvajanjem tehnike priprave ovako kvalitetnih TLD domaće proizvodnje bitno je smanjena ovisnost o uvoznom materijalu.

Svi TLD očitavani su pomoću čitača TOLEDO 634 ("Pittman", Engleska) i kalibrirani pomoću kalibriranog izvora $^{60}Co$.

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabelama 1 i 2 dati su rezultati mjerenja raspodjele doza zračenja izraženih u mGy po prstima ruku pri proizvodnji 3.7 GBq ciklotronskih radionuklida $^{67}Ga$ (TAB br. 1) i $^{81}Rb$ (TAB br. 2). Rezultati u TAB br. 1 su srednje vrijednosti od 2 - 6 neovisnih mjerenja, a u TAB br. 2 od 3 - 12 mjerenja. Kao što se iz prikazanih rezultata vidi, doze ozračenja po prstima ruku znatno su veće pri proizvodnji (radiokemijskoj separaciji) jednake aktivnosti $^{81}Rb$ u odnosu na $^{67}Ga$. To je i razumljivo ako se ima u vidu činjenica da radiokemijska separacija $^{81}Rb$, koji nastaje iz $Cu_2Br_2$ nuklearnom reakcijom $^{79}Br(\alpha,2n)^{81}Rb$, započinje odmah po završetku ciklotronskog bombardiranja. To znači da su prilikom izvođenja separacije

prisutni svi drugi kratkoživući i dugoživući radionuklidi nastali nepoželjnim nuklearnim reakcijama na $Cu_2Br_2$. Separacija $^{67}Ga$, koji nastaje nuklearnim reakcijama $^{66}Zn(d, n)^{67}Ga$ i $^{67}Zn(d, 2n)^{67}Ga$ na prirodnom Zn, obično započinje oko 80 sati nakon završetka bombardiranja, tj. nakon što se raspadnu svi kratkoživući radionuklidi, zbog čega su i izmjerene doze zračenja osjetno niže.

TAB br. 1 Raspodjela doza (mGy) po prstima ruku ($^{67}Ga$)

| PRST | DESNA RUKA | | LIJEVA RUKA | |
|---|---|---|---|---|
| | UZ DLAN | NA VRHU | UZ DLAN | NA VRHU |
| palac | 0.29 | 0.31 | 0.14 | 0.26 |
| kažiprst | 0.29 | 0.33 | 0.15 | 0.30 |
| srednji | 0.45 | 0.60 | 0.33 | 0.37 |
| prstenjak | 0.26 | 0.37 | 0.20 | 0.15 |
| mali | 0.22 | 0.26 | 0.14 | 0.11 |

TAB br. 2 Raspodjela doza (mGy) po prstima ruku ($^{81}Rb$)

| PRST | DESNA RUKA | | LIJEVA RUKA | |
|---|---|---|---|---|
| | UZ DLAN | NA VRHU | UZ DLAN | NA VRHU |
| palac | 1.04 | 1.34 | 1.67 | 2.43 |
| kažiprst | 1.18 | 1.73 | 1.21 | 2.07 |
| srednji | 1.17 | 2.11 | 1.39 | 2.12 |
| prstenjak | 1.24 | 1.87 | 0.98 | 2.69 |
| mali | 1.00 | 1.49 | 1.20 | 1.67 |

U tabeli br. 3 prikazani su rezultati raspodjele doza zračenja po cijelom tijelu pri proizvodnji 3.7 GBq ciklotronskih radionuklida: $^{67}Ga$, $^{81}Rb$ i $^{123}J$. Kao što smo već spomenuli za prste ruku, iz istih razloga su doze zračenja po cijelom tijelu najniže za $^{67}Ga$, nešto više za $^{81}Rb$, a najviše su za $^{123}J$, koji se dobiva nuklearnom reakcijom $^{121}Sb(\alpha, 2n)^{123}J$ i čija separacija započinje odmah po završetku bombardiranja. Napominjemo da su vrijednosti za $^{123}J$ u tabelama 3 i 4 dobivene prilikom uhodavanja kemijske separacije i bez sumnje se mogu znatno sniziti. Svi ostali podaci u TAB br.3 su srednje vrijednosti od 6 - 15 neovisnih mjerenja.

TAB br. 3 Raspodjela doza (mGy) po tijelu

| MJESTO NA KOJEM JE NOŠEN TLD (LiF) | IZMJERENE DOZE ZRAČENJA | | |
|---|---|---|---|
| | RADIONUKLID | | |
| | $^{67}Ga$ | $^{81}Rb$ | $^{123}J$ |
| prsti desne ruke | 0.34 | 1.43 | 4.31 |
| prsti lijeve ruke | 0.24 | 1.74 | 2.17 |
| glava (čelo) | 0.16 | 0.32 | 1.64 |
| desno rame | 0.03 | 0.25 | 1.06 |
| lijevo rame | 0.02 | 0.23 | 1.25 |
| desno koljeno | 0.01 | 0.14 | 0.19 |
| prsti desne noge | - | 0.16 | - |
| prsti lijeve noge | - | 0.16 | - |

Uspoređujući rezultate iz TAB br. 3 s literaturnim podacima o sličnim mjerenjima, može se zaključiti o uspješnosti poduzetih mjera zaštite od zračenja. Tako su npr. doze zračenja na prste pri separacijama $^{81}Rb$ na ciklotronu koji je vrlo sličan zagrebačkom (Hammersmith Hospital, London) znatno više (oko 4.5 mGy) od ovih prikazanih u TAB br. 3 (3). Pri separacijama 0.185 GBq $^{123}J$ na istom ciklotronu doza za ruke je oko 1 mGy. To znači da su poduzete mjere zaštite od zračenja u našem slučaju zadovoljavajuće.

Iz rezultata prikazanih u TAB br. 4 vidi se da su doze zračenja po cijelom tijelu izmjerene prilikom prvog takvog mjerenja (A) osjetno više od onih dobivenih prilikom kasnijih mjerenja (B). Prvi put izmjerene doze bile su, naime, iznenađujuće visoke i kao takve dobar pokazatelj da u uhodanom radnom procesu i u do tada primjenjivanim mjerama zaštite treba nešto mijenjati. Kasnija mjerenja pokazuju da su primljene doze nakon relativno malih ali očito važnih izmjena u radu, a koji put samo u radnim navikama, osjetno smanjene.

U svim slučajevima iz TAB br. 4 TLD je nosila ista osoba. Vrlo slični rezultati dobiveni su kad su posao obavljale druge osobe. Pri tom je uočeno da je za svaku pojedinu osobu nužna poneka specifična izmjena u procesu rada, koja proizlazi iz različitih radnih navika, kao npr. veće korištenje lijeve ruke umjesto desne. Primijećeno je također da se kod većine radnika smanjuje pažnja nakon izvjesnog broja radiokemijskih separacija, te da svako povi-

TAB br. 4 Prva mjerenja (A) raspodjele doza (mGy) po tijelu i mjerenja nakon izmjena u procesu rada (B)

| MJESTO NA KOJEM JE NOŠEN TLD | IZMJERENE DOZE ZRAČENJA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $^{81}Rb$ | | $^{67}Ga$ | | $^{123}J$ | |
| | A | B | A | B | A | B |
| vrh srednjeg prsta desne ruke | 3.62 | 2.40 | 3.23 | 0.64 | 20.10 | 7.22 |
| srednji prst desne ruke uz dlan | 1.73 | 1.01 | 0.53 | 0.40 | 11.20 | 4.31 |
| vrh srednjeg prsta lijeve ruke | 2.69 | 1.44 | 0.54 | 0.46 | 9.70 | 3.56 |
| srednji prst lijeve ruke uz dlan | 1.52 | 0.87 | 0.41 | 0.27 | 6.60 | 2.17 |
| glava (čelo) | 0.64 | 0.36 | 0.17 | 0.14 | 3.80 | 1.64 |
| desno rame | 0.42 | 0.20 | 0.03 | 0.02 | 1.50 | 1.25 |
| lijevo rame | 0.53 | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 1.70 | 1.06 |
| desno koljeno | 0.20 | 0.09 | 0.02 | 0.00 | 0.70 | 0.19 |

šenje izmjerenih doza djeluje vrlo stimulativno na povećanje pažnje pri radu i smanjenje doza pri slijedećim mjerenjima. Zbog toga se nameće zaključak da bi ovakva ili ovima slična mjerenja trebalo povremeno provoditi u svim slučajevima kad se radi s većim količinama radioaktivnih tvari.

Autori zahvaljuju Jovanki Šainović za učešće u eksperimentima.

SUMMARY

THE MEASUREMENT OF DOSE DISTRIBUTION OVER THE WHOLE BODY USING TL DOSEMETERS

The measurements of dose distribution over various body parts of persons dealing with the separation of cyclotron-produced radioactive isotopes are reported. TL dosemeters were used as personal monitors. Preliminary results suggested some changes in the routine procedure of handling the isotopes, which resulted in a marked lowering of adsorbed doses. The results point out the importance of measuring dose distribution over the whole body of persons dealing with larger quantities of radioactive materials.

LITERATURA

1. B. Vekić, M. Ranogajec-Komor, I. Dvornik, M. Blaževič: Radiol. Iugosl. 14 (198o) 421.
2. M. Prokić: Zbornik radova X simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Aranđelovac, 29. V - 1. VI 1979, 247.
3. S L. Waters, I.A. Watson (Editors): The third course on "Radiopharmaceutical Production with a Medical Cyclotron", MRC Cyclotron Unit, Hammersmith Hospital, London, (1977), p. 26 i 41.

XI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21 - 24. april 1981. godine

mr RADICA MIJAILOVIĆ
ZAVOD ZA PREVENTIVNOMEDICINSKU ZAŠTITU - BEOGRAD

dr MARKO NINKOVIĆ
INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ" VINČA - BEOGRAD

# PROCENA DOZA U POLJU RENDGENSKOG ZRAČENJA KORIŠĆENJEM TERMOLUMINISCENTNIH I FILM-DOZIMETARA

## R E Z I M E

Analizirane su mogućnosti korišćenja termoluminiscentnih dozimetara /TLD/ u topografiji polja zračenja u okolini rendgen-uređaja sa maksimalnim radnim naponima od 50 do 90 KeV.

Radi dobijanja podataka o stepenu korelacije pokazivanja ovih specifičnih dozimetara u poljima direktnog i rasejanog rendgenskog zračenja uporedo sa TLD korišćeni su i film-dozimetri. Međutim, neke bitnije razlike u rezultatima u ovim uporednim ispitivanjima nisu nađene.

## U V O D

Zbog široke primene rendgen-aparata u medicinskoj dijagnostici i terapiji, danas se veliki broj ljudi nalazi u radnoj sredini u kojoj mogu da budu eksponirani rendgenskom zračenju. Pored profesionalnog, često su nepotrebnom rendgenskom zračenju izloženi i pacijenti prilikom pregleda, jer se najčešće ne poznaje intenzitet polja u okolini ovih uređaja.

Upravo zbog toga problem procene doze u okolini ovih uređaja zaslužuje pažnju, posebno u sklopu realizacije uslova minimalnog izlaganja ljudstva jonizujućem zračenju. Obavezne kontrole, merenja rendgenskog zračenja i sprovođenje lične dozimetrije ne pružaju dovoljno podataka za procenu polja doza u okolini ovih izvora, posebno u skladu sa novim principima zaštite od zračenja.

Merenje i procena doza u okolini ovih, kao i ostalih izvora jonizujućeg zračenja, mogu da se obavljaju korišćenjem dozimetara koji imaju odgovarajuće karakteristike. Jedan od materijala koji se najčešće, tj. godinama upotrebljava u dozimetriji jeste film-dozimetar. Nema potrebe govoriti o njegovim karakteristikama, jer su dobro poznate. Međutim, poslednjih godina sve više se, negde čak intenzivno koriste neki luminiscentni materijali kao pogodni i stabilni dozimetri. Kao najpogodniji sistemi za merenje integralnih doza zračenja prihvaćeni su termoluminiscentni dozimetri. Osnovne karakteristike ovih dozimetara su: visoka osetljivost, stabilnost, mala energetska zavisnost, neznatno opadanje doze sa vremenom. Pomoću njih se sa zadovoljavajućom tačnošću mogu odrediti i doze ispod 10 μGy /1, 2/.

U ovom radu ispitivane su mogućnosti korišćenja za određivanje doza u polju rasejanog i direktnog zračenja TLD koje proizvodi Institut "Boris Kidrič" u Vinči.

Koristeći se iskustvima drugih autora /3, 4/ kao i našim iz lične dozimetrije /5/, za dozimetriju ispitivanih polja upotrebili smo uporedo TLD i film-dozimetre marke "GEVART", koji se, inače, koriste u kontroli individualnog ozračivanja kod uređaja čija su polja ispitivana.

Određivanja doza vršena su u poljima zračenja kod dva tipa rendgen-aparata, koji se najviše koriste. To su aparat "PHILIPS" tip dijagnost 62 koji se upotrebljava za različite intervencije u dijagnostici i zubarski rendgen-aparat "Ei" Niš tip dent. Određivanja doza izvršena su na karakterističnim mestima u njihovim poljima.

## R E Z U L T A T I

Na 53 mesta u poljima odabranih rendgen-uređaja postavljeni su, i to u parovima, TLD i film-dozimetri, i to: na 36 mesta u polju rasejanog, i na 17 mesta u polju direktnog zračenja. Termoluminiscentni dozimetri nalazili su se u polju zračenja tri meseca, a potom je izvršeno očitavanje vrednosti doza u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči /6/. Film-dozimetri su se, takođe, nalazili tri meseca u polju zračenja, ali su zamenjivani i doze su očitavane svakog meseca. Posle toga, u Zavodu za preventivnomedicinsku zaštitu određene su ukupne vrednosti doza.

U ispitivanom vremenskom intervalu, u polju zračenja rendgen-aparata "PHILIPS" obavljeno je 19 513 različitih intervencija na 3 953 pacijenata, u polju rendgen-aparata "Ei" Niš 270 snimanja zuba kod 270 pacijenata. Dobijene vrednosti doza nalazile su se u intervalu od 0,75 do 24,15 mGy kod film-dozimetara, a kod TLD od 0,88 do 16,20 mGy. Rezultati su prikazani na tabeli 1.

U poljima direktnog zračenja vrednosti doza nalazile su se u intervalu od 2,0 do 22,25 mGy kod film-dozimetara, a kod TLD od 2,15 do 24,2 mGy. Rezultati su prikazani na tabeli 2.

TAB br. 1 Rezultati doza /mGy/ u polju rasejanog rendgenskog zračenja

| Merno mesto | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Doza /mGy/ | film-doz. | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| | TLD | 0,91 | 0,91 | 0,92 | 0,99 | 1,0 | 0,99 | 1,03 | 0,90 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 1,0 | 1,2 | 1,02 | 1,01 | 0,98 | 1,0 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,88 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 1,05 | 1,15 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,25 | 1,25 | 1,30 | 1,40 | 1,55 |
| 1,02 | 1,05 | 1,0 | 1,0 | 0,98 | 1,18 | 1,05 | 1,20 | 1,30 | 1,68 |
| 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | |
| 1,75 | 1,75 | 2,0 | 8,50 | 17,0 | 22,25 | 22,75 | 24,15 | | |
| 1,65 | 1,80 | 2,1 | 4,10 | 9,5 | 14,8 | 16,2 | 15,2 | | |

Kod većine upoređivanih dozimetara /92%/ nisu konstatovane značajne razlike između vrednosti doza. Međutim, kod pet film-dozimetara, koji su se nalazili u polju rasejanog rendgenskog zračenja, zapaženo je sistematsko pokazivanje viših doza od onih koje su pokazali upoređivani TLD, kao što se vidi na tabeli 1. Postoje različite pretpostavke o uzrocima ovih odst-

upanje. Njihovo ispitivanje biće, svakako, predmet budućeg istraživanja.

Tab. 2 Rezultati doza /mGy/ u polju direktnog rendgenskog zračenja

| Mjerno mesto | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Doza /mGy/ | film-doz. | 2,0 | 2,65 | 2,7 | 3,25 | 3,25 | 3,30 | 3,4 | 4,5 |
| | TLD | 2,15 | 2,9 | 2,5 | 2,8 | 3,05 | 3,03 | 2,9 | 5,1 |

| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,1 | 8,8 | 8,5 | 9,8 | 11,0 | 15,0 | 18,5 | 19,0 | 22,2 |
| 4,05 | 8,0 | 8,05 | 8,0 | 9,4 | 15,1 | 16,5 | 17,1 | 24,2 |

## Z A K L J U Č A K

Kod većine upoređivanih dozimetara /92%/ rezultati vrednosti doza u analiziranim poljima pokazuju da nema značajnijih razlika između vrednosti dobijenih pomoću termoluminiscentnih i film-dozimetara. Međutim, navedene osobine termoluminiscentnih dozimetara, kao i rezultati vrednosti doza, ukazuju da je ovaj dozimetar pogodniji za korišćenje u dozimetriji polja rendgenskog zračenja kod medicinskih rendgen-aparata.

## S U M M A R Y

MEASUREMENT OF DOSES IN THE FIELD OF X - RADIATION BY TERMO-LUMINISCENT AND FILM-DOSIMETERS

The possibilities of termoluminiscent dosimeters /TLD/ in the topography of field x - radiation of maximal energy ranging 50-90 KeV have been analysed.
In the same time, film-dosimeters have been used paralel with TLD; the aim was to assume correlation of results obtained by these two specific dosimeters in direct and scattered x - radiation. Some differences found in the results of parallel investigations are not important.

# L I T E R A T U R A

1. M. Prokić: Merenja doza zračenja pomoću termoluminiscentnih dozimetara u sistemu za radijacioni monitoring okoline, IX simpozijum Jug. društva o zaštiti od zračenja, 31.05.-03.06.1977. Jajce.
2. M. Prokić: Karakteristike termoluminiscentnih dozimetara koji se proizvode u Institutu "Boris Kidrič" - Vinča, X simpozijum Jug. društva o zaštiti od zračenja, Aranđelovac, 29.05.-01.06. 1979. godine.
3. Gammage R. B., J.S. Cheka, N. Saheli: Field testing of TSEE dosimeters for personnel monitoring, Health Physics Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee /privatna informacija/.
4. Weng P.S., C.Y. Huan: Personnel and Environmental Thermoluminiscent Dosimetry for a University Reactor Located in a Semitropical Area, Radiation Data and Reports, 247-252, May 1974.
5. M. Prokić, R. Mijailović: Rezultati uporedne dozimetrijske kontrole pomoću termoluminiscentnih dozimetara i film-dozimetara, X simpozijum Jug. društva o zaštiti od zračenja, Aranđelovac, 29.05.-01.06.1979.
6. M. Prokić, Institut "Boris Kidrič" Vinča: Laboratorija za zaštitu od zračenja.

XI. Jugoslovenski simpozij o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.4.1981.

S. Miljanić, I. Dvornik i M. Ranogajec-Komor
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# GREŠKE OČITAVANJA DOZA DOZIMETARA DL-M3 NA ČITAČU ČDL-M3

Kemijski dozimetar DL-M3, lični dozimetar fotona i neutrona, proizvodi se serijski od 1972.g. (1). Proizvodnju u cijelom protekloм razdoblju prati intenzivni istraživački i razvojni rad na upoznavanju i poboljšavanju svojstava. U ovom radu ispitivan je slučajni uzorak dozimetara proizvedenih 1976.g. Zadatak je bio da se utvrde mogućnosti točnog određivanja doze kolorimetrijskom metodom na čitaču ČDL-M3 i ujednačenost kvalitete uzorka dozimetara.

Ozračivanje - 6 uzoraka, svaki sa 10 dozimetara zračeni su redom 15, 15, 30, 45, 60 i 60 minuta na izvoru gama zračenja $^{60}Co$ u Institutu "Ruđer Bošković". Dozimetri su bili pričvršćeni na zakrivljenom kartonskom stalku na udaljenosti 1 metar od osi izvora. Homogenost polja zračenja provjerena je samim eksperimentom: u TAB br. 1 u zadnjoj koloni srednje su vrijednosti doza za po 6 dozimetara koji su prilikom zračenja stajali na istom mjestu na stalku. Standardna devijacija za ove srednje vrijednosti iznosi 0,9%, što daje neujednačenost doza u pojedinim položajima ozračivanja od oko 0,3%.

Očitavanje - Na bubnju čitača nalaze se 33 ampule-etalona s bojama od žute do ljubičasto crvene, koje odgovaraju dozama u jedinicama cGy (rad): 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 350, 380, 410, 440, 470, 500, 540, 580, 640, 700, 780, 860, 940, 1020, 1120 i 1220.
Prilikom očitavanja dozimetarska ampula nalazi se iznad etalona na bubnju, te se okretanjem bubnja dozimetar dovodi u položaj iznad etalona koji mu je po boji najsličniji, ili između dva susjedna etalona. U ovom drugom slučaju dozimetru se procjenjuje doza između vrijednosti dva susjedna etalona. Očigledno je da su ovim postupkom moguće sistematske greške. Da bi se one smanjile uobičajeno je očitavanje dozimetara naizmjenično sa etalonima koji imaju

vrijednosti približne vrijednostima doze dozimetara. Na primjer ako dozimetru prilikom prvog očitavanja očitamo dozu od 210 cGy, odabiremo etalone s vrijednostima 200 i 220 cGy i očitavamo ih naizmjenično s dozimetrom. Pri tome odstupanje od prave vrijednosti dobiveno za etalone koristimo za korekciju očitane vrijednosti dozimetra (2).

Prije ozračivanja dozimetrima smo odredili početnu vrijednost ("nulu"). Vrijednosti korigiranih "nula" bile su između 112 i 145 cGy. Za određivanje korekcije koristili smo za svaku grupu dozimetara dvije do tri različite vrijednosti etalona i od svake vrijednosti po 5 etalona (ukupno 10 - 15 etalona). Svi dozimetri (prije i poslije zračenja) i etaloni očitavani su po deset puta pri umjetnom osvjetljenju. U očitavanju sudjelovalo je 5 osoba. Dozu smo računali na slijedeći način:

$$\bar{O}_k = \bar{O}_{oč} - K_o$$

$$\bar{D}_k = \bar{D}_{oč} - K_d - \bar{O}_k \quad \text{ili}$$

$$\bar{D}_k = \bar{D}_{oč} - \bar{O}_{oč} - K \quad \text{gdje je } K = K_d - K_o$$

$\bar{O}_k$ = srednja korigirana "nula" $\bar{D}_k$ = srednja korigirana doza

$\bar{O}_{oč}$ = srednja očitana "nula" $\bar{D}_{oč}$ = srednja očitana doza

$K_o$, $K_d$ i $K$ su vrijednosti korekcije za "nulu", dozu odnosno ukupna korekcija.

<u>Rezultati</u> - Srednje vrijednosti očitanih korigiranih doza za sva ozračivanja prikazane su u TAB br. 1. Za račun granica pouzdanosti srednje vrijednosti za 95%-tnu vjerojatnost i 10 dozimetara, L(95,10), uzete su u obzir i nesigurnosti određivanja korekcije za "nulu" i dozu (3). U TAB br. 2 prikazano je kako su očitavani etaloni. U prvom redu su prave vrijednosti etalona (E), u drugom redu su srednje očitane vrijednosti za pet etalona ($E_{oč}$), u trećem su srednje standardne devijacije očitavanja ($\bar{s}$), a u četvrtom redu je korekcija (K), koja nam pokazuje veličinu sistematske greške. Kolone u tabeli koje imaju iste vrijednosti E odnose se na očitavanja istih etalona u različite dane. Dobivene vrijednosti daju odnos: $E_{oč} = 0{,}993\ E + 9{,}7$ (cGy).

TAB br. 1

| Položaj dozimetra kod ozračivanja | Srednje vrijednosti korigiranih doza (cGy) | | | | | | Srednje vrijednosti doza za pojedini položaj |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1. zračenje 15 min | 2.zračenje 15 min | 3. zračenje 3o min | 4. zračenje 45 min | 5.zračenje 60 min | 6.zračenje 60 min | |
| 1 | 224,1 | 217,9 | 432,5 | 650,3 | 924,5 | 883,3 | 555,4 |
| 2 | 225,1 | 224,9 | 462,5 | 677,3 | 926,5 | 907,3 | 570,6 |
| 3 | 218,1 | 219,9 | 452,5 | 680,3 | 925,5 | 905,5 | 566,9 |
| 4 | 217,1 | 234,9 | 464,5 | 689,3 | 924,5 | 914,3 | 574,1 |
| 5 | 225,1 | 240,9 | 442,5 | 664,3 | 901,5 | 901,3 | 562,6 |
| 6 | 222,1 | 231,9 | 460,5 | 695,3 | 874,5 | 895,3 | 563,3 |
| 7 | 234,1 | 219,9 | 454,5 | 663,3 | 890,5 | 933,3 | 565,9 |
| 8 | 229,1 | 229,9 | 436,5 | 689,3 | 927,5 | 913,3 | 570,9 |
| 9 | 228,1 | 231,9 | 455,5 | 659,3 | 902,5 | 916,3 | 565,6 |
| 10 | 229,1 | 228,9 | 456,5 | 659,3 | 904,5 | 893,3 | 561,9 |
| Srednje vrijednosti doza za 10 dozimetara | 225,2 | 228,1 | 451,8 | 672,8 | 910,2 | 906,3 | 565,7 |
| Standardna devijacija s($\bar{D}$) (cGy) | 5,2 | 7,4 | 11,o | 15,5 | 18,4 | 14,1 | 5,4(0,9%) |
| L(95,10) cGy | 4,9 | 6,0 | 8,4 | 11,8 | 14,8 | 13,o | |
| L(95,10) % | 2,2 | 2,6 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | |

Na Slici 1 prikazane su vrijednosti $\bar{D}_k/t$ gdje je t vrijeme zračenja u minutama. Ucrtani pravac $\bar{D}_k = D_p = 15,1\ t - 0,8$ (cGy) dobiven je metodom najmanjih kvadrata. Uporedne vrijednosti za očitanu i korigiranu dozu u jedinicama cGy, K (cGy) i odstupanja (cGy ili %) date su u TAB br.3.

Za procjenu homogenosti uzorka potrebno je utvrditi da li su dobivena rasipanja rezultata samo statističke prirode ili su dijelom rezultat različite osjetljivosti pojedinih dozimetara i različitog položaja kod ozračivanja. Uzorak od deset dozimetara nije dovoljno velik da bi se moglo pouzdano utvrditi da li dobivena rasipanja odgovaraju normalnoj raspodjeli. Preračunavanje svih dozimetara na istu dozu i testiranje uzorka od 60 dozimetara po

TAB br. 2 Prikaz očitavanja etalona za korekciju

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E | 100 | 100 | 120 | 120 | 140 | 140 | 320 | 320 | 350 | 350 | 380 |
| $E_{oč}$ | 103,2 | 100,4 | 124,6 | 119,4 | 144,6 | 141,4 | 327,2 | 337,6 | 356,8 | 367,8 | 384,0 |
| $\bar{s}$ | 10,4 | 8,3 | 10,1 | 9,5 | 8,5 | 11,2 | 9,3 | 16,1 | 11,4 | 15,7 | 10,6 |
| K | +3,2 | +0,4 | +4,6 | -0,6 | +4,6 | +1,4 | +7,2 | +17,6 | +6,8 | +17,8 | +4,0 |
| E | 380 | 540 | 580 | 700 | 780 | 860 | 1020 | 1020 | 1070 | 1070 | 1120 |
| $E_{oč}$ | 396,2 | 557,4 | 597,8 | 712,0 | 794,8 | 859,6 | 1022,6 | 1028,4 | 1073,4 | 1054,0 | 1106,4 |
| $\bar{s}$ | 18,2 | 27,2 | 28,2 | 29,6 | 31,4 | 43,9 | 48,8 | 31,7 | 70,2 | 65,4 | 70,2 |
| K | +16,2 | +17,4 | +17,8 | +12,0 | +14,8 | -0,4 | +2,6 | +8,4 | +3,4 | -16,0 | -13,6 |

TAB br. 3 Doza, korekcija i odstupanja u zavisnosti od vremena zračenja

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vrijeme (min) | | 15,0 | 15,0 | 30,0 | 45,0 | 60,0 | 60,0 | |
| $D_{oč}$ | | 227,1 | 241,2 | 465,3 | 677,5 | 897,7 | 911,0 | $D_{oč}$=15,0t+7,1 |
| $K=K_d-K_o$ | | +1,9 | +13,1 | +13,5 | +4,7 | -12,5 | +4,7 | $E_{oč}$= 1,0E+9,7 |
| $D_k$ | | 225,2 | 228,1 | 451,8 | 672,8 | 910,2 | 906,3 | $D_k$=15,1t-0,8 |
| $D_p$ | | 225,9 | | 452,5 | 679,2 | 905,9 | | |
| Odstupanja | $D_{oč}-D_p$ | +1,2 (0,5%) | +15,3 (6,8%) | +12,8 (2,8%) | -1,7 (0,3%) | -8,2 (0,9%) | +5,1 (0,6%) | |
| | $D_k-D_p$ | -0,7 (0,3%) | +2,2 (1,0%) | -0,7 (0,2%) | -6,4 (0,9%) | +4,3 (0,5%) | +0,4 (0,04%) | |

svim kriterijima (4) daje dosta dobro slaganje sa normalnom raspodjelom.

Pokušaj analize dozimetara po grupama kako su ozračivani prikazan je u TAB br. 4 : $\bar{s}_o$ i $\bar{s}_d$ su kvadratne sredine standardnih devijacija dobivenih za pojedina očitavanja "nule" i doze, $s(10)_R$ je vrijednost koju bi rasipanje deset puta očitanih dozimetara trebalo imati na osnovu datih podataka za $\bar{s}_o$ i $\bar{s}_d$, a $s(10)_E$ su vrijednosti koje su stvarno u eksperimentu dobivene. Iako za ve-

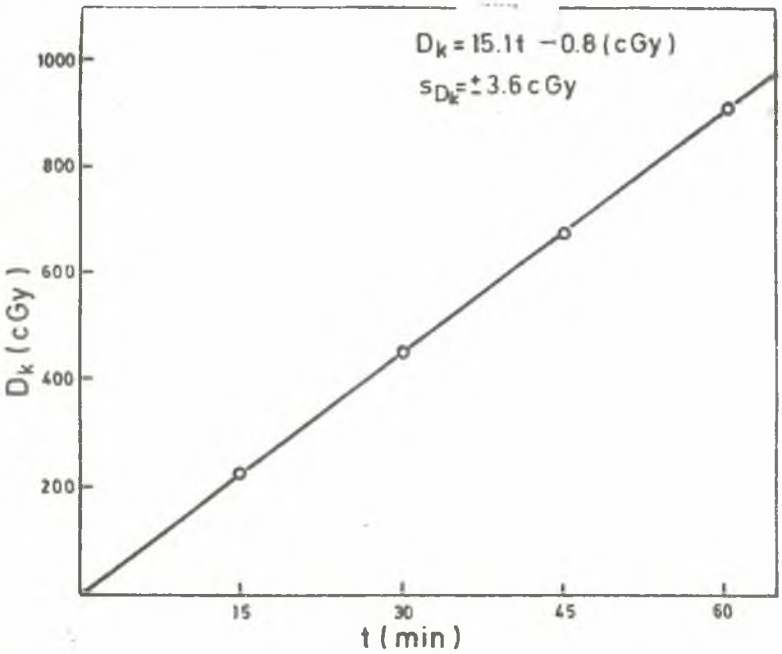
TAB br. 4

| Vrijeme ozračivanja (minute) | 15 | 15 | 30 | 45 | 60 | 60 | Srednje vrijednosti cGy (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{D}_k$/cGy | 225,2 | 228,1 | 451,8 | 672,8 | 910,2 | 906,3 | 565,7 |
| $\bar{s}_o$/cGy | 8,7 | 9,0 | 8,8 | 10,4 | 13,7 | 13,8 | 10,7 (1,9%) |
| $\bar{s}_d$/cGy | 11,9 | 15,7 | 27,5 | 29,2 | 55,3 | 38,3 | 29,7 (5,2%) |
| $s=\sqrt{\bar{s}_o^2+\bar{s}_d^2}$ | 14,7 | 18,1 | 28,9 | 31,0 | 57,0 | 40,7 | 31,6 (5,6%) |
| $s(10)_R=\frac{\bar{s}}{\sqrt{10}}$ | 4,7 | 5,7 | 9,1 | 9,8 | 18,0 | 12,9 | 10,0 (1,8%) |
| $s(10)_E$ | 5,2 | 7,4 | 11,0 | 15,5 | 18,4 | 14,1 | 11,9 (2,1%) |
| $s_{s+z}$(%) | 1,0 | 2,1 | 1,4 | 1,8 | 0,4 | 0,6 | 1,2 ± 0,6% |

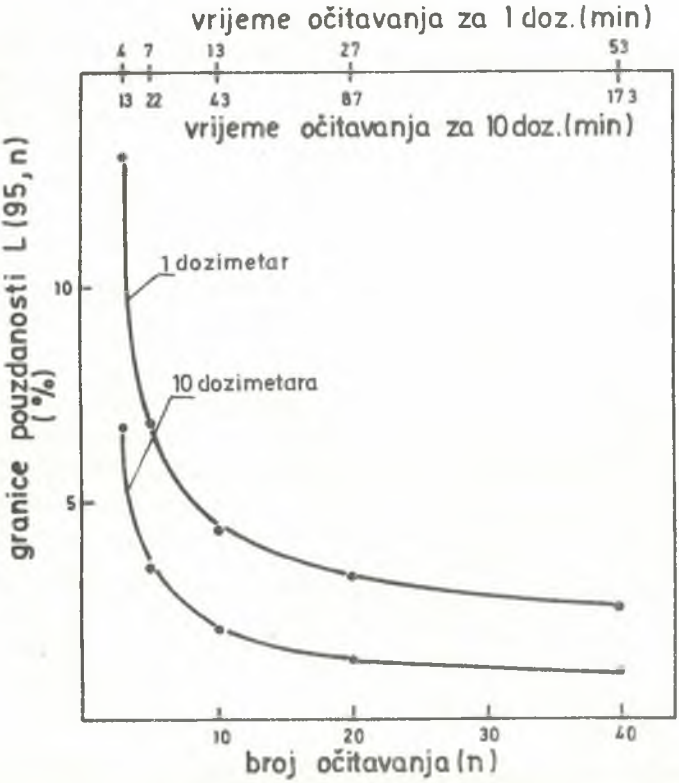
ćinu grupa razlike $s(10)_R$ i $s(10)_E$ nisu signifikantne (5), one su sistematski veće za vrijednosti $s(10)_E$ pa smo izračunali vrijednosti $s_{s+z} = \sqrt{s(10)_E - s(10)_R}$ (u %) koje daju statistički vjerojatno rasipanje zbog različite osjetljivosti dozimetara i greške položaja ozračivanja. Podaci u zadnjoj koloni u TAB br. 1 i u TAB br. 4 omogućavaju da se ta rasipanja zasebno izračunaju, te se dobivaju vrijednosti za rasipanje zbog različite osjetljivosti od 1,1 ± 0,6% i zbog položaja ozračivanja od 0,3 ± 0,2%. Ove rezultate treba ipak prihvatiti sa stanovitom rezervom zbog nedovoljne preciznosti metode za utvrđivanje razlika tog reda veličine.

Diskusija i zaključak - Mjerenje doze uz primjenu "korekcije" ima greške koje možemo podijeliti na "slučajne" (greške zbog statističkog rasipanja očitavanja "nule", doze i etalona) i "sistematske" (apsolutna greška kalibracije etalona i dozimetara i individualna osjetljivost dozimetara).

Udio "slučajne" greške na točnost rezultata možemo smanjivati povećavanjem broja očitavanja. Granična točnost koja se može dobiti određena je razlikama u osjetljivosti dozimetara (koja se opet može povećavati uzimanjem većeg broja dozimetara) i raspoloživim vremenom za očitavanje.




Slika 1.




Slika 2.

Greške kalibracije etalona dovoljno su niske da se ovim eksperimentom nisu mogle identificirati. Dobivene vrijednosti $\overline{D}_k$ u TAB br. 3 i pravac kojim je dan odnos $\overline{D}_k/t$ ozračivanja pokazuju da smo očitavanjem uz korekciju sistematsku grešku gotovo potpuno eliminirali (vidi odstupanja $D_k - D_p$ u posljednjem retku TAB br. 3).

Rezultati nam omogućuju da unaprijed predvidimo koliko točan rezultat možemo dobiti uz određenu statistiku očitavanja. Slika 2 pokazuje ovisnost granica pouzdanosti srednje vrijednosti L(95,n) u % prema broju očitavanja (n) za 1 i 10 dozimetara. Proračun je baziran na najvjerojatnijim vrijednostima standardne devijacije očitavanja koje iznose 0,5d gdje je "d" razmak između etalona na skali čitača i uz uzimanje 3 etalona za korekciju. Račun je dan za dozu od 400 cGy ali su dobivene procentualne vrijednosti približno iste za sve doze od 300 do 1020 cGy. Na gornjoj apscisi pokazano je vrijeme u minutama potrebno za određeni broj očitavanja na osnovu iskustva da je za jedno očitavanje potrebno 20 sekundi.

## DOSE READING ERRORS FOR DL-M3 DOSIMETER AND ČDL-M3 READER

Chemical dosimeter DL-M3 is produced for the use in accident neutron and photon personal dosimetry. The ČDL-M3 reader is a simple colourimeter used for the measurement of the radiation induced changes of chemical dosimeter colour. Several sets of dosimeters were irradiated with different doses of gamma rays from the Ruđer Bošković Institute $^{60}$Co source. Different sources of dose reading errors have been analyzed.

## LITERATURA

1. I. Dvornik, M. Živadinović, U. Zec, S. Miljanić, F. Ranogajec i D. Ražem: Lični radijacioni dozimetar DL-M3 - tkivu ekvivalentni dozimetar neutrona i gama zračenja, Zbornik radova IX Simp. Jug. društva za zaštitu od zračenja, Jajce,1977.
2. Uputstvo za upotrebu i održavanje ličnog radijacionog dozimetra DL-M3 (model 1976) i DL-M4 i čitača ličnog dozimetra ČDL-M3 (model 1976) i ČDL-M4, Zagreb, 1980.
3. Calibration of Dose Meters Used in Radiotherapy, Technical Reports Series No.185, IAEA, Vienna, 1979.
4. V.D. Boljšakov: Teorija grešaka posmatranja sa osnovama teorije vjerovatnoće, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
5. S. Elazar: Matematička statistika, Zavod za izdavanje udžbenika, Sarajevo, 1972.

XI.Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.04.1981.

Lj.Vasiljević, PMF Kragujevac
D.Veličković, I.Mirić, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
J.Simonović, Medicinski fakultet, Beograd

# ODREDJIVANJE DOZE NEUTRONA PRIMENOM CELULOZNIH NITRATA PROIZVODNJE "MILAN BLAGOJEVIĆ"

## Rezime

Ispitivanja su bila usmerena na proveravanje dozne osetljivosti celuloznih nitrata NC-180, NC-650, NC-900 i NC-1800 proizvodnje "Milan Blagojević" iz Lučana, uporedo sa celuloznim nitratom komercijalne proizvodnje Kodak LR-115 (12 μm).

Dozna osetljivost pomenutih celuloznih nitrata ispitivana je u različitim spektrima neutrona koji se dobijaju na nuklearnim postrojenjima HPRR, Silen, Triga, reaktor RA, zatim iz Am-Be izvora i iz T(d,n) reakcije.

Rezultati su pokazali da su dozne osetljivsto svih ispitivanih celuloznih nitrata domaće proizvodnje slične ili veće od odgovarajućih doznih osetljivosti LR-115, što znači da bi i oni mogli da budu pogodni za dozimetriju neutrona.

## Uvod

Folije celuloznih nitrata spadaju u grupu organskih polimera za koje su sadašnji rezultati ispitivanja ukazali da bi se mogli koristiti za potrebe neutronske dozimetrije.

Brzi neutroni prouzrokuju dominantno jezgro uzmaka pri uzajamnom dejstvu sa C,N i O iz detektora, čiji su tragovi vidljivi posle odgovarajuće obrade. Tragovi protona uzmaka, nastali pri elastičnom sudaru neutrona sa H mogu da budu vidljivi ako su energije neutrona u intervalu od oko 20 keV do 100 keV[1]. Kao rezultat interakcije termalnih neutrona sa celuloznih nitratom registruju se protoni od 0,58 MeV nastali $^{14}N(n,p)$ reakcijom.

Detekcija svih tragova se vrši optičkim i projekcionim mikroskopom ili u novije vreme kvatimetrom. Usavršavanjem tehnologije

obrade kao i povezivanjem mikroskopa sa kompjuterskim analiziranjem slike sve se više rasmatra mogućnost primene ovih detektora i u ličnoj dozimetriji.

Sirovine celuloznih nitrata proizvodnje "Milan Blagojević" ne koriste se za sada za komercijalnu izradu folija pogodnih za detekciju neutrona. Medjutim, dosadašnja naša ispitivanja ukazuju da su karakteristike nekih tipova ovih celuloznih nitrata[2] slične karakteristikama celuloznog nitrata LR-115 (12 μm) proizvodnje Kodak, namenjenog i za dozimetriju neutrona. U ovom radu izvršena su uporedna ispitivanja dozne osetljivosti domaćih i komercijalnih celuloznih nitrata u različitim poljima neutrona.

## Priprema i obrada folija

Ispitivani su sledeći tipovi celuloznih nitrata domaće proizvodnje: NC-180, NC-650, NC-900 i NC-1800, kod kojih je bitna razlika u vrednostima koeficijenta viskoznosti (od $1,5 \cdot 10^{-3}$ Pa.s za NC-180 do $18,21 \cdot 10^{-3}$ Pa.s za NC-1800, po Höppler-u).

Folije su izradjene prema postupku postavljenom u Institutu za fiziku u Beogradu[3]. Sve folije su približno iste debljine od oko 50 μm.

Ozračene folije su razvijene u 2,5 N rastvoru NaOH na temperaturi od 60°C. Pokazalo se da je najoptimalnije vreme razvijanja 90 min. Za vreme kraće od ovoga kod celuloznih nitrata tipa NC-900, a pogotovo NC-1800, tragovi nisu dovoljno razvijeni, dok se pri dužem vremenu razvijanja, kod NC-180 i NC-650 izmeni struktura, postaju mutne i tragovi se teško razaznaju. Pri razvijanju od 90 min, a na temperaturi od 60°C i u 2,5 N rastvoru NaOH, tragovi se jasno vide kod svih ispitivanih detektora.

Komercijalna folija KODAK LR-115 (12 μm) je razvijena takodje u 2,5 N rastvoru NaOH, a vreme razvijanja je iznosilo 150 min. Sve folije su ispirane u destilisanoj vodi i sušene na sobnoj temperaturi.

Broj tragova po jedinici površine detektora meren je pomoću optičkog mikroskopa Zeiss sa uvećanjem 640x. Pri mikroskopiranju su brojani svi potpuno razvijeni tragovi čiji je prečnik veći od 1μm.

Ozračivanje detektora

Ispitivani detektori su ozračeni u poznatim spektrima

- fisionih neutrona na nuklearnim postrojenjima HPRR (Oak Ridge, SAD), Silen (Valduc, Francuska), Triga (ljubljana)[4],

-termalnih i intermedijarnih neutrona (0,5 eV - 1 MeV) na reaktoru RA u Vinči,

- brzih neutrona iz Am-Be izvora jačine oko $10^6$ neutrona u sekundi neutrona nastalih T(d,n) reakcijom ($\bar{E}_n$ = 14 MeV).

Integralni fluksevi neutrona su se kretali u granicama od $10^{13}$ do $10^{15}$ $n.m^{-2}$, a bili su odredjeni pomoću aktivacionih i fisionih detektora.

Referentne vrednosti doza neutrona izražene u kermi (Gy) dobijene su iz poznatog spektra i fuelnsa neutrona, primenom odgovarajućih konverzionih faktora.

Eksperimentalni rezultati i diskusija

Celulozni nitrat KODAK LR-115 (12 $\mu$m) je ispitivan od strane mnogih autora i rezultati tih ispitivanja ukazuju na njegovu pogodnost za primenu u dozimetriji neutrona[6]. Zbog toga smo odlučili da osetljivost celuloznih nitrata domaće proizvodnje uporedimo sa osetljivošću ovog detektora.

Pregled dobijenih rezultata dat je u Tabeli 1.,na osnovu kojeg se može zaključiti da osetljivost svih ispitivanih celuloznih nitrata značajno zavisi od energije neutrona, što znači da je broj tragova po jediničnoj dozi različit.

Merenja vršena na nuklearnom postrojenju Triga ukazuju da se na jednom postrojenju može koristiti ista korelacija izmedju broja tragova i doze neutrona, pod uslovom da spektar nije značajno deformisan zaštitnim zidovima.

Ispitivanje osetljivosti svih celuloznih nitrata na termalne neutrone pokazuje da se ona ne može zanemariti, zbog čega pri njihovom eventualnom korišćenju, detektore treba staviti u odgovarajuće apsorbere.

Dozna osetljivost svih tipova celuloznih nitrata domaće proizvodnje na brze neutrone zavisi od energije neutrona, ali je za sve tipove detektora približno ista;,osetljivost za neutrone od 14 MeV

TABELA 1. Dozna osetljivost ispitivanih detektora na neutrone

| DETEKTOR | Neutronska osetljivost (tragovi.$m^{-2}$.$Gy^{-1}$).$10^8$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HPRR | Silen | Triga | | RA | | Am-Be | $\bar{E}_n$=14 MeV |
| | | | NIRK | TIF* | $n_{th}$ | $n_{int}$ | | |
| LR-115 | 0,46 | 0,27 | 0,96 | 0,89 | 2,44 | 0,51 | 2,61 | 16,50 |
| NC-180 | - | - | - | - | 20,22 | 3,66 | 3,00 | 46,48 |
| NC-650 | 2,07 | 0,63 | 0,80 | 0,71 | 8,38 | 6,12 | 3,60 | 43,48 |
| NC-900 | 2,73 | - | - | - | 8,47 | 6,51 | 4,20 | 43,48 |
| NC-1800 | 3,95 | - | 5,48 | 4,85 | 36,65 | 10,53 | 3,90 | 47,98 |
| Doza po 1 n.$m^{-2}$ (Gy.$m^{-2}$.$n^{-1}$).$10^{-7}$ | 2,31 (5) | 2,17 | 1,39 | | 0,02 | 0,25 | 3,33 | 6,67 |

Napomena: * - Referentne vrednosti doza dobijene pomoću jonizacionih komora

TABELA 2. Opseg doza koje se mogu meriti pomoću ispitivanih detektora

| DETEKTOR | Donja i gornja granica opsega doza u kojima mere detektori (Gy) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TRIGA | | | | | | | | Rektor RA | | | | | | | |
| | HPRR | | SILEN | | NIRK | | TIF | | n(term) | | n(interm) | | Am - Be | | $E_n$ = 14 MeV | |
| ** | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. |
| LR-115 | 0,13 | 10,9 | 0,22 | 18,2 | 0,06 | 5,2 | 0,07 | 5,6 | 0,025 | 2,0 | 0,12 | 9,8 | 0,023 | 1,92 | ,004 | 0,30 |
| NC-180 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,009 | 0,3 | 0,05 | 1,6 | 0,06 | 2,00 | ,004 | 0,13 |
| NC-650 | 0,10 | 2,90 | 0,33 | 9,52 | 0,26 | 7,5 | 0,29 | 8,4 | 0,025 | 0,72 | 0,03 | 0,98 | 0,06 | 1,67 | ,005 | 0,14 |
| NC-900 | 0,07 | 2,20 | - | - | - | - | - | - | 0,024 | 0,71 | 0,03 | 0,92 | 0,05 | 1,43 | ,005 | 0,14 |
| NC-1800 | 0,29 | 1,52 | - | - | 0,21 | 1,09 | 0,25 | 1,25 | 0,031 | 0,16 | 0,11 | 0,57 | 0,29 | 1,54 | ,024 | 0,13 |

** - d. - donja granica; g. - gornja granica

iznosi oko $4,5.10^9$ tragova.$m^{-2}Gy^{-1}$, a za neutronski spektar iz Am-Be izvora ($\bar{E}_n$=4,4 MeV) $3,6.10^8$ tragova.$m^{-2}Gy^{-1}$. Ove osetljivosti su 2,7 odnosno 1,4 puta veće od odgovarajućih vrednosti za detektor LR-115.

Polazeći od podataka prikazanih u Tabeli 1, zatim od vrednosti za fon kod pojedinih detektora i broja tragova koji se pouzdano mogu izmeriti pomoću optičkog mikroskopa, odredjene su donja i gornja granica doza neutrona koje bi se mogle odrediti sa zadovoljavajućom tačnošću pomoću ispitivanih detektora. Rezultati prikazani u Tabeli 2 pokazuju da je u većini slučajeva opseg primenljivosti celuloznih nitrata domaće proizvodnje manji u odnosu na LR-115, zbog relativno visokog fona registrovanog u detektoru.

## ZAKLJUČAK

Dosadašnja ispitivanja celuloznih nitrata domaće proizvodnje pokazuju da im je relativna osetljivost na brze neutrone veća u odnosu na KODAK LR-115, što indicira da bi mogli da budu pogodni dozimetri brzih neutrona. Spektralna zavisnost osetljivosti detektora mogla bi se smanjiti primenom odgovarajućih apsorbera. Medjutim, detektori su još uvek takvog kvaliteta da je potrebno usavršiti tehnologiju dobijanja folija i obrade detektora, da bi po kvalitetu bili bolji od komercijalnih. Usavršavanje kvaliteta opisanih detektora biće predmet naših daljih istraživanja.

NEUTRON DOSE DETERMINATION BY USING THE "MILAN BLAGOJEVIĆ" CELULOSE NITRATE FOILS - Neutron dose sensitivity was determined for different types of the Milan Blagojević Celulose nitrate detectors and compared with the corresponding values for KODAK LR-115.

Neutron dose sensitivity was measured in different neutron fields arising at the nuclear installations HPRR, Silene, Triga, RA and from the Am-Be and T(d,n) sources.

The results have shown that the dose sensitivity for all types of the NC-detectors are similar or higher than the corresponding values for LR-115.

## REFERENCE

1. Fleischer et al."Nuclear Tracks in Solids" Berkeley 1975, 545
2. Vasiljević LJ. i saradn. X simp JDZZ Arandjelovac 1979,
3. Antanasijević R., i saradn. VIII simp JDZZ, Herceg Novi 1975
4. Mirić I. i saradn. Merenje n-spektara pomoću aktivacionih i fisionih detektora primpremljeno za štampu
5. Manual on Nuclear Accident Dosimetry Technical Reports Series (u štampi)
6. Spurny F., Turek K., Radiation Protection Dosimetry 1 (1981) 51

TABELA 2. Opseg doza koje se mogu meriti pomoću ispitivanih detektora

| DETEKTOR | Donja i gornja granica opsega doza u kojima mere detektori (Gy) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HPRR | | SILEN | | NIRK | | TRIGA TIF | | Rektor RA n(term) | | Rektor RA n(interm) | | Am - Be | | $E_n$ = 14 MeV | |
| ** | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. | d. | g. |
| LR-115 | 0,13 | 10,9 | 0,22 | 18,2 | 0,06 | 5,2 | 0,07 | 5,6 | 0,025 | 2,0 | 0,12 | 9,8 | 0,023 | 1,92 | ,004 | 0,30 |
| NC-180 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,009 | 0,3 | 0,05 | 1,6 | 0,06 | 2,00 | ,004 | 0,13 |
| NC-650 | 0,10 | 2,90 | 0,33 | 9,52 | 0,26 | 7,5 | 0,29 | 8,4 | 0,025 | 0,72 | 0,03 | 0,98 | 0,06 | 1,67 | ,005 | 0,14 |
| NC-900 | 0,07 | 2,20 | - | - | - | - | - | - | 0,024 | 0,71 | 0,03 | 0,92 | 0,05 | 1,43 | ,005 | 0,14 |
| NC-1800 | 0,29 | 1,52 | - | - | 0,21 | 1,09 | 0,25 | 1,25 | 0,031 | 0,16 | 0,11 | 0,57 | 0,29 | 1,54 | ,024 | 0,13 |

** - d. - donja granica; g. - gornja granica

iznosi oko $4,5.10^9$ tragova.$m^{-2}Gy^{-1}$, a za neutronski spektar iz Am-Be izvora ($\bar{E}_n$=4,4 MeV) $3,6.10^8$ tragova.$m^{-2}Gy^{-1}$. Ove osetljivosti su 2,7 odnosno 1,4 puta veće od odgovarajućih vrednosti za detektor LR-115.

Polazeći od podataka prikazanih u Tabeli 1, zatim od vrednosti za fon kod pojedinih detektora i broja tragova koji se pouzdano mogu izmeriti pomoću optičkog mikroskopa, odredjene su donja i gornja granica doza neutrona koje bi se mogle odrediti sa zadovoljavajućom tačnošću pomoću ispitivanih detektora. Rezultati prikazani u Tabeli 2 pokazuju da je u većini slučajeva opseg primenljivosti celuloznih nitrata domaće proizvodnje manji u odnosu na LR-115, zbog relativno visokog fona registrovanog u detektoru.

## ZAKLJUČAK

Dosadašnja ispitivanja celuloznih nitrata domaće proizvodnje pokazuju da im je relativna osetljivost na brze neutrone veća u odnosu na KODAK LR-115, što indicira da bi mogli da budu pogodni dozimetri brzih neutrona. Spektralna zavisnost osetljivosti detektora mogla bi se smanjiti primenom odgovarajućih apsorbera. Medjutim, detektori su još uvek takvog kvaliteta da je potrebno usavršiti tehnologiju dobijanja folija i obrade detektora, da bi po kvalitetu bili bolji od komercijalnih. Usavršavanje kvaliteta opisanih detektora biće predmet naših daljih istraživanja.

NEUTRON DOSE DETERMINATION BY USING THE "MILAN BLAGOJEVIĆ" CELULOSE NITRATE FOILS - Neutron dose sensitivity was determined for different types of the Milan Blagojević Celulose nitrate detectors and compared with the corresponding values for KODAK LR-115.

Neutron dose sensitivity was measured in different neutron fields arising at the nuclear installations HPRR, Silene, Triga, RA and from the Am-Be and T(d,n) sources.

The results have shown that the dose sensitivity for all types of the NC-detectors are similar or higher than the corresponding values for LR-115.

## REFERENCE

1. Fleischer et al."Nuclear Tracks in Solids" Berkeley 1975, 545
2. Vasiljević LJ. i saradn. X simp JDZZ Arandjelovac 1979,
3. Antanasijević R., i saradn. VIII simp JDZZ, Herceg Novi 1975
4. Mirić I. i saradn. Merenje n-spektara pomoću aktivacionih i fisionih detektora primpremljeno za štampu
5. Manual on Nuclear Accident Dosimetry Technical Reports Series (u štampi)
6. Spurny F., Turek K., Radiation Protection Dosimetry 1 (1981) 51

# TL AKCIDENTALNI DOZIMETRIČNI SISTEM ZA ŽARKE GAMA

Z.Milavc, I.Žerovnik, F.Spreizer, M.Mihelič, D.Sušnik,L.Trontelj in U.Miklavžič

Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja, Ljubljana

Opisan je dozimetrični sistem ža žarke gama za območje doz od 0-10 Gy, ki ga tvorita serijski terenski termoluninescenčni merilnik 3. genracije (MTLD 7108A in sintrani TL dozimetri na bazi $CaF_2$(Mn). Prikazani so tudi rezultati obsežnejšega testa naprave iz serijske proizvodnje.

## UVOD :

Osebni dozimetri žarkov gama na principu termoluminescence so se uveljavili v praksi kot posebno primerni za hitro velikoserijsko določanje doz ter zaradi sle - dnje in tudi svojih ostalih lastnosti še posebej isponjujejo pogoje civilne zaščite (1 do 4). Dozimetrični sistem, ki ga v te namene uporabljamo in izpopolnjujemo že vrsto let (3 do 12) tvorijo osebni dozimetri iz sintranih tablet kalcijevega fluorida dopiranega z manganom ($CaF_2$ : Mn) in merilnik doz MTLD 7108A, ki naj bi na skupnem merilnem mestu stregel približno 500 osebnim dozimetrom. Izbrani obseg termoluminescenčnega merilnika omogoča merjenje širokega obsega obsevnih (ekspozicijski ) ali tkivnih absorbiranih doz od nekaj cGy do 1000 cGy, kar se ocenjuje , da z zadostno mero rezerve pokriva področje potrebno pri akcidentalni dozimetriji. Energijska odvisnost odziva dozimetra je izenačena tudi za majhne energije fotonov pod 200 keV s konstrukcijo dozimetrske kapsule v obliki značke,ki ima vgrajene svinčene filtre. Z istimi filtri se izravna tudi odvisnost odziva od kota vpada žarkov glede na orientacijo tablete (4,7). Izguba zabeležene absorbirane doze oz. odziva zaradi praznenja s časom je že po preteku dveh ur po obsevanju zanemarljiva (1,6,7), tako da lahko dozimetre "čitamo" tudi po preteku več mesecev po obsevanju z žarki gama, ne da bi bilo potrebno upoštevati kake korekture.

## APARATURA :

Elektronski merilnik ali čitalnik dozimetrov je vgrajen v prenosno ohišje.Napajamo ga bodisi neposredno iz 12 V akumulatorja ali pa posredno preko napajalnika iz 220 V omrežja. Napajalnik je vgrajen v indentično prenosno ohišje kot čitalnik in je z njim serijsko opremljen vsak merilnik.

Čitalnik je bil konstruiran za rutinsko merjenje in zato vsebuje več stabilizacijskih in regulacijskih zank za avtomatično uravnavanje merskih parametrov. Ta značilnost omogoča merjenja v širokem pasu zunanjih temperatur in hkrati odpravlja potrebo po periodičnem preverjanju in nastavljanju čitalnika. Meritev je na ta način zelo poenostavljena,saj od upravljalca čitalnika zahteva le še vlaganje dozimeterskih tablet v čitalnik. Pravilno delovanje elektronskega sistema je seveda kljub avtomatiziranemu nastavljanju parametrov mogoče vsak trenutek preveriti s posebnima komandama.

Čitalnik ima na čelni plošči sistem za segrevanje tablet, ki se avtomatično vključi, ko s pomočjo drsnika pomaknemo tableto na grelec.Segrevanje tablete je programirano tako, da se po prehodu čez žarilno temperaturo, ko tableta izseva svetlobo sorazmerno absorbirani oz. obsevni dozi, temperatura "ustali" in periodično niha okoli nastavljene vrednosti, dokler je drsnik v legi za čitanje. S tem je omogočena sprotna kontrolirana obnova (anealing) tablete,ki je bila prebrana.Na sliki 1, kjer je shematično prikazan merilni sistem, vidimo da je izsevana luminescenčna svetloba, ki pada na fotopomnoževalko, razsekana z zaslonko, ki jo vrti elektromotor. Tako moduliran svetlobni signal povzroči v fotopomnoževalki moduliran električni tok, ki ga še dodatno ojačamo v ojačevalniku.Izhodni električni signal vodimo na tri demodulatorje, kjer dobimo iz izmeničnega signala fazno usmerjene signale. Iz demodulatorja I vodimo signal sorazmeren svetlosti tablete v enoto, ki meri vršno vrednost žarilne krivulje (8)- slednja služi kot merilo za dozo. To napetost vodimo nato na analogno digitalni pretvornik, ki spremeni vrednost napetosti v številčno vrednost, ki jo odčitamo na številčnem kazalniku. Merilnik je nastavljen tako, da daje odčitek direktno v cGy absorbirane doze v mehkem tkivu. Za stabilno delovanje merilnega sistema in odpravo vplivov, ki bi jih lahko imela večja temperaturna sprememba okolice, staranje elementov, spreminjanje napajalne napetosti,lokalna pregrevanja in podobno, skrbi več dodatnih krmilnih elementov.Tako dobimo na izhodu demodulatorja II signal za popravljanje ničle sistema, ki ga vodimo nazaj na vhod ojačevalnika. Demodulator III skrbi za pravilno in stabilno delovanje celotnega ojačevalnega sistema. Določanje stabilnosti temelji na referenčnem svetlobnem izvoru, katerega svetloba je prav tako modulirana s prekinjajočo zaslonko na osi elektromotorja.V kolikor signal na izhodu ojačevalnika, ki pripada referenčnemu izvoru, ni ustrezen, se razlika ojači v ojačevalniku napake, ta popravi visoko napetost fotopomnoževalke in s tem

naravna ojačitev fotometričnega sistema na potrebno vrednost, tako da se motnja - ne glede na svoj izvor - kompenzira. Natančnost stabilizacije je tako direktno odvisna od stabilnosti referenčnega izvora svetlobe. Referenčno svetlobo dobimo iz LED - diode, ki ima s posebnim stikom termostatirano emitirajoče območje (12) in stabilizriano napajanje.

Opisana vgrajena samodejna stabilizacija naprave, ki tudi po zasnovi loči čitalnik od običajnih laboratorijskih, naj bi zagotavljala uporabnost čitalnika v posebno težkih terenskih pogojih oziroma delo v posebnih akcidentalnih pogojih.

TESTIRANJE SISTEMA IN REZULTATI :

Zaradi specifičnih zahtev, v katerih naj bi dozimetrični sistem zanesljivo deloval, je bilo testiranje usmerjeno predvsem v ugotavljanje stopnje reproducibilnosti celotnega sistema pod neugodnimi pogoji in posebej izenačenosti odziva serijskih dozimetričnih tablet pri oz. po različnih obremenitvah z dozami. Prvi del testa (13), ki je zajemal 800 meritev je bil izveden s serijskim merilnikom in 200 serijskimi dozimetri, drugi del , ki je zajemal 600 meritev s 60 dozimetri, pa s posebnim labaratorijskim merilnikom, prirejenim ~~prav za~~ potrebe testa. Vsa obsevanja so bila opravljena s točkastim kalibriranim $^{60}$Co izvorom. Prvi del testa je vključeval naslednje meritve:

(1) 99 dozimetrov je bilo 5 krat zapored obsevanih do doze 100 cGy. Po vsakem obsevanju , ki so si sledili v enodnevnih presledkih, je bila doza odčitana na merilniku z zakasnitvijo vsaj 12 ur. Razen preverjanja ničle pred ponovnim obsevanjem ni bilo drugega brisanja (anealing-a). Rezultati v obliki povprečnih vrednosti, standardne deviacije ter maksimalnega odmika posameznega odčitka od srednje vrednosti so podani v tabeli 1. Zaporedne serije meritev kažejo šibko vendar sistematično večanje doze. Ta sistematika, ki očitno kaže na remanenco doze, pride nekoliko bolj do izraza na histogramu sl.2. Slednji je narisan tako, da vrednost Ø na abcisi kaže srednjo vrednost doze petih zaporednih meritev iste tablete. Na ta način so občutljivosti posameznih tablet "izenačine" in širina histograma izpostavlja v pretežni meri stresanje zaradi preostalih vzrokov. Izrazita vrhova, od katerih k močnejšem pretežno prispevajo meritve poznejšh serij, potrjujeta začetno pretpostavko. Širina glavnega vrha tudi omogoča oceno, ki kaže, da sta prispevka variacij v

občutljivosti serijskih tablet in vseh ostalih dajavnikov v celotnem stresanju približno enaka, kar je smislena natančnost.

(2)

Serije od 50 dozimetrov so bile obsevane z različnimi dozami v razponu od 5 do 400 Gy. Rezultati v obliki povprečnih vrednosti in standardne deviacije so podani v tabeli 2 in na sl.3. Iz sl.3 je razvidno, da je dozimetrijski sistem v okviru natančnosti posameznih meritev linearen.

(3)

20-tim dozimetrom, ki so prejeli dozo 100 cGy je bila merjena doza pri temperaturi $0^{o}C$. Merilnik je pokazal (95,8 $\pm$ 4,4) cGy, kar se dobro ujema z meritvami pri sobni temperaturi (96,2 $\pm$ 5,9) cGy. Glej tabelo 1.

(4)

30-tim dozimetrom, ki so prejeli dozo 100 cGy je bila merjena doza pri $35^{o}C$. Merilnik je pokazal (101,8 $\pm$ 4,4) cGy, kar kaže rahlo odvisnost merilnih rezultatov od temperature okolice merilnika.

Drugi del meritev je bil namenjen ugotavljanju vpliva zgodovine tablet, stopnje doseženega brisanja pred obsevom in bledenja (fading-a) po obsevu na stresanje izmerkov. Uporabljene tablete so bile mešanica dozimetrov, ki so prejeli v preteklosti doze gama in kombinirane doze nevtronov in gama od nekaj 10 Gy do Ø. Tablete so bile pred vsakim obsevanjem žarjene 0,5 h pri temperaturi $350^{o}C$, presledki med obsevanjem in meritvijo pa so variirali od nekaj ur do 2 dni. Poleg neposredne reproducibilnosti odčitkov pri isti nominalni dozi sta bila pri vsaki tableti sočasno izmerjena dva parametra, t.j. vršna vrednost žarilne krivulje in njen integral. Pričakovati je bilo, da bosta omenjena parametra različno občutljiva na prisotnost remanentnih doz v eventuelnih višjih vrhovih žarilne krivulje. Za meritev je bil uporabljen poseben merilnik, žarilna peč pa je bila serijske izdelave. Del rezultatov meritev je podan v tabeli 3, ki kaže standardno deviacijo izmerka glede na način merjenja za doze 100,500 in 900 cGy. Velikost standardne napake se je pri tako izbranih dozimetrskih vzorčnih tabletah sicer povečala glede na napako v prvem delu testa, vendar analiza ni pokazala značilne razlike med obema vrstama meritev. Histograma na sliki 3, ki sta bila narisana z "izenačenimi" občutljivostmi tablet (kot je to opisano v točki 1) za serijo 5

meritev vršne vrednosti in integrala pri $D_o$=500cGy (doza z največjim stresanjem v tabeli 3) dajeta še nekaj dodatnih informacij. Očitno glavni delež k stresanju prispeva neizenačenost tablet, kot je to bilo pričakovati glede na močno različno zgodovino obsevanja, vendar je ta delež v celoti majhen in znotraj toleranc. Nekoliko ožjo porazdelitev pri "integralnem" odčitavanju pa si lahko razložimo (posebno, če tudi upoštevamo po drugi strani nekoliko širšo ustrezno porazdelitev pri "neizenačeni" porazdelitvi- tabela 3) z dejstvom, da je bila prvotna selekcija tablet pri serijski proizvodnji narejena na podlagi meritev vrha, ne pa integrala. Rezultate celotnega testa lahko strnemo v ugotovitev, da je le ta pokazal za - nesljivost in relativno veliko natančnost določanja absorbiranih (oz. obsevanih) doz v akcidentalnih pogojih s sistemom TDS-08.
Pravtako pa so dozimetri iz tablet $Ca_2F$:Mn, ki so bili podvrženi različnim doznim obremenitvam ohranili uporabnost, dasiravno je bilo v tem primeru priporočljivo dodatno brisanje z žarenjem.

TL dosimetric system for accident doses of gamma rays

Thermoluminiscent dosimetric system for gamma-ray dose region from 0 to 10 Gy consisting of the thermoluminiscent portable field reader and sintered $CaF_2$(Mn) dosimeter pellets is described. Some results of extensive tests of standard production device are also presented.

| Število izmerjenih vzorcev | Nominalna doza [cGy] $D_o$ | Povprečna vred. izmerjene doze $\bar{D}$ | Standardna deviacija izmerka $\sigma$ | Maksimalno odstopanje izmerjene doze od povprečne vrednosti $\Delta D$ | $\Delta D$ % |
|---|---|---|---|---|---|
| 99 | 100 | 90,49 | ± 4,62 | - 13,5 | - 14,9 |
| 99 | 100 | 93,51 | ± 5,27 | - 10,5<br>+ 10,5 | - 11,2<br>+ 11,2 |
| 99 | 100 | 99,00 | ± 4,54 | - 15<br>+ 11 | - 15,2<br>+ 11,1 |
| 99 | 100 | 98,42 | ± 4,40 | - 11,4<br>+ 9,6 | - 11,6<br>+ 9,7 |
| 99 | 100 | 99,38 | ± 4,45 | - 10,4<br>+ 12,6 | - 10,45<br>+ 12,7 |

Tabela 1

Reproducibilnost izmerjenih doz 99 dozimetrov obsevanih petkrat zapored do nominalne doze 100 cGy. Poleg povprečne vrednosti izmerkov in standardne deviacije posameznega izmerka je podano tudi največje ugotovljeno odstopanje od srednje vrednosti.

| Število izmerjenih vzorcev | Nominalna doza [cGy] $D_o$ | Povprečna vred. izmerjene doze $\bar{D}$ | Standardna deviacija izmerka $\sigma$ | Maksimalno odstopanje izmerjene doze od povprečne vrednosti $\Delta D$ | $\Delta D$ % |
|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 200 | 191,24 | ± 8,81 | + 22<br>- 19 | + 11,5<br>- 9,9 |
| 50 | 300 | 292,26 | ± 9,79 | + 22<br>- 19 | + 7,5<br>- 6,5 |
| 50 | 400 | 395,34 | ± 14,30 | + 45<br>- 27 | + 11,4<br>- 6,8 |
| 50 | 58,8 | 58,70 | ± 2,54 | + 6,5<br>- 5,7 | + 10,7<br>- 9,7 |
| 50 | 100 | 98,82 | ± 3,83 | + 9<br>- 11 | + 9,1<br>- 11,1 |

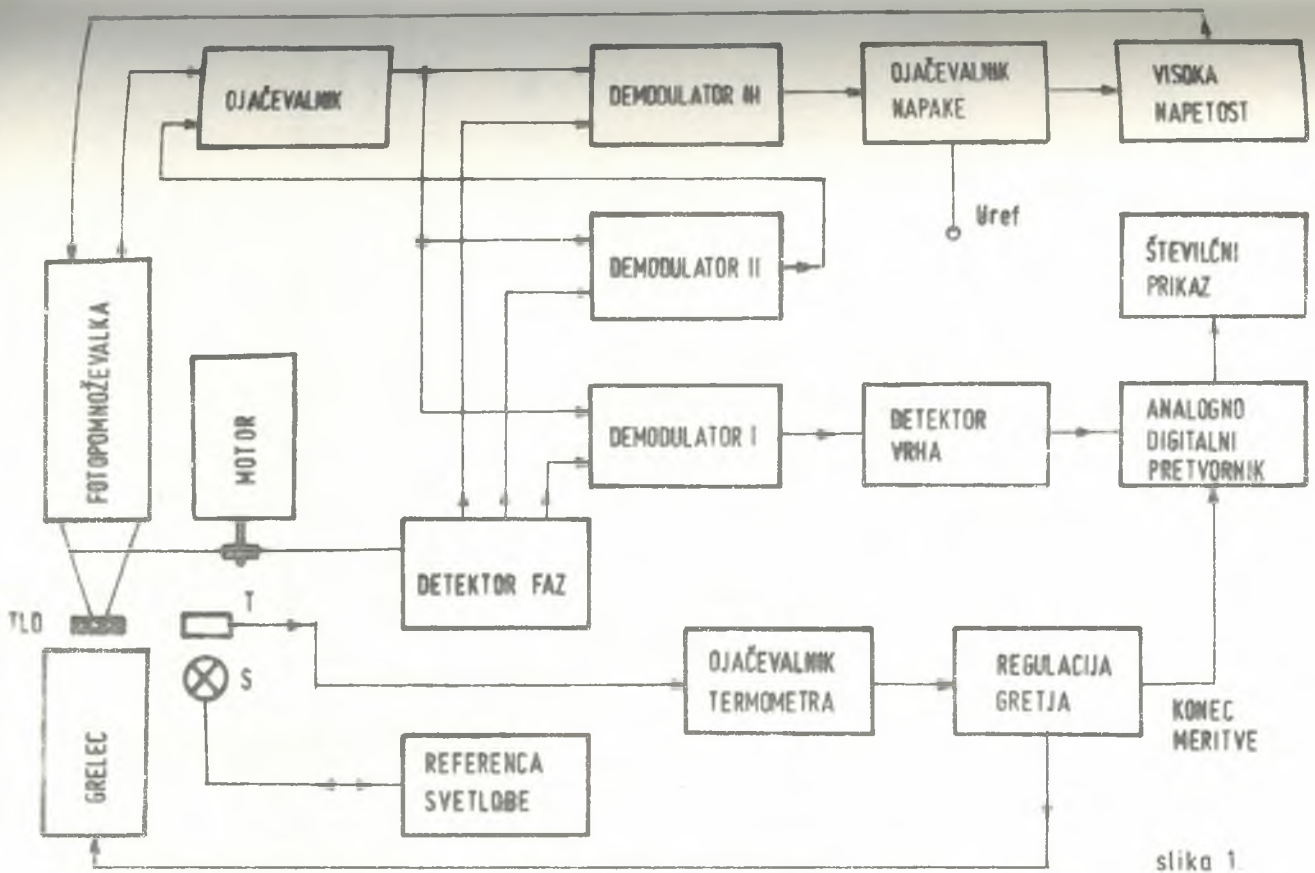
Tabela 2

Primerjava reproducibilnosti izmerjenih doz za območje prejetih doz od 60 do 400 cGy. Podana je standardna deviacija enega izmerka in največje ugotovljeno odstopanje od srednje vrednosti.

| Število izmerjenih vzorcev | Nominalna doza [cGy] | Standardna deviacija izmerka $\sigma$ % Način meritve žarilne krivulje | |
|---|---|---|---|
| | | vršna vrednost | integral krivulje |
| 5 x 20 | 100 | 7,0 | 7,2 |
| 5 x 20 | 500 | 11,0 | 12,0 |
| 5 x 20 | 900 | 6,9 | 8,2 |

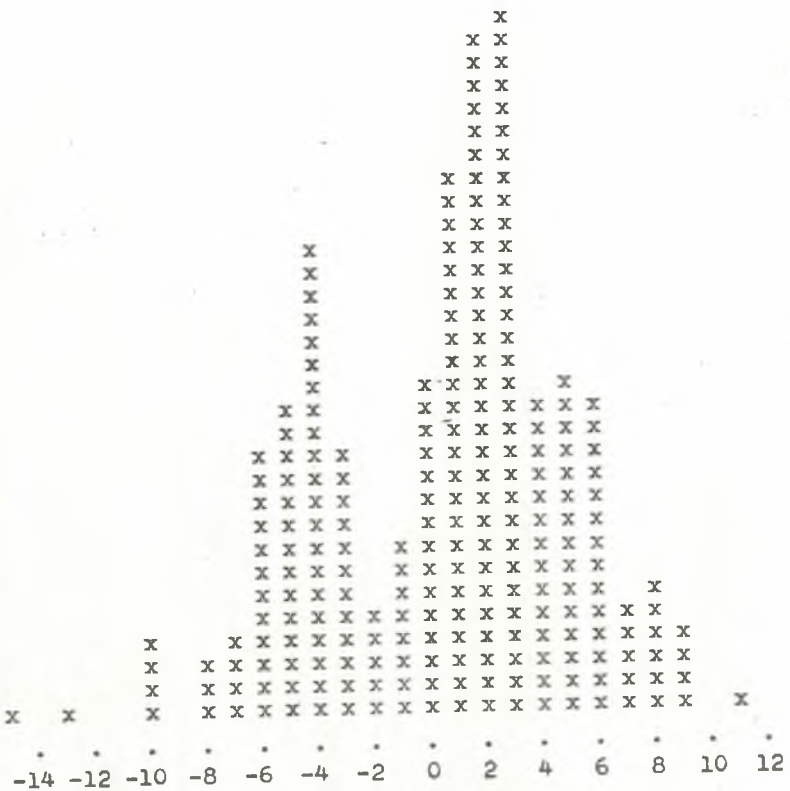
Tabela 3

Primerjava stresanja za tablete z različno zgodovino glede na način merjenja doze: z vršno vrednostjo žarilne krivulje in z integralom žarilne krivulje. Kot merilo stresanja so podane izmerjene standardne deviacije posameznega izmerka pri obsevni dozi 100, 500 in 900 cGy. Meritve obeh parametrov doze, so bile napravljene sočasno. Uporabljan je bil poseben laboratorijski merilnik in standardno ogrevanje merilnika MTLD-7108.

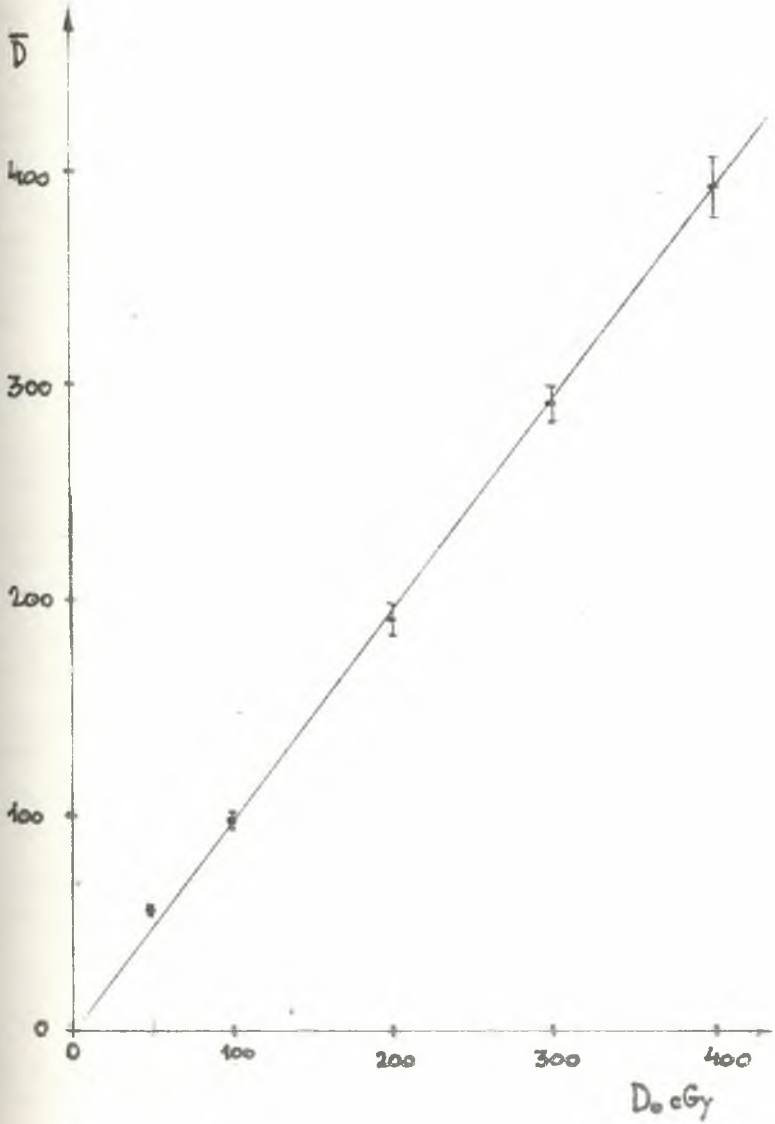



slika 1

Shematični prikaz delovanja merilnika termoluminiscenčnih dozimetrov MTLD-7108A Instituta "Jožef Stefan"




Sl. 2 Porazdelitev odčitanih doz okoli povprečne vrednosti (0) za prejeto nominalno dozo 100 cGy (vrednost enote na abscisi je ca 1 cGy). Porazdelitev je dobljena tako, da so bile občutljivosti dozimetrov med seboj normalizirane na podlagi povprečne vrednosti 5-tih izmerkov.

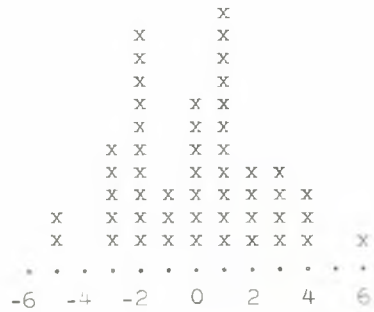



Sl.3 Odvisnost odčitane doze $\bar{D}$ od nominalne absorbirane doze $D_o$ cGy. Poleg vsake povprečne vrednosti $\bar{D}$ je narisana tudi standardna napaka posameznega izmerka v seriji 50-th meritev.

(a) $\sigma = 2{,}8\ \%$

$\bar{D} = (435 \pm 12)$ p. enote

$P_{500}$




(b) $\sigma = 2{,}3\ \%$

$\bar{D} = (440 \pm 10)$ p. enote

$S_{500}$

Sl.4 Porazdelitev odčitanih doz okoli povprečne vrednosti (0) za prejeto nominalno dozo 500 cGy: (a) z odčitavanjem vrha žarilne krivulje; (b) z odčitavanjem integrala žarilne krivulje. (Merilni podatki kot za tabelo 3)

LITERATURA:

1. M.Mihajlović, V.Kosi, M.V.Mihajlović, Z.Milavc
an enamel coated $CaF_2$:Mn thermoluminescencent dosemeter and the reading instrument, Phys.Med.Biol, 12, 395,1967

2. M.Mihajlović, V.Kosi, M.V.Mihajlović, Z.Milavc, A.Podgoršek, J.Smrekar, Termoluminescenčni dozimetri na $CaF_2$:Mn ugradjenim u emajl i odgovarajuči čitači doza
3. jugoslovanski simpozij o zaščiti pred ionizirajočim sevanjem, Banja Luka 1967

3. Z.Milavc, F.Celar, Prenosni čitalnik termoluminescentnih dozimetrov ČTLD-6912, 5. jug. simpozij o radiološki zaščiti, Bled, 1970,Nr.7/10

4. D.Uran, D.Sušnik,Termoluminescentni dozimetri TLD-08, 5. jug. simpozij o radiološki zaščiti, Bled, 1970,Nr.3/10

5. D.Uran, M.Knježević,D.Sušnik, D.Kolar, Some dosimetric properitis of sintered activadet $CaF_2$ dosimetris, Proc. of the III[rd] Int. Conf. "Luminescense Dosimetry", Roskild, Danska, 1971

6. D.Uran, F.Kolenko, Nekatere konstrukcijske posebnosti prenosnega čitalnika za TLD, 6. jug. simpozij zaščite pred sevanjem, Ohrid, 1972

7. B.Navinšek Termoluminescentni dozimetrski sistem TLD-08, IJS Delovno poročilo DP-495, 1972

8. Z.Milavc, F.Celar, Detektor maksimalnih vrednosti napetosti in analogni spomin, Jugoslovanski patent 33922.

9. B.Navinšek, D.Uran, Lov na nevidnega sovražnika, Naša obramba, Ljubljana, junij-julij 1973, str. 26.

10.D.Uran, Izboljšave termoluminescenčnega sistema za osebno dozimetrijo Zbornik 7. jug. simpozija o zaščiti pred sevanjem, Kaštel Stari, str. 224, 1973

11.D.Uran, Izboljšave na merilniku termoluminescenčnih dozimetrov, 8.jug. simpozij o zaščiti pred ionizirajočim sevanjem, Hercegnovi, str. 53-,1975

12.Z.Milavc, F.Spreizer, I.Žerovnik, Referenčni izvor svetlobe, Patentna prijava P-2342/79

13.M.Žle, P.Rupnik, U.Miklavžič, Interno poročilo IJS

XI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21.-24. april, 1981.

Miodrag Šobajić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

# OSETLJIVI ELEKTRONSKI SISTEM ZA MERENJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE ZRAČENJA SA JONIZACIONOM KOMOROM

Sadržaj

Izložene su i ukratko analizirane osnovne metode za konverziju jednosmernih struja u frekvenciju (povorku impulsa) u cilju merenja jačine ekspozicione doze zračenja sa jonizacionom komorom. Opisana je jedna razvijena metoda za direktnu konverziju struje u povorku impulsa koja obezbedjuje ekstremno visoku osetljivost u pogledu odnosa generisane frekvencije i merene struje, što je povoljno za merenje malih jačina ekspozicionih doza zračenja.

## 1. Uvod

Za merenje jačine ekspozicione doze zračenja korišćenjem jonizacione komore, potrebno je koristiti elektrometarske pojačavače za konverziju struje u napon ili konverziju struje u povorku impulsa (frekvenciju). Struje koje treba meriti se nalaze u jednom delu širokog opsega od $10^{-14}$A do $10^{-6}$A, zavisno od jačine ekspozicionih doza zračenja koje treba meriti i efektivne zapremine jonizacione komore koja se koristi kao detektor. Problemi u pogledu realizacije merenja se povećavaju sa smanjivanjem struje odnosno sa smanjivanjem jačine ekspozicione doze zračenja koja se meri. Problemi naročito dolaze do izražaja kod merenja struja manjih od $10^{-11}$A. Ovo je osnovni razlog što se za merenja ekstremno malih jačina ekspozicionih doza zračenja, na primer, na nivou prirodnog fona ili na nivoima za 1 do 2 reda veličine iznad prirodnog fona, retko koriste kao detektori jonizacione komore.

Za merenje većih jačina ekspozicionih doza zračenja, većih

za najmanje 2 reda veličine od prirodnog fona koriste se danas često kao detektori jonizacione komore i elektrometarski pojačavači kao neophodni konvertori malih struja iz komore u napon ili frekvenciju koje je moguće lako registrovati i meriti.

Postoje dva osnovna principa koji se koriste za merenje malih struja: I) merena struja na visokoomskom otporniku stvara pad napona koji se meri na niskoj impedanci, II) merena struja puni integracioni kondenzator koji se povremeno prazni. Na osnovu merenja broja pražnjenja ili brzine punjanja kondenzatora dobija se podatak o merenoj struji.

S obzirom na savremene zahteve za indikaciju u digitalnom obliku poslednjih godina je razvijen veliki broj elektronskih kola za direktnu konverziju malih struja u povorku impulsa /1-5/. Osnovni nedostatak ovih rešenja je mali konverzioni faktor, odnosno mali broj impulsa koji se dobija po 1 pA merene struje. Konverzioni faktor je najčešće reda veličine 1 Hz/$10^{-10}$A. Kod merenja ekstremno malih jačina ekspozicionih doza zračenja dobijaju se učestanosti niže od 0,01 Hz. Ovo su jako niske učestanosti koje je zbog toga što zahtevaju duge vremenske intervale merenja nemoguće praktično koristiti.

U ovom radu je, isključivo zbog lakšeg poredjenja, ukratko opisan, preko blok šeme, klasičan način konverzije struje u učestanost. Posebno je opisan takodje preko blok šeme, zbog malog raspoloživog prostora, osnovni princip rada razvijenih elektronskih kola koja omogućavaju korišćenjem brzog digitalno-analognog konvertora postizanje visoke strujne osetljivosti: konverzionog faktora od najmanje 1 Hz/$10^{-13}$A.

## 2. Princip rada klasičnih konvertora malih struja u povorku impulsa

Osnovu svakog konvertora struje u frekvenciju (slika 1) čini pojačavač A, koji u povratnoj sprezi koristi kondenzator C, tako da se na njegovom izlazu dobija integral ulazne merene struje iz jonizacione komore. Nagib izlaznog napona je direktno proporcionalan ulaznoj merenoj struji I a inversno proporcionalan kapacitivnosti kondenzatora C. Kada izlazni napon dostigne prag komparatora K, dobija se impuls koji trigeriše izlazni multivibrator a ovaj daje kratak impuls dužine trajanja reda 1 μsec. Ovaj impuls pobudjuje impulsni strujni generator (ISG) koji šalje kvantizirano opterećenje u integrirajući kondenzator C. Time dolazi do uspostavljanja

prvobitnog stanja kod komparatora i omogućava ponavljanje procesa punjenja kondenzatora strujom iz jonizacione komore. Brzina recikliranja je srazmerna ulaznoj merenoj struji. Poznavajući konstantu proporcionalnosti izmedju struje i frekvencije moguće je lako odrediti nepoznatu merenu struju. Ograničenje koje period recikliranja nameće integratoru je maksimalna brzina ponavljanja sa kojom integrator može da radi. Rešenje zahteva korišćenje visokofrekventnog elektrometarskog pojačavača.

## 3. Konvertor malih struja u povorku impulsa sa velikim konverzionim faktorom f/I

Blok šema preko koje je objašnjen princip rada konvertora prikazana je na slici 2. Struja iz jonizacione komore puni integracioni kondenzator C. Kada se napon integracionog kondenzatora koji se dovodi na ulaz A komparatora $K_1$ izjednači sa naponom sa izlaza digitalno-analognog (D-A) konvertora koji se dovodi na ulaz B dolazi do okidanja komparatora $K_1$. Impuls iz komparatora $K_1$ prima D-A konvertor tako da se napon na izlazu iz ovog konvertora smanjuje za odredjen iznos $\Delta u$, koji može biti na primer, 10 mV. Ova promena napona vraća komparator u prvobitno stanje a dalji porast napona na integracionom kondenzatoru posle promene od 10 mV izazvaće pojavu sledećeg impulsa. Broj impulsa iz komparatora $K_1$ je srazmeran brzini promene napona na integracionom kondenzatoru i to bez pražnjenja integracionog kondenzatora. Za jedno pražnjenje kondenzatora može se dobiti izmedju 100 i 1000 impulsa iz komparatora $K_1$. Ovo drugim rečima znači da se izlazni impulsi dobijaju ne iz ukupnog proizvedenog testerastog napona već iz nagiba ovog testerastog napona.

Kada napon na izlazu integratora posle većeg broja generisanih impulsa, dostigne neku unapred predodredjenu vrednost (napr.5V) dolazi do okidanja komparatora $K_2$. Kratkim naponskim impulsom iz ovog komparatora pobudjuje se impulsni strujni generator (ISG) koji sa definisanim opterećenjem prazni integracioni kondenzator. Pošto se dostigne jednakost izlaznog napona A-D konvertora i komparatora $K_1$ nastavlja se proces integracije i generisanja impulsa iz komparatora $K_1$.

Sa integracionim kondenzatorom C = 10 pF i step promenom napona iz digitalno-analognog konvertora od 10 mV ostvarena je osetljivost od 1 Hz/$10^{-13}$A. Pražnjenje integracionog kondenzatora vršeno je iz strujnog izvora ostvarenog sa FET tranzistorom. Ostvarena je konverzija u opsegu od preko pet dekada.

## 4. Zaključak



Opisani sistem omogućava direktnu konverziju malih struja u frekvenciju. Realizacija, umesto brzih elektrometarskih pojačavača kao što je to slučaj kod klasičnih I-F konvertora, zahteva korišćenje brzih komparatora i D-A konvertora. Sistem obezbedjuje ekstremno visoku osetljivost u pogledu odnosa generisane frekvencije i merene struje. Osetljivost je za dva reda veličine veća od osetljivosti metoda kod koji se dobija impuls samo pri pražnjenju integracionog kondenzatora. Ovo je pogodno za merenje malih jačina ekspozicione doze zračenja korišćenjem jonizacione komore kao detektora zračenja. Eksperimentalno je ustanovljeno da je moguće postići konverzioni odnos od 1 Hz/$10^{-13}$A.

Metoda je u dosadašnjem radu, isključivo analizirana sa stanovišta postizanja visokog konverzionog odnosa koji omogućava merenja u kratkom vremenskom intervalu.

A SENSITIVE ELECTRONIC SYSTEM FOR EXPOSURE DOSE RATE MEASUREMENT USING IONIZATION CHAMBER

Abstract

The basic concept of known methods for low current-to-frequency convertion in respect with exposure dose rate measurement using ionization chamber has been briefly discussed.
A possibility for low current-to-frequency convertion which gives high ration of generated frequency and measured current is described.

## 5. Literatura

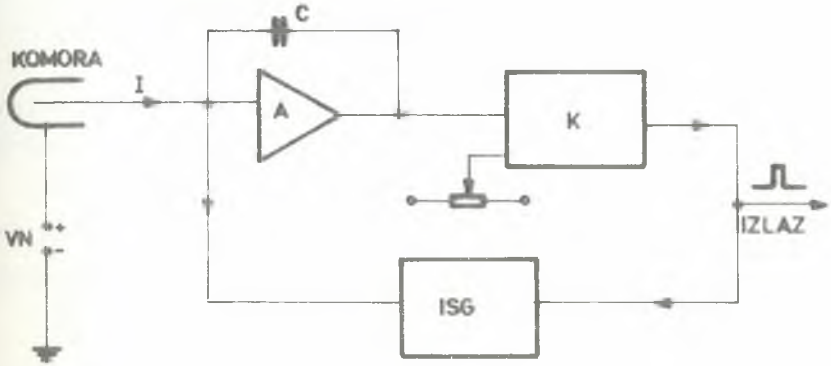
1. Shapiro E., "Linear seven-decade current/voltage-to-frequency converter" IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol.17,Feb.1970. pp.335-344.

2. Taylor D., "A current-to-frequency converter for astronomical photometry", The Review of Scientific Instruments,Vol.40,No.4. 1969, pp. 559-562.

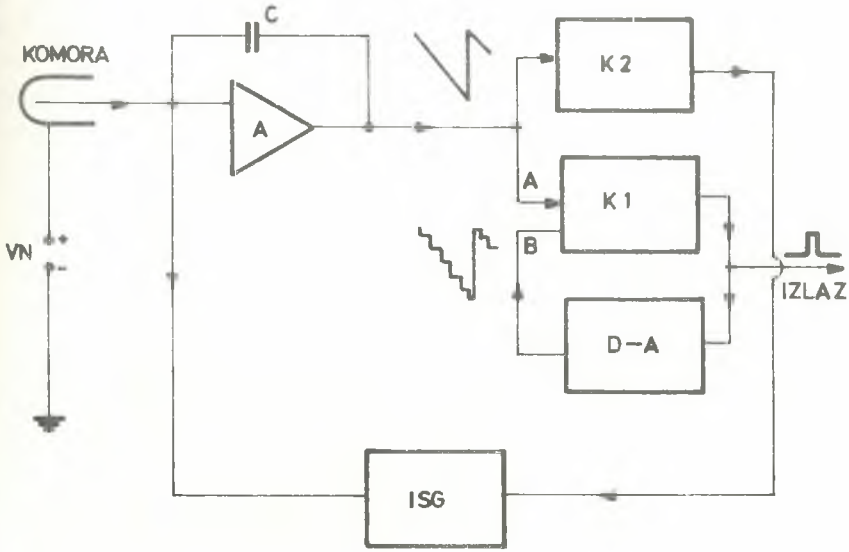
3. Shapiro E., "MOSFET current-to-frequency converter with a linear sub picoampere-to-microampere range", IEEE Trans.on Nuclear Science, Vol. NS-18, No.1,Feb.1971.,pp.155-159.

4. Šobajić M., "Konvertor malih jednosmernih struja u povorku impulsa", V simpozijum JDZZ,Bled,1970, Nr/7/03.

5. Jovanović D., "Small direct current measurement by the method of integration and differentiation", ACTA IMEKO 1964,pp.123-131.




SLIKA 1




SLIKA 2

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI
OD ZRACENJA, Portorož, 21.-24.4.1981.

B.Pendić, Nada Barjaktarović, Vitana Kostić, Z.Pendić,
Svetlana Andrić, V.Vujnić i A.Kukoč

Klinička bolnica grada Beograda

Institut za onkologiju i radiologiju SRS

# RBE ELEKTRONSKOG ZRACENJA ENERGIJE 42 MeV-a U ODNOSU NA GAMA ZRACENJE $^{60}Co$

Na modelu humanih hromozoma ispitivan je efekat elektronskog zračenja energije 42 MeV-a ( izvor zračenja: Betatron 42 MeV Siemens Radiološkog instituta u Beogradu ) i gama zračenja $^{60}Co$. Ozračivanjem in vitro humanih limfocita u punoj perifernoj krvi zapažen je znatno veći prinos hromozomskih aberacija za energiju od 42 MeV-a u odnosu na gama zračenje i elektronsko zračenje nižih energija.

Dozimetrijskim ispitivanjima je utvrdjeno da se pri visokim energijama javljaju brzi neutroni i druge teške čestice, tako da verovatno njima može da se pripiše razlika u efektu.

RBE za elektronsko zračenje 42 MeV-a za ispitivane doze ( 1,2,3,4 i 5 Gy ) kreće se od 1.20 do 1.36, a za doze uobičajene u radioterapiji biološka efikasnost elektronskog zračenja 42 MeV-a je u proseku za 30% veća.

## UVOD

Arsenal terapijskih postupaka u lečenju malignih neoplazmi u poslednje vreme je značajno proširen. Ipak, jonizujuće zračenje, uz hirurgiju, još uvek je osnovno oružje u lečenju ovih bolesti, od kojih će, prema predvidjanjima onkologa, krajem ovog stoleća umirati svaki treći čovek na svetu.

U radiološkoj terapiji sve više se upotrebljavaju velike nuklearne mašine, snažni izvori različitih vrsta jonizujućih zračenja, koji omogućavaju racionalniju i efikasniju primenu ovog terapijskog sredstva.

Jedan od problema koji se postavlja u vezi sa primenom novih izvora zračenja ( visokoenergetsko elektronsko, X-, neutronsko, protonsko i dr. ) je pitanje njihove biološke efikasnosti,

Već nekoliko godina na odabranom modelu vršimo ispitivanje bioloških efekata zračenja terapijskih uredjaja Instituta za onkologiju i radiologiju SRS: Betatrona 42 MeV-a, Mevatrona 12 i TCT uredjaja.

## Metod rada

Ispitivanja smo vršili na hromozomima limfocita periferne krvi ljudi, što se pokazalo kao veoma pogodan model. Ozračivani su uzorci puna krvi (10ml) u plastičnim špricevima od 10ccm u posebno napravljenom fantomu od pleksiglasa.

Fantom sa tri uzorka krvi različitih davalaca je ozračivan pod relativno konstantnim uslovima elektronima energije od 42 MeV-a i gama zračenjima $^{60}$Co uredjaja za TCT. Pri elektronskom zračenju udaljenost od izvora zračenja iznosila je 120cm, a brzina doze iznosila je oko 3 Gy u min. Za gama zračenje uzorak je bio na udaljenosti od 50cm od izvora, a brzina doze iznosila je 1,5 Gy u minuti.

Analiza hromozoma radjena je uobičajenim citogenetskim metodama iz kulture ćelija posle 48 časova. Registrovane su samo sledeće strukturne aberacije: dicentrični, višecentrični i prstenasti hromozomi, kao najprikladniji indikatori efekata zračenja(1).Analizirano je po 100 ćelija po ozračenom uzorku.

Prilikom ozračivanja uzoraka doza zračenja je kontrolisana i istovremenim jonometrijskim merenjima jonizacionom komorom u istom fantomu.

Radi detekcije neutronskog zračenja izvršeno je ozračivanje vodenog rastvora NaCl (koncentracije 1020 mmol/l) elektronima od 42 MeV-a. Zračena je zapremina od 50ml rastvora u plastičnoj flašici za kulturu ćelija, a procenjena absorbovana doza u trokratnom zračenju iznosila je oko 80Gy.

Sva ozračivanja su vršena na Betatronu 42 MeV i TCT uredjaju Instituta za onkologiju i radiologiju Medicinskog fakulteta u Beogradu.

Dozimetrijska merenja su obavljena u laboratoriji za fiziku Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči.

Za statističku analizu eksperimentalnih podataka korišćen je digitalni računar INTERDATA 8/32

Parametri $\alpha$ i "n" regresione krive $y = \alpha x D^n$ odredjeni su pomoću metoda najveće verovatnoće. Pri tom su uzeti težinski koeficijenti koji predpostavljaju da su greške u merenju aberacija rasporedjene po Poisson-ovoj raspodeli. Za ovo su razvijeni programi Linerg 1. FTN i Linerg 2. FTN. Korišćenjem regresionih krivih za gama zračenje $^{60}Co$ i elektronsko zračenje 42 MeV odredjivane su RBE vrednosti pomoću programa RBE.FTN.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Jonometrijska merenja su pokazala da ne postoji značajnije odstupanje unapred odredjene doze zračenja na Betatronu 42 i TCT i izmerene doze jonizacionom komorom. Odstupanja su iznosila ±3%.

Na osnovu merenja indukovane aktivnosti $^{24}Na$ (merenja apsolutnog intenziteta linije 1368keV), ocenili smo da fluks brzih neutrona ( prosečna energija 14MeV ) iznosi:

$$\Phi = ( 1,4 \pm 0,2 ) \times 10^8 \times n \times cm^{-2} \times s^{-1}$$

Na tabeli 1. je dat procenat dicentričnih i prstenastih hromozoma.

| | % ABERACIJA | |
|---|---|---|
| DOZA Gy | $^{60}Co$ | $\bar{e}$ 42 MeV |
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 26 | 45 |
| 3 | 45 | 67 |
| 4 | 75 | 105 |
| 5 | 121 | - |

Na slikama 1. i 2. prikazane su regresione krive dobijene na osnovu eksperimentalnih podataka za odredjene doze ispitivanih zračenja. Potrebni elementi za izvodjenje krivih izračunatih na računaru, dati su na slikama 3. i 4.

Relativna biološka efikasnost (RBE) za elektronsko zračenje energije 42 MeV-a izračunato je na osnovu regresionih krivih

$$y = 0{,}00455\ D^{1.63}$$

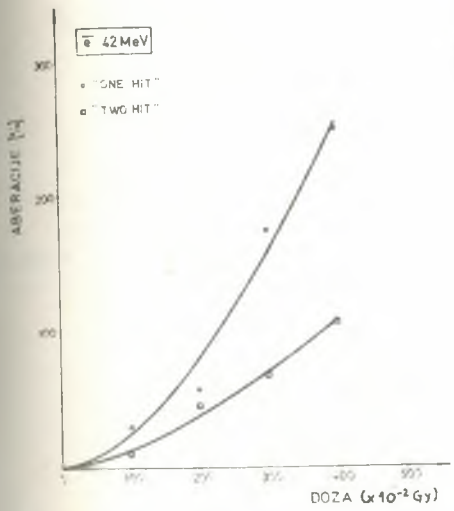
za gama zračenje $^{60}Co$ i

$$y = 0{,}0150\ D^{1.48}$$

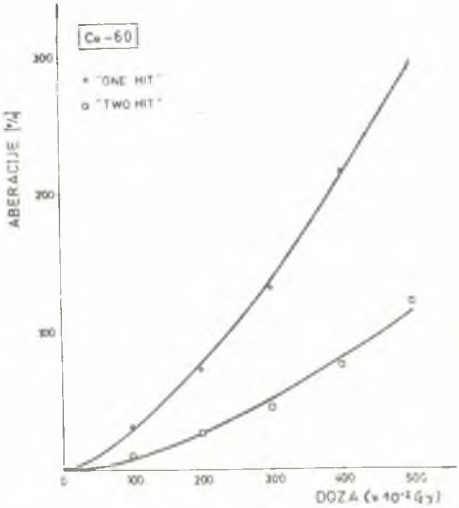
za elektronsko zračenje energije 42 MeV-a.

Vrednosti RBE date su na slici 5.

Dicentrični i prstenasti hromozomi uzeti su kao indikator radijacionih oštećenja jer predstavljaju više od 60% tzv. nestabilnih aberacija posle akutnog ozračivanja. Imaju vrlo malu prirodnu učestalost ( oko 1 dicentričan hromozom na 1000 ćelija ) i vrlo lako se uočavaju zbog svog karakterističnog izgleda.




SLIKA 3




SLIKA 3

Slike 1. i 2. : Regresione krive za elektronsko zračenje 42 MeV-a i gama zračenje $^{60}Co$

Teškoće u analizi metafaznih figura ozračenih ćelija pri energijama od 42 MeV-a javljale su se već kod doze od 4 Gy, a kod doze od 5 Gy praktično nismo bili u mogućnosti da izvršimo analizu odgovarajućeg broja ćelija zbog smanjenog mitotskog indeksa kao i zbog lošeg kvaliteta mitoza ( nedovoljan broj hromozoma, pulverizovani hromozomi, nemogućnost tačne identifikacije hromozomskih aberacija itd.)

Iz naših rezultata se vidi (slika 5.) da se RBE za elektronsko zračenje energije od 42 MeV-a kreće, za uobičajene, pojedinačne terapeutske doze ( 1-2 Gy ) u kliničkoj praksi u opsegu od 1.23 do 1.36, što govori da se sa istom dozom elektronskog zračenja energije od 42 MeV-a dobija za oko 1/3 veći biološki efekat.

Nešković i saradnici (5) ispitujući RBE na drugim komplikovanijim biološkim modelima našli da $\bar{e}$ zračenje visokih energija imaju veću biološku efikasnost u odnosu na gama zračenje. RBE za različite vrste bioloških efekata za neutronsko zračenje prema Spieers-u iznosi od 1-13 (6).

Posebno interesantni rezultati su i od Brzakovića i saradnika (8) koji su uporedjujući dve grupe pacijentkinja obolelih od karcinoma dojke, a lečenih gama zračenjem na TCT uredjaju i visokoenergetskim elektronskim zračenjem, zapazili da je preživljavanje u grupi zračenoj elektronskim zračenjem veća.

Analiza hromozomskih aberacija može da se upotrebi i u biodozimetriji zračenja (9), posebno kada su u pitanju akcidenti, s obzirom na dobru reproducibilnost rezultata na osnovu dobijenih regresionih krivih za različite vrste zračenja, i ukazuju na potrebu daljih ispitivanja u ovom domenu.


ABSTRACT

RBE FOR 42 MeV $\bar{e}$ COMPARED WITH THE $^{60}Co$ GAMMA IRRADIATION

The effect of 42 MeV electrons and $^{60}Co$ gamma rays was investigated on human chromosomes in vitro.( The source of irradiation was Betatron 42 MeV,Siemens,from the Radiological Institute in Belgrade)

The irradiation of human lymphocytes from peripheral blood with 42 MeV $\bar{e}$ showed the increased number of chromosomal aberrations, compared with gamma rays and $\bar{e}$ of lower energies.

Dosimetry experiment showed the increased number of fast neutrons and other heavy particles at the energy of 42 MeV, which could be the possible explanation for the difference in the effect.

RBE for 42 MeV $\bar{e}$ valued from 1.20-1.36. For conventional doses in radiotherapy, biological efficiency is about 30% higher for 42 MeV energy.

LITERATURA

1. Lloyd,D.C. et al., Radiation Protection Dosimetry 1,19,1981 .
2. Savage,J.R.K.,J.Med.Genet.,13,103,1976.
3. Gilespie,A.S. et al.,Nucleonics,19,170,1961.
4. Barbar,N.,Phys.Rev.,111,1642,1958.
5. Nešković,B.A. et al.,Peaceful Uses of Atomic Energy.13. 459,1971.
6. Spieers,F.W.,Biophysical Basis for Radiation Haematology, IAEA,45,1971.
7. Scott,D., et al., Human Radiation Cytogenetics,North Holland Publ.Comp.,Amsterdam,37,1967.
8. Brzaković,P., Lično saopštenje
9. Dolphin,G.W. et al.,Hlth.Phys.,25.1973.

# 7. s e k c i j a

# METROLOGIJA IN MERILNA OPREMA

XI JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21.-24. april, 1981.

Dobrilović Lj., Šmelcerović M., Simović M*.,
Drndarević V., Paligorić D.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Beograd, 11001 p.fah 522
*VTI - Beograd

# OPTIMIZACIJA MERENJA ALFA AKTIVNOSTI U PRISUSTVU BETA I GAMA ZRAČENJA Si DETEKTOROM

U radu je iznet postupak optimizacije uslova merenja alfa aktivnosti u prisustvu beta i gama zračenja. Postupak se odnosi na merenje alfa aktivnosti tankog uzorka, kao i na merenje specifične alfa aktivnosti debelog uzorka, primenom Si poluprovodničkog detektora.

## 1. Uvod

Merenje specifične alfa aktivnosti u uzorcima vode, životnih namirnica i drugih materijala koji mogu biti kontaminirani i beta aktivnim izotopima predstavlja problem, posebno u terenskim uslovima rada. U akcidentalnim uslovima može se očekivati i postojanje polja gama zračenja. Pri ovim uslovima merenja brojački uredjaj treba da:

- selektivno meri alfa aktivnost u prisustvu beta zračenja,
- ima malu brzinu brojanja u polju gama zračenja, i
- stabilno radi u širokom opsegu temperature.

Iz navedenih razloga potrebno je izvršiti izbor detektora, mernog sistema i optimizirati uslove rada brojačkog uredjaja. Izbor detektora i sklopova za obradu signala opisan je u radu /1/, dok su u ovom radu opisani postupci optimizacije radnih uslova.

## 2. Postupak optimizacije

Stabilnost rada Si detektora i pojačavačkog sistema ispitane su praćenjem promene položaja alfa linije $^{239}$Pu (višekanalnim

analizatorom) u zavisnosti od temperature i napona napajanja detektora, (slika 1). Promenom napona napajanja detektora menja se debljina efikasne zapremine i ona je za odabrani tip detektora (ORTEK CR 021 - 300 - 100)[2] i napone napajanja od 10 do 100 V od 30 do 100 μm. Već za debljinu barijere od 30 μm ispunjen je uslov da alfa čestice $^{239}Pu$ ostavljaju svu energiju u osetljivoj zapremini detektora. Dalje smanjivanje debljine sloja dovelo bi do povećanja kapaciteta detektora i povećanja šuma detekcionog sistema, a pored toga javila bi se nelinearnost u energetskom odgovoru detektora. Pri većim debljinama barijere povećava se verovatnoća detekcije visokoenergetskih beta čestica i gama fotona. Slabo električno polje u kristalu detektora dovodi do izražene pojave rekombinacije naelektrisanja, koja je izražena pri višim temperaturama a što se vidi sa slike 1. Ovaj efekat može se smanjiti projektovanjem pojačavačkog sistema kome se pojačanje povećava sa temperaturom.

Na slici 2, prikazani su spektri impulsa za tanke i debele izvore radioaktivnih izotopa $^{239}Pu$ i $^{90}Sr$ - $^{90}Y$. Kontinuirani spektar alfa zračenja iz debelog izvora $^{239}Pu$ implicira izraženu zavisnost efikasnosti brojanja od ekvivalentnog energetskog nivoa diskriminacije signala iz pojačavačkog sistema. Ispitana je zavisnost efikasnosti brojanja od nivoa diskriminacije, napona napajanja detektora i temperature. Rezultati ispitivanja za debeo uzorak $^{239}Pu$ sa nosačem $CaCO_3$ prikazani su na slici 3.

Zavisnost odnosa efikasnosti detekcije alfa i beta zračenja od napona napajanja detektora, nivoa diskriminacije i temperature prikazana je na slici 4. Vidi se da se dobra selektivnost detekcije postiže, u širokom temperaturskom intervalu, za napon napajanja detektora $U_D$ = 50 V, a pri nivou diskriminacije $E_D$ = 1 MeV. Pri drugim vrednostima ova dva parametra može se postići i bolja selektivnost, ali nažalost samo u ograničenom opsegu temperature. Prikazani rezultati se odnose na najnepovoljniji uslov merenja, tj. debeo uzorak $^{239}Pu$ i tanak uzorak $^{90}Sr$ - $^{90}Y$.

Nadjeno je da se maksimalna stabilnost efikasnosti detekcije alfa zračenja iz debelog uzorka ($\varepsilon_\alpha$) uz maksimalnu selektivnost detekcije alfa zračenja u odnosu na beta zračenja ($\varepsilon_\alpha/\varepsilon_\beta$) postiže pri naponu napajanja detektora $U_D$ = 50 V i nivou diskriminacije $E_D$ = 1 MeV za temperaturni interval od -25 do 45°C.

Za odabrane parametre brojačkog uredjaja zavisnost brzine brojanja od jačine ekspozicione doze gama zračenja $^{60}Co$ data je na

slici 5. Sa slike se vidi da je zavisnost nelinearna što je posledica odnosa energije fotona, nivoa diskriminacije i dimenzija aktivnog sloja detektora. Fon brojačkog uredjaja u prirodnom polju zračenja je $7 \cdot 10^{-4}$ imp·s$^{-1}$.

Postignuta efikasnost detekcije za alfa zračenje iz debelog izvora $^{239}$Pu je $\varepsilon_\alpha = 2{,}4 \cdot 10^{-6}$ imp·s$^{-1}$Bq$^{-1}$kg a za tanak je 19%. Selektivnost merenja je $\varepsilon_\alpha/\varepsilon_\beta = 10^{-4}$ za tanke izvore $^{239}$Pu i $^{90}$Sr - $^{90}$Y.


OPTIMIZATION OF ALPHA ACTIVITIES MEASUREMENTS IN THE PRESENCE OF BETA AND GAMMA RADIATION BY MEANS OF A Si DETECTOR

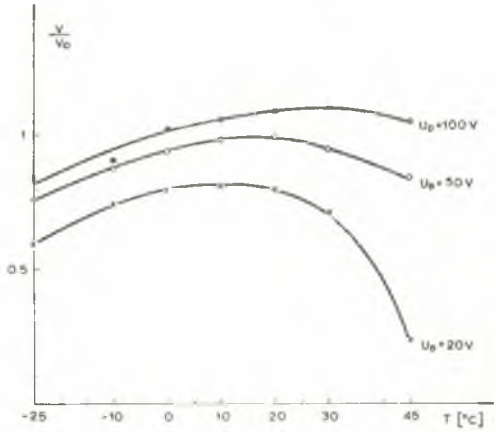
This paper describes the optimization procedure of the alpha activities measurements in the presence of beta and gamma radiation. This procedure is given for alpha activity measurements of a thin source as well as for a thick one with Si semiconductor detector. For the optimized system described in this paper the atained selectivity of alpha detection in comparison with beta was $\varepsilon_\alpha/\varepsilon_\beta = 10^4$. The stability of the alpha detection efficiency was satisfactory for a wide temperature interval.


## 3. Literatura


1. Šmelcerović M., Simović M., Drndarević V., Dobrilović Lj., Bošković D., Paligorić D.: Brojački uredjaj sa poluprovodničkim Si detektorom za selektivno merenje alfa aktivnosti, XI jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Portorož, 21. - 24. april 1981.

2. ORTEC Katalog br. 1004 (1976).

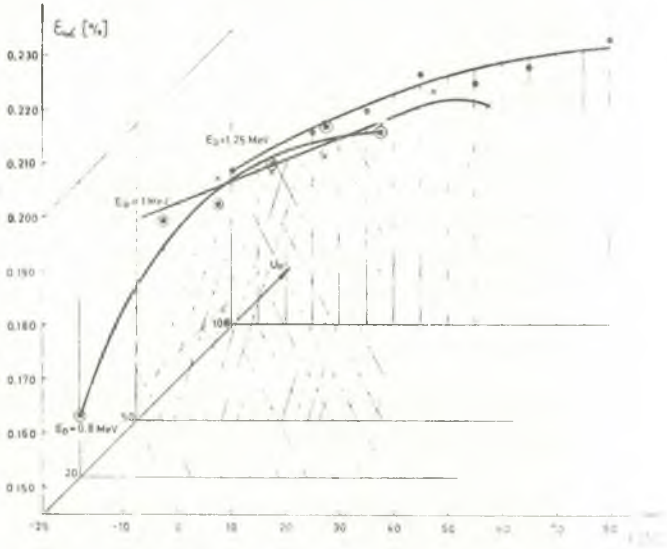
3. C.M.Lederer and all; Table of Isotopes; J.Wiley INC; New York, London, Sydney, (1967).



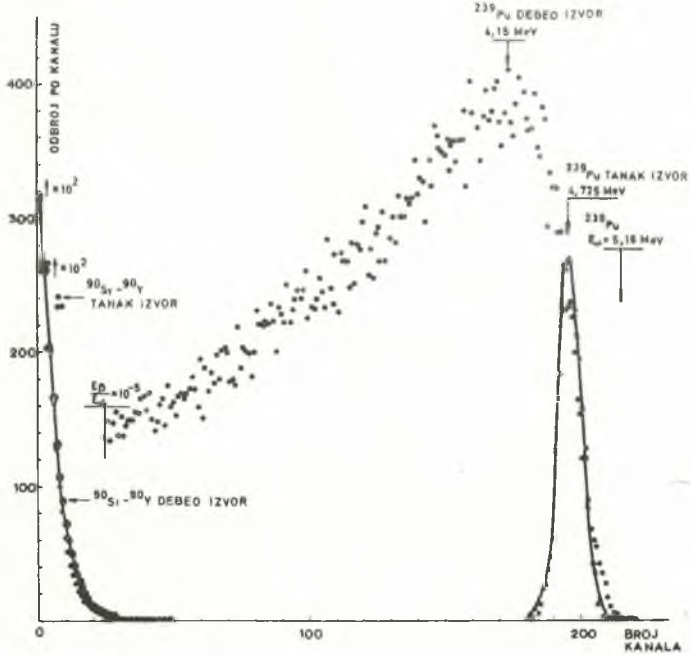

Sl.1. Zavisnost položaja alfa linije $^{239}Pu$ od temperature $|T|$ i napona napajanja detektora $|U_D|$

$V_o$ - položaj alfa linije $^{239}Pu$ pri $T=20^oC$ i $U_D=50$ V,

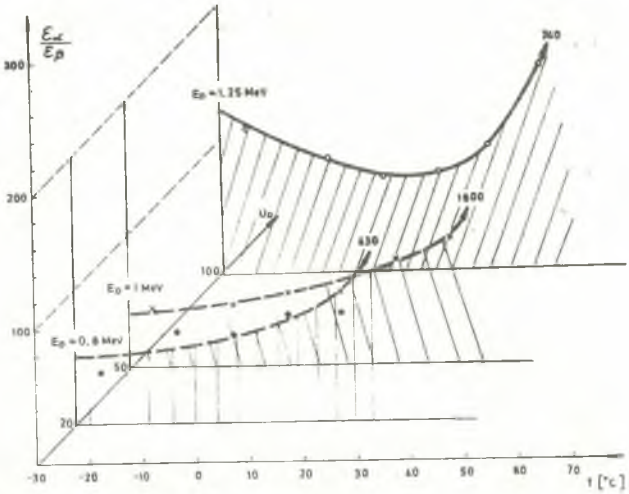
V - položaj alfa linije $^{239}Pu$ za ispitivanu temperaturu i napon napajanja detektora.



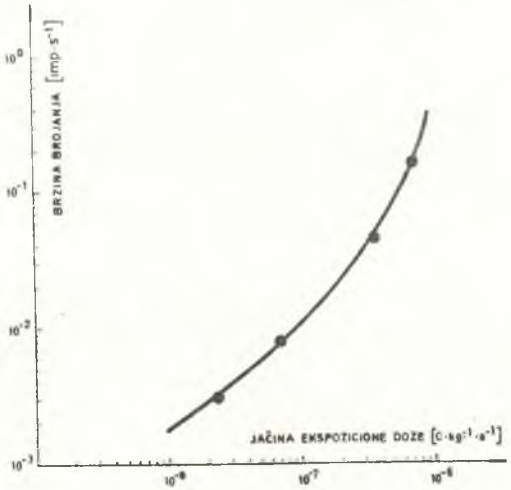

Sl.3. Zavisnost efikasnosti brojačkog uredjaja za debeo izvor $^{239}Pu$ $|\varepsilon_\alpha|$ od temperature $|T|$, napona napajanja detektora $|U_D|$ i nivoa diskriminacije $|E_D|$.




Sl.2. Spektri amplituda impulsa iz brojačkog uredjaja za tanke i debele izvore $^{239}Pu$ i $^{90}Sr$ - $^{90}Y$.




Sl.4. Zavisnost odnosa efikasnosti brojačkog uredjaja za α i β zračenje od temperature |T|, napona napajanja detektora $|U_D|$ i nivoa diskriminacije $|E_D|$.




Sl.5. Zavisnost brzine brojanja brojačkog uredjaja od jačine ekspozicione doze gama zračenja $^{60}Co$.

XI. Jugoslovanski simpozij iz zaščite pred sevanji
Portorož, 21. - 24.4.1981

D.Brajnik, A.Stanovnik
Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za elektrotehniko, Univerza Edvarda Kardelja, Ljubljana

# AVTOMATIZACIJA MERITEV NIZKIH AKTIVNOSTI GAMA

Identifikacija radioaktivnih izotopov v okolju je ena bistvenih nalog nadzora izpustov jedrske elektrarne v okolico. Zaradi različnih načinov širjenja v okolju in po prehrambeni verigi do človeka je potrebno posamezne radioaktivne sevalce zasledovati v predobratovalnem času, v pogojih normalnega obratovanja in ob možnih incidentalnih izpustih. Predstavljene so možnosti visokoločljivostne spektrometrije žarkov gama za kompleksno spremljanje majhnih sprememb koncentracije radioaktivnih kontaminantov s povdarkom na avtomatizaciji merskega postopka.

1. UVOD- Uspešen nadzor obratovanja jedrske centrale z vidika radioaktivnih izpustov v okolje, zahteva identifikacijo izotopov in njihovih poti do človeka. Tu imajo prednost hitre metode s čimvečjo možnostjo avtomatizacije, ki naj omogočajo:
- hitro obdelavo v času nezgod in nepredvidenih izpustov;
- meritev velikega števila vzorcev v času normalnega obratovanja;
- povečano natančnost pri merjenju nizkih aktivnosti v predobratovalnem obdobju.

Končni cilj identifikacije radionuklidov in njihovih poti v okolju je ocena doze za najbolj ogrožene prebivalce na podlagi modela o širjenju radionuklidov.

Spektrometrija žarkov gama omogoča z določanjem energije žarkov gama enolično identifikacijo sevalcev gama, z meritvijo intenzitete sevanja pa koncentracijo sevalcev gama. Daje zelo kompleksen vpogled v celotno širjenje radioaktivnega onesnaženja v okolici nuklearnih elektrarn[1].

2. PROCESIRANJE SIGNALOV IN OBDELAVA PODATKOV- Izdelan je bil nizkoaktiven ščit z Ge-Li detektorjem visokega izkoristka[2]. Zaradi nizkega ozadja je detektor nameščen stran od virov sevanja na IJS. Rešili smo povezavo detektorskega sistema z več kot 100 m oddaljenim računalniškim sistemom. Po kablih vodimo digitalne signale z analogno digitalnega pretvornika. Ker se je vosokoločljivostna spektrometrija izkazala primerna za nedestruktivno preiskavo večjega števila vzorcev, smo že od samega začetka težili za čimvečjo avtomatizacijo merilnega postopka. V prvem letu smo nalogo izvedli v okviru obstoječe raziskovalne opreme s procesnima računalniškima sistemoma CDC 1700 in domačim vmesnikom CAMAC oziroma z ND 6600. Na ta način smo lahko fleksibilneje izkoristili opremo, ki hkrati zbira in urejuje tudi podatke s področja osnovnih eksperimentalnih raziskav.

Uvedli smo dva nivoja avtomatizacije merilnega postopka:

a) na sistemu CDC 1700 zbiranje in izpis podatkov na hitri tiskalnik in papirni trak, analiza off-line z branjem papirnega traku v namizni računalnik HP 9825, interaktiven izračun leg in ploščin črt v spektru gama. S priključitvijo magnetne tračne enote bo prihodnje leto izboljšana možnost za obdelave spektrov na RRC, ki sedaj pri uporabi papirnih trakov ni več zanesljiva.

b) Na procesnem računalniku ND 6600 smo povezali programske pakete, ki omogočajo avtomatiziran potek merjenja (razen menjave vzorca), arhiviranje spektra, rutinsko obdelavo vrhov in identifikacijo sevalcev gama. Izdelali smo knjižnice izotopov, ki vsebujejo najosnovnejše podatke in so prirejene posamičnim raziskavam.

Natančnost analize za nizkoenergijske prekrivajoče se črte smo izboljšali z luščenjem prispevkov posameznih komponent naravne aktivnosti. Tako je možno v sušinah, filtrih in drugih kompaktnih vzorcih enolično identificirati sevalce gama z aktivnostjo 30 mBq.

ABSTRACT

Methods for automatic measurement and evaluation of low activity Ge-Li spectra are described. The accuracy has been improved by iterated subtraction of background and natural radioactivity.

LITERATURA

1) J.H.Harley, Rapid Methods for Measuring Radiactivity in Environment, IAEA-SM-148, (1971)

2) U.Miklavžič, D.Brajnik, F.Gaser, F.Detter; Zaščita visokoločljivostnega spektrometra žarkov gama, IJS Delovno poročilo DP-1958 (1980)

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

Aleksandar M.Koturović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"- Vinča, OOUR Institut za elektroniku

# SKALER/TAJMER SA PROGRAMABILNOM OBRADOM I KALKULATOROM

Prikazuje se struktura realizovanog skalera/tajmera koji ima mogućnost programirane obrade podataka o registrovanom broju impulsa u odredjenom vremenskom periodu. Posebnim komparatorima se bira nivo broja impulsa i proteklo vreme, kada registracija treba da prestane. Prvi dostignuti nivo obustavlja registraciju, tj. okončava period merenja.

Obrada dobijenih podataka vrši se kalkulatorskim elementom koji dozvoljava da se i preko standardne kalkulatorske tastature vrši, ako se to želi, i ručna obrada osnovnih i dodatnih rezultata.

Program automatske obrade je fiksno upisan žičnim vezama (moguće je rešenje i sa poluprovodničkom memorijom).

Iznose se i mogućnosti primene ovakvog mernog sistema u zaštiti od zračenja a isto tako se razmatra i problem dalje upotrebe kalkulatorskih elemenata.

## U v o d

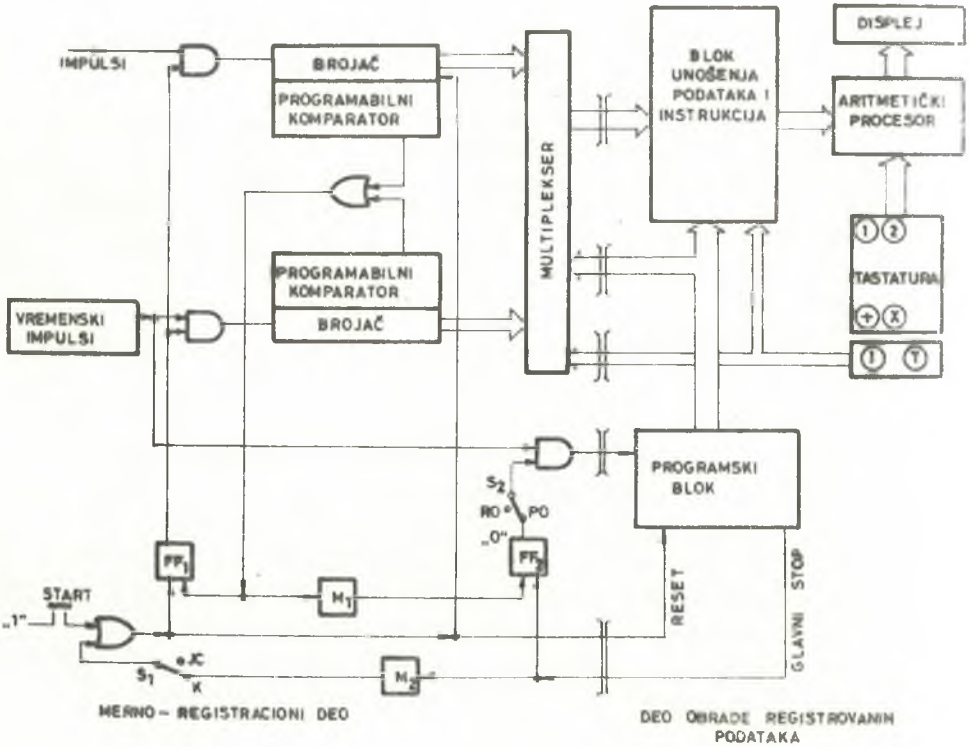
Brojanje impulsa i merenje vremena su od prvih početaka nuklearne elektronike bitni kao elementi mernih metoda. Skaleri i tajmeri su instrumenti kojima su se ta dva zadatka obavljala, a u ostalom i sada se kao takvi koriste, postoje i prave. Davno su već pravljene i varijante instrumenta koji oba merna sistema ujedinjuje: skaler/tajmer, a sa već uže definisanim zadatkom: da se meri vreme za koje je odbrojan odredjen broj impulsa ili da se registruje broj impulsa pristigao tokom odredjenog vremena. To se u suštini svodilo na to da ciklus merenja obustavlja ili dovoljan broj impulsa koji je dostigao unapred postavljenu brojnu vrednost a očitava se izmereno potrebno vreme, ili ciklus merenja obustavlja proteklo vreme koje je unapred bilo odredjeno, a očitava se pristigli broj impulsa za to proteklo vreme.

Tako dobijeni podaci su samo osnovni podaci, na bazi kojih se zatim, vrše dalja računanja radi dobijanja konačnih rezultata, zbog kojih se merenje i vršilo. Savremena elektronika sa tehnologijom velikih integrisanih kola

dala je mikroprocesorske sisteme koji omogućavaju da u sam instrument bude inkoprorirana i obrada rezultata dobijenih merenjem a pri tome se obrada obavlja po željenom i definisanom programu. Skaler/tajmer takvih mogućnosti je upravo predmet ovoga rada, a njegova realizacija se zasniva na uprošćenom vidu mikroprocesora: na kalkulatorskom elementu, koji može da ostvari niz osnovnih operacija obrade, koje su najčešće potrebne.

## Struktura instrumenta

Pošto je, u suštini, osnovni zadatak skalera/tajmera već definisan u uvodu, pogodno je odmah se osloniti na blok-šemu koja prikazuje strukturu instrumenta, pa kroz nju prikazati i sve njegove mogućnosti.




Sl.1. Blok-šema strukture instrumenta

Instrument se funkcionalno deli na: merno-registracioni deo i deo obrade registrovanih podataka.

Merno-registracioni deo registruje, u brojačima, dolazeće impulse iz izvora impulsa, odnosno iz izvora vremenskih signala, pa na taj način meri proteklo vreme i odbrojava implse iz izvora,kao što mogu da budu razni detektori zračenja.

Kada se aktivira taster "START" otpočinje registracija u oba brojača, tj. otpočinje period merenja, koji čini prvi deo u jednom ciklusu rada instrumenta. Kada registrovani broj impulsa dostigne unapred definisani nivo u odredjenom brojaču, generiše se iz komparatora komandni signal koji čini da flip-flop $FF_1$ promeni stanje i prestaje registracija impulsa. Time se okončava period merenja.

Odmah se uočava važna činjenica: ravnopravna uloga oba brojača u prekidanju perioda merenja. Time se izbegava mogućnost izlaska van kapaciteta brojača ako nije dobro procenjeno bilo potrebno vreme, bilo očekivani broj impulsa u odredjenom vremenu. Dakle, samo merenje se ne gubi zbog loše procene ili neočekivanih pojava. Zamisao se realizuje integrisanim šestodekadnim brojačnim kolima koja poseduju ugradjene komparatore čiji nivo komparacije se programira numeričkim preklopnicima. (Mostek MK 50395).

Onoga trenutka kada se okočna period merenja, otpočinje drugi deo ciklusa rada instrumenta: period obrade podataka koje čine brojevi registrovanih impulsa. Time se rad instrumenta prenosi u njegov drugi deo - u deo obrade. To se ostvaruje prelaskom flip-flopa $F_2$ u novo stanje koje dozvoljava da otpočne dolazak taktnih impulsa u programski blok. Na taj način počinje izvršavanje programa upisanog unapred. Programi sadrže sve instrukcije potrebne za sprovodjenje obrade, konstante potrebne u obradi i definiše operacije koje treba izvršiti sa raspoloživim podacima. Samu obradu obavlja aritmetički procesor a potrebni podaci i instrukcije mu se dostavljaju preko bloka unošenja podataka i instrukcija. Rezultat obrade se pojavljuje na displeju i tu na kraju ostaje.

Poslednja instrukcija iz programskog bloka generiše signal "glavni STOP" koji preko $FF_2$ obustavlja dalji rad dela za obradu podataka. U isto vreme, preko $M_2$, menja se stanje flip-flopa $FF_1$ i novi ciklus rada instrumenta automatski otpočinje ako je preklopnik $S_1$ u položaju K, čime se definiše kontinualan rad. U protivnom mora se ponovo aktivirati taster "START", a instrument tada radi u jednocikličnom režimu.

Prisutna standardna tastatura za kalkulator, omogućava da se aritmetički procesor upotrebi i kao običan ručni kalkulator u jednociklinom režimu rada. Moguće je to raditi na dva načina: u zavisnosti od položaja preklopnika $S_2$.

U položaju PO - programirane obrade, posle završetka ciklusa rada instrumenta na dobijenom rezultatu može se nastaviti dalje računanje preko tastature, a pri tome se mogu proizvoljan broj puta pozivati (tasteri "I" i "T") i osnovni rezultati: registrovan broj impulsa i proteklo vreme, pa unositi i u račun.

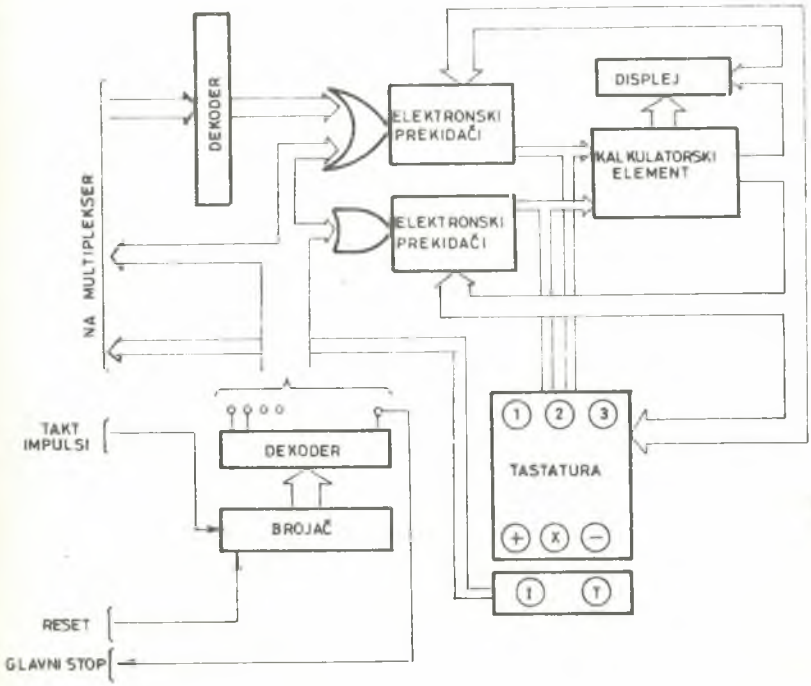
U položaju RO preklopnika $S_2$, kada je predvidjena samo ručna obrada, posle završenog ciklusa rada osnovni rezultati se opet preko tastera "I" i "T" unose u aritmetični procesor a sva obrada se obavlja jedino ručnom manipulacijom preko tastature.

Mesto kalkulatorskog elementa

Ako je merno registracioni deo prilično jednoznačno odredjen u smislu realizacije, deo obrade registrovanih podataka moguće je realizovati na više načina. Pre svega može se reći da je bitan izbor aritmetičkog procesora. Ulogu aritmetičkog procesora, razume se, u opštem slučaju može da obavlja mikroprocesor. Medjutim, za zahteve obrade koje smo mi postavili instrumentu, a koji se svode samo na elementarne računske operacije, mogućnosti mikroprocesora daleko prevazilaze te potrebe. Mnogo je ekonomičnije, i jednostavnije, upotrebiti za aritmetički procesor kompomentu poznatu kao kalkulatorski element.[2,3] To je ustvari mikroprocesor sa ugradjenim u njemu programima za obavljanje aritmetičkih operacija. Upotrebom kalkulatorskog elementa izbegavaju se svi problemi vezani za rešavanje sofvera za aritmetičke operacije.

Nas posebno zanimaju kalkulatorski elementi orijentisani za rad sa tastaturom. To su oni koji se nalaze u svima poznatim džepnim kalkulatorima. Njihovom ugradnjom se na najjednostavniji način rešio problem ručne obrade podataka i pobude displeja za prikaz rezultata. Kako se na sl.2 može videti taj deo je potpuno nepromenjen u odnosu na standardnu upotrebu kalkulatorskih elemenata. Medjutim, da bi se kalkulatorom moglo upravljati i elektronski, pri programiranoj obradi morale su se uneti i dve grupe elektronskih prekidača: za unošenje cifara i instrukcija za operacije. Za kalkul.el. je uzet MK 5020.

Što se tiče programskog bloka i za njega je odabrano najjednostavnije rešenje. Usvojeno je tzv. žično programiranje. Svakom programskom koraku instrukciji ili cifri iz konstante odgovara po jedna od linija iz dekodera, koje bivaju sukcesivno aktivirane zahvaljujući stalnom inkrementiranju sadržine brojača koji pobudjuju taktni impulsi. Svaka od tih žičnih linija ide na odgovarajući ulaz gde donošenjem impulsa realizuje po jedan korak programa:




Sl.2. Deo obrade sa kalkulatorskim elementom

preuzimaju se osnovni podaci preko multipleksera i unose preko dekodera u kalkulatorski element, unose se brojne konstante u kalkulatorski element ili instrukcije za operacije kojima se sprovodi potrebna obrada. Odmah je jasno da je ovakvo programiranje pogodno samo za kratke programe, što i odgovara našim potrebama; ali ako ima preimućstvo da se sadržina programa veoma jednostavno menja. Ovo može da bude od posebnog interesa jer dozvoljava laku izmenu namene instrumenta.

U slučaju kada bi se ovakvim instrumentom predvidjala složenija obrada koja bi tražila duži program, veoma jednostavno rešenje je da se koristi

poluprovodnika memorija za upis programa i dekoder kojim bi se upisane instrukcije i konstante dešifrovane pa se tako aktivirali i odgovarajući elementi iz sistema obrade [3,4]. Ostaje još da se konstatuje da su mogućnosti primene ovakvog instrumenta u zaštiti veoma široke; kao uostalom i standardnog skalera/ /tajmera, ali sada sa automatskom obradom rezultata koja dozvoljava da se do potrebnih podataka dodje brže i jednostavnije što je upravo u ovome domenu primene od značaja.

## Zaključak

Prikazani skaler/tajmer koji u sebi sadrži mogućnosti kalkulatora pokazuje se veoma pogodnim. Ograničen prostor nije dozvoljavao da se diskutuje niz detalja koji su od interesa, kao na pr: uvodjenje dva displeja za prikaz dva rezultata obrade istih osnovnih podataka ili da se razmotre sve mogućnosti primene instrumenta ove koncepcije u zaštiti od zračenja. Medjutim, jasno je da unošenje kalkulatorskog elementa pruža niz pogodnosti. Onoga trenutka kada bi zahtevi obrade prerasli mogućnosti kalkulatorskog elementa, a posebno ako bi se od instrumenta ove vrste tražilo i da ima različite mogućnosti registracije podataka može se pokazati opravdanim da se upotrebi mikroprocesor, ali tada se mora računati i sa svim pratećim problemima koje treba rešavati, a pre svega problem razvoja odgovarajućeg softvera.

## Apstrakt na engleskom jeziku

The arithmetic processor can be introduced into the scaler/timer, and so improve quality and increase the instruments possibilities. The complete instrument realized with the calculator chip is presented in general, and its structure and capabilities described, and disscussed. Besides the authomatic processing of measured data, there is the possibility to use keyboard for additional calculations, is desired.

## Bibliografija:

1. M.Vojnović i dr. Brojački komplet STV-1; IV simp. o radioaktivnom zračenju, Zbornik radova,knj..II, str.381-

2. A.M.Koturović: Kalkula orski element kao komponenta elektronske instrumentacije sa osvrtom na primenu u instrumentacij za zaštitu od zračenja, Studija - pregled literature, Interna publ., Vinča 1978.; str.1-95.

3. A.M.Koturović: Application of the aritmetic processor in radiological protection instrumentation, Collected papers.pp.289-298 Int.Symp London 1980.

4. A.M.Koturović: Upotreba tastaturno organizovanih kalkulatorskih elemenata u elektronskoj instrument.;Elektrotehn.,1979,br.3.E7-E13.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981

Orlić Milan
Vojnotehnički institut - Beograd

# EFIKASNOST GM BROJAČA U POLJU GAMA ZRAČENJA PRODUKATA FISIJE $^{235}U$

Razmatra se efikasnost GM brojača, referisana na jediničnu apsorbovanu dozu, u polju gama zračenja složenog i vremenski promenljivog spektra, kakav je spektar fisionih produkata trenutne fisije $^{235}U$. Pokazuje se u kojim slučajevima je opravdana kalibracija detektora u polju gama zračenja $^{60}Co$ i analizira vremenska promena efikasnosti GM brojača pri merenju vremenski promenljivog složenog spektra gama zračenja.

## 1. UVOD

GM brojači su najčešće korišćeni detektori u dozimetriji jonizujućeg zračenja. U odnosu na ostale detektore nuklearnog zračenja, oni imaju niz prednosti: robusni su, jeftini i zahtevaju najjednostavniju elektroniku. Glavni nedostatci su im energetska i ugaona zavisnost. Ovde ćemo se baviti samo problemom zavisnosti efikasnosti GM brojača od energije gama kvanata.

Uobičajeno je da se efikasnost definiše u odnosu na jediničnu dozu i izražava u jedinicama broj impulsa/1 Gy. Za potrebe dozimetrije, idealno bi bilo da efikasnost ne zavisi od energije gama kvanata. Medjutim, kod komercijalnih GM brojača to nije slučaj. Pri energijama fotona nešto manjim od 0.1 MeV, efikasnost je i po nekoliko puta veća nego pri energijama $^{137}Cs$ ili $^{60}Co$. U cilju smanjenja ove zavisnosti, kod nekih dozimetrijskih instrumenata vrši se tzv. "energetska kompenzacija" oklapanjem brojača pogodnim štitovima (obično dva materijala - sa ili bez perforacije). Pored smanjenja energetske zavisnosti, ovim se smanjuje i ugaona zavisnost, ali na račun smanjenja efikasnosti.

U praksi su najčešći slučajevi merenja jačine doze i doze složenih i vremenski promenljivih spektara gama zračenja. Stoga je cilj ovog rada da 1) pokaže koliko se menja efikasnost GM brojača pri merenju doze $^{60}Co$ i složenog spektra i 2) utvrdi vremensku promenu efikasnosti merenja složenih spektara. Kao reprezentativan spektar, za ove proračune, korišćen je spektar fisionih produkata trenutne fisije $^{235}U$.

## 2. ZAVISNOST EFIKASNOSTI GM BROJAČA OD ENERGIJE GAMA KVANATA

Efikasnost GM brojača, pored energije gama kvanata, zavisi i od niza faktora: materijal i debljina katode, dimenzije brojača, vrsta i pritisak gasa, upadni ugao zračenja,... Sam proračun efikasnosti je vrlo složen, a važi samo za konkretan brojač. Danas se ovaj proračun obično vrši metodom Monte Karlo. Gotovo uvek se efikasnost proverava eksperimentalno pomoću etalonskih monoenergetskih izvora gama zračenja.

Za neke tipove GM brojača, zavisnost efikasnosti od energije gama kvanata prikazana je na sl.1. Pri energijama nešto ispod 0.1 MeV uočljiv je pik. On je posledica dva suprotna efekta. Prvo, foto efekt je u ovoj energetskoj oblasti dominantan proces. Kako sa smanjenjem energije presek za foto efekt raste, povećava se broj sekundarnih elektrona (fotoelektroni), a time i efikasnost brojača. Drugo, pri smanjenju energije gama kvanata, smanjuje se i energija fotoelektrona, pa ih sve manji broj uspeva da prodre u aktivnu zapreminu brojača, što dovodi do naglog pada efikasnosti. Kao rezultat nastaje pik, čiji položaj zavisi prvenstveno od materijala katode. Pri povećanju efektivnog atomskog broja katode, pik se pomera u oblast većih energija.

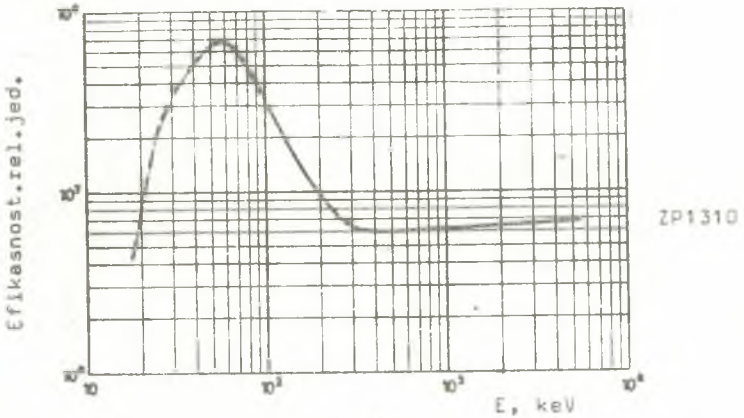
Blagi porast efikasnosti GM brojača pri većim energijama, gde je dominantan Komptonov efekt, posledica je slabe promenljivosti preseka za Komptonov efekt i skoro linearnog povećanja energije Komptonovih elektrona sa porastom energije gama zračenja.

## 3. IZRAČUNAVANJE SPEKTRALNE ZAVISNOSTI GM BROJAČA

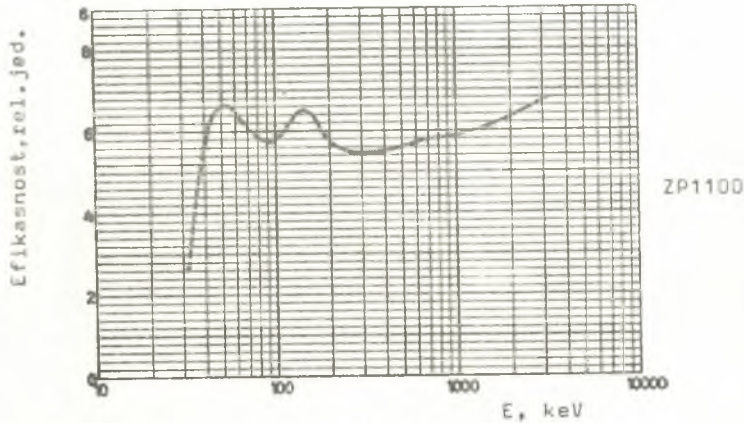
Spektar gama zračenja fisionih produkata $^{235}U$ vrlo je složen jer se pojavljuje oko 300 gama emitera sa po jednom ili više linija. Aktivnost ovih nuklida opada sa vremenom prema zakonima radioaktivnog raspada, tako da se i rezultantni spektar menja sa vremenom. Podaci o ovim spektrima korišćeni su iz lit./1/ za vremena: 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 5 h, 10 h, 1 dan, 2 dana i 3 dana, a iz lit./2/ za vremena: 30 dana, 100 dana, 1 g, 3 g i 10 g posle trenutne fisije $^{235}U$. Na sl.2 prikazani su neki od ovih spektara.

Neka je poznata zavisnost efikasnosti GM brojača od energije gama kvanata $\varepsilon_E(E)$ i normalizovani spektar gama polja $S(E)$. Tada se efikasnost GM brojača pri detekciji ovakvog gama polja računa prema

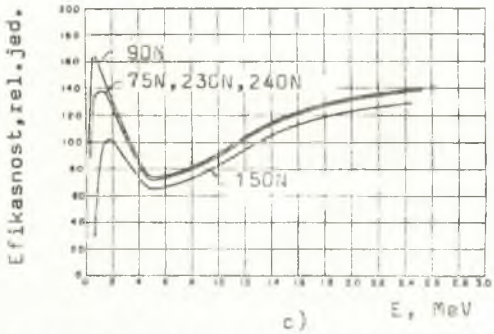
$$\varepsilon_S = \int_{E_{min}}^{E_{max}} \varepsilon_E(E) \cdot S(E) dE$$




a)

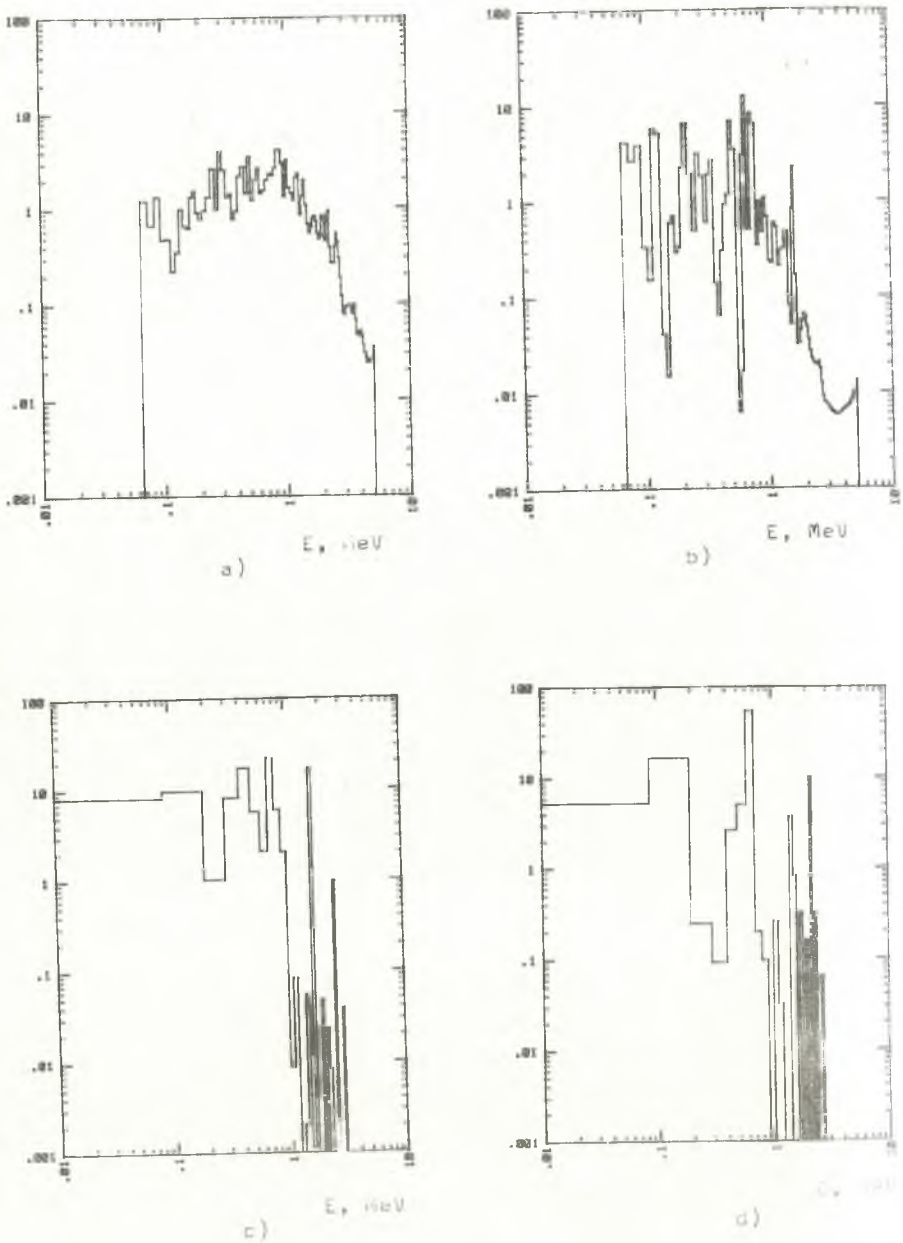



b)

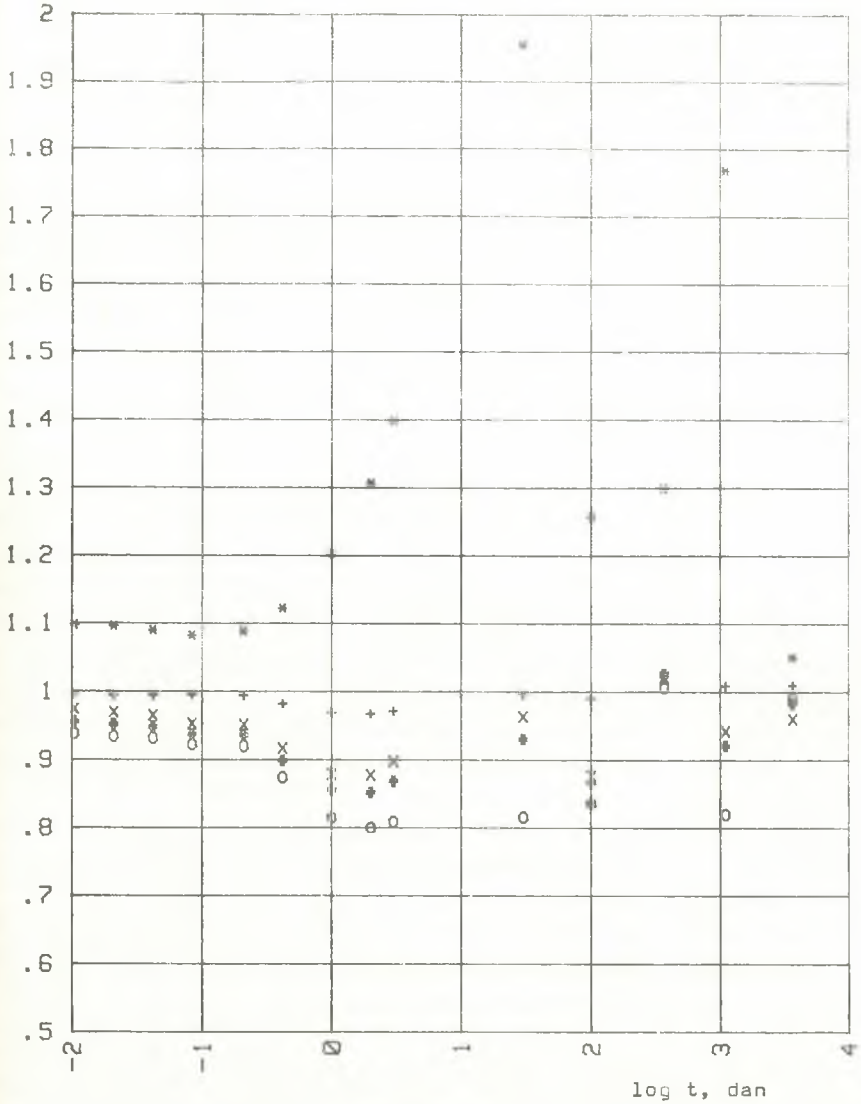



c)

Sl.1 Zavisnost efikasnosti nekih tipova GM brojača od energije gama zračenja /3/ i /4/




Sl.2 Spektri gama zračenja fisionih produkata trenutne fisije $^{235}U$ u trenutcima a) 15 min, b) 3 h, c) 30 dana i d) 3 god.




Sl.3 Zavisnost efikasnosti pet tipova GM brojača od vremena posle fisije pri detekciji gama zračenja produkata trenutne fisije $^{235}U$. (Tipovi brojača: * - ZP1310, + - ZP1100, X - 90N, * - 75N(230N i 240N) i O - 150N)

Integraljenje ove jednačine izvršeno je numerički na računskoj mašini. Rezultati proračuna prikazani su na sl.3.

## 4. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Prema sl.3 vidi se da efikasnost detekcije složenog spektra gama zračenja zavisi od energetske karakteristike brojača i da se menja sa vremenom. Ova zavisnost je vrlo izražena kod GM brojača kod kojih je odnos efikasnosti pri fotopiku i $^{60}$Co reda 10 (brojač ZP1310). U prvih 5 časova promena efikasnosti je mala - samo par procenata.

Brojači, kod kojih su efikasnosti pri fotopiku i $^{60}$Co bliske, bez obzira na složenu zavisnost (brojač ZP1100), imaju spektralnu efikasnost koja se od efikasnosti na $^{60}$Co razlikuje do par procenata i slabo se menja sa vremenom. Ovo je pogodno za detekciju gama zračenja složenog spektra kakav je spektar fisionih produkata fisije $^{235}$U.

Karakteristike brojača 90N, 75N i 150N slične su po izgledu, ali sa sukcesivnim povećanjem odnosa površina ispod/površina iznad prave $\varepsilon = \varepsilon_{Co}$, koja prestavlja grubu meru podobnosti karakteristike brojača za merenje složenih spektara. Kod brojača 90N ovaj odnos je najmanji, pa je spektralna efikasnost najmanje promenljiva sa vremenom (oko ±5%), s tim da je u srednjem ova efikasnost za 5% manja nego za $^{60}$Co. Za druga dva brojača veće je i odstupanje od $^{60}$Co i promena efikasnosti.

Iz ove analize proizilaze dva važna zaključka. Prvo, postoji niz komercijalnih GM brojača koji se mogu koristiti u dozimetriji gama zračenja složenog spektra, bez dodatnog oklapanja. Ukoliko je oklapanje potrebno, ne mora se isterivati idelna karakteristika. Drugo, za merenje složenih spektara, sasvim je zadovoljavajuće kalibraciju izvoditi sa $^{60}$Co jer su efikasnosti u prvih 5 h gotovo iste. U toku 10 godina varijacije su samo par procenata (brojač ZP1100), što je za potrebe dozimetrije zadovoljavajuće.

ABSTRACT: The GM counter efficiency for complex and changeful gamma-ray spectra is considered. It is indicated in wich cases cobalt GM counter calibration valid is and analysed efficiency-change by measure time-changeable complex spectra.

## LITERATURA

/1/ L.R.Bunney,D.Sam, Nuclear Science and Engineering,29,1967.
/2/ R.Björnerstedt, Arkiv för fysik,B.16,No.28,1959
/3/ Philips Products for Nuclear Tehnology, ETG 01-77
/4/ Amperex Radiation Counter Catalog

XI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Portorož, 21.-24.4.1981.

Antanasije Kocić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku

# PRIMENA DVOSTRUKOG ODABIRANJA U MONTE CARLO PRILAZU PRORAČUNA BIOLOŠKOG ŠTITA

Sadržaj: U radu se razmatra problem proračuna transporta neutrona kroz debele pločaste slojeve u slučaju da je dat površinski izvor neutrona sa jedne strane sloja, a potrebno je odrediti vrednost nekog funkcionala povezanog sa prostorom sa druge strane sloja, kao što su fluks izlaznih neutrona, doza ili odziv detektora. Analogna Monte Carlo metoda, koja je neefikasna u ovom slučaju, modifikovana je, korišćenjem svojstava adjungovanog neutronskog fluksa, tako da se dobije efikasni estimator zahtevanog funkcionala. Posebno, funkcional se izračunava integracijom na pogodno odabranom sloju izmedju graničnih površina, koji se može tako odabrati da se izvrši optimizacija u pogledu vremena računanja i varijanse procene.

1. Uvod. Primena Monte Carlo metode za proračun prolaza neutrona kroz debeli sloj materijala uvek je povezana sa problemom neefikasnosti bilo kog od analognih estimatora. Neefikasnost analognog estimatora posledica je vrlo malog broja istorija, od ukupnog broja, koje stvarno doprinose funkcionalu. Približno govoreći, može se reći da samo jedna istorija na milion odabranih daje neke informacije koje se mogu koristiti za proračun izlaznog fluksa odziva detektora, doze i sl. Dakle, da bi se dobila neka srednja vrednost sa razumnim nivoom poverenja potrebno je generirati $10^8$-$10^9$ istorija. Ovo postaje čak gore ako se žele diferencijalni rezultati kao spektar ili ugaona zavisnost fluksa. Stoga, neophodno je koristiti neku od metoda za redukciju varijanse, kao što su ruski rulet u kombinaciji sa metodom razdvajanja, odabiranja prema važnosti, korišćenje različitih tipova težinskih funkcija, itd.(1)

U programu TRANSFER[2] koji se može koristiti za rešavanje ovakvih problema, korišćene su neutronske težine za smanjenje varijanse. Medjutim, kako je program prevashodno radjen za odredjivanje spektra posle transmisije neutrona kroz fisibilnu sredinu specifičnog geometrijskog oblika, to je njegova efikasnost u slučaju vrlo debelih slojeva ispod nivoa zaista neophodnog za takve proračune.

U ovom radu razmatra se originalan prilaz korišćenju adjungovane transportne jednačine u jednodimenzionalnoj geometriji za proračun transmisije neutrona kroz debele slojeve.

2. Definisanje zadatka. Posmatrajmo sloj materijala debljine d. Jedini izvor neka je upadni snop neutrona na levoj površini, $x_0$, takav da je

$$S(E,\mu)\,dE\,d\mu = \Phi(d;x_0,E,\mu)\,\mu\,dE\,d\mu \qquad (1)$$

Veličina $\Phi(d;x_0,E,\mu)$ predstavlja diferencijalni neutronski fluks incidentan na levu površinu sloja, a $\mu = \vec{\Omega}\cdot\vec{n}_0$, gde je $\vec{n}_0$ jedinični vektor normalan na graničnu površinu, a $\vec{\Omega}$ je jedinični vektor pravca kretanja neutrona.

Transportna jednačina neutrona za ovakav sistem data je kao:

$$\mu\frac{\partial\Phi(d;x,E,\mu)}{\partial x} + \Sigma_t(x,E)\Phi(d;x,E,\mu) = S(E,\mu)\,\delta(x-x_0) \qquad (2)$$

$$+ 2\pi\iint\Sigma_s(x,E')\,f(\mu_0)\,\Phi(x',E',\mu')\,dE'\,d\mu'$$

gde je

$$\mu_0 = \vec{\Omega}\cdot\vec{\Omega}'$$

$$f(\mu_0) = \frac{1}{4\pi M}\cdot\frac{\left\{\sqrt{M^2-1+\mu_0^2}+\mu_0^2\right\}}{\sqrt{M^2-1+\mu_0^2}}$$

Ako znamo $\Phi(d;x_d,E,\mu)$, fluks čestica koje napuštaju desnu površinu, $x_d$, sloja debljine d, kao posledicu izvora na suprotnoj površini, $x_0$, funkcional $I(x_d)$ dobijamo kao sledeći integral:

$$I(x_d) = \iint\Phi(d;x_d,E,\mu)\,F(E,\mu)\,dE\,d\mu \qquad (3)$$

Ovde E označava energiju, $\mu$ kosinus pravca meren od normale na površinu, a $F(E,\mu)$ reakcioni efikasni presek, odzivnu funkciju detektora ili konverzioni faktor fluks-doza koji, u najopštijem slučaju, ima i ugaonu i energetsku zavisnost.

Funkcional $I(x_\alpha)$ može se, takodje, izraziti i na sledeći način[3]

$$I(x_\alpha) = \iint \Phi^*(\alpha; x_0, E, \mu; S(E,\mu)\, dE\, d\mu \tag{4}$$

gde je $\Phi^*(\alpha; x_0, E, \mu)$ rešenje jednačine /5/ adjungovane jednačini /2/:

$$L^* \Phi^* = F(E,\mu; \delta(x - x_\alpha) \tag{5}$$

Obe relacije, i (3) i (4) u slučaju debelog zaštitnog sloja, nisu najpogodnije za odredjivanje funkcionala I ($x_\alpha$). U prvom slučaju zahteva se rešavanje Boltzmanove jednačine Monte Carlo simulacijom i samo mali broj istorija stvarno doprinosi funkcionalu (3). U slučaju odredjivanja funkcionala na osnovu relacije (4), rešava se adjungovana jednačina koja, u ovom slučaju, ima sve nedostatke direktnog prilaza i još poteškoća koje sa sobom nosi adjungovana Monte Carlo metoda. Zbog toga, za njihovo izračunavanje neophodno je koristiti neku od tehnika za redukciju varijanse. Rešenje koje ćemo opisati u ovom radu polazi od prilaza koji kombinuje svojstva direktnog i adjungovanog prilaza, korišćenjem posebnog estimatora u jednom kvazi-analognom Monte Carlo prilazu.

3. <u>Monte Carlo prilaz dvostrukog odabiranja</u>. Problem koji smo definisali, u najopštijem slučaju, pretstavlja odredjivanje nekog funkcionala u datom faznom prostoru koji potiče od izolovanog izvora. Rešavanje bilo Boltzmannove jednačine, ili njoj pridružene jednačine dovodi do rešenja koja za dati funkcional koriste izraze oblika (3) ili (4). Medjutim, ako jednačinu (2) pomnožimo adjungovanom Green-ovom funkcijom, a jednačinu (5) za Green-ovu funkciju pomnožimo sa $\Phi^*(\alpha; x, E, \mu)\, dV\, dE\, d\mu$, oduzmemo jednu jednačinu od druge, integralimo po celom faznom prostoru, zatim primenimo Gauss-ovu teoremu[4] dobija se izraz za odredjivanje funkcionala $I(x_\alpha)$ oblika[5].

$$I(x_d) = \iint \Phi(d; x_0, E, \mu)\, \mu\, \Phi^*(d; x_0, E, \mu)\, dE\, d\mu \tag{6}$$

ili

$$I(x_d) = \iint \Psi(d; x, E, \mu)\, \mu\, dE\, d\mu$$

gde je

$$\Psi(d; x, E, \mu) = \Phi(d; x, E, \mu)\, \Phi^*(d; x, E, \mu)$$

Drugim rečima, ako $\Psi(d; x, E, \mu)$ označimo kao "doprinos", onda neposredno sledi pitanje: da li možemo odrediti Monte Carlo shemu za direktno odredjivanje veličine $\Psi(d; x, E, \mu)$?

Pogodnom kombinacijom jednačina (2) i (5) može se dobiti sledeći integral

$$\Phi^*(d; x, E, \mu) = \iint G(x_d, E', \mu'; x, E, \mu)\, F(E', \mu')\, dE'\, d\mu' \tag{7}$$

gde G označava Green-ovu funkciju. Očigledno je da adjungovani fluks možemo interpretirati kao važnost čestice da napusti sudar[6]. Takodje, poredjenjem izraza (4) i (6), sledi da se integral (8) može dobiti ako se stvarni izvor u (4) zameni sa $\mu\Phi(d; x, E, \mu)$.

Uočimo sada neku zapreminu, V, unutar ploče sa reakcionim efikasnim presekom $F(E, \mu)$. Broj reakcija u zapremini V bio bi

$$\mathcal{R} = \int_V dx \iint \Phi(d; x, E, \mu)\, F(E, \mu)\, dE\, d\mu \tag{8}$$

neka je

$$F(E, \mu) = \mu\, \Phi^*(d; x, E, \mu)$$

Onda se dobija

$$\mathcal{R} = \int_V dx \iint \Phi(d; x, E, \mu)\, \mu\, \Phi^*(d; x, E, \mu)\, dE\, d\mu \tag{9}$$

$$I(x_d) = \iint \Phi(d; x_0, E, \mu)\, \mu\, \Phi^*(d; x_0, E, \mu)\, dE\, d\mu \tag{6}$$

ili

$$I(x_d) = \iint \Psi(d; x, E, \mu)\, \mu\, dE\, d\mu$$

gde je

$$\Psi(d; x, E, \mu) = \Phi(d; x, E, \mu)\, \Phi^*(d; x, E, \mu)$$

Drugim rečima, ako $\Psi(d; x, E, \mu)$ označimo kao "doprinos", onda neposredno sledi pitanje: da li možemo odrediti Monte Carlo shemu za direktno odredjivanje veličine $\Psi(d; x, E, \mu)$?

Pogodnom kombinacijom jednačina (2) i (5) može se dobiti sledeći integral

$$\Phi^*(d; x, E, \mu) = \iint G(x_d, E', \mu'; x, E, \mu)\, F(E', \mu')\, dE'\, d\mu' \tag{7}$$

gde G označava Green-ovu funkciju. Očigledno je da adjungovani fluks možemo interpretirati kao važnost čestice da napusti sudar[6]. Takodje, poredjenjem izraza (4) i (6), sledi da se integral (8) može dobiti ako se stvarni izvor u (4) zameni sa $\mu\Phi^*(d; x, E, \mu)$.

Uočimo sada neku zapreminu, V, unutar ploče sa reakcionim efikasnim presekom $F(E, \mu)$. Broj reakcija u zapremini V bio bi

$$\mathcal{R} = \int_V dx \iint \Phi(d; x, E, \mu)\, F(E, \mu)\, dE\, d\mu \tag{8}$$

neka je

$$F(E, \mu) = \mu\, \Phi^*(d; x, E, \mu)$$

Onda se dobija

$$\mathcal{R} = \int_V dx \iint \Phi(d; x, E, \mu)\, \mu\, \Phi^*(d; x, E, \mu)\, dE\, d\mu \tag{9}$$

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja

Portorož, 21.-24.4. 1981

Rodoljub Simović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
Institut za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku

# REŠAVANJE ENERGETSKI ZAVISNE TRANSPORTNE JEDNAČINE NEUTRONA METODOM POLINOMIJALNIH APROKSIMACIJA FLUKSA

SADRŽAJ Izložen je opšti postupak numeričkog rešavanja prostorno, energetski i ugaono zavisne transportne jednačine neutrona u beskonačnoj sredini. Pretpostavljajući konstantne preseke i sverno simetrično elastično rasejanje u sistemu centar mase, transportna jednačina rešavana je Laplace -ovom transformacijom po letargiji i metodom polinomijalnih aproksimacija fluksa po uglu i prostoru. U posebnom slučaju beskonačne ravne ili sverne geometrije metod polinomijalnih aproksimacija fluksa pokazao se ekvivalentnim dobro poznatom metodu momenata. Kao primer primene razvijenog metoda razmatrano je usporavanje u vodoniku.

## 1. UVOD

U ranijim radovima /1,2,3/ razvijen je metod polinomijalnih aproksimacija fluksa za ravnu ploču i polubeskonačan prostor. Bitne osobine tog postupka su: (a) razlaganje fluksa u dvojne Legendreove polinome po uglu, (b) prostorna aproksimacija fluksa odgovarajućim ortogonalnim polinomima (Legendreovim za ploču i Laguerreovim za poluprostor), (c) rekurzivno izračunavanje nepoznatih ugaono-prostornih koeficijenata razvoja i (d) rešavanje integrodiferencijalne jednačine iteracijom graničnih uslova.

Proširenje metoda na beskonačnu sredinu je i metodološko i praktično pitanje. Priroda ovog zadatka ukazuje na razlaganje fluksa u Legendreove polinome po uglu i Hermiteove polinome u prostoru. Međutim, analiza prostorne simetrije fluksa i karakteristično eksponencijalno slabljenje fluksa pri prolazu, eliminišu Hermiteove polinome kao neprimenljive i upućuju na biortogonalne prostorne

polinome. Sa druge strane, u poznatom metodu momenata /4,5,6/, biortogonalni polinomi korišćeni su za rekonstruisanje traženog fluksa iz izračunatih prostornih momenata. Tako se u krajnjoj analizi može pokazati da je metod polinomijalnih aproksimacija fluksa adekvatan metodu momenata u beskonačnoj sredini, a njegova generalizacija na polubeskonačan prostor i ravnu ploču.

U ovom radu biće razmotren energetski zavisan transport neutrona. Za razliku od uobičajenog postupka u metodu momenata da se sistem integralnih jednačina tipa Volterra po nepoznatim prostornim momentima rešava izabranom numeričkom integracijom za skup diskretnih vrednosti energije, ovde će biti ostvaren analitički postupak, Laplaceova transformacija po letargiji, koja je primenljiva u razmatranju materijalnih sredina sa konstantnim presecima.

Predloženi postupak je u potpunosti primenljiv u vodoničnoj sredini. Postoji mnoštvo radova koji eksperimentalno /7/, dosledno analitički /8/, ili aproksimativno /9/ određuju prostorno-energetsku raspodelu neutrona od ravnog ili tačkastog izvora u vodoničnoj sredini. Većina metoda pokazuju se neadekvatnim u predviđanju ponašanja fluksa u blizini izvora (P-1 aproksimacija i teorija starosti) ili u području malih energija (Caseov analitički metod), te se očekuje da će izložen metod dati zadovoljavajuće rezultate.

Metod polinomijalnih aproksimacija fluksa jednako je podesan za analizu transporta gama zračenja, elektrona i jona. Njegova dalja primena obuhvatiće pored oblasti zaštite od zračenja i područje jonske inplantacije, koje je od značaja u fizici poluprovodnika, kao i kod fuzionih postrojenja.

## 2. METOD POLINOMIJALNIH APROKSIMACIJA FLUKSA

Transportnu jednačinu neutrona u beskonačnoj ravnoj geometriji, pod pretpostavkama ranije navedenim, možemo zapisati kao /10/:

$$\left(\mu\frac{\partial}{\partial x}+1\right)\Psi(x,\mu,u)=c\sum_{\ell}\frac{2\ell+1}{2}P_{\ell}(\mu)\int_{-1}^{1}P_{\ell}(\mu')\int_{u'}^{\infty}f_{\ell}(u-u')\Psi(x,\mu',u')\,d\mu'\,du' + Q(x,\mu,u), \tag{1}$$

pri čemu su:

$$f_{\ell}(u-u')=\frac{1}{4}e^{-(u-u')}\frac{(A+1)^2}{A}P_{\ell}\left(\frac{A+1}{2}e^{-\frac{u-u'}{2}}-\frac{A-1}{2}e^{-\frac{u-u'}{2}}\right), \tag{2}$$

$$Q(x,\mu,u)=\frac{1}{4\pi\sigma}\delta(x)\delta(u). \tag{3}$$

U jednačini (1) rastojanja su izražena u optičkim dužinama, a ostale veličine imaju uobičajena značenja.

A. Laplaceova transformacija transportne jednačine

Kad se primeni Laplaceova transformacija na jednačinu (1), dobija se:

$$\left(\mu\frac{\partial}{\partial x}+1\right)\Psi(x,\mu,p)=c\sum_{\ell}\frac{2\ell+1}{2}f_{\ell}(p)P_{\ell}(\mu)\int_{-1}^{1}P_{\ell}(\mu')\Psi(x,\mu',p)\,d\mu'+\frac{1}{4\bar{u}\sigma}\delta(x), \qquad (4)$$

gde $\Psi(x,\mu,p)$ i $f_{\ell}(p)$ označavaju transforme odgovarajućih funkcija.

Jednačina (4) ekvivalentna je (do parametra p) monoenergetskoj transportnoj jednačini. Međutim, treba napomenuti da se izvršena transformacija, i svođenje energetski zavisnog problema na monoenergetski, može izvesti samo pod pretpostavkom konstantnih nuklearnih preseka.

B. Razvoj transforma fluksa u Legendreove polinome po uglu

U ranijim radovima /1,2,3/ korišćeni su dvojni Legendreovi polinomi za razvoj funkcija po ugaonoj koordinati. Ovim se obezbeđivala korektna reprezentacija fluksa na granici. Za beskonačnu sredinu dozvoljeno je koristiti obične Legendreove polinome. Tako se za transform fluksa ima razvoj:

$$\Psi(x,\mu,p)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{2n+1}{4\bar{u}}\psi_n(x,p)P_n(\mu), \qquad (5)$$

$$\psi_n(x,p)=2\bar{u}\int_{-1}^{1}\Psi(x,\mu,p)P_n(\mu)\,d\mu. \qquad (6)$$

Analogan razvoj primeni se i na transform funkcije izvora i standardnim postupkom dobije sistem jednačina ugaonih momenata transforma fluksa:

$$(n+1)\frac{\partial\psi_{n+1}}{\partial x}+n\frac{\partial\psi_{n-1}}{\partial x}+(2n+1)[1-cf_n(p)]\psi_n(x,p)=(2n+1)Q_n(x,p), \qquad (7)$$

$$Q_n(x,p)=\frac{1}{\sigma}\delta(x)\delta_{n0}, \quad n=0,1,2,\ldots \qquad (8)$$

C. Razvoj ugaonih momenata $\psi_n(x,p)$ u biortogonalne polinome po koordinati x

Ugaoni momenti $\psi_n(x,p)$ u razmatranom slučaju (ravan izotropan izvor) ispoljavaju karakterističnu prostornu parnost:

$$\psi_n(x,p)=(-1)^n\psi_n(-x,p), \qquad (9)$$

na osnovu koje je dovoljno odrediti funkcije momenata $\psi_n(x,p)$ u

oblasti pozitivnih vrednosti x.

Pokazano je /5/ da se problem sa proizvoljnim anizotropnim izvorom može redukovati na rešavanje ekvivalentnih zadataka sa simetričnim i antisimetričnim izvorom, koji takođe daju fluks sa osobinom prostorne parnosti (9). Na osnovu svega rečenog, prirodno se nameće dvojna prostorna aproksimacija ugaonih momenata $\psi_n(x,p)$:

$$\psi_n(x,p) = e^{-|x|}\sum_{j=0}^{\infty}\psi_{nj}(p)\,U_j(|x|), \qquad \text{n - neparan broj,} \tag{10}$$

$$\psi_n(x,p) = x e^{-|x|}\sum_{j=0}^{\infty}\psi_{nj}(p)\,V_j(|x|), \qquad \text{n - paran broj,} \tag{11}$$

gde su U i V biortogonalni polinomi, definisani sa /4/:

$$U_j(x) = \frac{(-1)^j}{2^j}\left(\frac{\partial}{\partial x}-1\right)^{2j}\sum_{\nu=0}^{j}\binom{j+\nu}{\nu}\frac{x^{j-\nu}}{2^\nu(j-\nu)!}, \quad V_j(x) = \frac{1}{2(j+1)}\left(\frac{\partial}{\partial x}-1\right)^2 U_j(x). \tag{12}$$

Polinomi U i V imaju adjungovane polinome $U^+$ i $V^+$ :

$$U_j^+(x) = \sum_{\nu=0}^{j}\binom{j}{\nu}\frac{(-x^2)^\nu}{(2\nu)!}, \quad V_j^+(x) = -\sum_{\nu=1}^{j+1}\binom{j+1}{\nu}\frac{(-x^2)^\nu}{(2\nu-1)!\,x}, \tag{13}$$

sa kojima su biortogonalni

$$\int_0^\infty e^{-x}U_j^+U_{j'}\,dx = \delta_{jj'}, \quad \int_0^\infty x e^{-x}V_j^+V_{j'}\,dx = \delta_{jj'} \tag{14}$$

i zadovoljavaju sledeće relacije:

$$\frac{dU_j^+}{dx} = -V_{j-1}^+, \quad \frac{dV_j^+}{dx} = \sum_{\nu=0}^{j}U_\nu^+. \tag{15}$$

Ako se jednačine sistema (7) pomnože sa $U_j^+$ za n-paran broj i sa $V_j^+$ za n-neparan broj, izvrši integracija po čitavoj osi x, dobija se, primenom parcijalne integracije i osobina (14) i (15), sistem:

$$\frac{n+1}{2n+1}\psi_{n+1,j-1} + \frac{n}{2n+1}\psi_{n-1,j-1} + [1-cf_n(p)]\psi_{nj} = \frac{1}{2\sigma}\delta_{n0}, \quad n=0,2,4,\dots \tag{16}$$

$$[1-cf_n(p)]\psi_{nj} = \sum_{\nu=0}^{j}\left(\frac{n+1}{2n+1}\psi_{n+1,\nu} + \frac{n}{2n+1}\psi_{n-1,\nu}\right), \quad n=1,2,3,\dots \quad \psi_{nj}\equiv\psi_{nj}(p), \tag{17}$$

iz koga se rekurzivno izračunavaju momenti $\psi_{nj}$.

U monoenergetskom slučaju treba smatrati $f_n$ i $\psi_{nj}$ nezavisnim od parametra p i rekurzijom direktno odrediti ugaono-prostorne momente fluksa. U energetski zavisnom slučaju potrebno je izvršiti inverznu Laplaceovu transformaciju u svakom koraku rekurzije.

oblasti pozitivnih vrednosti x.

Pokazano je /5/ da se problem sa proizvoljnim anizotropnim izvorom može redukovati na rešavanje ekvivalentnih zadataka sa simetričnim i antisimetričnim izvorom, koji takođe daju fluks sa osobinom prostorne parnosti (9). Na osnovu svega rečenog, prirodno se nameće dvojna prostorna aproksimacija ugaonih momenata $\psi_n(x,p)$ :

$$\psi_n(x,p) = e^{-|x|} \sum_{j=0}^{\infty} \psi_{nj}(p)\, U_j(|x|), \qquad \text{n - neparan broj,} \tag{10}$$

$$\psi_n(x,p) = x e^{-|x|} \sum_{j=0}^{\infty} \psi_{nj}(p)\, V_j(|x|), \qquad \text{n - paran broj,} \tag{11}$$

gde su U i V biortogonalni polinomi, definisani sa /4/:

$$U_j(x) = \frac{(-1)^j}{2^j}\left(\frac{\partial}{\partial x}-1\right)^{2j} \sum_{\nu=0}^{j} \binom{j+\nu}{\nu} \frac{x^{j-\nu}}{2^\nu (j-\nu)!}, \quad V_j(x) = \frac{1}{2(j+1)}\left(\frac{\partial}{\partial x}-1\right)^2 U_j(x). \tag{12}$$

Polinomi U i V imaju adjungovane polinome $U^+$ i $V^+$ :

$$U_j^+(x) = \sum_{\nu=0}^{j} \binom{j}{\nu} \frac{(-x^2)^\nu}{(2\nu)!}, \quad V_j^+(x) = -\sum_{\nu=1}^{j+1} \binom{j+1}{\nu} \frac{(-x^2)^\nu}{(2\nu-1)!\, x}, \tag{13}$$

sa kojima su biortogonalni

$$\int_0^\infty e^{-x} U_j^+ U_{j'}\, dx = \delta_{jj'}, \qquad \int_0^\infty x e^{-x} V_j^+ V_{j'}\, dx = \delta_{jj'} \tag{14}$$

i zadovoljavaju sledeće relacije:

$$\frac{dU_j^+}{dx} = -V_{j-1}^+, \qquad \frac{dV_j^+}{dx} = \sum_{\nu=0}^{j} U_\nu^+ . \tag{15}$$

Ako se jednačine sistema (7) pomnože sa $U_j^+$ za n-paran broj i sa $V_j^+$ za n-neparan broj, izvrši integracija po čitavoj osi x, dobija se, primenom parcijalne integracije i osobina (14) i (15), sistem:

$$\frac{n+1}{2n+1}\psi_{n+1,j-1} + \frac{n}{2n+1}\psi_{n-1,j-1} + [1-cf_n(p)]\psi_{nj} = \frac{1}{2\sigma}\delta_{n0}, \quad n=0,2,4,\dots \tag{16}$$

$$[1-cf_n(p)]\psi_{nj} = \sum_{\nu=0}^{j}\left(\frac{n+1}{2n+1}\psi_{n+1,\nu} + \frac{n}{2n+1}\psi_{n-1,\nu}\right), \quad n=1,2,3,\dots \quad \psi_{nj} \equiv \psi_{nj}(p), \tag{17}$$

iz koga se rekurzivno izračunavaju momenti $\psi_{nj}$ .

U monoenergetskom slučaju treba smatrati $f_n$ i $\psi_{nj}$ nezavisnim od parametra p i rekurzijom direktno odrediti ugaono-prostorne momente fluksa. U energetski zavisnom slučaju potrebno je izvršiti inverznu Laplaceovu transformaciju u svakom koraku rekurzije.

## 2. PRIMENA RAZVIJENE METODE NA PROBLEM USPORAVANJA NEUTRONA U VODONIKU

Za vodonik se može sa velikom tačnošću smatrati da je presek za rasejanje neutrona konstantan, da odsustvuje apsorpcija neutrona (c=1) i da je rasejanje približno svernosimetrično u sistemu centar mase.

Na osnovu ovih podataka lako se pokazuje da su

$$f_0(p) = \frac{1}{p+1} \quad i \quad f_1(p) = \frac{1}{p+3/2} , \tag{18}$$

a rekurentna relacija za više članove

$$f_n(p) = \frac{2p+3-n}{2p+2+n} f_{n-2}(p). \tag{19}$$

Sistem jednačina (16-17) sada se može smatrati određenim.

Eksperimentalni rezultati sa kojima će proračuni biti upoređeni, odnose se na rasprostiranje neutrona u vodoničnoj sredini sa tačkastim izotropnim izvorom. Kao što je dobro poznato, prostiranje neutrona u sverno simetričnoj geometriji može se povezati sa razmatranim ravanskim problemom na sledeći način:

$$4\bar{u} r^2 \psi(r) = -2r \left.\frac{d\psi(x)}{dx}\right|_{x=r} . \tag{20}$$

Na osnovu (20) izvodi se relacija između ugaono-prostornih momenata fluksa od tačkastog i ravnog izotropnog izvora:

$$\psi_{oj}^{pt} = (2j+1)\psi_{oj}^{pl} - 2j\,\psi_{o,j-1}^{pl} . \tag{21}$$

U toku je izrada računarskih programa koji će, prema izloženom algoritmu, testirati metod polinomijalnih aproksimacija fluksa upoređenjem sa analitičkim rezultatima za monoenergetski slučaj, a sa eksperimentalnim podacima za usporavanje neutrona u vodoniku.

ABSTRACT A general procedure for numerical solving the space-energy-angle dependent neutron transport equation in infinite medium is presented. Under the assumptions of constant cross sections and elastic scattering spherically symmetric in the center of mass system, the Laplace lethargy transformed transport equation is resolved by the method of space and angle polynomial flux approximations. In the special case of infinite plane or spherical geometry the polynomial flux approximations method proved to be

equivalent to the well known moments method. As an example, the slowing-down problem in a hydrogen medium is treated.

REFERENCE

1. R. Simović, "Iterativno rešavanje transportne jednačine razvojem fluksa u Legendreove polinome po prostornoj i ugaonoj koordinati", Konferencija o korišćenju nuklearnih reaktora u Jugoslaviji, Zbornik radova,str. 561, Beograd, 1978.

2. R. Simović, "Metoda rešavanja transportne jednačine u ravnoj geometriji korišćenjem polinomijalnih prostornih aproksimacija fluksa", XXI Jugoslovenska konferencija ETAN-a, Zbornik radova, IV sveska, str. 57,Priština, 1980.

3. R. Simović, A Method to Solve the Boltzmann Equation for Fast Particles by Laguerre Polynomial Expansion, X Summer School and Symposium on the Physics of Ionised Gases, Contributed Papers at SPIG-80, p.142, Dubrovnik, 1980.

4. L. Spencer, U. Fano, Penetration and Diffusion of X-Rays. Calculation of Spatial Distributions by Polynomial Expansion, J.Res.Natl.Bur.Stand., 46, p. 446, 1951.

5. U. Fano, L. Spencer, and M. Berger, Penetration and Diffusion of X-Rays, Handbuch der Physik, Vol XXXVIII, Springer-Verlag, Berlin,1959.

6. L. Spencer, P. Flusser, Properties of a Useful Biorthogonal System, J.Res.Natl.Bur.Stand., 71B,p. 197, 1967.

7. A. Krumbein, Summary of NDA Unclassified Results of Moments Calculations for the Penetration of Neutrons Through Various Materials, NDA-92-2 (Rev.), White Plains, 1958.

8. J. McInerney, A Solution of the Space-Energy-Angle-Dependent Neutron Slowing-Down Problem, NSE, 22, p. 215, 1965.

9. H. Amster, Syntheses of an Elementary Function for the Spatially Dependent Neutron Slowing Down Distribution in Hydrogen, NSE, 61, p. 388, 1976.

10. G. Bell, S. Glasstone, Nuclear Reactor Theory, prevod na ruski jezik, Moskva, Atomizdat, 1970.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21 - 24.04.1981

J.Krstić, R.Antanasijević, Ž Todorović
Institut za fiziku Beograd

# UTICAJ KARAKTERISTIKA CELULOZNIH NITRATA NA ENERGETSKU REZOLUCIJU ALFA-ČESTICA

Ispitana je energetska rezolucija u čvrstim detektorima, na bazi domaćih celuloznih nitrata, u energetskom intervalu alfa - čestica od 1-5 MeV ($Pu^{239}$).

Pokazano je, da u ispitanom energetskom opsegu, rezolucija zavisi kako od energije alfa čestica, tako i od fizičko-hemijskih osobina celuloznih nitrata i uslova pripreme detektorskih folija. Najbolja rezolucija dobijena je za alfa čestice od 2-3 MeV: 900 KeV za niskoviskozni NC-135 i srednje viskozni celulozni nitrat NC-650 i 400 KeV za visokoviskozni celulozni nitrat NC-1800.

## U V O D

Merenje energije teških naelektrisanih čestica iste mase i naelektrisanja, registrovanih u čvrstim polimernim detektorima, moguće je pomoću dva parametra razvijenoga traga: dometa i dijametra otvora traga.

Dijametar otvora traga funkcija je gustine radijacionih oštećenja duž traga, koja je proporcionalna specifičnom gubitku energije i tako zavisna od energije čestica (3) (4). Ako alfa čestice različitih energija ulaze u površinu detektora pod pravim uglom, njihovi tragovi će, posle razvijanja, imati kružne poprečne preseke sa dijametrima koji (u jednoj ravni) zavise od energija čestica.

## EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

Ispitana je energetska rezolucija kod niskoviskoznih NC-135, srednjeviskoznih NC-650 i visokoviskoznih celuloznih

nitrata NC-1800 ("Milan Blagojević"), TAB. 1 i 2. Takodje je korišćen i detektor CA 80-15 ("Kodak"). Detektorski filmovi na bazi celuloznih nitrata NC-135, NC-650, NC-1800 pripremljeni su i termički obradjeni godinu dana pre ozračavanja("stari") a detektorski filmovi na bazi NC-135 (0,24) i NC-135 (0,12) nisu termički obradjeni i ozračeni su neposredno po pripremanju ("novi").

Energetska rezolucija odredjena je za alfa čestice u intervalu od 1-5 MeV ($Pu^{239}$). Ozračavanje detektorskih folija vršeno je pod pravim uglom. Merenje dijametara otvora tragova alfa čestica vršena je optičkim mikroskopom sa uvećanjem 1500.

Uticaj količine prisutnog plastifikatora (dioktilftalat) na energetsku rezoluciju, ispitan je na primeru detektora na bazi NC-135 (TAB. 2).

Svi detektori razvijani su pod istim uslovima: 10% NaOH na 40°C , a u vremenu potrebnom za skidanje sloja od 1 μm. Brzine rastvaranje $V_B$ ispitanih detektora prikazane su u TAB. 1 i TAB. 2.

| | $N_2$% | $\eta$[Pa · s] | $V_B$ [μm/h] |
|---|---|---|---|
| NC-135 | 12,02 | $1,27 \cdot 10^{-3}$ | 0,5 |
| NC-650 | 12,25 | $4,99 \cdot 10^{-3}$ | 0,25 |
| NC-1800 | 12,35 | $18,21 \cdot 10^{-3}$ | 0,0625 |
| CA 80-15 | | | 0,75 |

TAB. 1. Fizičko hemijske karakteristike ispitanih celuloznih nitrata.

| | Zastupljenost plastifikatora (dioktilftalat) | $v_B$ [μm/h] |
|---|---|---|
| NC - 135 | *Uobičajena | 0,5 |
| NC - 135 (0,24) | Uobičajena | 0,5 |
| NC - 135 (0,12) | Upola manja | 0,7 |

TAB. 2. Zastupljenost plastifikatora u detektorima na bazi NC - 135.

*Uobičajena zastupljenost plastifikatora u detektorskoj foliji je 24% od težine suvog celuloznog nitrata iskorišćenog za pravljenje folije (1).

REZULTATI I DISKUSIJA

Raspodele dijametara otvora tragova za alfa čestice različitih energija (1-5 MeV), u svim ispitanim detektorima, prikazane su na sl. 1-6.

Za kriterijum moći razlaganja detektora kod merenja energije pomoću distribucije prečnika otvora odgovarajućih tragova, uzima se puna širina na polovini visine maksimuma pika raspodele (FWHM). Mogu se razlikovati one energije za koje se položaji pikova, odgovarajućih raspodela dijametara, razlikuju bar za zbir polovina FWHM tih raspodela.

Rezultati ukazuju da "stari" detektori imaju bolju moć razlaganja nego "novi" istog sastava: NC-135 i NC-135 (0,24) sl. 1 i 2, kao i to da "novi" detektor sa upola manjom količinom plastifikatora ne može da vrši diskriminaciju čestica po energijama: NC-135 (0,12) sl. 3. "Stari" detektori imaju najbolju rezoluciju na energijama od 2-3 MeV: NC-135 i NC - 650 od 900 KeV, a NC-1800 (najveća viskoznost i % $N_2$)

od 400 KeV. sl. 1.4.5. Verovatno je, da je bolja rezolucija posledica veće homogenosti detektorskog materijala.

Često primenjivan polimerni detektor CA 80-15 razvijen na isti način kao i domaći detektorski filmovi, ima manju moć energetskog razlaganja (sl.6).

ZAKLJUČAK

Detektori na bazi domaćih celuloznih nitrata mogu se upotrebiti za merenje energije alfa čestica. Rezolucija zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika upotrebljenih celuloznih nitrata. Najbolja rezolucija, od 400 KeV, dobijena je za viskoviskozni NC-1800, za alfa čestice energija od 2-3 MeV.

ABSTRACT

Energy resolution in SSTD-s based on Yugoslav kinds of cellulose nitrates was examined for alpha particles in the energy region 1-5 MeV ($Pu^{239}$).

In the examined energy region resolving power depends on one hand on particle energy and on the other on physical and chemical characteristics of cellulose nitrates and on the preparing conditions of detector foils. The best resolution is achieved for alpha particles of 2-3 MeV energies: 900 KeV for low viscosity cellulose nitrate NC-650 and 400 KeV fer high viscosity cellulose nitrate NC-1800.

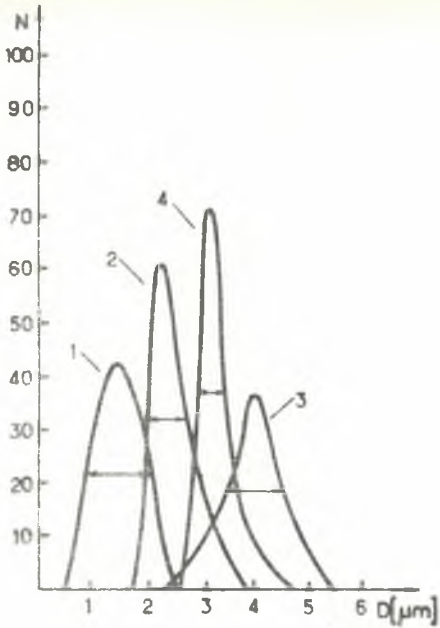
REFERENCE

1. J. Benton: Thesis (1968)

2. S. Somogyi: Nucl.Instr.and Meth. 42(1966), 312

3. G. Hussain and H.A. KHan: Nucl.Instr.and.Meth 173 (198o), 1o3

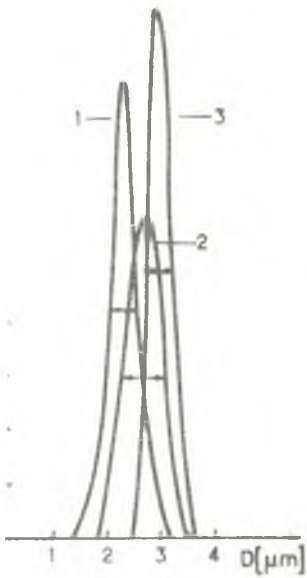
4. H. Luck: Nucl.Instr.and Meth 124 (1975) , 358




Sl. 1.

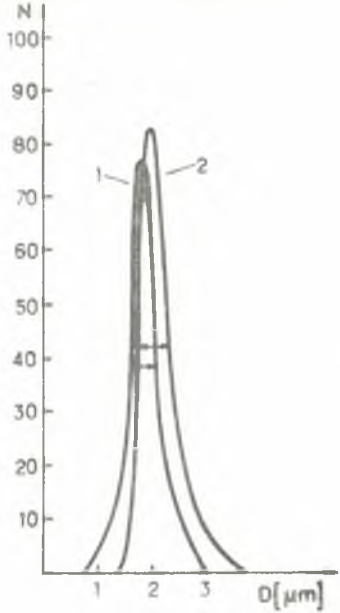
NC-135

1. E=4,4 MeV: $\bar{D}$=1.4 μm,
2. E=3 MeV: $\bar{D}$=2,2 μm,
3. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=3,1 μm,
4. E=1 MeV: $\bar{D}$=3,9 μm,



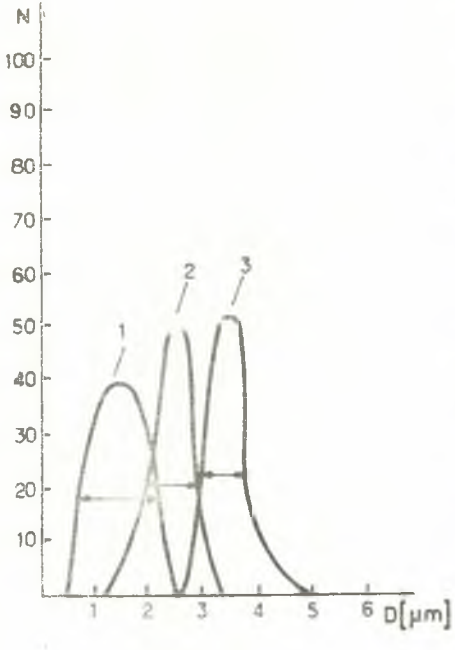

Sl. 2.

NC-135 (0,24)
1. E=3 MeV: $\bar{D}$= 2,3 μm,
2. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=2.7 μm,
3. E=1 MeV: $\bar{D}$=2,9 μm,

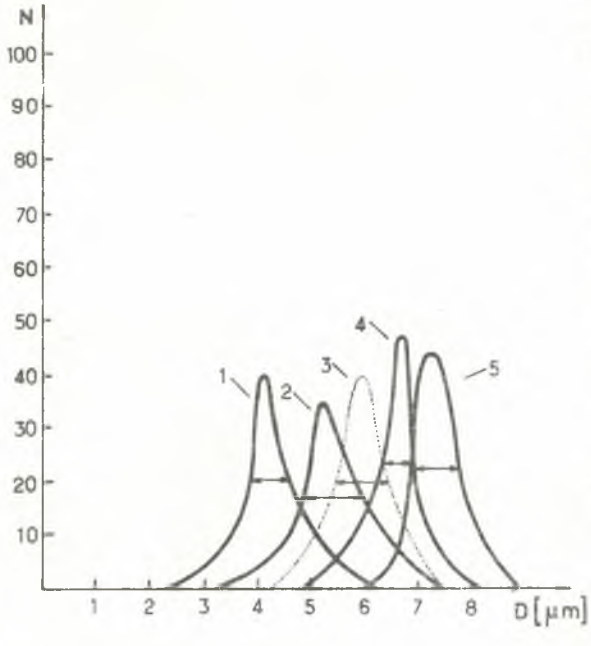



Sl.3.

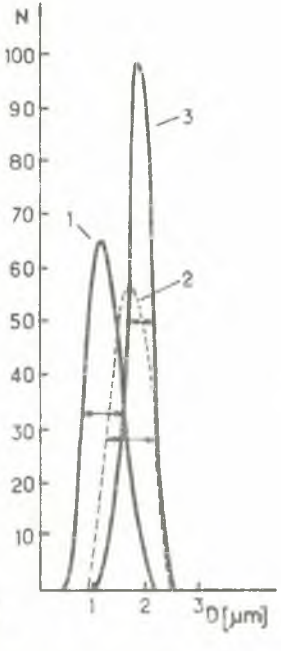
NC-135 (0,12)
1. E=3 MeV: $\bar{D}$=1.8 μm,
2. E=2,1MeV: $\bar{D}$=2 μm,



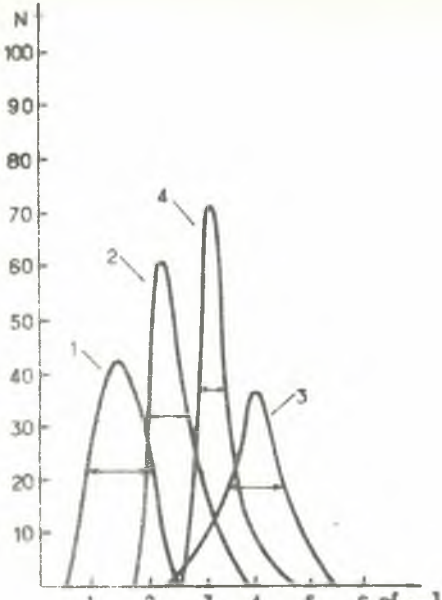

Sl.4.
NC-650
1. E=3,7 MeV: $\bar{D}$=1,4 μm,
2. E=3 MeV: $\bar{D}$=2,5 μm,
3. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=3,5 μm,




Sl. 5.
NC-1800
1. E=4,9 MeV: $\bar{D}$=4,1 μm,
2. E=4,4 MeV: $\bar{D}$=5,2 μm,
3. E=3,5 MeV. $\bar{D}$=5,9 μm,
4. E=2,5 MeV: $\bar{D}$=6,6 μm,
5. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=7,2 μm,



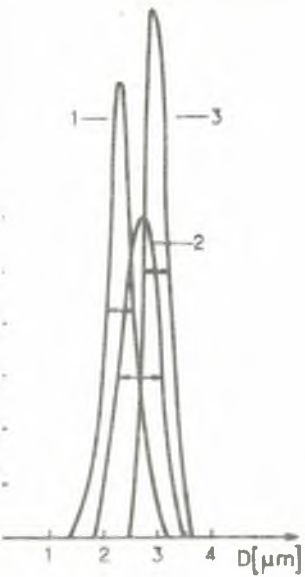

Sl.6
CA-80-15
1.E=4,9 Mev: $\bar{D}$=1,1 μm,
2.E=3 Mev: $\bar{D}$=1,7 μm,
3.E=2,1 Mev: $\bar{D}$=1,8 μm,




Sl. 1.

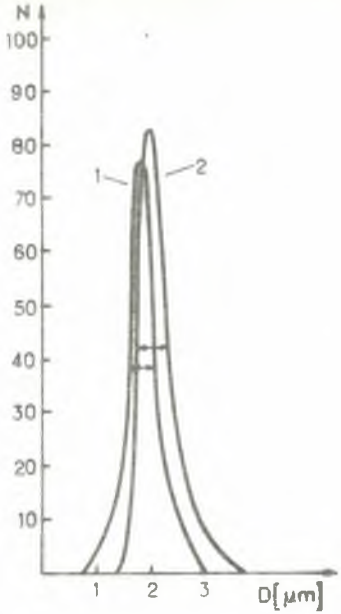
NC-135

1. E=4,4 MeV: $\bar{D}$=1,4 μm.
2. E=3 MeV: $\bar{D}$=2,2 μm,
3. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=3,1 μm,
4. E=1 MeV: $\bar{D}$=3,9 μm,



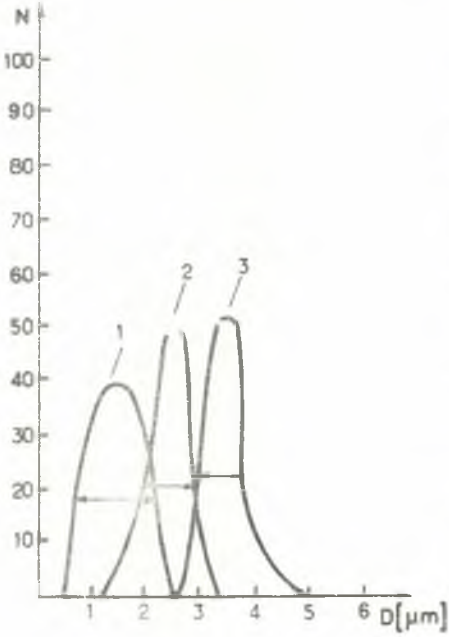

Sl. 2.

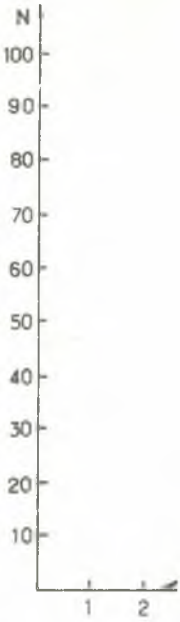
NC-135(0,24)
1. E=3 MeV: $\bar{D}$= 2,3 μm,
2. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=2.7 μm,
3. E=1 MeV: $\bar{D}$=2,9 μm,




Sl.3.

NC-135 (0,12)
1. E=3 MeV: $\bar{D}$=1.8 μm,
2. E=2,1MeV: $\bar{D}$=2 μm,

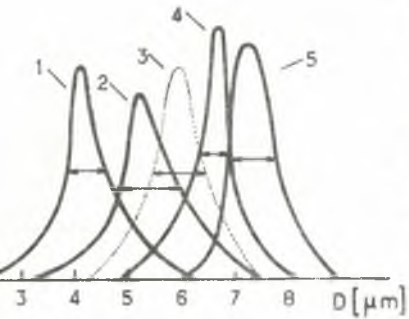


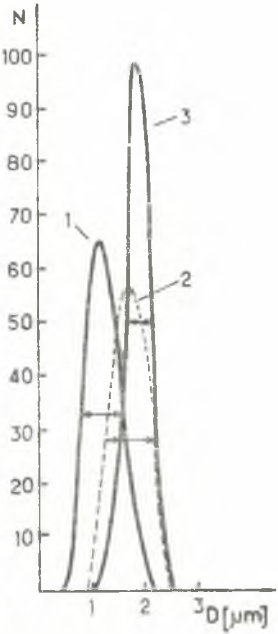

S1.4.
NC-650

1. E=3,7 MeV: $\bar{D}$=1,4 μm,
2. E=3 MeV: $\bar{D}$=2,5 μm,
3. E=2,1 MeV: $\bar{D}$=3,5 μm,

1.
2.
3.
4.
5.




Sl. 5.
NC-1800
E=4,9 MeV: $\bar{D}$=4,1 μm,
E=4,4 MeV: $\bar{D}$=5,2 μm,
E=3,5 MeV. $\bar{D}$=5,9 μm,
E=2,5 MeV: $\bar{D}$=6,6 μm,
E=2,1 MeV: $\bar{D}$=7,2 μm,




Sl.6
CA-80-15
1.E=4,9 Mev: $\bar{D}$=1,1 μm,
2.E=3 Mev: $\bar{D}$=1,7 μm,
3.E=2,1 Mev: $\bar{D}$=1,8 μm,

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
PORTOROŽ, 21.-24.4.1981.

Mr.Sc. Tomašević Miroslav

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

# KONTROLA X-ZRAČENJA KOD TV-PRIJEMNIKA ZA PRIJEM PROGRAMA U BOJI

Kontrola X-zračenja kod TV-prijemnika za prijem programa u boji do sada je uglavnom vršena instrumentima, koji nisu bili predvidjeni za ovu namenu.
Zbog toga je nabavljen instrument, čije su karakteristike propisane zakonskim odredbama i izvršena je kontrola dve serije od po 5o prijemnika za prijem TV-programa u boji u proizvodnom pogonu, pre puštanja u prodaju, kao i kod izvesnog broja TV-prijemnika koji su duže vremena korišćeni.
Rezultati naših ispitivanja ukazuju da su mere zaštite zadovoljavajuće i da se ni u jednom slučaju nisu mogle registrovati jačine espozicionih doza zračenja veće od dozvoljivih veličina.

Pitanje, da li TV-prijemnici za prijem programa u boji zrače i u kojoj meri, bilo je vrlo prisutno pre izvesnog broja godina, kada se u nas počelo sa eksperimentalnim emisijama u novoj tehnici i prodajom odnosno proizvodnjom aparata za prijem ovakvog programa. Tih godina objavljen je i najveći broj radova, koji su se odnosili na ispitivanje parazitnog X-zračenja, koje se može očekivati za vreme rada ovih prijemnika.

Podaci, koji su bili izneti u radovima naših stručnih službi, davani su na osnovu merenja debljine stakla katodne cevi ili na osnovu podataka, koji su mogli da se nadju u stručnoj literaturi/1/. Izvestan broj radova bio je baziran i na podacima, koji su bili dobijeni merenjem parazitnog X-zračenja instrumentima na bazi jonizacionih komora. Po pravilu, ova merenja su obavljana instrumentima, koji nisu bili predvidjeni za ovu vrstu kontrole.

Od tada je prošlo dosta vremena i pitanje zračenja TV-prijemnika postavljalo se sve redje, bilo zato što smo se uverili da su oni bezopasni za okolinu, ili zato što smo se navikli na njihovo prisustvo.

Medjutim, kako su dalja proizvodnja i plasman TV-aparata za prijem programa u boji bili uslovljeni pribavljanjem pouzdanijih vrednosti, pristupili smo ponovnoj kontroli parazitnog X-zračenja kod aparata za prijem TV-programa u boji, ali ovoga puta sa instrumentom, čije su karakteristike bile propisane preporukom ICRP /2/ i našim propisom JUS NNO 201. Prema ovim preporukama i propisima instrument sa kojim se obavlja kontrola X-zračenja kod TV-prijemnika mora da bude na principu jonizacione komore, a izmerene vrednosti na rastojanju od 5 cm od površine stakla katodne cevi ne smeju biti veće od 36 pA/kg.

Ove karakteristike poseduje instrument Victoreen, model 440 RF/C, sa kojim smo merenja i obavili. Konstruisan prema preporukama ICRP, ovaj instrumenat je predvidjen za energije beta-zračenja iznad 150 keV i gama-zračenja iznad 12 keV. U instrumenat je ugradjena jonizaciona komora prečnika 3,56 cm, dužine 5,87 cm, poprečnog preseka 10 $cm^2$ i zapremine 60 $cm^3$. Zidovi komore su izradjeni od materijala gustine 1,5 $mg/cm^2$, dok je gustina spoljašnjeg prozora od magnezijuma 13 $mg/cm^2$. Centar komore udaljen je 5 cm od površine odredjivača rastojanja. Merni opsezi instrumenta su 0-1, 0-3, 0-10, 0-30, 0-100 mR/h.

Kontrolu smo obavili u dva navrata na po 50 prijemnika u pogonu proizvodjača i na 50 prijemnika, koji su se već nalazili u eksploataciji. Kontrolom su bili obuhvaćeni TV-prijemnici za prijem programa u boji sa katodnim cevima Telefunken A66-510X i A56-510X, Philips A66-500X i A66-510X kao i Toshiba 560-CXB 22 TC03/PY/.

Jačine ekspozicionih doza zračenja merili smo pod normalnim radnim visokim naponom od 22-25 kV, a u pogonu proizvodjača i pod povećanim visokim naponom do 26,5 kV.

Kako nismo uočili bitnu razliku izmedju dobijenih vrednosti kod pojedinih tipova katodnih cevi, to smo sve dobijene rezultate rasporedili prema njihovim vrednostima a ne prema proizvodjačima katodnih cevi.

| IZMERENA VREDNOST | BROJ APARATA |
|---|---|
| 7,88 pA/kg | 24 |
| 8,59 pA/kg | 66 |
| 9,31 pA/kg | 36 |
| 10,02 pA/kg | 12 |
| 10,74 pA/kg | - |
| 11,46 pA/kg | 6 |
| 12,17 pA/kg | - |
| 12,89 pA/kg | 6 |

Iz gornje tabele proizilazi da su se izmerene vrednosti kretale izmedju 7,88 pA/kg i 12,89 pA/kg., dok je u najvećem broju merenja izmerena vrednost jačine ekspozicione doze zračenja iznosila 8,59 pA/kg.

ZAKLJUČAK:

Na osnovu izvršenih merenja parazitnog X-zračenja kod aparata za prijem TV-programa u boji i dobijenih rezultata može se zaključiti da su u svim posmatranim slučajevima izmerene jačine ekspozicionih doza zračenja bile znatno ispod maksimalno dozvoljive vrednosti od 36 pA/kg i da su ovi podaci u skladu sa vrednostima, koje daju za svoje katodne cevi proizvodjači Telefunken, Philips i Toshiba./3,4,5/

SUMMARY

MONITORING OF X-RAY RADIATIONS FROM COLOR TV SET

Mr.Sc.Tomašević Miroslav

Institute on Occupational and Radiological Health
"Dr.Dragomir Karajović" Belgrade, Deligradska 29

Until the present time the monitoring of X-ray radiations from TV set has been mostly performed by instruments that had not been anticipated for these purposes.
Therefore, an instrument which employ all characteristics according to the law of regulations is procured. Two series of TV sets each of 50 VT-units have been controlled at the plant before their dispatch for sale.
The results of our investigations indicate that means of protection are satisfactory. None of units with dose rates higher than permissible were found.

LITERATURA

1. M. Jeremić, S.Ignjatović, D.Panov: Procena opasnosti od štetnog dejstva X-zračenja TV prijemnika u boji. Radovi VI- Jugoslovenskog simpozijuma - zaštita od jonizujućih zračenja. Ohrid, 25.-28. april 1972.godine, str. 619 - 625.

2. Recomandation of the International Commission on Radiological Protection, Report of Committee 3. ICRP Publication 3, p.14. Pergamon Press /1960./

3. Development Sample Data: 110° in Line Gun Colour Tlevision Tube A 66-500 X. Philips, February 1974.

4. Technische Daten: Farbfernsehe-Bildroehre A 66-510 X, Telefunken.

5. Technical Data: Colour Picture Tube E-2570-P, Toshiba.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.4.1981.g.

Mitrović M., Tomljenović I.

"RUDI ČAJAVEC" - BANJALUKA

# UREDJAJ ZA AUTOMATSKO SNIMANJE PLATOA

U proizvodnji radiološke instrumentacije koja kao senzore koristi GM brojače bitno je vršiti testiranje i selekciju istih prije ugradnje. U radu je prikazan uredjaj za automatsko snimanje platoa TGM 80. Uredjaj ima mogućnost izbora načina rada: ručno, poluautomatski i automatski; vremena snimanja platoa: 30s, 60s i 120s; kao i izbora broja impulsa pri kojem će se vršiti snimanje platoa. Moguće je snimanje platoa svih GM brojača čiji napon ide do 1000V. Visoki napon se mijenja sa korakom od 5V. Minimalni visoki napon je 300V. Naponska stepenica je 300V.

## U V O D

Sistem TGM-80 je namijenjen za kontrolu i selekciju GM brojača prije ugradnje u mjerne detektorske uredjaje. U ovom slučaju kontrola bi se svodila na snimanje krive platoa. Ova kriva daje podatke o početnom naponu, dužini i nagibu platoa. Na osnovu ovih podataka ocjenjuje se kvalitet GM brojača, odredjuju se optimalni radni uslovi (u uslovima primjene ocjenjuje se da li GM brojač zadovoljava postojeće radne uslove) može se vršiti selekcija GM brojača po osjetljivosti uz pretpostavku dobre reproducibilnosti geometrije GM brojača.

Snimljene krive platoa će imati pozitivne i negativne fluktuacije koje potiču od statističke prirode radioaktivnog raspada. Fluktuacije su tim veće što su vremenski intervali sakupljanja impulsa manji. U konkretnom slučaju interval je 1s pa su razumljiva znatna odstupanja.

Za ocjenu navedenih podataka ovo odstupanje neće predstavljati manjkavost sistema. Sistem bi mogao raditi i sa većim vremenskim intervalima tako da se uticaj statističkih fluktuacija smanji,

medjutim u tom slučaju se produžava vrijeme testiranja pojedinačne komponente.

Sistem TGM 80 je jednostavan za rukovanje a opsluživanje se sastoji u kontroli pisača, odnosno uvodjenju pisača u koordinatni početak diagrama. Podesan je za ispitivanje većeg broja GM brojača kako na normalnim klimatskim uslovima tako i na ekstremnim.

## Osnovni principi

Snimanje platoa GM brojača podrazumjeva brojanje impulsa u odredjenim vremenskim intervalima pri promjeni visokog napona kojim se napaja GM brojač. Za realizaciju kompleta koji bi automatski na XY pisaču ispisivao krivu platoa potrebno je dakle realizovati: brojač impulsa čiji bi analogni izlaz bio vezan za Y-osu pisača i generator visokonaponske baze koja bi bila vezana na X-osu pisača. Ova dva kanala obrade signala potrebno je sinhronizovati sa diskom na kome je postavljen set brojača za ispitivanje.

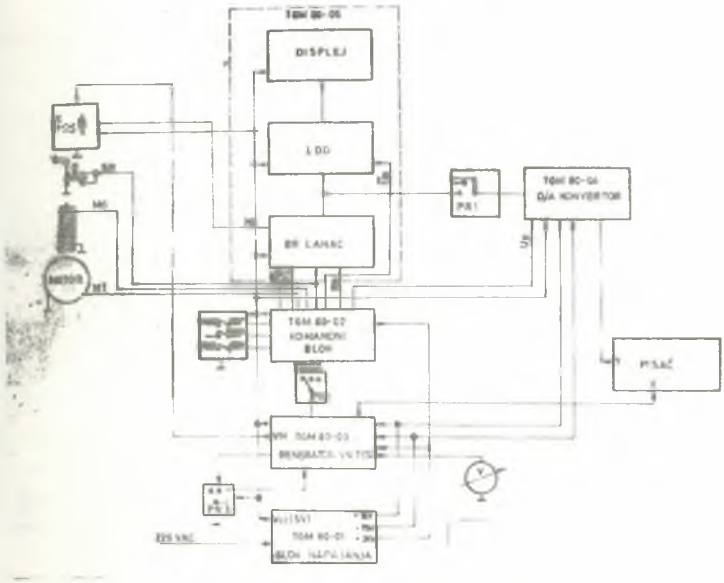
## Funkcionalna blok šema sistema TGM 80

Funkcionalna blok šema sistema TGM 80 prikazana je na sl.1.

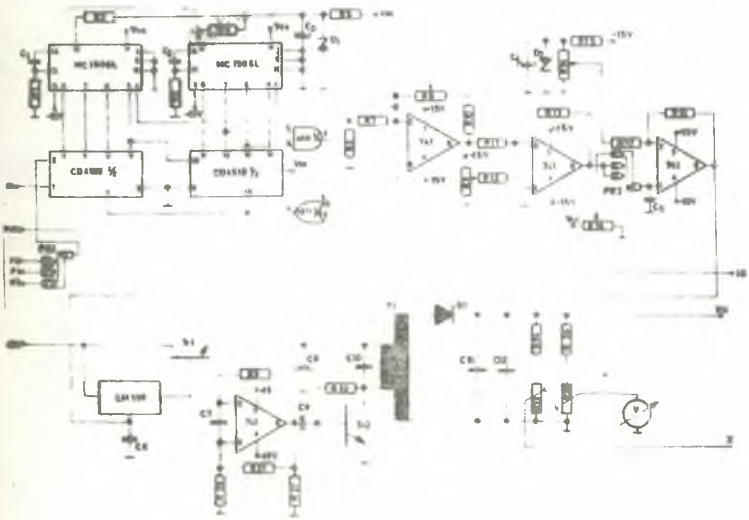
U bloku TGM 80-01 dobijaju se svi potrebni naponi za napajanje ostalih blokova, a to su +5V DC, +15V DC, +24V DC i -15V DC.

TGM 80-02 predstavlja komandni blok u kome se generišu svi potrebni komandni i sinhro impulsi za rad sistema. Iz ovog bloka se uključuju naponi napajanja elektromotora i magnetnog osigurača. Sinhronizacija ovog bloka se vrši linijama IG i SB. U sklopu ovog bloka vrši se izbor načina rada pomoću preklopnika PR3: položaj 1 RUČNO, položaj 2 AUTOMATSKI i položaj 3 POLUAUTOMATSKI.

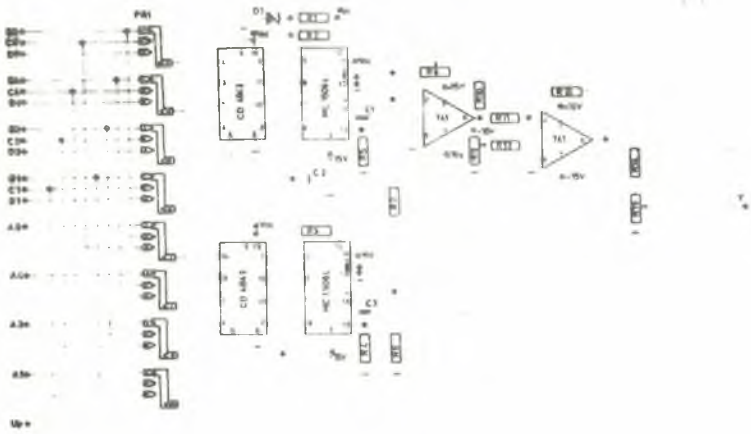
TGM 80-03 sl.2 predstavlja generator visokonaponske testere. Ovaj blok proizvodi stepenastu testeru visokog napona. Izborom na preklopniku PR2 može se postići jedna od tri moguće brzine



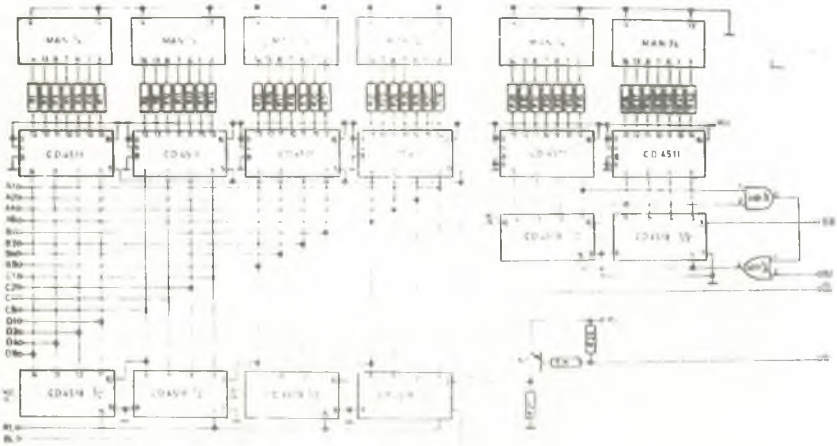

Sl.1. BLOK ŠEMA SISTEMA TGM 80



Sl.2. GENERATOR VISOKONAPONSKE TESTERE

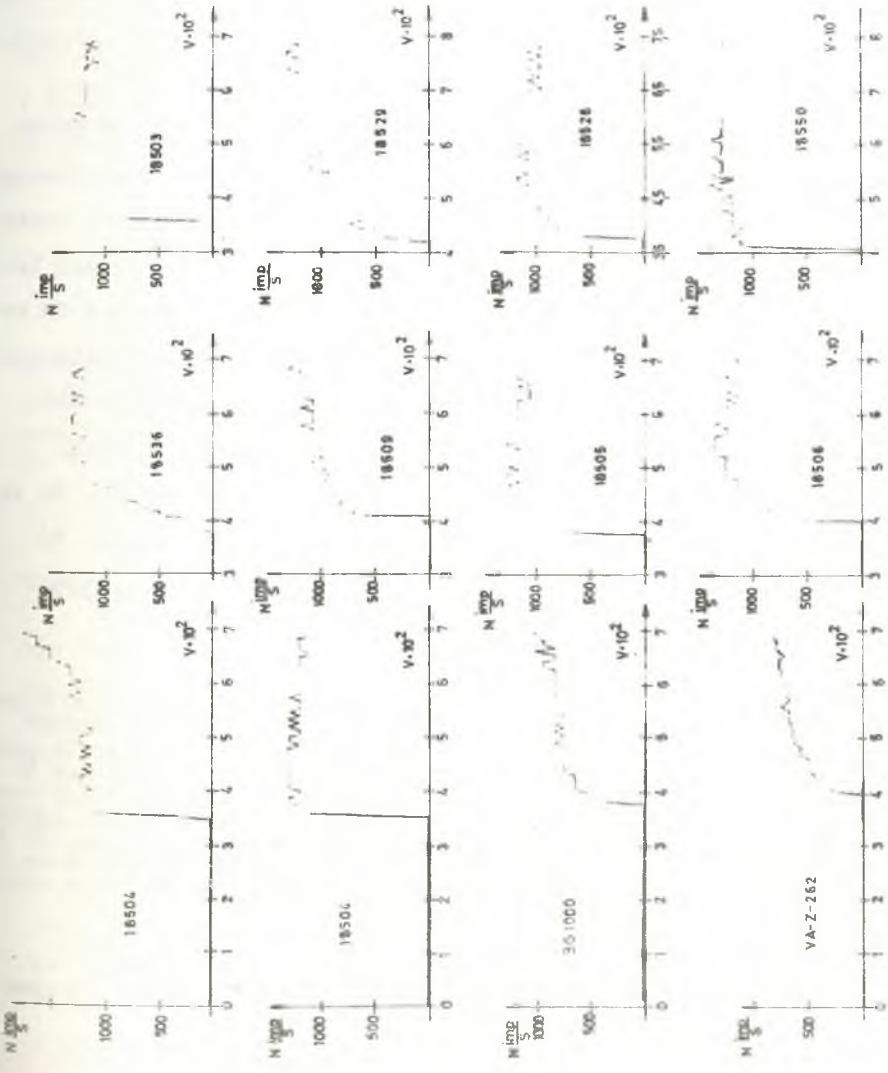


Sl.3. D/A KONVERTOR



Sl.4. BROJAČ IMPULSA I CEVI

Sl 5 Platoi više tipova GM brojača



porasta napona. U položaju jedan vrijeme porasta je pola minuta, u položaju 2 jedan minut u položaju tri dva minuta. Početak testere ide od 300V i može se podizati do 700V pomoću potenciometra. TGM 80-04 sl.3 predstavlja dvodigitni digitalno analogni konvertor. Pomoću njega se digitalni sadržaj brojača impulsa pretvara u jednosmjerni signal koji se vodi na Y-osu pisača. Pomoću preklopnika PR1 na ulaz D/A konvertora se dovode dva puta po četiri bita iz dva brojača u brojačkom lancu. U sklopu bloka TGM 80-05 sl.4 realizovana su dva brojačka lanca sa dekoderima i displeima. Prvi brojački lanac se sastoji od četiri dekadna brojača i sastavni je dio brojača impulsa u sekundi iz GM brojača. U drugom brojačkom lancu od dva dekadna brojača registruje se redosled GM brojača iz seta čiji se plato snima. U sklopu TGM 80-06 realizovan je disk na koji se postavljaju GM brojači sa tačno definisanom geometrijom prema kontejneru u kome se nalazi izvor Sr-90-Y. Postoji mogućnost podešavanja broja impulsa na GM brojaču. Na sl. 5. prikazani su snimljeni platoi raznih tipova GM brojača. Na svakom diagramu N ($\frac{imp}{s}$) = f /U (V)/ označen je tip GM brojača čiji je plato snimljen pomoću sistema TGM 80.

ABSTRAKT
In the production of radiological instrumentation using G-M tubes as sensors, it is necessary to test and select the same before building-in. Device for automatic TGM 80 plateau plotting is presented in this paper. The device has following possibilities of operation mode choice: manual, half-automatic and automatic; plotting times of plateau: 30s, 60s, and 120s; as well as the choice of pulse number at which the plateau plotting will be done. It is possible to plot plateaus of all G-M tubes whose voltage is up to 1000 V. High voltage changes with step of 5 V. Minimal high voltage is 300 V. Voltage step is 300 V.

LITERATURA:

1. Mr. Radovan D.Ilić
   Ekspertiza GM cevi 18504 i elektronskog sklopa DR-M3 u kojem ona radi na -30°C. ITMZ 1973.god. Beograd.
2. William J.Price
   Nuclear Radiation Detection. Second Edition, Mc Graw Hill Book Company.
3. Motorola Semiconductor Data Library, 1976 pp 5.42-5.53
4. A.M.Koturović, D.D.Damljanović, P.Kosić, Digitalni alarmni monitor zračenja MZ-D1, Jajce, 31.V do 3. VI 1977.

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

R.S.Pavlović i D.P.Stojanović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča
Centar za permanentno obrazovanje
Beograd,Kosančićev venac 29

F.Boreli
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Bulevar revolucije 73

# TEORIJSKA RAZMATRANJA I PRIMENA REFLEKSIJE GAMA ZRAČENJA U MERENJU DEBLJINA

U radu je prikazan metod za odredjivanje verovatnoće da se gama kvant, posle jednostrukog Compton-ovog rasejanja, reflektuje na detektor, kao i energetske raspodele rasejanih gama kvanata.

Verovatnoća i energetska raspodela su računate u funkciji debljine rasejivača, za različite vrednosti energije primarnog gama zračenja i atomskog broja Z rasejivača.

## 1. UVOD

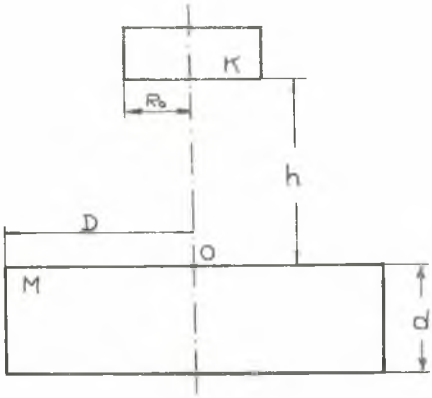
Uobičajena geometrija pri merenju i računanju debljine refleksijom gama zračenja prikazana je na sl.1.

Kako realna geometrija (konačne dimenzije detektora i uzorka) komplikuje izračunavanje verovatnoće da reflektovani gama kvant padne na detektor, to se u literaturi usvajaju razne aproksimacije. Na primer, u [1] je usvojeno da je detektor tačkast, a za uglove pod kojima se rasejavaju gama kvanti uzeta je srednja vrednost. U [2] je usvojeno da je debljina uzorka mnogo manja od rastojanja uzorak-detektor; detektor je konačnih dimenzija, ali su usvojeni srednji uglovi pod kojima polaze primarni i rasejani gama kvanti.

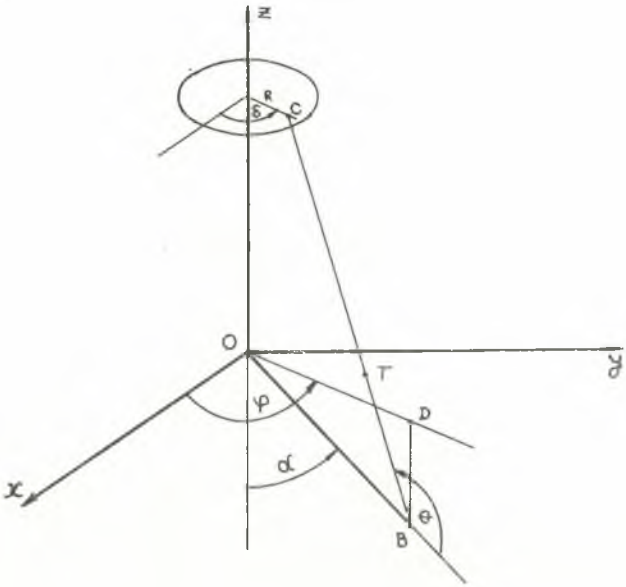
U ovom radu je rešavan slučaj kada su detektor, uzorak i rastojanje uzorak-detektor konačni. Detektor je cilindričnog oblika, a uzorci su kružne pločice. Izvor je tačkast i nalazi se na površi uzorka, u zajedničkoj osi detektora i uzorka.

## 2.PRORAČUN VEROVATNOĆE RASEJANJA GAMA KVANTA NA DETEKTOR

Usvojićemo da se izvor sa sl.1 nalazi u koordinatnom početku (sl.2) i da se Z-osa poklapa sa zajedničkom osom uzorka i de -




Sl.1. Geometrijski raspored uzorka (M), izvora (O) i detektora (K).




Sl.2. Geometrija za proračun verovatnoće rasejanja gama kvanta na detektor

tektora. Neka je, takodje, izvor izotropan.

Posmatraćemo gama kvant emitovan u pravcu definisanom uglovima $\alpha$ i $\varphi$. Neka je gama kvant prešao put $r$ u materijalu bez interakcije i neka u elementarnoj zapremini dV (na elementu puta dr) oko tačke B pretrpi Compton-ovo rasejanje pod uglom $\theta$, takvim da rasejani gama kvant padne u tačku C na detektoru. Apsorpciju gama kvanata u vazduhu ćemo zanemariti.

Verovatnoća da gama kvant bez interakcije stigne u tačku B data je izrazom

$$P_1 = \frac{1}{4\pi r^2} \exp(-\mu r) r^2 \sin\alpha \, d\alpha \, d\varphi \, , \tag{1}$$

gde je $\mu$ linearni koeficijent slabljenja materijala za gama kvante energije E [3] .

Verovatnoća da gama kvant u elementarnoj zapremini dV (na elementu puta dr) doživi Compton-ovo rasejanje je

$$P_2 = \frac{Z N_a}{A} \rho \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} dr \, , \tag{2}$$

gde su Z, A i $\rho$ redni broj, atomski broj i specifična gustina rasejivača, $N_a$ Avogadrov broj, a $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$ verovatnoća rasejanja gama kvanta u jedinični prostorni ugao u pravcu ugla $\theta$ (Klein-Nishina formula [3] ).

Verovatnoća da rasejani gama kvant padne na jediničnu površ detektora oko tačke C, odnosno da ne doživi interakciju u rasejivaču je

$$P_3 = \exp(-\mu_1 t) \, , \tag{3}$$

gde je $\mu_1$ linearni koeficijent slabljenja u materijalu za rasejane gama kvante energije $E_1(\theta)$ [3] , a $t$ dužina predjenog puta rasejanog gama kvanta u rasejivaču.

Ukupna verovatnoća se dobija integraljenjem proizvoda $P_1 P_2 P_3$ po zapremini rasejivača ($r, \alpha$ i $\varphi$) i površi detektora ($R, \delta$) i data je izrazom

$$P = \frac{ZN_a}{2A} \rho \int_{R=0}^{R_0} \int_{\delta=0}^{2\pi} \left[ \int_{\alpha=0}^{\operatorname{arctg}\frac{\ell}{d}} \int_{r=0}^{d/\cos\alpha} F \, dr d\alpha + \int_{\alpha=\operatorname{arctg}\frac{\ell}{d}}^{\pi/2} \int_{r=0}^{\ell/\sin\alpha} F \, dr d\alpha \right] d\delta \, dR \, , \tag{4}$$

gde su

$$F = \exp\left\{ -\left[ \mu(E,Z) r + \mu_1(E_1,Z) t \right] \right\} \frac{R \sin\alpha \cos\eta}{l^2} \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} \, , \tag{5}$$

$$l = \sqrt{R^2 + r^2 + h^2 - 2Rr \sin\alpha \sin\delta + 2hr \cos\alpha} \, , \tag{6}$$

$$\theta = \arccos\left[\frac{Rr\sin\alpha\sin\delta - r^2 - hr\cos\alpha}{r\,l}\right], \tag{7}$$

$$\cos\eta = \frac{h + r\cos\alpha}{l}, \tag{8}$$

($\eta$ je ugao izmedju rasejanog gama kvanta i normale na jediničnu površ detektora),

$$t = \frac{r\,l\cos\alpha}{h + r\cos\alpha}, \tag{9}$$

$R_o$ poluprečnik osnove detektora, D poluprečnik uzorka, a d debljina uzorka.

Izračunavanje integrala u izrazu (4) se vrši standardnim numeričkim metodama. U procesu numeričkog integraljenja dobija se, takodje, i energetska raspodela gama kvanata prispelih na detektor, računanjem njihovih energija posle rasejanja. Eksplicitni izraz za energetsku raspodelu reflektovanih gama kvanata na detektor $I(E(\theta))$ u ovom modelu nije izveden zbog komplikovanih zavisnosti granica integraljenja po uglovima Compton-ovog rasejanja.

## 3. REŠAVANJE PROBLEMA MONTE CARLO METODOM

Kako računanje integrala u izrazu (4) zahteva relativno dugo mašinsko vreme, problem je rešavan i Monte Carlo metodom [4,5].

Geometrija sa sl.2 važi i za ovaj proračun, s tim što je $\psi$ ugao izmedju ravni u kojoj leže Z-osa i pravac puta primarnog gama kvanta i ravni u kojoj leže pravci puteva primarnog i rasejanog gama kvanta. Koordinate prodora rasejanog gama kvanta i ravni u kojoj leži detektor (tačka C) date su izrazima

$$\left.\begin{aligned}
x_C &= x_B - d\left\{\frac{z_B\sin\theta\cos\psi}{b} + \frac{\left[y_B(x_B + y_B\,tg\varphi) + z_B^2\,tg\varphi\right]\sin\theta\sin\psi}{c} - \frac{x_B\cos\theta}{r}\right\}\\
y_C &= y_B + d\left\{\frac{-z_B\,tg\varphi\sin\theta\cos\psi}{b} + \frac{\left[z_B^2 + x_B(x_B + y_B\,tg\varphi)\right]\sin\theta\sin\psi}{c} + \frac{y_B\cos\theta}{r}\right\}\\
z_C &= h,
\end{aligned}\right\} \tag{10}$$

gde je

$$b = \sqrt{z_B^2(1 + tg^2\varphi) + (x_B + y_B\cdot tg\varphi)^2},$$

$$c=\sqrt{\left[y_B(x_B+y_B tg\varphi)+z_B^2 tg\varphi\right]^2+\left[z_B^2+x_B(x_B+y_B tg\varphi)\right]^2+(x_B z_B tg\varphi-y_B z_B)^2}\,,$$

$$d=\frac{h-z_B}{\dfrac{(x_B+y_B tg\varphi)\sin\theta\cos\psi}{b}+\dfrac{x_B z_B tg\varphi-y_B z_B}{c}+\dfrac{z_B\cos\theta}{r}}\,, \qquad (11)$$

$$x_B=r\sin\alpha\cos\varphi\,,$$

$$y_B=r\sin\alpha\sin\varphi\,,$$

$$z_B=-r\cos\alpha\,,$$

a $r$ dužina slobodnog puta primarnog gama kvanta do prve interakcije u rasejivaču.

Put koji gama kvant prelazi u uzorku posle prve Compton-ove interakcije dat je izrazom

$$t=\frac{-z_B}{\dfrac{(x_B+y_B tg\varphi)\sin\theta\cos\psi}{b}+\dfrac{x_B z_B tg\varphi-y_B z_B}{c}+\dfrac{z_B\cos\theta}{r}}\,, \qquad (12)$$

gde su $b$, $c$, $x_B$, $y_B$ i $z_B$ dati izrazima (11).

Izrazi za izračunavanje linearnog koeficijenta slabljenja $\mu(E)$ i verovatnoće Compton-ovog rasejanja $\sigma(\theta)$ pod uglom $\theta$ su uzeti iz [3].

Ovom metodom se, takodje, odredjuje i energetska raspodela gama kvanata prispelih na detektor.

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su opisani postupci za izračunavanje verovatnoće da se gama kvant, posle jednostrukog Compton-ovog rasejanja u materijalu, reflektuje na detektor.Ta verovatnoća je, pored debjine, funkcija i karakteristika materijala, što se, u konkretnom slučaju, može iskoristiti za odredjivanje nekog od pomenutih nepoznatih parametara.

Prvi od razmatranih modela iziskuje relativno dugo mašinsko vreme, dok je drugi primenjiv i na računskim mašinama skromnijih mogućnosti.

Izračunata verovatnoća rasejanja i energetska raspodela rasejanih gama kvanata omogućuju računanje i dozimetrijskih karakteristika polja rasejanog zračenja.

ABSTRACT

Considering the real geommetry of the detector and the sample, a mathematical model for the calculation of probability that a gamma ray, scattered back by a single Compton scattering, is incident on the detector, is presented. The procedure of scattered photon energy distribution determination is, also, proposed.

The probability and energy distribution are calculated as a function of the scatterer thickness, where the primary photon energy and the atomic number Z are parameters.

LITERATURA

[1] J.Seda, J.Strachota, T.Cechak, J.Kluson, "The Single Backscattering of Gamma Rays", Nuclear Instruments and Methods, 144 (1977) 557-559.

[2] L.K.Tatočenko, "Radioaktivnie izotopi v priborostroenii", Atomizdat, Moskva, 1960.

[3] W.Heitler, "The Quantum Theory of Radiation ", Oxford University Press, 1949.

[4] O.I.Lejpunskij i dr., "Rasprostranenie gamma kvantov v veščestve", Moskva, 1960.

[5] G.I.Marčuk, "Metod Monte Karlo v probleme perenosa izlučenii", Atomizdat, Moskva, 1967.

XI Jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja
Portorož, 21. - 24. 04. 1981. god.

Djordje Ristić, S. Vuković, P. Marković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine

# EKSPERIMENTALNO ODREDJIVANJE KOEFICIJENTA SLABLJENJA RAVNO VUČENOG SILIKATNOG STAKLA ZA X ZRAČENJE PROIZVEDENOG NA NAPONIMA DO 400 kV

U radu je dato slabljenje uskog snopa X-zračenja u ravnom vučenom silikatnom staklu na osnovu kojeg su izračunati efektivni koeficijenti slabljenja i prikazana njihova zavisnost od debljine stakla.

## 1. Uvod

S obzirom da najveći doprinos izlaganju stanovništva jonizujućem zračenju čine izvori elektromagnetnih zračenja energija do nekoliko stotina keV, jer imaju najširu primenu u medicini i industriji, veoma je značajno nalaženje i karakterizacija pogodnih materijala za efikasnu zaštitu, od ovih zračenja, ekranizacijom.

Postoji interes za primenu ravnog vučenog stakla, pored baritnog betona i maltera, za zaštitu od ekektromagnetnog zračenja niskih energija, ekranizacijom, naročito u radioizotopskoj i rendgendijagnostici i terapiji i u industrijskoj proizvodnji i kontroli kvaliteta.

Osnovni preduslov za korišćenje ovog domaćeg stakla je poznavanje njegovog zaštitnog svojstva, jer se bez toga ne mogu proračunavati debljine zaštitnih ekrana.

Koeficijent slabljenja je prirodna veličina i najznačajniji činilac zaštitnog svojstva materijala. Autori ovog rada nisu našli literaturne podatke za koeficijente slabljenja silikatnog stakla za X-zračenja. Eksperimentalno dobijene vrednosti koeficijenta slabljenja su od primerne važnosti, jer su njihovi teorijski proračuni složeni, a dobijene vrednosti nepouzdane, zbog kontinuiranog spektra energije zračenja, kakvo je X-zračenje, preklapanja procesa interakcije takvog zračenja i nedovoljnog poznavanja odnosa učešća tih procesa pri interakciji.

Iz navedenih razloga mi smo eksperimentalno odredili koefi-

jente slabljenja domaćeg ravno vučenog silikatnog stakla i u ovom radu ćemo prikazati način i uslove njihovog odredjivanja i dobijene rezultate.

## 2. Eksperimentalno odredjivanje koeficijenta zračenja

Za eksperimentalno odredjivanje koeficijenta slabljenja korišćenja je metoda prikazana u radu (5).

Kao izvor zračenja korišćen je industrijski rendgen aparat "ISOVOLT 420" proizvodnje RICH SEIFERT, SR Nemačka. Rendgenska cev ovog aparata je napajana konstantno visokim naponom. Veličina fokusa iznosila je 4,5 x 4,5 mm. Izlazni ugao rendgenskog zračenja iznosio je 40°. Inherentna filtracija iznosila je 3 mm Be, a dodatna nije korišćena.

Za merenja su korišćeni uzorci od ravnog vučenog silikatnog stakla, proizvodnje Industrije stakla Pančevo, veličina površina 500 x 500 mm i debljina 2;5;9;20,2;29,7;39,1 i 49,7 mm. Ovo staklo ima sledeći hemijski sastav: $SiO_2$(72,56%), $Na_2O$(14,02%), CaO(8,01%), MgO(3,68%), $Al_2O_3$(1,43%), $Fe_2O_3$(0,10%) i $SO_3$(0,30%) i specifičnu težinu 2,5 g/cm$^3$.

Presek korišćenog snopa zračenja uske geometrije iznosio je 100 x 100 mm tj. bio je za više od 5% veći od preseka radnih zapremina korišćenih jonizacionih komora.

Za merenje jačina ekspozicionih doza korišćeni su: jonizaciona komora zapremine 1l,tipa VA-J-125A, sa mogućnošću merenja energije zračenja od 20 do 3000 keV i tačnošću 20±% i VICTOREEN komore MD br. 326, opsega 10 R; MD br. 227 opsega 1R i MD br. 130 opsega 0,250 R, sa mogućnošću merenja energija od 30 do 500 keV i tačnošću ±10%.

Na sl. 1. prikazani su eksperimentalno dobijene vrednosti jačina ekspozicionih doza, izražene u nC/kg mA s na 1 m, merene na istom mestu bez stakla i iza staklenih ploča različitih debljina.

Koristeći podatke iz sl. 1. izračunali smo linearne i masene koeficijente čije su vrednosti date u tabeli 1.

S obzirom da krive na sl. 1. predstavljaju slabljenje uskog snopa elektromagnetnog zračenja sa kontinuiranim spektrom energija i njihove nagibe koji karakterišu srednje vrednosti koeficijenta po spektrima (za svaki napon na rendgenskoj cevi) u svim tačkama, to su dobijene vrednosti za linearne koeficijente slabljenja - $\mu$ pa iza masene koeficijente slabljenja - $(\mu/\rho)$ efektivne tj. $\mu_{ef}$ i $(\mu/\rho)_{ef}$.

Dakle efikasni linearni i maseni koeficijenti slabljenja pored zavisnosti od energije zračenja (napon na rendgenskog cevi) i vrste materijala zavise i od debljine samog ekrana-apsorbera. Ta zavisnost je prikazana na sl. 3.


Abstract

In this paper experimentaly determined effetive attenuation coefficients of X-rays was used X-rays equipamenti ("ISOVOLT 420"). Voltage was varised from zero to 400 kV. Exposure dose measurements were done by VA-J-125A and Vistoreen MD-326 ionization chamber. From the of attenuation curve of X-rays, effective atteunation coefficients were determind, and in peper given in a tabele.

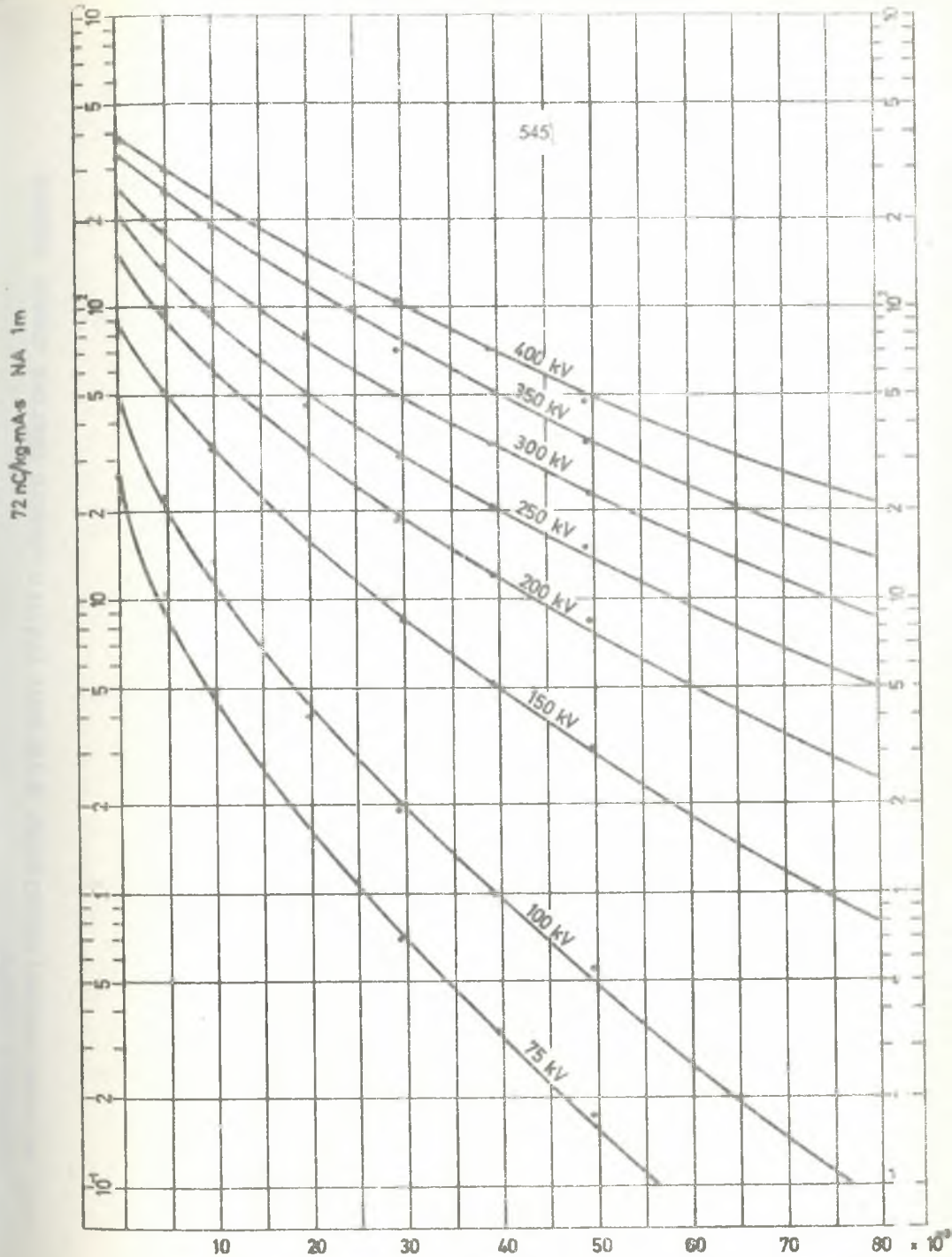

Literatura


1. J.M. Légaréett all., Blindge centre les grands champs de rayons X primaires et diffusés des appareils triphasés au moyen de panneaux de verre, de gyres et de plomb acustique, Radioprotection, Vol. 13. N°2, 1977
2. E. Dale Trout at all. X-Ray Attenuation in Steel 50 to 300 kVp Vol. 29 (July) 1975
3. V. Joksimović, Teorijska i eksperimentalna analiza optimalne zaštite od X-začenja pri upotrebi $BaSO_4$ maltera, Doktorska disertacija - Niš, 1975
4. Dj. Ristić, M. Ninković, Ray Attenuation Coefficient for Baryt Concrete, Health Physics, Vol. 31 (Sept.) 1976
5. Dj. Ristić, P. Marković "Metoda eksperimentalnog odredjivanja zaštitnih svojstava materijala koji se koriste za zaštitu od X-zračenja", X simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac, 1979
6. Dj. Ristić, P.Marković, S. Vuković, "Koeficijenti slabljenja X--zračenja za baritni beton za energije do 250 keV, VII Kongres matematičara, fizičara i astronoma Jugoslavije, Bečići 6-11.okt. 1980

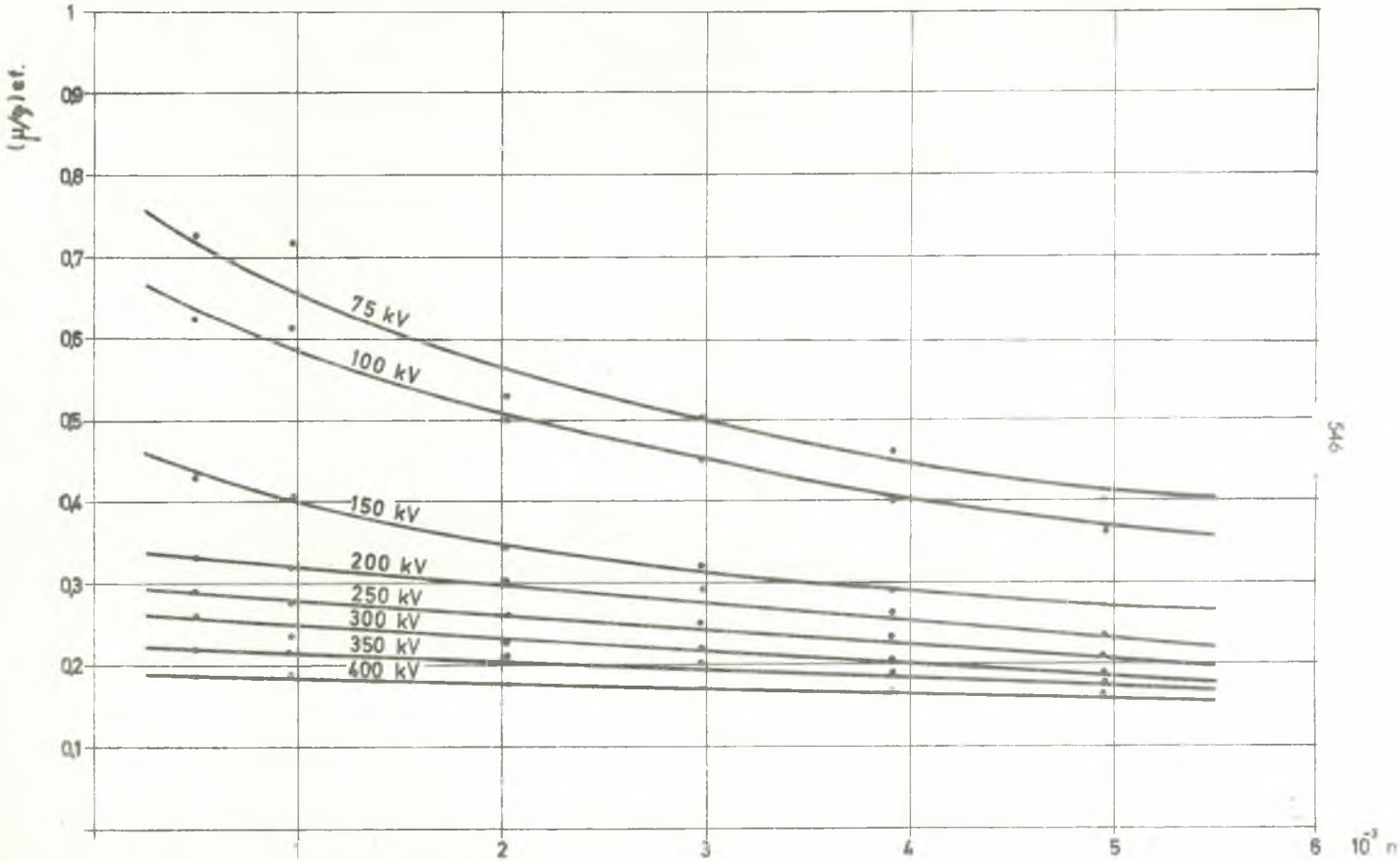
Tabela 1. Efektivni linearni i maseni koeficijenti slabljenja - $\mu_{ef.}$ i $(\mu/\rho)_{ef.}$ uskog snopa X-zračenja, proizvedenog na naponima od 75 do 400 kV za različite debljine ravnog vučenog silikatnog stakla ($\mu$= 2,5 · $10^3$ kg/$m^3$)

| Napon na RÖ cevi u kV | $\mu_{ef.}$ ($10^{-2}m^{-1}$) i $(\mu/\rho)_{ef.}$ ($15^{-1}m^2/kg$)* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Debljina stakla (u $10^{-3}$m) | | | | | |
| | 5 | 9,9 | 20,2 | 29,7 | 39,1 | 49,7 |
| 75 | 1,819<br>(0,728) | 1,803<br>(o,721) | 1,335<br>(0,534) | 1,254<br>(0,501) | 1,115<br>(0,460) | 1,007<br>(0,403) |
| 100 | 1,610<br>(0,644) | 1,554<br>(0,618) | 1,247<br>(0,499) | 1,122<br>(0,449) | 0,994<br>(0,397) | 0,906<br>(0,362) |
| 150 | 1,086<br>(0,434) | 1,011<br>(0,404) | 0,852<br>(0,341) | 0,808<br>(0,323) | 0,732<br>(0,293) | 0,674<br>(0,269) |
| 200 | 0,821<br>(0,329) | 0,803<br>(0,321) | 0,763<br>(0,305) | 0,721<br>(0,288) | 0,646<br>(0,258) | 0,577<br>(0,231) |
| 250 | 0,725<br>(0,290) | 0,716<br>(0,287) | 0,653<br>(0,261) | 0,636<br>(0,254) | 0,568<br>(0,227) | 0,520<br>(0,208) |
| 300 | 0,640<br>(0,256) | 0,601<br>(0,241) | 0,573<br>(0,229) | 0,555<br>(0,222) | 0,510<br>(0,204) | 0,482<br>(0,193) |
| 350 | 0,554<br>(0,211) | 0,549<br>(0,219) | 0,533<br>(0,213) | 0,520<br>(0,208) | 0,485<br>(0,194) | 0,455<br>(0 182) |
| 400 | 0,471<br>(0,188) | 0,465<br>(0,186) | 0,447<br>(0,179) | 0,437<br>(0,175) | 0,423<br>(0,169) | 0,415<br>(0,166) |

* Vrednosti date u zagradama odnose se na merne koef. slabljenja




Sl.1 SLABLJENJE USKOG SNOPA X-ZRAČENJA, PROIZVEDENOG NA NAPONIMA OD 75 DO 400 kV, U RAVNOM VUČENOM SILIKATNOM STAKLU ($\varrho$=2,5 g/cm³




SL.3 VREDNOSTI MASENIH KOEFICIJENATA SLABLJENJA (μ/ρ)ef U FUNKCIJI DEBLJINE RAVNOG VUČENOG SILIKATNOG STAKLA

8. s e k c i j a

RADIOTOKSIKOLOGIJA

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

B. Kargačin, I. Šimonović, K. Kostial

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

# METODA ZA ISTOVREMENO SNIŽENJE TJELESNOG OPTEREĆENJA RADIOAKTIVNIM STRONCIJEM CEZIJEM I JODOM

Cilj našeg istraživanja bio je ustanoviti učinak "mješavine" antidota (Calcium alginate, Radiogardese-Cs i kalijevog jodida) na retenciju tri biološki najopasnija fisiona produkta: $^{90}Sr$, $^{137}Cs$ i $^{131}J$.

"Mješavina" antidota, dodana hrani, bila je primijenjena kroz 4 tjedna i uzrokovala je značajno smanjenje tjelesnog opterećenja stroncijem, cezijem i jodom: retencija $^{85}Sr$ u femuru snižena je 11 puta; retencija $^{137}Cs$ u bedrenom mišiću 112 puta a retencija $^{131}J$ u štitnjači 177 puta.

Rezultati našeg pokusa pokazuju da se ta "mješavina" može uspješno primijeniti za sniženje apsorpcije radioaktivnog stroncija, cezija i joda i to bez medjudjelovanja pojedinih antidota te da ujedno pojednostavljuje terapiju i prevenciju interne kontaminacije sa tim radionuklidima.

Cilj je niza istraživača bio da u pokusima na životinjama i u mnogo manjoj mjeri na ljudima pronadju brzu i efikasniju metodu smanjenja tjelesnog opterećenja radionuklidima koji se se zbog svojih karakteristika pokazali biološki najopasnijima. To su $^{90}Sr$, $^{137}Cs$ i $^{131}J$. Kako je glavni put ulaska tih radionuklida u slučaju kontaminacije okoliša, probavni trakt to je i nastojanje većine istraživanja bilo - smanjenje njihove apsorpcije iz probavnog trakta.

Tvari koje su se, primijenjene kao pojedinačni antidoti pokazale najefikasnijim u smanjenju tjelesnog opterećenja radioaktivnim stroncijem, cezijem i jodom: alginat kao sredstvo za sniženje apsorpcije radioaktivnog stroncija (1) radiogardase-Cs - sredstvo za sniženje apsorpcije radioaktivnog cezija (2) i natrijev perklorat - sredstvo za sniženje ulaska radioaktivnog joda u štitnjaču (3) Kostial i sur. dodali su u obliku "mješavine" (I) hrani (4) i dobili izvrsne rezultate u smislu smanjenja tjelesnog opterećenja gore navedenim

radionuklidima. Ta se "mješavina"(I) medjutim ne može primjenjivati kroz duži period, što je potrebno u slučaju produžene ekspozicije tim radionuklidima u okolici, zbog suprimirajućeg djelovanja natrijevog perklorata na "jodnu pumpu" te posljedične hipotireoze.

U našem pokusu umjesto perklorata u novoj "mješavini"(II) primijenjen je kalijev jodid koji efikasno smanjuje ugradjivanje radioaktivnog joda u štitnjaču i na taj način smanjuje radioaktivnu dozu štitnjači (5).

Pokus je izveden na ženkama štakora starosti 6 tjedana. Životinje su bile podijeljene u dvije grupe - kontrolnu i eksperimentalnu. Životinje kontrolne grupe hranjene su kroz 1 mjesec standardnom štakorskom hranom dok su životinje eksperimentalne grupe primale "mješavinu"(II) antidota dodanu standardnoj štakorskoj hrani. Obe grupe životinja bile su podijeljene u tri podgrupe. Prva podgrupa životinja, nakon što je primala standardnu odnosno eksperimentalnu hranu kroz 21 dan, primila je $^{85}Sr$ u vodi za piće kroz 48 sati i bila žrtvovana 6 dana po prestanku uzimanja izotopa. Druga podgrupa životinja nakon 22 dana tretmana primila je putem želučane sonde $^{137}Cs$ i bila žrtvovana 6 dana nakon primitka izotopa. Treća podgrupa životinja primila je $^{131}J$ takodjer putem želučane sonde, 28 dana nakon početka pokusa i bila žrtvovana 1 dan po primitku izotopa. Životinje su žrtvovane u suvišku etera i potom im je odredjena radioaktivnost u cijelom tijelu i kritičnim organima (femuru, bedrenom mišiću i štitnjači).

Retencija radioaktivnog stroncija bila je u cijelom tijelu eksperimentalnih životinja 10 puta manja nego u kontrolnih dok je retencija u femuru snižena primjenom "mješavine"(II) 11 puta.

Retencija radioaktivnog cezija bila je primjenom "mješavine"(II) smanjena 92 puta u cijelom tijelu i 112 puta u kritičnom organu (bedrenom mišiću).

Retencija radiojoda bila je u životinja hranjenih "mješavinom"(II) u cijelom tijelu 4.5 puta manja nego u onih na standardnoj štakorskoj hrani dok je retencija u štitnjači kao kritičnom organu smanjena 177 puta.

Primjena antidota u obliku "mješavine"(II) nije uzrokovala medjudjelovanje u smislu sinergizma ili antagonizma pojedinih supstancija a time je znatno pojednostavljena i poboljšana terapija i prevencija interne kontaminacije za tri biološki najopasnije radionuklida.

Reference:

1. Kostial, K., Maljković, T., Kadić, M., Manitašević, R., Harrison, G.E., 1967, Nature, 215, 182

2. Nigrović, V., 1963, Int. J. Radiat. Biol., 7, 307

3. Šimonović, I., 1963, Ph.D. Thesis, Medicinski Fakultet, Univerzitet u Zagrebu

4. Kostial, K., Vnučec, M., Tominac, C., Šimonović, I., 1980, Int. J. Radiat. Biol., 37, 347

5. Ramsden, D., Passant, F.H., Peabody, C.O., Speight, R.G., 1967, Health Phys., 13, 633

Summary

The purpose of our investigation was to find out the action of a "mixture" of antidotes (Calcium alginate, Radiogardese-Cs and potassium jodide) on the retention of three biologicaly most dangerous fission products: $^{90}Sr$, $^{137}Cs$ and $^{131}J$.

The "mixture" of antidotes, added to the diet, was used for 4 weeks and it produced significant reduction of strontium, cesium and iodine body burden: the retention of $^{85}Sr$ in femur was reduced 11 times, the retention of $^{137}Cs$ in the thigh muscle 112 times and the retention of $^{131}J$ in the thyroid 177 times.

Results of our experiment show that this "mixture" can be successfully used for reduction of absorption of radioactive strontium, cesium and iodine, without interference between the antidotes which simplifies the therapy and prevention of internal contamination with these radionuclides.

XI. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Portorož, 21 - 24. april 1981.

B. Momčilović i Nevenka Gruden

# UTJECAJ CELULOZNIH VLAKANA NA RETENCIJU $^{85}$Sr U NEONATALNOJ DOBI

Retencija $^{85}$Sr u femuru šest dnevnih štakora hranjenih mlijekom, mlijekom obogaćenim kalcijem i fosforom i mlijekom obogaćenim stroncijem bila je 20% niža ako su hrani dodana celulozna vlakna.

## UVOD

Stroncij je osobito radiotoksičan za mlade organizme (1) a kao najuspješniji način za smanjenje apsorpcije radiostroncija iz probavnog trakta u neonatalnoj dobi pokazalo se je istovremeno dodavanje kalcija, fosfora i alginata mlijeku (2). Nedavno je ustanovljeno da vlakna u hrani mogu utjecati na apsorpciju pojedinih minerala (3). Stoga smo u ovome pokusu ispitali utjecaj celuloznih vlakana na apsorpciju radioaktivnog stroncija iz gastrointestinalnog trakta odnosno na njegovu retenciju u femuru neonatalnih životinja.

## MATERIJAL I METODE

Šest dana stari mladunci bijeloga štakora umjetno su hranjeni (4) jednom od slijedećih hrana (5) označenih sa 3.7 kBq $^{85}$Sr/ml: (A) Mlijeko (140 mg Ca i 95 mg P/100 ml)(6,7),

(B) Mlijeko + 6% celuloznih vlakana (Teklad Mills, Wisconsin, USA), (C) Mlijeko + Ca + P (400 mg Ca i 235 mg P/100) (8), (D) Mlijeko + Ca + P + celulozna vlakna, (E) Mlijeko + Sr (57 mg Sr/100 ml) (9), (F) Mlijeko + Sr + celulozna vlakna. Šest dana kasnije odredjena je radioaktivnost $^{85}Sr$ u femuru ubijenih životinja u scintilacijskom brojaču NaI(Tl) (Well type, Nuclear Chicago, USA) (10). Rezultati su izraženi u postotku primjenjene doze ($\overline{X}_g$ ± S.E.) a značajnost razlika izmedju grupa ispitana je Duncanovim testom (11).

REZULTATI I DISKUSIJA

Retencija radioaktivnog $^{85}Sr$ (% doze) iznosila je u femuru životinja hranjenih dijetom (A) 1.17 ± 0.04[a], (B) 0.96 ± 0.05[b,c], (C) 0.82 ± 0.05[c], (D) 0.61 ± 0.05[d], (E) 1.02 ± 0.07[b] i (F) 0.84 ± 0.03[c] (različiti superskripti označavaju da su razlike medju grupama značajne na razini $P < 0.05$). Usporedba odgovarajućih parova pokazuje da je retencija $^{85}Sr$ u femuru životinja hranjenih celuloznim vlaknima bila 20% niža nego u životinja hranjenih mlijekom bez vlakana ($P < 0.05$ za hrane A vs B, C vs D i E vs F). Najniža retencija opažena je u mladunaca koji su u mlijeku istodobno primili kalcij, fosfor i celulozna vlakna (dijeta D) dok je dodatak stabilnog stroncija mlijeku (dijeta E) imao marginalan učinak na retenciju $^{85}Sr$ u femuru. Celulozna su vlakna, gledano u cjelini, smanjila retenciju $^{85}Sr$ u femuru neonatalnih životinja neovisno o dodatku minerala ($P < 0.01$ za grupe sa vlaknima u odnosu na grupe bez vlakana u mlijeku).

Kostial i sur. (12) su ustanovili da dodatak kalcija i fosfora mlijeku smanjuje apsorpciju $^{85}Sr$ iz probavnog trakta mladih životinja. Utjecaj na retenciju $^{85}Sr$ bio je pri tome najjači

ako su istovremeno uz kalcij i fosfor mlijeku dodavani i alginati (20%). Mehanizam interferencije celuloznih vlakana sa apsorpcijom radiostroncija iz probavnog trakta u neonatalnoj dobi nije za sada poznat. Vlakna su heterogena grupa biljnih sastojaka u koje se pored celuloze ubrajaju i hemiceluloza, lignin i pektin (13). Poznato je da celulozna vlakna mogu na sebe vezati vodu s time da pojedini autori smatraju kako celuloza ne posjeduje veliku sposobnost adsorpcije ili izmjene iona (14). Celuloza je medjutim po svojim osobinama najsličnija alginatima s time da sadrži hidroksilnu skupinu umjesto karboksilne a o čemu joj ovise i karakteristična svojstva (15).

Abstract

The retention of $^{85}Sr$ was about 20% lower in the femur of six-day-old infant rats artificially fed on milk, milk supplemented with calcium and phosphorus, and milk supplemented with strontium when 6% cellulose fibre was added to the diet.

LITERATURA

1. Comar, C.L., Wasserman, R.H., Mineral Metabolism, 2, 523, 1964, Academic Press, New York, USA.
2. Kostial, K., Duraković, A., Šimonović, I., Juvančić, V., Int. J. Radiat. Biol., 15, 563, 1969.
3. Reinhold, J.G., Faradji, B., Abadi, P., Ismail-Beigi, F., J. Nutr., 106, 493, 1976.
4. Momčilović, B., Period. Biol., 81, 559, 1979.
5. Momčilović, B., Rabar, I., Period. Biol., 81, 27, 1979.
6. Clark, E.P., Collip, J.B., J. Biol. Chem., 63, 461, 1925.

7. Lucena-Conde, F., Prat, L., Anal. Chim. Acta, 16, 473, 1957.

8. Spray, C.M., Brit. J. Nutr., 4, 354, 1950.

9. Harrison, G.E., Kostial-Šimonović, K., Howells, G.R., Int. J. Radiat. Biol., 4, 623, 1962.

10. Comar, C.L., Radioisotopes in Biology and Ahriculture, 176, 1955, McGraw Hill Book Co., New York Toronto, London.

11. Duncan, D.B., Biometrics, 11, 1, 1955.

12. Kostial, K., Šimonović, I., Pišonić, M., Nature, 215, 1181, 1967.

13. Spiller, G.A., Shipley, E.A., Wld. Rev. Nutr. Diet., 27, 105, 1977.

14. van Soest, P.J., Robertson, J.B., Dietary Fibre, 13, 1976, Dalhousie Univ., Halifax, Canada.

15. Moncrieff, R.W., Man-made Fibres, 136, 1975, Newnes-Butterworth, London, England.

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.4.1981.

Gruden Nevenka, Buben Mirka

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

# UTJECAJ LAKTOZE I CELULOZE NA APSORPCIJU RADIOAKTIVNOG CINKA

Retencija Zn-65 bila je značajno niža u cijelom tijelu i karkasu petdnevnih štakora koji su u kravljem mlijeku primili 6 % celuloznih vlakana + 12,0 µg Zn/ml, nego u kontrolnih životinja koje su primile čisto mlijeko. U kombinaciji sa laktozom (15 %) inhibitorni učinak celuloze i cinka nije se mijenjao, dok je dodatak same laktoze značajno povećao retenciju radioaktivnog cinka u karkasu.

## Uvod

Stabilni je cink, radi prisutnosti u mnogim esencijelnim enzimima, neophodan za staničnu funkciju. Njegov radioaktivni izotop, medjutim, koji se - kao produkt neutronske aktivacije - nalazi u prehrambenom lancu predstavlja opasnost za ljudski i životinjski organizam (1).

Istraživanja pokazuju da sadržaj biljnih vlakana u hrani utječe na apsorpciju nekih elemenata iz probavnog trakta (2, 3). Radi toga se pokušalo povećanim sadržajem celuloze u dijeti smanjiti apsorpciju radiotoksičnih iona (4-6). Iako su ta istraživanja dala nejednake rezultate, očito je da simultana administracija celuloze i cinka značajno smanjuje apsorpciju radiocinka u štakora (6).

Jer se povećanom sadržaju laktoze u dijeti pripisuje stimulativni efekt na apsorpciju minerala (7, 8), svrha je ovih pokusa bila da se ispita kako na apsorpciju radioaktivnog cinka djeluje laktoza sama ili u kombinaciji sa celuloznim vlaknima i cinkom.

## Materijal i Metode

U pokusu smo koristili pet dana stare bijele štakore. Životinje su bile podijeljene u četiri grupe prema dodacima koje su, umjetnom prehranom (9), primile u 0,5 ml kravljeg mlijeka obilježenog sa Zn-65: (1) pasterizirano kravlje mlijeko koje sadrži 3 µg Zn/ml, (2) mlijeko sa 6 % celuloze + 12,0 µg Zn/ml, (3) mlijeko sa 6 % celuloze + 12,0 µg Zn/ml + 15 % laktoze, i (4) mlijeko + 15 % laktoze. Poslije sedamsatne umjetne ishrane sve su životinje vraćene njihovim majkama, a trećeg i šestog dana od aplikacije radioizotopa odredjena im je ukupna tjelesna aktivnost Zn-65 pomoću scintilacijskog brojača (Tobor, Nuclear Chicago, USA). Nakon ubijanja životinja izmjerena je i aktivnost Zn-65 u njihovom karkasu.

## Rezultati i Diskusija

Iz Tablice br. 1 vidi se da su vrijednosti radioaktivnog cinka bile značajno niže u cijelom tijelu i karkasu životinja koje su kravljim mlijekom primile celulozna vlakna i cink, nego u kontrole koja je primila čisto mlijeko. Dodatkom 15 % laktoze nije se mijenjao inhibitorni efekt celuloze i cinka. Medjutim, u životinja koje su mlijekom dobile samu laktozu, bila je aktivnost Zn-65 ili jednaka (cijelo tijelo) ili značajno veća od kontrole (karkas). Ovi su rezultati u skladu sa ranijim nalazima prema ko-

jima kombinacija celuloze i cinka smanjuje apsorpciju radioaktivnog cinka (6). Podatak da laktoza, iako sama stimulira apsorpciju Zn-65, ne mijenja inhibitorni efekt celuloze i cinka važan je sa prehrambenog i radiotoksikološkog aspekta.

TAB br. 1

Utjecaj laktoze i/ili celuloze na aktivnost Zn-65 u cijelom tijelu i karkasu petdnevnih štakora

| Grupa | Cijelo tijelo | | Karkas |
|---|---|---|---|
| | Treći dan | Šesti dan | |
| (1) | 82,19 ± 0,82* | 74,02 ± 1,07 | 69,97 ± 0,59 |
| (2) | 76,47 ± 1,03 | 68,78 ± 1,34 | 63,95 ± 1,03 |
| (3) | 75,28 ± 1,05 | 68,73 ± 1,31 | 65,93 ± 1,15 |
| (4) | 82,98 ± 1,29 | 76,61 ± 1,16 | 73,30 ± 1,16 |

*Rezultati su izraženi kao srednje vrijednosti procenta primljene doze sa odgovarajućom standardnom pogreškom.

Whole body and carcass Zn-65 activity was significantly lower in five-day-old rats receiving 6 % cellulose + 12,0 µg Zn/ml cow's milk than in their controls receiving plain milk. The inhibitory effect of cellulose + zinc was not abolished by the presence of 15 % lactose, although the lactose, when given alone, increased significantly Zn-65 retention in the carcass.

Literatura

1. Honstead, J.F., Brady, D.N., Hlth. Phys. 13, 455, 1967.

2. Reinhold, J.G., Ismail-Beigi, F., Faradji, B., Nutr. Rep. Internat. 12, 75, 1975.

3. Sandstead, H.H., Munoz, J.M., Jacob, R.A., Klevay, L.M., Reck, S.J., Logan, G.M. jr., Dintzis, F.R., Inglett, G.E., Shuey, W.C., Am. J. Clin. Nutr. 31, S180, 1978.

4. Momčilović, B., Zbornik radova X Simp. Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac 1979, str. 91.

5. Gruden, N., Momčilović, B., Buben, M., Zbornik radova X simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac 1979, str. 101.

6. Gruden, N., Buben, M., Ciganović, M., Nutr. Rep. Internat. 20, 757, 1979.

7. Pansu, D., Bellaton, C., Bronner, F., J. Nutr. 109, 508, 1979.

8. Schaafsma, G., Visser, R., J. Nutr. 110, 1101, 1980.

9. Kostial, K., Šimonović, I., Pišonić, M., Nature, 233, 564,1971.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

Trajković Miodrag i Ubović Živanka
Laboratorija za medicinsku zaštitu Instituta za nuklearne nauke
"Boris Kidrič" - Vinča

# TRICIJUM KAO UNUTRAŠNJI KONTAMINANT RADNIKA REAKTORA RA U VINČI

R e z i m e

U radu dat je prikaz unutrašnje kontaminacije tricijumom radnika koji rade na održavanju i remontu reaktora RA u Vinči. Diskutuju se vrednosti sadržaja tricijuma u urinu za period 1973-1979 god., koje su izražene kao kolektivna, srednja individualna i maksimalna godišnja doza. U ispitivanoj grupi radnika, tricijum kao telesni kontaminant oslobadja u organizmu dozu čiji doprinos srednjoj individualnoj dozi se kreće u granicama od 1.9% do 3.2%, sa izuzetkom 1976 /17%/ i 1979 /172%/.

## U v o d

Tricijum se stvara u znatnim količinama u teškovodnim reaktorima. Prema postojećim podacima iz literature, za ovakav tip reaktora, brzina stvaranja tricijuma se procenjuje na oko 22,2 TBq /MW/ god /1/.

U poredjenju sa drugim radioizotopima, tricijum ima najmanju beta energiju / $E_{max}$ = 0.018 MeV/, a domet njegovih beta čestica je znatno manji od dimenzija ćelija, što u tkivima dovodi do veće gustine jonizacije no što je daju radioizotopi sa visokim beta energijama ili X ili gama zračenja. Po podacima različitih autora RBE za tricijum se nalazi u granicama 1.3 - 2.1 u poredjenju sa gama zračenjem Ra-226, Co-60 i Cs-137 /2,3,4/. Sa praktične tačke gledišta tricijum predstavlja radijacioni rizik jedino kao potencijalni unutrašnji kontaminant organizma, budući da lako prodire u organizam preko disajnih puteva, želudačno-crevnog kanala i kože.

U uslovima normalnog rada teškovodnog reaktora, kao što je reaktor RA u Vinči, postojeća hermetizacija reaktorskog suda i sistema teške vode i helijuma teoretski isključuje mogućnost dospevanja tricijuma u radnu sredinu. Medjutim, odredjeni stepen rizika od kontaminacije tricijumom nastaje pri dehermetizaciji spomenutih sistema ili reaktorskog suda, kao i pri svim manipulacijama na sistemu za tešku vodu.

Postavlja se pitanje: Koliki rizik predstavlja tricijum kao unutrašnji kontaminant za organizam osoba koje rade na

pogonu i održavanju reaktora? U želji da se dobije odgovor na postavljeno pitanje izvršena je analiza višegodišnje kontrole stepena unutrašnje kontaminacije tricijumom radnika reaktora RA.

## M a t e r i j a l  i  m e t o d  r a d a

Sadržaj tricijuma odredjivan je u urinu radnika angažovanih na ranije spomenutim operacijama i poslovima. Uzorci urina, u vidu jedne emisije, sakupljani su po završetku dnevnog rada. Imajući u vidu metaboličko ponašanje tricijuma u organizmu, ovakav postupak se smatra pogodnim i tačnim (5.6).

Metode za kvantitativno odredjivanje tricijuma u urinu i način obračuna oslobodjene doze u organizmu izloženi su ranije (7).

## R e z u l t a t i  i  d i s k u s i j a

Doze koje se apsorbuju u tkivima kao rezultat unutrašnje kontaminacije tricijumom prikazane su na tabeli 1.

TAB br. 1

Pregled primljenih doza u radnika reaktora RA zbog kontaminacije tricijumom

| Godina | Broj kontrol. radnika | Kolektivna doza /mSv/ | Srednja individualna doza /mSv/ | Maks. doza /mSv/ | Doprinos srednje individ.doze H-3 srednjoj individ. dozi od spoljašnjih izvora |
|---|---|---|---|---|---|
| 1973 | 48 | 4.99 | 0.1o4 | 0.79o | 1.9% |
| 1974 | 44 | 5.37 | 0.122 | 0.57o | 2.2% |
| 1975 | 39 | 4.o2 | 0.1o3 | 0.38o | 2.4% |
| 1976 | 47 | 47.73 /6.o9/* | 1.o15 /0.129/* | 15.47o /0.52o/* | 17 % /2.1%/ * |
| 1977 | 39 | 2.92 | 0.o75 | 0.642 | 2.9% |
| 1978 | 35 | 4.15 | 0.119 | 1.228 | 3.2% |
| 1979 | 3o | 82.38 /2.13/* | 2.746 /0.o74/* | 41.148 /0.965/* | 172 % /4.62%/ * |

Podaci prikazani na tabeli 1 jasno ukazuju da obim unutrašnje kontaminacije tricijumom, tokom redovnog održavanja reaktora, ne predstavlja značajan doprinos ukupnoj godišnjoj dozi. To najbolje pokazuju vrednosti poslednje kolone. Naime, u poslednjoj koloni prikazano je koji procenat čini oslobodjena doza tricijuma

u organizmu, u odnosu na srednju individualnu dozu koja se prima iz spoljašnjih izvora zračenja. Kao što se vidi doprinos tricijuma srednjoj individualnoj dozi kreće se u granicama od 1.9% do 3,2%, a za 1976 i 1979 godinu iznosi 17%, odnosno 172%. Prisustvo značajnih odstupanja za 1976 i 1979 godinu vezana su za odredjene interventne poslove koji ne spadaju u okvire normalnog održavanja reaktora. Naime, u 1976 godini značajnija unutrašnja kontaminacija registrovana je u radnika koji su učestvovali u trodnevnom remontu pumpe za tešku vodu, a u 1979 godini ista je uzrokovana operacijom vadjenja nuklearnog goriva iz reaktorskog suda.Ako se navedene manipulacije izuzmu iz obračuna godišnjih doza, nestaju navedena odstupanja. Naime, tricijum kao kontaminant organizma učestvuje samo sa nekoliko procenata u srednjoj individualnoj dozi ispitivanih radnika. Neophodno je spomenuti da je uočena veza izmedju obima unutrašnje kontaminacije radnika tricijumom i vrste poslova u toku normalnog održavanja reaktora. Naime, najobimnije kontaminacije registrovane su na poslovima prihvatanja tehnoloških kanala sa nuklearnim godivom, njihovog pripremanja za prepakivanje, ili odvlačenja istrošenog goriva u prostoriju za stokiranje. Približno dvostruko manji obim unutrašnje kontaminacije zapažen je na poslovima sa tehnološkim kanalima ispod vodene zaštite, poslovima operativne dozimetrije i poslovima organizacije izmene nuklearnog goriva. Svi ostali poslovi pokazuju 4 - 5 puta manji obim unutrašnje kontaminacije u poredjenju sa prvom grupom poslova. Uočene razlike u stepenu unutrašnje kontaminacije tricijumom u dobroj su saglasnosti sa očekivanim obimom.

## Z a k l j u č a k

Na osnovu podataka o kretanju ukupnog telesnog sadržaja tricijuma u periodu 1973 - 1979 godine u radnika angažovanih na održavanju i remontu reaktora RA, može se zaključiti:

1. Pri svim planiranim operacijama na dehermetizovanom reaktorskom sudu i sistemu za tešku vodu i helijum, dolazi do unutrašnje kontaminacije tricijumom profesionalno angažovanih osoba.
2. Tricijum oslobadja u tkivima srednju individualnu dozu koja se za posmatrani period nalazi u granicama 0.075 mSv do 0.122 mSv, a za 1976 i 1979 godinu 1.015, odnosno 2.746 mSv.
2. Doprinos tricijuma srednjoj individualnoj dozi kreće se u granicama od 1.9% do 3.2% za 1976 i 1979 godinu ovaj doprinos iznosi 17%, odnosno 172%.

Izneti zaključci odnose se isključivo na planirane i kontrolisane operacije na dehermetizovanom reaktorskom sudu i sistemu za teško vodu i helijum. U protivnom, moguća su mnogostruka povećanja unutrašnje kontaminacije tricijumom osoba angažovanih na spomenutim poslovima, što dokazuju i navedeni interventni poslovi u 1976 i 1979 godini.

A b s t r a c t

The internal H-3 contamination of the workers operating in charge of the reactor RA maintenance in Vinča, has been presented in this work. The values of tritium content in urine, in period from 1973-1979 year, expressed as collectiv, mean individual and maximal year dose, have been discussed. The absosbed dose, received from tritium, as a body contaminant, in the examined group of workers, made a contribution to the mean individual dose in the range from 1.9% to 3.2%, except for 1976 (17%) and 1979 (172%) year.

L i t e r a t u r a

1. United Nations, Sources and Effects of Ionising Radiation; U.N. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly (1977) 180.
2. Furchner J.E., Radiat. Res., 6, (1957) 483.
3. Storer J.B., Radiat. Res., 6 (1957) 188.
4. Moskalev Ju.I., Okis Tritija, Atomizdat, Moskva (1968) 366.
5. Butler F.E., Assessment of Radioactivity in Man, Vol II, IAEA, Vienna (1964) 431.
6. Vennart J., Health Phys., 16 (1969) 429
7. Trajković M., Ubović Ž., VIII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi (1975) 219.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24. april 1981.

Z. Milošević, E. Horšić, R. Kljajić
Zavod za radiologiju Veterinarskog fakulteta Sarajevo

# ISIPTIVANJE PRIMJENE FERI-FEROCIJANIDA KAO HEMIOPROTEKTORA KOD KOZA INTERNO KONTAMINIRANIH SA Cs-134

## REZIME

*Ispitivan je uticaj feri-ferocijanida na ekskreciju i ukupnu retenciju radiokontaminanta Cs-134 kod interno kontaminiranih koza.*

*Postignuti rezultati ukazuju na visok zaštitni efekt ovog hemioprotektora.*

## U V O D

Primjena nuklearne energije procesom fisije za mirnodopske ili ratne svrhe ima kao nužnu posljedicu stvaranje fisionih produkata, koji se rasprostiru u životnoj sredini i dovode u opasnost ljude i životinje ako se akumuliraju u organizam u većoj količini. Do sada su provedena opsežna istraživanja koja su se odnosila na pronalaženje efikasnog sredstva kojim bi se uspješno vršilo sprječavanje resorpcije radionuklida unijetih u organizam putem probavnog trakta te njihova što veća i brža eliminacija. Od dugoživećih produkata fisije izdvojen je za istraživanje 137 Cs zbog visoke radiotoksičnosti i brze resorpcije kod ljudi i životinja.

## Materijal i metode rada

Za eksperimentalna istraživanja izabrani su muške životinje (jarci) domaće pasmine a za kontaminant 134 Cs koji je apliciran peroralno u dozi od 3,7 MBq. Kao hemioprotektor primjenjen je feri-ferocianid u vodenoj suspenziji dat želučanom sondom 30 minuta nakon kontaminacije. U toku eksperimenta (za vrijeme od 7 dana) praćena je ekskrecija urionom i fecesom te retencija u organima kod neštićenih i štićenih životinja.

## Rezultati i diskusija

Rezultati istraživanja prikazani su na dva grafikona i tabeli.

Eliminacija 134 Cs urinom je nakon $24^h$ 13,3% od date doze, drugog dana 2o,9% te 7. dana 3,35%. Kod životinja štićenih sa FFC resorpcija je veoma smanjena te se 1. dan izluči svega o,37% date doze, a 7. dana o,o6% x $l^{-1}$ (Graf. 1).

Kod eksrecije fecesom je slična situacija. Prvog dana se izbaci iz organizma 8,4% unijetog kontaminanta, 2. dan 13,6 i do kraja eksperimentalnog perioda 7,5-1,9% od date doze. U istom periodu štićene životinje eliminiraju fecesom već prvog dana 48% unijete količine kontaminanta, drugog dana 32% a zatim se do kraja 7. dana eliminira oko 92% date doze (Graf.2).

Tabelarni prikaz retencije 134 Cs u organima i tkivima pokazuje najmanju koncentraciju u koži (o,66% date doze) a najvišu u jeziku (2,344%) i muskulaturi (2,326%). Djelovanje hemioprotektora je ovdje jasno vidljivo. Procenat smanjenja retencije iznosi prosječno za sve organe 97-98% (tabela 1).

Tabela 1.- Distribucija 134 Cs u organima jaraca
(% od date doze x $kg^{-1}$ svježeg tkiva)

| VRSTA UZORKA | Eksperimentalne životinje | |
|---|---|---|
| | Neštićene | Štićene |
| Jetra | 1,o88 | o,o3o |
| Bubreg | 2,292 | o,o48 |
| Slezena | 1,313 | o,o31 |
| Želudac | 1,367 | o,o24 |
| Tanko crijevo | 1,2o7 | o,o35 |
| Pluća | 1,553 | o,o32 |
| Srce | 1,529 | o,o33 |
| Koža | o,666 | o,o15 |
| Muskulatura | 2,326 | o,o52 |
| Jezik | 2,344 | o,o54 |
| Dijafragma | 2,119 | o,o42 |

Iz iznijetih rezultata je vidljivo da je primjena feriferocijenida kao hemioprotektora za 134-Cs kod eksperimentalnih koza veoma efikasna ako se aplicira peroralno 30 min. nakon kontaminacije i ima zaštitni efekt u smanjenju retencije radiokontaminanta i do 98%.

*SUMMARY*

*Effect of ferri-ferricyanide on excretion and total retention of radiocontaminant Cs-134 was examined in internally contaminated goats.*

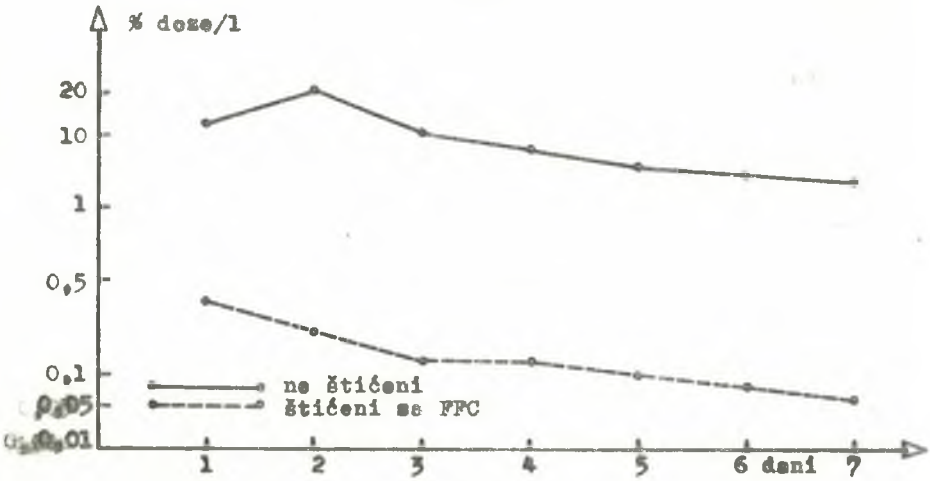
*The obtained results indicate to the high protective effect of this hemioprotector.*

L I T E R A T U R A

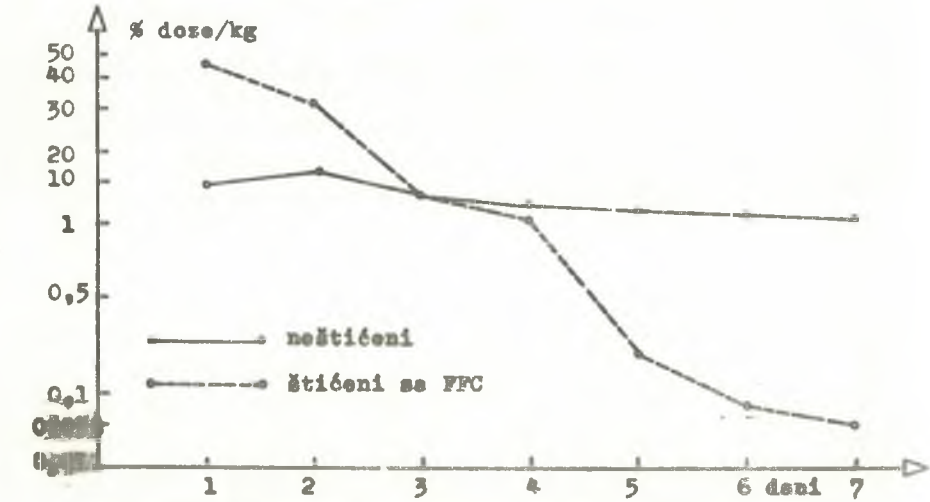
1. Havliček F., Kleisner I., Dvorak P.: Rad. biol. ther., 9, 481, 1968.

2. Lloyd R.D., Rundo J.: Health Phys. 31, 527, 1976.

3. Moskaleva O., Kalistratova V.: Radiobiologija, 16, 417, 1976.




GRAFIKON 1. Kretanje aktivnosti u urinu jarca nakon jednokratne peroralne aplikacije 3,7 MBq Cs - 134.




GRAFIKON 2. Ekskrecija fecesom nakon jednokratne peroralne aplikacije 3,7 MBq Cs-134.

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
PORTOROŽ, 21.-24.4.1981.

Ljiljana Novak, Dušan Panov

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

# ZNAČAJ ODREDJIVANJA MALIH KONCENTRACIJA PLUTONIJUMA 239 U URINU

U radu je dat kratak prikaz metabolizma i radiotoksičnosti plutonijuma 239. Opisana je radiohemijska metoda i prvi rezultati kvantitativnog odredjivanja plutonijuma u urinu.

## Uvod.

Brzi razvoj i široka primena nuklearne energije izazivaju poslednjih godina veliko interesovanje za dugoživeće transuranske elemente, posebno plutonijum. Probe nuklearnog oružja, ispuštanje radioaktivnih otpadaka, lokalni akcidenti u nuklearnim postrojenjima, raspad satelita koji koriste plutonijum kao izvor energije, doveli su do toga da je ovaj radionuklid već prisutan u okolini.

Proizveden prvi put 1940. godine (1), plutonijum je našao svoju praktičnu primenu već 1945. godine u prvoj nuklearnoj bombi. Danas se široko koristi u mirnodopske svrhe. Od petnaest izotopa plutonijuma sa atomskim težinama od 232 do 246 najveći značaj kao fisioni materijal u nuklearnom naoružanju kao i u nuklearnoj industriji ima plutonijum-239. Proizvodi se bombardovanjem urana-238 neutronima. Plutonijum-239 je alfa emiter čija alfa čestica ima energiju 5,15 MeV i vreme poluraspada 24000 godina.

Rad sa plutonijumom je uglavnom strogo kontrolisan. Pored primene ličnih zaštitnih sredstava vrši se redovno merenje koncentracija ovog elementa u vazduhu, kontrola površinske kontaminacije i periodično sakupljanje 24-časovnog urina i kvantitativno odredjivanje plutonijuma u tim uzorcima.

## Radiotoksičnost i metabolizam plutonijuma.

Plutonijum spada medju najtoksičnije elemente u periodnom sistemu (2). Ispitivanja su pokazala da je radiotoksičnost

plutonijuma-239 veća od radiotoksičnosti radijuma-226 za faktor N=5 (3). S obzirom na visoku radiotoksičnost i dugo vreme poluraspada plutonijum predstavlja ozbiljnu radijacionu opasnost u slučaju da dodje do interne kontaminacije.

U vodenim rastvorima plutonijum se nalazi u četiri valentna stanja koja su u ravnoteži. Pod fiziološkim uslovima katjoni plutonijuma imaju osobinu da hidrolizuju, grade ploimere i stupaju u interakciju sa kompleksirajućim anjonima (4).

Plutonijum se transportuje od mesta ulaska (pluća ili rana) do krvotoka kao difuzibilni kompleks sa komponentama male molekulske težine koje se nalaze u tkivima i telesnim tečnostima. U krvi više od90% plutonijuma vezuje se za protein plazme transferin koji sadrži gvožđje. Jetra igra važnu ulogu u brzom uklanjanju velikih koloidnih čestica plutonijuma iz krvi. Uklanjanje monomernog plutonijuma iz krvi uz učešće bubrega je spor proces. Izračunato je da se u toku 24 časa iz plazme zdravog čoveka preko bubrega izluči 3-4% plutonijuma. U skeletu plutonijum se zadržava vrlo dugo (poluvreme retencije 100-200 godina). U toku normalnog procesa remodeliranja kosti može da dodje do mobilizacije plutonijuma, ali se glavna frakcija ponovo deponuje u kostima ili dolazi do translokacije u jetru. Plutonijum deponovan u jetri takodje se postepeno transformiše u imobilnu formu. Kako vreme prolazi kosti i jetra povlače sve veće količine plutonijuma iz ravnoteže sa ekstracelularnim tečnostima i trajno ga deponuju (5).

Bez terapije telesno opterećenje se ne smanjuje znatno normalnim procesima eliminacije. Značajna frakcija sistemskog plutonijuma mogla bi da se izluči iz organizma primenom metabolički stabilnog helata DTPA pre nego što dodje do imobilisanja u kostima i jetri. Nažalost DTPA terapija je efikasna samo ako se primeni odmah po unošenju plutonijuma u organizam, jer 50% ovog radioelementa odlazi u depoe u kostima i jetri već u toku prvih 20 minuta (3).

Metod rada.

Za analize plutonijuma u urinu ne postoji neka standardna metoda. Metoda, za koju smo se mi odlučili (6), koristi se sa izvesnim varijacijama detalja u mnogim laboratorijama u svetu.

Princip metode je sledeći: plutonijum se koprecipituje sa kalcijum i magnezijum fosfatom u 24-časovnom urinu pomoću amonijaka. Precipitat se prevodi u rastvor i kratkotrajno tretira redukujućim sredstvom da bi sav plutonijum prešao u četvorovalentno stanje. Zatim se rastvor propušta kroz kolonu sa anjonskim izmenjivačem koji ima osobinu da vezuje anjonske nitratoplutonijum grupe ali ne i grupe koje sadrže kalcijum, gvožđje, fosfate, americijum i kirijum. Plutonijum se eluira sa smole 0,1M hidroksilamin hidrohloridom u 2M hlorovodoničnoj kiselini, izdvaja elektrolizom na pločici od nerdjajućeg čelika i meri.

## Rezultati i diskusija

U toku eksperimentalnog rada navedenom metodom uradjeno je 50 analiza plutonijuma u urinu neeksponovanih lica. Prema podacima iz literature (7) tzv. "reference level", tj. koncentracija ispod koje ne treba preduzimati nikakve posebne mere, je 0.44 dpm za 24-časovnu ekskreciju. Od 50 uzoraka koje smo mi analizirali u 48 uzoraka vrednosti su bile ispod 0,44 dpm što se i moglo očekivati s obzirom da su to bili urini neeksponovanih lica. Samo u dva uzorka vrednosti su bile 1.30 odnosno 1.25 dpm. U slučaju kada dobijene vrednosti prelaze granicu 0.44 dpm prvo treba proveriti da li alfa aktivnost potiče od plutonijuma ili od alfa nečistoća zaostalih u toku hemijske separacije.

Pri kvantitativnom odredjivanju plutonijuma u urinu i tumačenju rezultata treba uzeti u obzir: a) biološke varijacije u izlučivanju plutonijuma, b) obezbediti reprezentativni 24-časovni uzorak urina, c) izbeći kontaminaciju uzorka, d) raditi osetljivu kvantitativnu analizu za male koncentracije metabolizovanog plutonijuma.

Mala frakcija od ukupnog sadržaja plutonijuma u organizmu svakodnevno se izlučuje preko urina. Izlučivanje i veoma niskih koncentracija ima značaja, jer može da bude u vezi sa znatnim telesnim opterećenjem imajući u vidu dobro poznatu činjenicu da plutonijum, kada jednom dospe u organizam, brzo stvara trajne depoe.

SUMMARY

SIGNIFICANCE OF THE DETERMINATION OF SMALL URINARY CONCENTRATIONS OF PLUTONIUM-239

Lj. Novak, D. Panov

Institute of Occupational and Radiological Health
"Dr Dragomir Karajović" Belgrade, Deligradska 29

This paper presents a short review of the metabolism and radiotoxicity of plutonium 239.

A radiochemical method and the first results of the quantitative determination of urinary plutonium-239 heve been described.

Bibliografija

1. D. Nolibe: Etude de la retention de l oxyde de plutonium inhale Rapport CEA-R 4830 (1977)

2. B.L. Cohen: Hazards from Plutonium Toxicity Health Physics, Vol. 32,pp.359 379 (1977)

3. G.W. Dolphin et al.: Radiological Problems in the Protection of Persons Exposed to Plutonium National Radiological Protection Beard Report, R 29(1974)

4. A. Lindenbaum et al.: The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides ICRP Publication 19 (1972)

5. R.M. Hall: A Mathematical Model for Estimation of Plutonium in the Human Body from Urine Data Influenced by DTPA Therapy Health Physics, Vol. 34,pp.419 431(1978)

6. Determination of Plutonium in Urine Methods of Radiochemical Analysis, WHO, Geneva (1966)

7. S.A. Beach et al.: A Basis for Routine Urine Sampling of Workers Exposed to Plutonium-239 Health Physics, Vol. 12, pp. 1671 1682 (1966).

# ISPITIVANJE INTERNE KONTAMINACIJE OSOBA KOJE NISU PROFESIONALNO IZLOŽENE PRIRODNOM RADIOAKTIVNOM ZRAČENJU

Alica Bauman, Nevenka Lokobauer, Jadranka Kovač
Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada, Zagreb

## UVOD

Pb-210 i Po-210 potomci radioaktivnog raspada uranovog niza smatraju se uzročnicima raka pluća kod pušača. Prema podacima UNSCEAR-a[1] jedna cigareta sadrži 22,2 mBq Pb-210 i 14,9 mBq Po-210. Oba radionuklida su volatilna i kod pušenja cigareta, inhalacijom, doći će do značajnog unošenja obaju radionuklida u ljudski organizam. Osoba koja popuši 20 cigareta dnevno[2] unijeti će 10 % Pb-210 i 20 % Po-210 od ukupno inhalirane količine u pluća. Prema istom izvoru vrijednosti dnevnog unošenja iznositi će za Pb-210 44,4 mBq, a za Po-210 59,2 mBq.

## EKSPERIMENTALNI DIO

Svrha ovih istraživanja bila je pronaći koje su koncentracije Pb-210 i Po-210 u ljudskom organizmu pušača i nepušača u našim uslovima. Obradjena je grupa ispitanika koja do sada nije bila izložena ionizacijskom zračenju, niti u terapeutske svrhe. Predpostavilo se da sva radioaktivnost u organizmu ispitanika potječe od uvijek prisutne radioaktivnosti u okolišu, osim dijela unesenog pušenjem. U prvoj fazi ispitivanja ispitana je ekskrecija Pb-210 i Po-210 urinom. Rezultati su dani u tablici 1.

TABLICA 1. Koncentracija Pb-210 i Po-210 u urinu pušača i nepušača

| | PUŠAČI | | NEPUŠAČI | |
|---|---|---|---|---|
| broj cigareta | Pb-210 (mBq/l) | Po-210 (mBq/l) | Pb-210 (mBq/l) | Po-210 (mBq/l) |
| 10 | 0,999 | 107,71 | 0,894 | 9,97 |
| 20 | 0 | 6,60 | 0,792 | 34,00 |
| 20-30 | 0 | 71,34 | 0,616 | 51,36 |
| 30 | 0 | 90,65 | 0 | 38,49 |

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Iz tablice se razabire pojava selektivne ekskrecije. Tako je ustanovljena veća ekskrecija Pb-210 urinom kod nepušača nego li kod pušača, dok je kod Po-210 obratno. Do istih podataka došli su Eisenbud[3] i Harley. Ispitivanja se nastavljaju.

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF INTERNAL CONTAMINATION WITH NATURAL RADIOACTIVITY IN PROFESSIONALLY UNEXPOSED PERSONS

A group of professionally unexposed and healthy people was investigated, smokers and nonsmokers and the level of Pb-210 and Po-210 in urine was determined.

LITERATURA

1. Ed. Moghissi A.A. i dr.: Radioactivity in Consumer Products, NUREG/CP-0001 (1978).

2. UNSCEAR, United Nations 1977 "Sources and Effects of Ionizing Radiation in Report of the U.N. Scientific Commitee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly with Annexes. Sales No E '77 IX 1 N.Y./U.N.

3. Eisenbud M. (1981) lično saopćenje.

Radmila Brnović

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

# STRONCIJUM 90 U LJUDSKOJ ISHRANI

U radu je prikazan nivo radioaktivne kontaminacije životnih namirnica stroncijumom 90 na teritoriji Srbije za period 1963-1980.godina. Utvrdjeno je da je naša struktura ishrane takva da se oko 60% kalcijuma iz biljne hrane (žitarice i povrće) i oko 37% kalcijuma iz mleka i mlečnih proizvoda unosi u ljudski organizam za prosečnu populaciju.

Ovakva situacija uslovljava intenzivniju internu kontaminaciju stroncijumom 90. Takodje je prikazan trend dnevnog unošenja 90 Sr putem hrane u organizam prosečnog stanovnika SR Srbije za isti period.

## Uvod

U cilju što potpunijeg poznavanja interne kontaminacije čoveka stroncijumom 90 neophodno je upoznati strukturu ishrane pojedinih grupa populacije. Sastav ishrane a naročito količina unetog kalcijuma umnogome uslovljavaju stepen kontaminacije organizma stroncijumom 90.

Russell (1) navodi sledeća tri tipa ishrane zavisno od izvora kalcijuma u njoj:

I tip: Ishrana u kojoj su glavni izvor kalcijuma mleko i mlečni proizvodi, Ovo je takozvani "zapadni" način ishrane.

II tip: Ishrana u kojoj se oko 40% kalcijuma unosi preko mleka i mlečnih proizvoda a ostali deo kalcijuma potiče uglavnom iz žitarica i povrća.

III tip: Ishrana u kojoj je mleko slabo zastupljeno i osnovni izvor kalcijuma potiče iz biljne hrane.

Podaci koje daju Rivera (2) za New York, Gahinet (3) za nekoliko regiona u Francuskoj i Russell (1) za Englesku, o dnevnom unošenju kalcijuma u organizam prosečnog stanovnika odgovaraju prvom tipu ishrane gde se preko mleka i mlečnih proizvoda unosi 75-8o% kalcijuma.
Dnevna količina unetog kalcijuma za navedene grupe populacije iznosi oko 1 gram po stanovniku.

Na osnovu podataka o strukturi ishrane prosečnog stanovnika Jugoslavije (4) i na osnovu naših rezultata o količini kalcijuma u životnim namirnicama na teritoriji Srbije (5), bilo je moguće proceniti da naše stanovništvo (Srbija a u širem smislu i SFRJ) pripada II tipu ishrane gde žitarice predstavljaju glavne kontaminante, zatim povrće a na trećem mestu je mleko.

## Rezultati i diskusija

Kontaminacija ljudskog organizma stroncijumom 90 obavlja se najvećim delom putem hrane. Zbog toga je značajno poznavati i pratiti koncentraciju $^{90}$Sr u životnim namirnicama tokom izvesnog vremenskog perioda. Rezultati kontinuirane kontrole namirnica i hrane na teritoriji Srbije (regioni Beograda, Novog Sada, Niša, Kragujevca i Prištine), kao i dnevna interna kontaminacija stanovnika Srbije stroncijumom 90 prikazani su u tabelama 1 i 2.

Rezultati naših ispitivanja pokazuju da se zavisno od stratosferske zalihe stroncijuma 90 opaža njegov sadržaj u prehrambenim proizvodima. Tako se najveće vrednosti ovog izotopa evidentiraju u uzorcima hrane u periodu 1963-1965 dok je maksimalno dnevno unošenje 9o Sr u organizam prosečnog stanovnika Srbije bilo u 1964. god. i iznosilo je 751 mBq $^{90}$Sr/dan.

Naša struktura ishrane na izvestan način uslovljava veću kontaminaciju organizma stroncijumom 90 zbog većeg udela životnih namirnica biljnog porekla i manje količine unetog kalcijuma u odnosu na "zapadni" tip ishrane, u kome su mleko i mlečni proizvodi osnovna hrana i glavni izvor kalcijuma. Dok biljke predstavljaju direktno kontaminirane namirnice stroncijumom 90 iz globalnih padavina, mleko je, moglo bi se reći,

Tabela 1

SADRŽAJ Sr-90 U UZORCIMA HRANE U SR SRBIJI mBqSr-9o/kg

| Godina | Pšenica | Krompir | Kupus | Pasulj |
|---|---|---|---|---|
| 1963 | 1321 | 329 | 374 | - |
| 1964 | 2719 | 1114 | 622 | 2109 |
| 1965 | 1125 | 189 | 551 | 581 |
| 1966 | 1218 | 129 | 2o7 | 8o3 |
| 1967 | 1149 | 133 | 799 | 1188 |
| 1968 | 118 | 85 | 263 | 126 |
| 1969 | 592 | 2o7 | 474 | 1180 |
| 1970 | 725 | 24o | 314 | 1291 |
| 1971 | 729 | 251 | 481 | 2361 |
| 1972 | 6o3 | 189 | 359 | 2020 |
| 1973 | 344 | 263 | - | - |
| 1974 | 12o6 | 281 | 651 | 2,088 |
| 1975 | 474 | 89 | 314 | 788 |
| 1976 | 511 | 78 | 299 | 292 |
| 1977 | 474 | 148 | 396 | 1062 |
| 1978 | 795 | 85 | 144 | 640 |
| 1979 | 411 | 85 | 141 | 588 |
| 198o | 411 | 89 | 187 | 535 |

Tabela 2

PROSEČNO DNEVNO UNOŠENJE Sr-90 U ORGANIZAM STANOVNIKA SRBIJE

| GODINA | mBqSr-90/dan | mBqSr-90/mkg Ca | mkgCa/dan |
|---|---|---|---|
| 1964 | 751 | 1251 | 0,600 |
| 1965 | 548 | 1054 | 0,520 |
| 1966 | 381 | 733 | 0,520 |
| 1967 | 344 | 603 | 0,568 |
| 1968 | 337 | 573 | 0,587 |
| 1969 | 448 | 677 | 0,661 |
| 1970 | 647 | 844 | 0,766 |
| 1971-1980 | 226 - 340 | 710-499 | 0,600-0,700 |

filtriranoć preko životinjskog organizma tako da je aktivnost $^{90}$Sr smanjena u mleku u odnosu na biljke za oko 10 puta.

Zaključak:

Rezultati naših višegodišnjih ispitivanja $^{90}$Sr u ljudskoj ishrani pokazuju sledeće:

1. Struktura ishrane u SR Srbiji što bi se odnosilo i na veći deo Jugoslavije, uslovljava da od ukupnog dnevnog unetog kalcijuma u organizam prosečnog stanovnika oko 60% potiče iz biljne hrane (žitarice i povrće) i oko 37% iz mleka i mlečnih proizvoda.

2. Dnevna količina unetog kalcijuma za naše stanovništvo je 0,600-0,700 mkg.

3. Nedovoljno unošenje mleka i mlečnih proizvoda kao i manja količina kalcijuma u ishrani našeg stanovništva u odnosu na populaciju Zapadne Evrope i SAD, mogu da uslove intenzivniju kontaminaciju ljudskog organizma stroncijumom 90.

4. Žitarice i povrće su "kritična hrana" u pogledu $^{90}$Sr za naše stanovništvo pa bi se to moralo uzeti u obzir pri eventualnoj visokoj kontaminaciji čovekove sredine na našoj nacionalnoj teritoriji.

SUMMARY

$^{90}$Sr IN HUMAN DIET

Radmila Brnović

Institute of Occupational and Radiological Health, "Dr Dragomir Karajović" Belgrade, Deligradska 29

The paper presents the level of radioactive contamination of foodstuff with 90 Sr on the territory of Serbia during the period 1963-1980. It was found that our dietary habit is of such composition that human organism of average population intakes about 60% of calcium with vegetable foodstuff (corn and vegetables) and 37% of calcium with milk and milk products.

These conditions contribute to a more intensive internal contamination with Sr 90. Also, there is shown the trend of daily dietary intake of 90 Sr by man of the average population of Serbia for the same period.

Literatura:

1. Russell, R.S.: Radioactivity and human diet, Pergamon Press, 1966
2. Rivera, Y.: HASL-207, USAEC, New York (1969)
3. Gahinet M.E. et al.: IAEA, Viena, 1969, STI/PUB/226
4. Statistički godišnjak Jugoslavije - 1970.
5. Brnović, R.: Magistarska teza, 1973

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
PORTOROŽ, 21.-24.4. 1981.

Radmila Brnović

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

# SADRŽAJ I DISTRIBUCIJA $^{90}Sr$ U ŽIVOTINJSKIM KOSTIMA U USLOVIMA GLOBALNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE

Prikazan je trend sadržaja $^{90}Sr$ i distribucija ovog izotopa zavisno od vrste i starosti kostiju govečeta na širem geografskom području u najaktuelnijem periodu hronične kontaminacije (1964-1968.g.) u prehrambenom ciklusu od globalnih radioaktivnih padavina.

## Uvod

Slično kalcijumu i stroncijum 90 se uglavnom dobro resorbuje iz gastrointestinalnog trakta kod životinja, ali resorpcija može da varira u širokim granicama (5-100%), što zavisi od mnogih fizioloških i fizičko-hemijskih faktora. Ipak uzrast životinja predstavlja najvažniji činilac od koga zavisi resorpcija $^{90}Sr$ u organizmu. Velika potreba za zemnoalkalnim metalima kod mladih organizama posledica je intenzivnog metabolizma kostiju. Deponovanje $^{90}Sr$ u kravljim kostima u zavisnosti od uzrasta je funkcija sledećeg oblika (1):

$$f = 0{,}68\, e^{-0{,}019t} + 0{,}152\, e^{-0{,}00113t}$$

t = uzrast životinje (meseci) $t \geq 30$ dana

U različitim vrstama kostiju $^{90}Sr$ se rasporedjuje neravnomerno. Stepen neravnomernosti depozicije stroncijuma u skeletu zavisi od ritma unošenja ovog izotopa. U uslovima dugotrajnog unošenja stroncijum 90 se u skeletu distribuira manje neravnomerno nego pri jednokratnom unošenju. Sa fizičkohemijskog stanovišta kost se može posmatrati kao jonoizmenjivački sistem u kome se fiksacija i jonska izmena zemnoalkalnih metala vrše

tokom čitavog života organizma. U različitim fazama uzrasta kosti imaju različit kapacitet jonske izmene. Buldakov i Moskalev (1) navode da je kod mladih životinja depozicija $^{90}Sr$ najintenzivnija u dugim kostima dok je kod starijih minimalna. Naime, pošto se duge kosti najbrže kalcifikuju i kasnije velikim delom prelaze u jonski neizmenjivu formu, zapaženo je da se pri kontaminaciji starijih životinja stroncijumom 90 najveći depo ovog izotopa nalazi u kostima kičme a najmanji u dugim kostima.

## Rezultati i diskusija

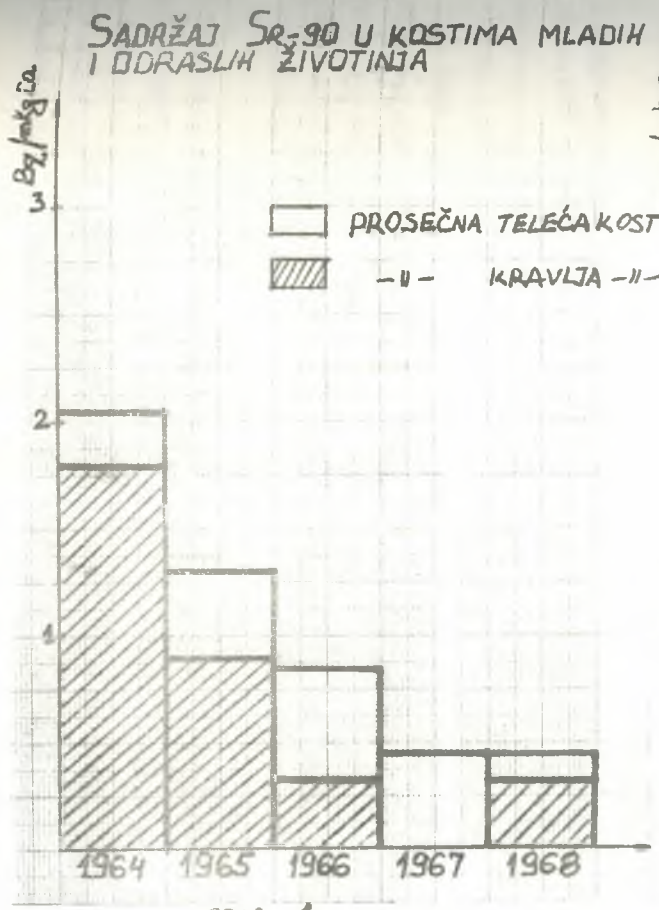
Rezultati naših višegodišnjih ispitivanja distribucije $^{90}Sr$ u kravljim odnosno telećim kostima na širem geografskom području (regioni Beograda, Niša i Ćuprije) u uslovima "in field" i hronične kontaminacije životinjskog organizma putem globalnih radioaktivnih padavina prikazani su na grafikonima 1. i 2.

Pratili smo sadržaj $^{90}Sr$ u životinjskim kostima u periodu 1964--1968. g. kada je dugoživeći fall-out poticao uglavnom od nuklearnih testova 1961-62. god. Zbog toga je jasno izražena eksponencijalna zavisnost aktivnosti $^{90}Sr$ u kostima u funkciji vremena. Ovo se naročito uočava kod kostiju kičme. Aarkrug (3) konstatuje za ovaj period takodje eksponencijalni raspad fallout-a sa vremenom raspada 0,91-0,97 god.

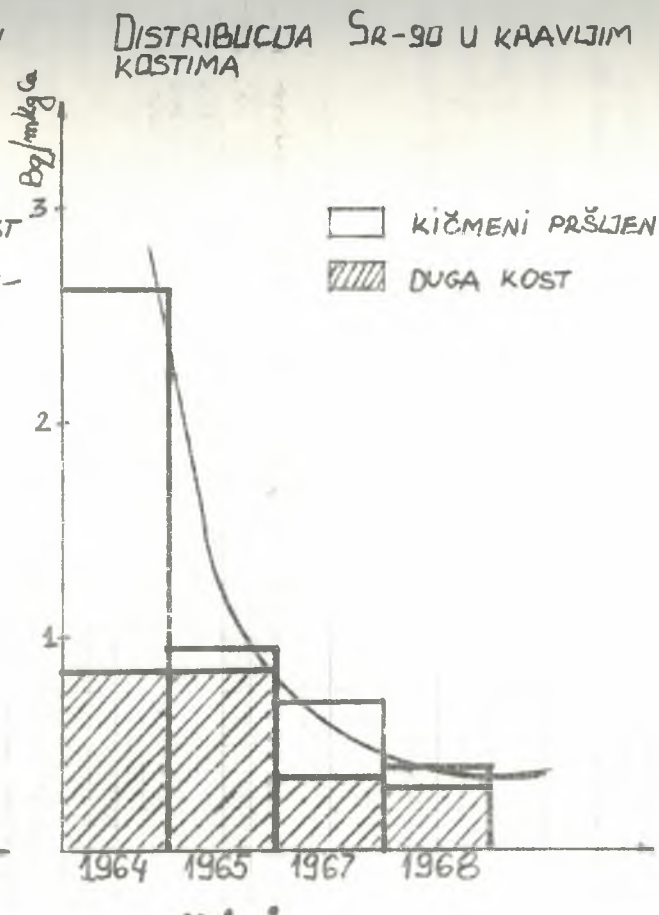
Rezultati evidentno pokazuju intenzivniju depoziciju $^{90}Sr$ u mladim kostima u odnosu na starije, kao i neravnomernu raspodelu ovog izotopa u različitim vrstama kostiju kod istog skeletnog sistema. Naime, kosti kravljih kičmenih pršljenova su više kontaminirani stroncijumom 90 u odnosu na duge kosti.

## Zaključak:

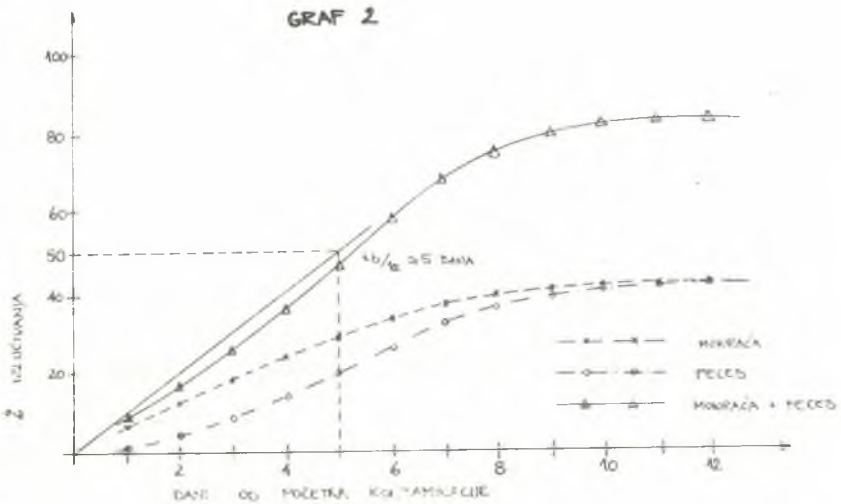
Iz rezultata ispitivanja možemo zaključiti da su mlade kosti, kako pojedinačno tako i u proseku više kontaminirane stroncijumom 90 od starijih i da distribucija $^{90}Sr$ u životinjskom skeletu postoji. Ovi zaključci, koji se odnose na hroničnu


SADRŽAJ Sr-90 U KOSTIMA MLADIH I ODRASLIH ŽIVOTINJA
Bq/mkg Ca
3
2
1
PROSEČNA TELEĆA KOST
-II- KRAVLJA -II-
1964
1965
1966
1967
1968

graf. 1


DISTRIBUCIJA Sr-90 U KRAVLJIM KOSTIMA
Bq/mkg Ca
3
2
1
KIČMENI PRŠLJEN
DUGA KOST
1964
1965
1967
1968

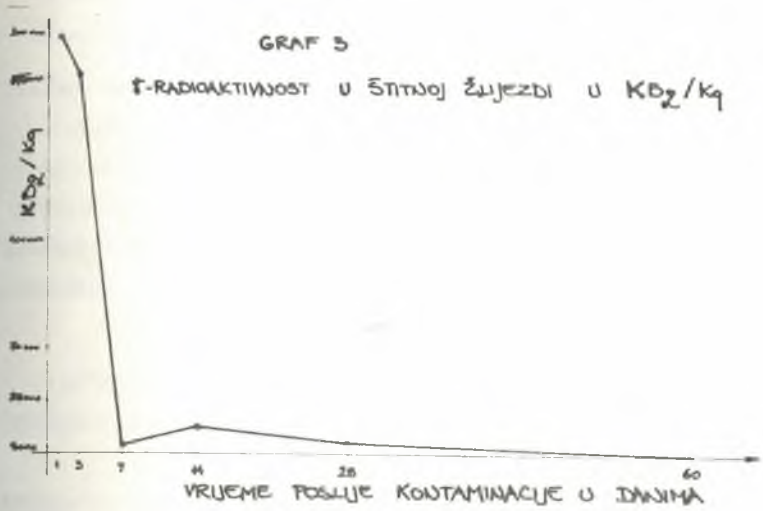
graf. 2



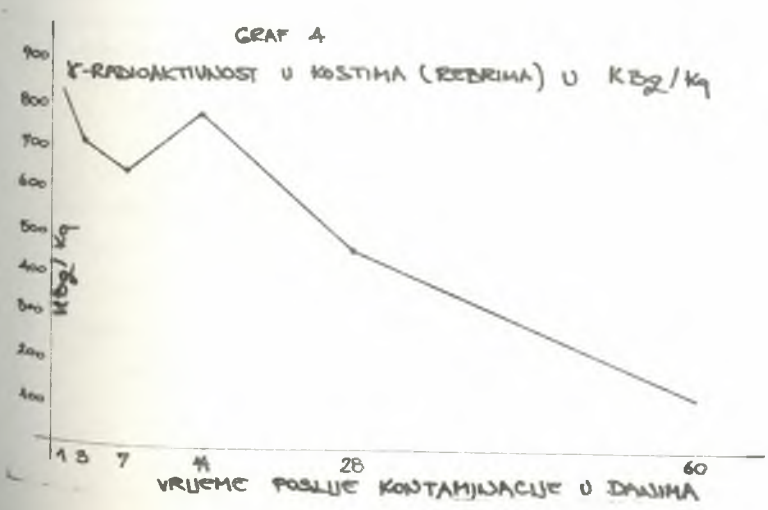

Graf 2. Brzina izlučivanja fisione smješe (kumulativna vrijednost)

Ovo skraćivanje efektivnog poluizlučivanja nastaje, verovatno, zbog pojačanog izlučivanja joda i cezijuma iz organizma sisara (4).

Rezultati mjerenja gama-radioaktivnosti u organima i tkivima bili su različiti kako se to vidi iz slijedećih nekoliko grafikona. Iz grafikona 3 se vidi da od svih organa najveću radioaktivnost pokazuje štitna žlijezda i to 24 časa poslije završene 7-dnevne kontaminacije. Radioaktivnost u štitnoj žlijezdi naglo se smanjuje od prvog do sedmog dana poslije kontaminacije da bi kasnije radioaktivnost u njoj znatno sporije opadala. Iz istog grafikona se vidi da od 7. do 14. dana imamo čak blagi porast radioaktivnosti u štitnoj žljezdi, što nastaje, vjerovatno kao posljedica, preraspodjele joda iz drugih organa i tkiva u štitnu žlijezdu. Poslije tog perioda sve do kraja ogleda (60. dana) imamo postepeno opadanje radioaktivnosti u ovom organu.




Poslije štitne žlijezde najveću radioaktivnost pokazuje koštano tkivo (graf. 4) Radioaktivnosti u koštanom tkivu odredjivali smo pomoću reprezentativnog uzorka za koji nam je poslužilo 5. i 6. rebro. Prema mnogim autorima rebra pokazuje prosječnu radioaktivnost skeleta. Mada je specifična radioaktivnost u kostima znatno niža nego u štitnoj žlijezdi, ukupna radioaktivnost u skeletu je daleko veća.



Tako se % date radioaktivnosti u kostima smanjivao u funkciji vremena i iznosio je: 1. dana 29,88%; 3. dana 25,05%; 7. dana 20,31%, da bi 60. dana iznosio svega 4,41%. U istim vremenskim intervalima % deponovane radioaktivnosti u štitnoj žlijezdi je iznosio: 6,72%, 5,96%, 1,43% i 0,01%. Iz ovih podataka se vidi da je opadanje radioaktivnosti u koštanom tkivu znatno sporije nego u štitnoj žlijezdi.

Zbog organičenog prostora nijesmo u mogućnosti da prikažemo detaljnije radioaktivnost u drugim organima i tkivima, samo možemo da napomenemo da je najniža radioaktivnost bila u masnom tkivu, dok je radioaktivnost u mišićima i parenhimatoznim organima i koži bila približno jednaka, sa vrlo sličnom tendencijom smanjivanja radioaktivnosti u funkciji vremena. Medjutim meso i organi kontaminiranih životinja nijesu upotrebljivi u miru za ishranu ljudi, pošto nivo radioaktivnosti prelazi dozvoljene granice.

Zaključak. Na osnovu dobijenih rezultata možemo izvesti sledeće zaključke:

1. Fizičko vrijem poluraspada radioaktivne smješe iznosilo je 27 dana, dok efektivno vrijeme eliminacije je bilo 5 dana.
2. Deponovanje radioaktivnosti bilo je nejednako: najviše se deponovalo u kostima oko 30%, štitnoj žlijezdi 6,72%, dok je u drugim organima i mišićima bila homogena raspodjela.
3. Meso kontaminiranih svinja pod ovim uslovima nije upotrebljivo za ljudsku ishranu u trajanju od 60 dana.

Abstract. In this written work we display the results of experiments performed on pigs that were contaminated per os in period of 7 days uninterruptedly. The pigs were contaminated by artificial mixture of fision products (J-131, Cs-137 i Sr-85). Physical semi-time and the time of semi-elimination were definited. Besides, the resorbtion speed, the ways of radio nuclead destributions into the organs and tissues and radio isotope elimination were researching as well. We examined the possible use of the meat for the human food from the point of radioation hygiene correctness according to valid rules in peace time.

Literatura: 1. Bordet, R.Rec. Med.Vét., Tome CXLIII, 1976, pp.5-16. 2.- Karavaev, V.M., Koljakov, V.I.Korževenko, G.N.Veterinarno sanitarnaja ekspertiza produktov životnovodstva pri radijacionih poraženijah. "Kolos", Moskva, 1967. 3.- Mount, E.L.,and Ingram D.L., The pigas a laboratory Animal. Academic Press, London, New York, 1968. 4.- Simon, S., Atlas Médical des radionuclides utiliss en médicine, biologie industrije et agriculture. Euroatom, Bruxelles, 1971.

9. s e k c i j a

RADIACIJSKA MEDICINA

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24. 4. 1981.

Horvat Dj., Račić J. i Rozgaj R.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

# STRUKTURNA OŠTEĆENJA KROMOSOMA U OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH RENTGENSKOM ZRAČENJU

Strukturne aberacije kromosoma u standardiziranim uvjetima vrijedan su biodozimetrijski pokazatelj izloženosti već i niskim dozama zračenja.

U proteklom razdoblju obavljeno je 247 analiza na strukturna oštećenja kromosoma limfocita osoba koje rade s dijagnostičkim rentgen aparatima.

U grupi ispitanika zastupljeni su liječnici specijalisti - rentgenolozi, ftiziolozi, kirurzi i neki drugi, te zdravstveno tehnički kadar sa višom i srednjom stručnom spremom.

Uočeno je da se, unutar skupine tzv. profesionalno izloženih ispitanika, pojedine grupe značajno razlikuju po učestalosti i tipu kromosomskih aberacija. Ukupno pak gledajući, ispitanici koji rade s dijagnostičkim rentgen aparatima imaju učestalija oštećenja kromosomskog tipa, za razliku od kontrolne skupine u kojoj su prisutne isključivo kromatidne lezije.

## Uvod

Ranih šezdesetih godina počela se analiza kromosoma ljudskih limfocita koristiti kao biološki dozimetar u slučajevima radijacionih oštećenja (1). Danas ima obilje podataka iz kojih se vidi postojanje tzv. "dose - response" odnosa za odredjene tipove kromosomskih aberacija, naročito za bicentrične i prstenaste kromosome. Analiza kro-

mosoma na strukturna oštećenja predstavlja najosjetljiviji biološki dozimetar, koji omogućuje detekciju zračenja već i kod 0,05 - 0,1 Gy primljene doze na cijelo tijelo (2).

Pravilnikom o stručnoj spremi, zdravstvenim uvjetima i zdravstvenim pregledima osoba koje mogu raditi s izvorima ionizirajućih zračenja (Službeni list SFRJ br. 27/77), takodjer je ova analiza, uz niz ostalih pretraga i kliničkog pregleda, obavezna u stanovitom vremenskom intervalu, za sve osoblje koje radi s otvorenim ili zatvorenim izvorima zračenja.

U proteklom petogodišnjem razdoblju u našem je laboratoriju obavljeno 247 analiza na strukturna oštećenja kromosoma u kulturi limfocita osoba koje rade s dijagnostičkim rentgen aparatima. U toj grupi ispitanika bilo je 147 rentgen tehničara, 67 liječnika specijalista - rentgenologa, ftiziologa, kirurga, te 33 osobe raznih drugih profesija.

Podjemo li od činjenice da danas u SR Hrvatskoj postoji najvećim dijelom dobra i zadovoljavajuća rentgenska oprema, bilo je interesantno ustanoviti postoje li biološke posljedice ili tragovi rentgenskog zračenja na somatskim stanicama profesionalno izloženog osoblja. Iz iscrpnih anamnestičkih podataka procijenjena je za svakog ispitanika i eventualna mogućnost kromosomskih oštećenja, uzrokovana mutagenima drugog porijekla.

Uvjeti rada

Na analizu kromosomskih aberacija ispitanici su bili upućivani na temelju pozitivnih zakonskih propisa ili one osobe u kojih su hematološke analize ukazivale na nenormalno zdravstveno stanje.

Na 48 satnim kulturama limfocita analizirano je po 200 metafaza za svakog ispitanika. U slučaju leukopeničnih i trombocitopeničnih stanja, ali bez filmdozimetrijske registracije izloženosti zračenju, u više navrata analizirano je 1000 i više metafaza po ispitaniku.

Rezultati i diskusija

S obzirom na to da su podaci grupirani po pojedinim profesijama, u tablici 1. prikazani su rezultati koji predstavljaju prosječni broj kromatidnih i kromosomskih oštećenja po jednom ispitaniku.

Iz dobivenih rezultata jasno je vidljivo da su prisutna citogenetska oštećenja, bez obzira na ispravnost i suvremenost opreme kojom to osoblje rukuje. Zanimljiva je činjenica da izmedju liječnika specijalista i tehničkih kadrova nema bitne razlike niti u tipovima kromosomskih oštećenja, niti u ukupnom broju pojedinih lezija.

U ispitivanoj populaciji, po vrlo čestom prisustvu velikog broja oštećenja kromosomskog tipa, izdvaja se osoblje koje radi na kirurškim odjelima, kao i pojedine grupe unutar rentgen odjela.

Tablica 1. Strukturna oštećenja kromosoma u osoba profesionalno izloženih rentgenskom zračenju

| Ispitanici | Broj ispitanika | Kromosomske aberacije po ispitaniku | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Gap | | Lom | | Acentrični fragmenti | Bicentrik | Prsten | Kromatidne izmjene | Tetraploidija |
| | | Kromatidni | Kromosomski | Kromatidni | Kromosomski | | | | | |
| Kontrola | 16 | 1,8 | - | 1,2 | - | - | - | - | - | - |
| Rtg tehničari | 147 | 1,6 | 2,6 | 0,9 | 1,7 | 0,7 | 0,4 | 0,09 | 0,11 | 0,5 |
| Liječnici | 67 | 2,0 | 2,8 | 1,3 | 1,6 | 0,5 | 0,4 | 0,03 | 0,06 | 0,2 |
| Ostali | 33 | 1,9 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 0,5 | 0,1 | - | 0,03 | 0,3 |
| UKUPNO | 267 | | | | | | | | | |

Treba upozoriti da metoda detekcije kromosomskih oštećenja ima i svoje limite. Nije moguće procijeniti na pr. "starost" oštećenja, ukoliko ispitanik radi više godina u zoni zračenja.

Visoki prosjek kromosomskih oštećenja otpada upravo na osobe s najduljim radnim stažom. Velik broj takvih liječnika i tehničara radio je niz godina na aparatima, čija je tehnička izvedba znatno zaostajala za razinom suvremenih aparata. Osim toga to je bilo i razdoblje kada zaštitne mjere, zaštitna oprema kao i upućenost u moguće posljedice, nisu ni izdaleka bile ravne današnjim.

Analizirajući dobivene podatke uvidjeli smo da uza sve prednosti suvremene rentgen opreme postoji i osoblje s dugim radnim vijekom u zoni zračenja, da postojeće dijagnostičke i druge metode neminovno uključuju i profesionalnu izloženost rentgenskom zračenju, a osim toga treba prihvatiti i činjenicu ljudske greške.

# STRUCTURAL CHROMOSOME ABERRATIONS IN PERSONS OCCUPATIONALY EXPOSED TO X RAYS

Chromosome aberrations analyses was performed on 48 hours lymphocyte cultures of persons occupationaly exposed to X rays.

Literature

1. Buckton, K.E., Evans, H.J.: Methods for the analysis of human chromosome aberrations, WHO (1973) Geneva.

2. Lloyd, D.C.: A review of the present state of cytogenetic dosimetry, Routine use of chromosome analysis in radiation protection, Proc. of an advisory group meeting, IAEA 1978.

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.4. 1981.

Rozgaj R., Horvat Dj., Bauman A. i Račić J.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Zagreb

# CITOGENETSKI UČINAK URANIL NITRATA NA LJUDSKE LIMFOCITE U KULTURI

Ionizirajuće zračenje i mnogi kemijski polutanti mogu uzrokovati somatska i citogenetska oštećenja čovjeka.

Na in vitro kulturi ljudskih limfocita postavljen je model u koji su uključene dvije koncentracije uranil nitrata - $UO_2(NO_3)_2 \times 6\ H_2O$ (0,422 mg/ml ili 0,633 mg/ml) te dvije različite doze manganovog klorida ($10^{-5}$ M i $10^{-6}$ M).

Nakon pojedinačnog i simultanog tretmana limfocita sa spomenutim agensima, praćena je intracelularna distribucija urana, primjenom autoradiografske metode.

Citogenetske posljedice stanične kontaminacije kemijskim i radiotoksičnim supstancama ocijenjene su tipom i brojem kromosomskih aberacija te učestalošću izmjena kromatida sestara.

Uočena je neravnomjerna intracelularna prisutnost urana. U pojedinim stanicama nadjena su brojna strukturna oštećenja kromosoma, kao i promjene ploiditeta stanice.

Citogenetske promjene vjerojatno su uvjetovane nehomogenošću stanične kontaminacije.

## Uvod

Tokom sagorijevanja fosilnih goriva u okoliš dospijevaju stanovite količine radiotoksičnih i primarnih, kemijskih polutanata.

U tehnološkim procesima, gdje je prisutna radiokemijska polucija, često su vrlo značajne uranove soli. Od kemijskih polutanata redovito se susreću policiklički ugljikovodici, sumporni dioksid i teški metali (1).

Iako su koncentracije tih zagadjivača u okolišu relativno niske, mogući sinergetski ili aditivni učinak pojedinih polutanata ili njihovih grupa može predstavljati ozbiljan zdravstveni rizik.

## Materijal i metode

U ovom radu prikazan je citogenetski učinak simultanog tretmana in vitro kulture ljudskih limfocita s uranil nitratom ($UO_2(NO_3)_2 \times 6H_2O$) i manganovim kloridom ($MnCl_2$). Primijenjene su dvije koncentracije uranil nitrata, 0,422 mg/ml i 0,633 mg/ml, te dvije koncentracije manganovog klorida, $10^{-5}$ i $10^{-6}$ M. Stanice su inkubirane s pojedinačnim agensima ili u istovremenom tretmanu s oba agensa, tijekom dva generaciona ciklusa. Intracelularna distribucija urana i potomaka ocijenjena je autoradiografski, primjenom metode "stripping filma" (2).

Analiza strukturnih aberacija kromosoma obavljena je konvencionalnom metodom ocjene tipa kromatidnog i kromosomskog oštećenja (3).

Metoda sestrinskih kromatidnih izmjena izvedena je po adaptiranoj tehnici Kato-a (4). Tijekom dva generaciona ciklusa stanice su inkubirane u prisustvu BrdU, a zatim priredjeni preparati, bojadisani su puferiranom otopinom Giemse.

## Rezultati i diskusija

Autoradiografskom detekcijom inkorporiranog urana i njegovih potomaka, uočena je njihova neravnomjerna intracelularna distribucija. Postoje stanice s velikim brojem "tragova". Istovremeno u znatnom broju stanica apsolutno nisu zabilježeni tragovi radionuklida.

Praćenjem strukturnih oštećenja kromosoma nakon inkubacije s uranil nitratom dobiveni podaci prikazani su na tablici 1.

Niža koncentracija uranil nitrata - 0,422 mg/ml hranidbenog medija uzrokovala je viši postotak oštećenih kromosoma i istovremeno veći broj aberantnih metafaza u odnosu na dozu od 0,633 mg/ml medija.

U biokemijskom sastavu stanice kao i u mediju u kojem su stanice rasle, prisutne su organske kiseline, anorganski anioni, proteini i niz drugih visokomolekularnih struktura. Transport urana u stanicu i njegova intracelularna distribucija uvjetovana je njegovom inter-

akcijom sa spomenutim biokomponentama. Kompleksi urana s proteinima su nepermeabilni, dok je bikarbonatni kompleks permeabilan (5). Tu je vjerojatno i uzrok nehomogenom prisustvu urana u stanicama i njegovom obrnuto proporcionalnom odnosu - doze i citogenetskog učinka.

Praćenjem učestalosti izmjene kromatida sestara u limfocitima nakon tretmana uranil nitratom, nije nadjeno značajnije povećanje broja SCE u odnosu na netretiranu kontrolnu skupinu.

Taj podatak je dobar pokazatelj da su nadjena strukturna oštećenja kromosoma vjerojatno prije rezultat radijacionih oštećenja nego kemijsko toksičnog učinka. Poznato je naime, da SCE nisu dobar parametar pri ocjeni radijacionih citogenetskih oštećenja, već je to metoda izbora za detekciju učinka kemijskih mutagena (6).

U očekivanju aditivnog ili sinergetskog učinka iza simultanog tretmana stanica uranil nitratom i manganovim kloridom, takav je rezultat izostao. Kako su primijenjene niske doze manganovog klorida, ukupna citogenetska oštećenja su tek lagano povišena u odnosu na odvojeni tretman. Isti je trend i pri pojavi SCE.

Mangan je inače poznat po svojoj toksičnosti (7). Na celularnoj razini on inhibira mitotsku aktivnost stanice. U studiju mutagenog učinka mangana nadjeno je da u V79 stanica kineskog hrčka, koncentracije više od $5 \times 10^{-5}$ M uzrokuju značajno povišenje broja sestrinskih kromatidnih izmjena (8).

Tablica 1. Strukturne aberacije kromosoma na ljudskim limfocitima nakon tretmana uranil nitratom i manganovim kloridom

| Tretman | Koncentracija | Kromosomska oštećenja po stanici | | | | | | | | | | | % aberantno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lom | | Gap kromatid. | Bicentrik | Prsten | Pulverzacija | Acentrik | Minute | Kromatidne izmjene | Translokacija | Tetraploidija | |
| | | Kromosomski | Kromatidni | | | | | | | | | | |
| KONTROLA | | 0,005 | 0,015 | 0,013 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 |
| $UO_2(NO_3)_2$ x 6 $H_2O$ | 0,422 mg/ml | 0,012 | 0,015 | 0,022 | 0,025 | 0,01 | - | 0,013 | 0,02 | 0,002 | 0,005 | 0,038 | 13 |
| $UO_2(NO_3)_2$ x 6 $H_2O$ | 0,633 mg/ml | 0,011 | 0,013 | 0,03 | 0,017 | 0,006 | - | 0,011 | 0,002 | - | - | 0,026 | 9 |
| $MnCl_2$ | $10^{-6}$M | 0,006 | 0,019 | 0,025 | 0,013 | - | - | 0,006 | 0,006 | 0,003 | - | 0,006 | 8 |
| $MnCl_2$ | $10^{-5}$M | 0,013 | 0,02 | 0,035 | 0,013 | - | 0,003 | 0,01 | 0,005 | - | 0,008 | 0,015 | 11 |
| $MnCl_2$ + $UO_2(NO_3)_2$ x 6 $H_2O$ | $10^{-6}$M + 0,422 mg/ml | 0,015 | 0,015 | 0,025 | - | - | - | 0,02 | 0,02 | - | 0,005 | 0,015 | 10 |
| $MnCl_2$ + $UO_2(NO_3)_2$ x 6 $H_2O$ | $10^{-5}$M + 0,633 mg/ml | 0,01 | 0,025 | 0,015 | 0,01 | 0,005 | 0,005 | 0,02 | 0,01 | 0,005 | - | 0,04 | 11 |
| $MnCl_2$ + $UO_2(NO_3)_2$ x 6 $H_2O$ | $10^{-5}$M + 0,422 mg/ml | 0,01 | 0,015 | 0,023 | 0,018 | 0,005 | 0,005 | 0,018 | 0,013 | 0,008 | 0,003 | 0,026 | 12 |
| $MnCl_2$ + $UO_2(NO_3)_2$ x 6 $H_2O$ | $10^{-5}$M + 0,633 mg/ml | 0,01 | 0,013 | 0,035 | 0,015 | 0,003 | 0,003 | 0,032 | 0,013 | 0,003 | 0,008 | 0,038 | 14 |

Koncentracije obaju agensa primijenjene u ovom radu, relativno su niske i uočljiv, pravilan doza-učinak nije zabilježen.

Cytogenetic effect of uranyl nitrate on human lymphocites in culture

In the present paper we report the mutagenic effects of simultaneous tretman human lymphocites by uranyl nitrate and manganese.

The absorption of uranium and descendents in the cells was detected by autoradiographyc method. Citogenetic effects of the applied compound were followed by the analyses of structural chromosome aberrations and by the frequency of sister chromatide exchanges.

Literatura

1. Murthy, M.S.S. and Reddy, N.M.S.: Chemical Pollutants from Fosil Fuel Burning their Carcitogenic and Mutagenic Actions, Working paper for the IAEA Research Co-ordination meeting (RCM) of the Agency's Co-ordinated Programme on Comparation Biological Hazards from Major Chemical Pollutants and Radiation, Leiden, Netherlands (1979).

2. Rogers,A.W.: Techniques of Autoradiography, Elsevier publ. comp. London (1967).

3. Buckton, K.E., Evans, H.J.: Methods for the analysis of human chromosome aberrations, WHO Geneva (1973).

4. Kato, H., Shimica, H.: Sister chromatid exchanges induced by mitomycin C: A new method of detecting DNA damage at chromosomal level, Mutat. Res. 28 (1975) 459.

5. Ting-Beall, H.P.: Interactions of uranyl ions with lipid bilayer membranes, Journal of Microscopy, 118 (1980) 221-227.

6. Parry, P., Evans, H.J.: Cytological detection of mutagen carcinogen exposure by sister chromatic exchange, Nature, 258 (1975) 121-125.

7. Hart, D.A.: Evidence that manganese inhibits an early event during stimulation of lymphocytes by mitogens, Exp. Cell Res. 113 (1978) 139-150.

8. Horvat, Dj., Račić, J. i Rozgaj, R.: Učestalost izmjena kromatida sestara u V79 stanica kineskog hrčka. (u štampi.)

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
PORTOROŽ, 21.-24.4. 1981.

V. Višnjić, M. Jeremić i D. Panov

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

# ISPITIVANJE MORFOLOGIJE I OTPORNOSTI KAPILARA KOD PROFESIONAINE EKSPOZICIJE X ZRAČENJU

Rezultati kapilaroskopskog ispitivanja 200 lica profesionalno izloženih jonizujućem zračenju pokazuju da direktno izlaganje ruku snopu zračenja izaziva stenoze, ektazije (češće aneurizmatičnog tipa), kapilaroreksije, difuzne i cirkumskriptne ekstravazacije. Promene otpornosti kapilara češće se manifestuju u vidu povišene fragilnosti.

## UVOD

U ranom radiodermatitisu histopatološki je nadjeno da su neki krvni sudovi dilatirani, dok drugi pokazuju edem zidova, endotelijalnu proliferaciju i čak trombozu. U kasnom radiodermatitisu na krvnim sudovima mogu se zapaziti upadljive i prilično tipične promene. Krvni sudovi koji se nalaze u dubljim slojevima kože često imaju fibrozno zadebljanje zida, tako da je lumen skoro, ili potpuno zatvoren. Neki od krvnih sudova pokazuju trombozu i rekanalizaciju. Krvni sudovi koji su bliže epidermisu mogu pokazivati teleangiektazije.(1).

Kapilaroskopijom je moguće ispitati kapilare kože i, u povoljnim uslovima, sabirne vene gornjeg venskog pleksusa. Ispitivanje obuhvata broj i morfologiju kapilara, promene propustljivosti njihovih zidova, pojavu kolsterala, brzinu kapilarne cirkulacije i kapilaroreksije. Dosadašnja ispitivanja većeg broja stranih i domaćih autora kazuju da kapilaroskopija može da posluži kao dobar dopunski test pri proceni radijacionih oštećenja prstiju gornjih ekstremiteta kod lica koja su profesionalno izložena direktnom dejstvu jonizujućeg zračenja.

Kapilaroskopski pregled, izveden pod fiziološkim uslovima cirkulacije, ne daje neke podatke važne za procenu stanja kapilara. Stepen elastičnosti zidova ima veliki značaj za ocenu stanja i funkciju kapilara, a to se može ispitati na osnovu razlike u kalibru pod normalnom i povišenom intrakapilarnom pritisku. Povišen intrakapilarni pritisak postiže se veštačkim izazvanjem venske staze, pod uslovom izvodjenja Rumpel-Leede-ovog fenomena. Korišćenje ove metode daje podatak o krtosti kapilara, a u nekim slučajevima nije verifikovana redukcija broja kapilara konstatovana pod normalnim uslovima. Korisna je i primena angiosterometrije, naročito u slučaju negativnog Rumpel-Leede-a.

## MATERIJAL I METODI

Ispitano je 200 osoba koje rade u radiodijagnostičkim kabinetima. Ispitivanje morfologije kapilara izvršeno je u kožnom naboru iznad ležišta korena nokta drugog do petog prsta gornjih ekstremiteta. Za skopiju korišćen je stereomikroskop "Technival" (Zeiss - DDR), a za mikrofotografisanje "Kapilaroskop" (Leitz -BDR).

Otpornost zidova kapilara prema intravaskularno povišenom pritisku meren je pojavom petehija u koži (pod uslovom izazivanja Rumpel-Leede-ovog fenomena). Otpornost kapilara prema ekstrakapilarno sniženom pritisku merena je takodje pojavom petehija izazvanih angiosterometrom (Typ CB LPMCO - Piteaux).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Izrazite stenoze, značajne ekstazije sa povećanom ili smanjenom propustljivošću zidova kapilara, učestane kapilaroreksije i mikrohematomi, kao znakovi težeg oštećenja kapilara, nadjene su u malom procentu. Ali ako se posmatraju odredjeni profili eksponovanih lica, ovakve promene često se otkrivaju, zavisno od dužine staža i učestalosti dnevnih intervencija. Ozbiljne promene nalaze se kod radiologa koji vrše radioskopski

pregled digestivnog trakta, pneumoftiziologa i drugih koji rade bronhoskopije, hirurga koji vrše repoziju kostiju direktno u snopu rendgenskog zračenja i kod angiografije. Kao siguran znak da je oštećenje kapilara izazvano zračenjem može da posluži asimetričan nalaz na rukama. Redovno su promene jače izražene na ruci koja je zbog prirode zahvata više izložena. Takodje se često otkrivaju oštećenja na odgovarajućim prstima kod lica koja rukuju radioizotopima u dijagnostičke i terapijske svrhe. Promene morfe praćene su i promenama otpornosti kapilara.

Prema našem zapažanju na oporavak kapilara povoljno deluje prekid ekspozicije jonizujućem zračenju u trajanju od nekoliko meseci. Zapažen je oporavak i kod radiologa kojima je skrenuta pažnja na lakše oštećenje njihovih kapilara, a koji su se u daljem radu striktno pridržavali propisanih mera zaštite.

ZAKLJUČAK

Rezultati kapilaroskopskog ispitivanja 200 lica profesionalno izloženih jonizujućem zračenju pokazuju da direktno izlaganje ruku snopu zračenja izaziva stenoze, ektazije (češće aneurizmatičnog tipa), kapilaroreksije, difuzne i cirkumskriptne ekstravazacije. Promene otpornosti kapilara češće se manifestuju u vidu povišene fragilnosti.

SUMMARY

# EXAMINATION OF CAPILLARY MORPHOLOGY AND RESISTANCE IN OCCUPATIONAL EXPOSURE TO X RADIATION

V. Višnjić, M. Jeremić and D. Panov

Institute of Occupational and Radiological Health, "Dr Dragomir Karajović" Belgrade, Deligradska 29

Morphology of skin capillaries in the fingers of upper extremities was examined by in vivo microscopy in persons occupationally exposed to X radiation. The morphology examination was performed under physiological conditions of capillary circulation and under condition of artificially provoked venous stasis. The results of these examinations point to a capillary sensitivity toward X radiation. The capillary abnormalities are present in the form of stenoses, ectases, diffuse and circumscribed extravasations and capillarorhexes. The frequency of changes is evident in diagnostic procedures where it comes to direct irradiation of the fingers such as radioscopic examination of the abdomen, bone reposition under control of roentgenoscopy, angiographies, radiocystoscopies, bronchographies.

Capillary resistance related to intracapillary increased pressure has been measured by petechiae appearance in the forearm skin during performance of Rumpel-Leede phenomenon. This phenomenon more frequently is positive in persons where pathologic morphology of the skin capillaries of the fingers was found, but in some cases the findings are opposite.

Capillary resistance related to extracapillary decreased pressure has been measured by petechiae appearance in the forearm skin by means of angiosterometer. Decreased capillary resistance in examinees has not been found. Increased capillary resistance was found more frequent.

## LITERATURA

1. Walter F., Lever, M.D.: Histopatologija kože "Svjetlost", Sarajevo, 1974.

2. Višnjić V., Jeremić M. i Panov D.: Kapilarografsko ispitivanje lica profesionalno izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja. IX simp. Jug. društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 1977.

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24.4.1981

Besarabić Milica i Aleksić Bosiljka

Laboratorija za medicinsku zaštitu Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

# UČESTALOST I KARAKTERISTIKE KARDIOVASKULARNIH PROMENA KOD RADNIKA NA NUKLEARNOM REAKTORU

Analizirani su dostupni parametri vezani za kardiovaskularni sistem kod radnika reaktora RA u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči od 1976. do 1980. i to: EKG, kapilaroskopija, morbiditet, krvni pritisak, telesna težina, nivo holesterola i šećera u serumu krvi.

U odnosu na kontrolnu grupu signifikantna razlika dobijena je u zastupljenosti slabije vaskularizacije dubljih slojeva u perifernoj cirkulaciji i zastupljenosti hiperholesterolemije.

Izučavanje elektrofizioloških procesa srca predstavlja danas široko polje rada, kako lekara zaonteresovanih za poboljšanje dijagnostike, tako i biofizičara i bioinženjera (1). Novim tehničkim mogućnostima olakšana je i poboljšana EKG dijagnostika, ali i porad svega nije dala očekivane rezultate. Medjutim, korist u epidemiološkim studijama i opservaciji evolucije srčane bolesti je ogromna. Zato preventivno periodično praćenje može da ukaže na rane promene i da blagovremenim sociomedicnskim tretmanom spreči srčanu bolest.

Učestala i prerana smrt zbog bolesti srca kod pionira primene nuklearne tehnologije kod nas, potstakla nas je da obradimo postojeće podatke i cilj ovog rada je da analizom istih utvrdimo učestalost i karakteristike kardiovaskularnih promena ispitivane populacije.

## MATERIJAL I METODE

Epidemiološki su obradjeni podaci iz preventivnih medicinskih kartona za poslednjih pet godina, kod 53 radnika reaktora RA u Vinči (muški pol) i 50 radnika tehničkih pogona Instituta "Boris Kidrič" (kontrolna grupa).

---

Autori se zahvaljuju Verki Mardešić i Svetlani Gnjatović na tehničko saradnji.

Elektrokardiogrami su radjeni na jednokanalnom EKGu 100 T, Ei Niš, uobičajenom analizom standardnih, unipolarnih i šest prekordijalnih odvoda.

Kapilaroskopija je obavljena na kapilaroskopu M 70-AT, a posmatrani su kapilari na korenu nokta na palčevima obe šake. Pri ovome je direktno posmatran broj i izgled kapilarnih petlji, njihov raspored, vidljivost, kao i prokrvljenost lokalne sredine.

Holesterol u serumu je odredjivan kolorimetrijskom metodom, a glukoza u serumu fotometrijski sa orto-toluidinom.

U statističkoj obradi korišćen je Studentov T test značajnosti razlika aritmetričkih sredina i proporcija.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Kada govorimo o stanju kardiovaskularnog sistema, pre svega obratimo pažnju na godište ispitanika. U ovom slučaju srednja vrednost za radnike reaktora RA je 47,7 ± 4,1 godina, a za radnike kontrolne grupe 50,8 ± 3,3 godine, što statistički nije značajna razlika $p > 0,05$.

Po zanimanju su električari, bravari, mašinbravari, telefonisti, dozimetristi, tehničari, fizičari i inženjeri elektronike. Obradjeni su radnici reaktora RA, koji su u ekspoziciji jonizujućem zračenju preko 20 godina. Doze ozračivanja su bile ispod dozvoljenih za profesionalno eksponovane. (2). U kontrolnoj grupi su radnici koji nikad u svom radnom veku nisu bili izloženi uticaju jonizujućeg zračenja.

Telesna težina je sledeće obeležje, važno kada je reč o ovoj problematici. Srednja vrednost za radnike reaktora je 79,8 ± 13,8 Kg, a za kontrolnu grupu 80,6 ± 10,7 Kg. ( $p > 0,1$).

Analiza vrednosti krvnog pritiska je dala sledeći podatak, prikazan kao srednja vrednost sistolni pritisak radnika reaktora je 18,0 ± 2,7 kPa, a u kontrolnoj grupi 17,3 ± 2,0 kPa ( $p > 0,05$). Ali obradjujući hipertenzije (kvalitativno kao dijagnoze), dobili smo u kontrolnoj grupi veći broj onih sa povišenim krvnim pritiskom. Predstavljeno u procentima 20% prema 9%. Srednje vrednosti dijastolnog krvnog pritiska su skoro identične u obe grupe: 11,75 ± 1,34 kPa kod radnika reaktora i 11,75 ± 1,31 kPa u kontrolnoj grupi.

Od 53 radnika reaktora 39(73%) ima evidentirane elektrokardiografske promene. U kontrolnoj grupi od 50 radnika 30 (60%) imaju promene ( p> o,o5), (Tabela br 1).

TABELA br 1

PRIKAZ EKG PROMENA U ISPITIVANOJ POPULACIJI

| OPIS | RADNICI REAKTORA | | KONTROLNA GRUPA | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | apsol. | % | apsol. | % | p |
| LEVOPOZICIJA, bez ostalih napomena | 17 | 32,o | 13 | 26 | p> o,o5 |
| ZNACI DNV-a | 7 | 13,2 | 8 | 16 | " |
| DENIVELACIJA ST | 2 | 3,7 | 1 | 2 | " |
| APLATACIJA I NEGATIVAN T | 5 | 9,4 | 3 | 6 | " |
| CORONARNO T | 3 | 5,6 | 1 | 2 | " |
| NIŽA VOLTAŽA | 4 | 7,5 | 2 | 4 | " |
| TAHICARDIJA | Ø | | 2 | 4 | " |
| Q ZUBAC u više odvoda | 1 | 1,8 | Ø | | " |

Analizirajući tabelu vidi se da nema značajnije razlike u dobijenim nalazima, što se slaže i sa podacima u literaturi (3). U okviru praćenja efekata jonizujućeg zračenja kod radnika reaktora RA, vršena su odredjena ispitivanja, koja su obuhvatila i jednu od redje primenjivanih metoda, tj. praćene su promene na perifernom vaskularnom sistemu. Prilikom pregleda kod obe grupe zapažene su promene, s tim što su bile mnogo češće i morfološki više izmenjene kod radnika reaktora (Tabela br 2).

U okviru ovih pregleda kod 11(20%) radnika reaktora RA se zapažaju promene koje se odnose na slabiju vaskularizaciju dubljih slojeva u korenu nokta. Redukcije kapilarnih petlji nadjene su kod 4 radnika. Kod dvojice postoji verovatnoća da je redukcija nastala kao isključiva posledica specifičnih uslova rada. Medjutim, kod još dvojice promene su posledica oboljenja, koja nisu u vezi sa dejstvom jonizujućih zračenja (Eczema mani i traumatska povreda). Ovi podaci se slažu sa literaturom (4,5).

TABELA br 2

PRIKAZ KAPILAROSKOPSKIH PROMENA U ISPITIVANOJ POPULACIJI

| OPIS | | RADNICI REAKTORA apsol. | % | KONTROLNA GRUPA apsol. | % | p |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BROJ KAPILARNIH PETLJI | > 10 | 49 | | 50 | | |
| | < 10 | 4 | | Ø | | |
| IZGLED | DUŽNE | 48 | | 6 | | |
| | KRATKE | 5 | | 44 | | |
| RASPORED | U 1 REDU | 7 | | 8 | | |
| | U VIŠE REDOVA | 43 | | 42 | | |
| | PROREDJENE | 2 | 3,7 | Ø | | p > 0,05 |
| VIDLJIVOST | JASNA | 43 | | 37 | | |
| | SLABIJA | 10 | 18,8 | 13 | 26,o | p > 0,05 |
| PROKRVLJENOST | DOBRA | 42 | | 50 | | |
| | SLABIJA | 11 | 20,o | Ø | | p < 0,001 |

Posmatrajući morbiditet vazan za kardiovaskularni sistem, nema značajnije razlike (Tabela br 3).

TABELA br 3

PRIKAZ KARDIOVASKULARNOG MORBIDITETA U POSMATRANOJ POPULACIJI

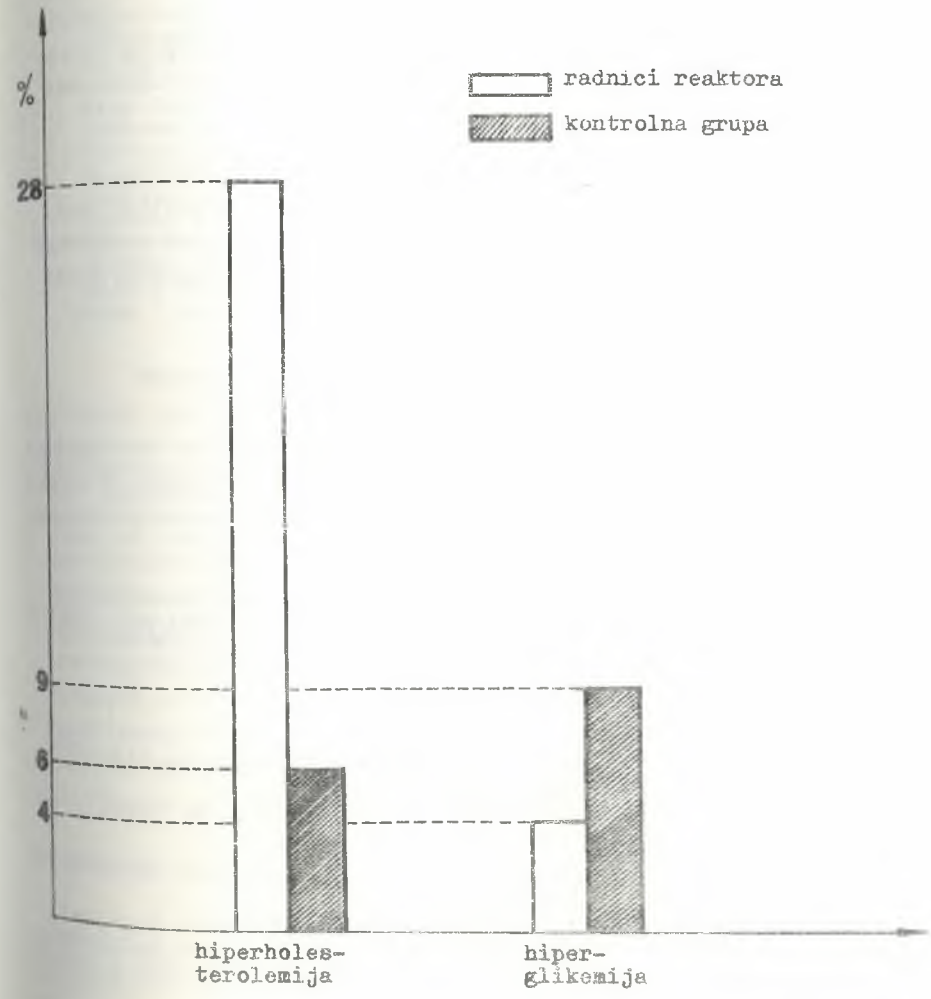
| DIJAGNOZA | RADNICI REAKTORA apsol. | % | KONTROLNA GRUPA apsol. | % | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Ishemio myocardii | 3 | 5,6 | 1 | 2 | p > 0,05 |
| Infarctus myocardii | Ø | | 1 | 2 | " |
| Hypertensio arterialis | 5 | 9,4 | 10 | 20 | " |
| Endarteritis cruris sin. | 1 | 1,8 | Ø | | " |

Značajna razlika nadjena je u zastupljenosti hiperholesterolemije, i to veoma izražen p < 0,0005. Petnaest radnika reaktora RA (38%) imaju povišene vrednosti serum holesterola, a tri (6%) u kontrolnoj grupi (Dijagram a). Izračunavajući medjutim, srednju vrednost kod radnika reaktora RA, nivo holesterola je 5,96 ± 0,80 mmol/l, a u kontrolnoj grupi 5,81 ± 0,73 mmol/l (p > 0,05).

Hiperglikemija je skoro identično zastupljena u obe grupe, a i srednje vrednosti su slične: kod radnika reaktora 5,52 ± 1,38 mmol/l i 5,62 ± 1,45 mmol/l u kontrolnoj grupi.

DIJAGRAM a

ZASTUPLJENOST HIPERHOLESTEROLEMIJE I HIPERGLIKEMIJE
U ISPITIVANOJ POPULACIJI



ZAKLJUČAK

I ako se kardiovaskularni sistem smatra manje osetljivim na dejstvo jonizujučeg zračenja, nisu zanemarljive promene, koje na tom sistemu nastaju, naročito posle dugogodišnje ekspozicije, čak i dozama koje su u granicama dozvoljenih.

Značajna zastupljenost hiperholesterolemije kod radnika reaktora, koji su i mladji i po telesnoj težini slabiji od kontrolne grupe, pobudjuje veliku pažnju i traži dublju analizu. Da li tome doprinosi i ograničenost telesnog kretanja u takvin postrojenjima? Da li prevencijom hiperholesterolemije možemo indirektno uticati na sporije starenje ljudi za koje znamo da brže stare? Naša nastojanja će ubuduće ići u tom smeru.

Značajnost razlike u EKG promenama ne postoji.

Slabija prokrvljenost perifernih krvnih sudova je evidentna, što sa svoje strane doprinosi oštećenju opšteg zdravstvenog stanja izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja, a što takodje traži preventivno medicinsko delovanje.

FREQUENCY AND CHARACTERISTICS OF THE CARDIOVASCULAR CHANGES AMONG OPERATING NUCLEAR REACTOR

This paper analysed accessible parameters in connection with the cardiovascular system with the personnel operating the reactor RA at "Boris Kidrič" Institute in Vinča. The analyses was carried out from 1976. to 1980.;such as ECG, capillaroscopy, morbidity, blood pressure, body weight and cholesterol level as well as glycose in the blood serum.

In relation of the control group a significant difference was obtained in the degree of hypercholesterolaemy and degree of redused vascularisation of deeper layers in the peripheral circulation.

LITERATURA

1. C.V. Nelson, D.B. Gesolovitz:The theoretical basis of electrocardiology, Clarendon Press, Oxford, 1976.
2. M. Besarabić: X Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac, 189, 1979.
3. Norwood W.D.: Health Protection of Radiation Workers Charles C Thomas, Springfield, Illinois, USA, 1975.
4. Guskova A.K. i sotr.: Osnovnije principi organizacii gigijeničeskovo i medicinskovo nabljudenija za rabotajuščimi na uskoriteljah visokih energii objedinjenovo instituta jadernih issledovanii, AMN SSSR, 13.1964.
5. Sokolov V.V., Guskova A.K.: Med. Radiol., 5,24,1968.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

Stojanović Dragoslav i Milivojević Katarina
Laboratorija za medicinsku zaštitu Instituta za nuklearne nauke
"Boris Kidrič" - Vinča

# NEKI ASPEKTI SIMPTOMATSKE FARMAKOTERAPIJE AKUTNE RADIJACIONE BOLESTI U EKSPERIMENTALNIM USLOVIMA

Eksperimentalna studija je obuhvatala ispitivanje reaktivnosti pojedinih fizioloških radiosetljivih sistema i farmakoterapijski efekat stimulatora hematopoeze, anabolika i angioprotektora u uslovima eksponicije visokim dozama opštog gama zračenja. Efekti primenjenih farmaka na postradijacionu hematološku reakciju i reparatoriku praćeni su u zavisnosti od vremena ordiniranja u pojedinim fazama akutne radijacione bolesti. Pokazalo se, da je vreme ordiniranja antiradijacionih sredstava u odnosu na pojedine faze akutne radijacione bolesti od velikog značaja za dalji postradijacioni tok u pogledu ublaženja ili pogoršanja bolesti. U radu se diskutuje o mogućnostima primene korišćenih farmaka u prevenciji i terapiji radijacionih oštećenja, kao i optimalnom vremenu i načinu ordiniranja.

Istraživanja su imala za cilj ispitivanje reaktivnosti pojedinih radiosetljivih sistema i organizama u celini kod izlaganja opštem gama ozračivanju, kao i ispitivanje efekta nekih farmaka na hematološku reakciju u postradijacionom toku. Za ocenu postradijacione reakcije organizma posmatrani su:

- preživljavanje,
- kliničke manifestacije akutnog radijacionog sindroma,
- korelacija kliničkih promena sa hematološkom reakcijom,
- odredjivanje vremena početka oporavka i daljeg toka radijacione bolesti na osnovu numeričkih varijacija elemenata bele loze u periferno krvi,
- efekat vitamina $B_6$, Dianabola, Dicynona, Tocopherola, Kavitamina i Plibexa na postradijacionu hematološku reakciju.

## METODOLOGIJA RADA

Ogledne životinje.- Ogledi su izvedeni na belim pacovima, mužjacima, telesne težine oko 200 g, iz zapata Farme laboratorijskih životinja IBK. Životinje su smeštene pojedinačno u kavez i u toku perioda posmatranja bile su pod uobičajenim uslo-

---

Tehnički saradnici Radosav Sapundžić, Ružica Kostić i Ankica Vuga.

vima nege i ishrane. Grupe su brojale po 2o životinja, dok su letalitet odnosno preživljavanje ispitani na 4oo životinja.

Uslovi ozračivanja.- Gama ozračivanje celog tela oglednih životinja je izvedeno u specijalnoj radijacionoj jedinici od 37o TBq kobalta 6o. Integralno primljena doza gama zračenja je iznosila za celo telo 6 greja.

Hematološka reakcija.- U kvantitativnoj analizi biološke reakcije organizma na dejstvo jonizujućeg zračenja praćene su numeričke varijacije ukupnih leukocita i eritrocita u perifernoj krvi. Period posmatranja je trajao od kontrolnog pregleda pre početka ogleda do 3o. dana po ozračivanju i to 1., 3., 7., 1o., 15., 2o. i 3o. dana. Krv je uzimana resekcijom repne vene. Brojanje elemenata bele i crvene loze vršeno je standardnom tehnikom. Vrednosti su izražavane u odnosu na prosečnu vrednost koja je registrovana pre početka ogleda i koja je uzeta kao 1oo%. Pošto je svaka tretirana grupa imala svoju kontrolnu grupu, te se za leukocite 1oo% kreće od 7,4-14,3 x $1o^9$/l, a za eritrocite od 6,o7-8,3 x $1o^{12}$/l.

Tretman vitaminom $B_6$.- Pyridoxini hydrochloridum je apliciran i.m. svakodnevno u količini od o,3 mg/životinji. Terapeutska doza za pacova iznosi 6o /ugr.po kilogramu telesne mase. Ordiniran je preparat Bedoxin u ampulama od 2 ml po 5o mg, proizvod Fabrike "Galenika", Beograd.

Tretman Dianabolom.- Sintetski steroidni hormon Dianabol čije je generičko ime metandienon davan je u količini od o.1 mg u o.1 ml Ol.Helianti sterilisata i.m. svakodnevno. Ampule od 1 ml koje sadrže 1o mg metandienona su proizvod Fabrike "Lek" - Ljubljana.

Tretman s Dicynenom.- Životinjama je ordiniran Dicynene, proizvod Fabrike "Lek" - Ljubljana (ampule od 2 ml sa 25o mg preparata) i to oko 4 mg u o,1 ml razblaženog rastvora po životinji, svakodnevno u toku celog perioda posmatranja od 3o dana.

Tretman vitaminom K.- Korišćen je Kavitamin (Menandion-natrijum -hidrogenosulfit), proizvod "Galenika" u ampulama od 1 ml koje sadrže 1o mg. U periodu rasgora radijacione bolesti (od 7-og do 15-og dana davano je svaki drugi dan intramuskularno po 7o /ugr u o,1 ml fisiološkog rastvora.

Tretman vitaminom E.- Tocopherol, proizvod Fabrike "Galenika", ordiniran je jednoj grupi životinja u toku celog perioda posmatranja (od 1-3o.dana) i drugoj grupi od 1o.-3o.dana posle ozračivanja. Davano je po o,1 uljanog rastvora dnevno, a koji je sadržavao o,57

mg tocoferilacetata.

Tretman Plibexom.- Plibex, preparat Fabrike "Pliva" sadrži vitamine B grupe u obliku liofilizirane supstancije. Ordiniran je u vodenom rastvoru i.m. po 0,1 ml dnevno pri razblaženju originalne ampule sa 2o ml redestilisane vode. Aplikacija je vršena kod jedne grupe u toku celog perioda posmatranja od 1-3o.dana, i to svaki drugi dan, a kod druge grupe od 1o-3o. dana.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na slikama 1 i 2 prikazane su numeričke varijacije ukupnih leukocita i eritrocita u perifernoj krvi kod ozračenih-netretiranih životinja i kod ogledniih grupa tretiranih vitamina $B_6$, E i K, Dianabolom, Dicynonom i Plibex-om. Dobijeni rezultati efekta primene izabranih farmaka omogućavaju sledeće konstatacije:

- Numeričke i morfološke varijacije u ćelijama periferne krvi odražavaju pojedine postradijacione faze u uslovima opšteg gama ozračivanja.
- Kliničke promene i hematološka reakcija najizrazitije su u prvoj nedelji posle ekspozicije.
- Pri ozračivanju dozom od 6 greja najizrazitiji pad leukocita je 3. .dana, a eritrocita od 1o-15.dana po eksposiciji.
- U uslovima jednokratnog ozračivanja visokom subletalnom dozom, tretman Plibexom i Tocopherolom kojimsu ordinirani od 1o-3o. dana, kao i tretman piridoksinom u toku celog perioda posmatranja, dovodi do ranije i brže numeričke restitucije leukocita u perifernoj krvi.
- U istim uslovima ozračivanja tretman Plibexom od 1-3o.dana uslevljava slabiju anemiju i bržu normalizaciju broja eritrocita u perifernoj krvi u odnosu na tretman od 1o-3o.dana i ozračene-netretirane životinje.
- Primena Dianabola u postradijacionom toku najefikasnije pospešuje numeričku restituciju eritrocita.
- Dicynone, ispitan kao antihemoragik, hemostatik i angioprotektor, ne utiče na tok numeričke restitucije elemenata bele i crvene loze u perifernoj krvi.

Kod radijacionih oštećenja dolazi do iscrpljenja koštane srži i zato je vreme ordiniranja antiradijacionih sredstava, u odnosu na pojedine faze akutnog radijacionog sindroma, od velikog značaja za dalji postradijacioni tok. Za primenu adekvatne simpto-

matske terapije radijacione bolesti od posebnog su značaja saznanja kako stimulatori leukopoeze i eritropoeze utiču na celularni sastav krvi, da li dovode do iscrpljenja kostne srži ili ublažavaju tok radijacione bolesti i koji je optimalni način njihovog davanja u pogledu vremena početka, ritma ordiniranja i količine, a literarni podaci koji se odnose na simtomatsku terapiju akutne radijacione bolesti ukazuju na složenost problema (1,2,3,4,5).

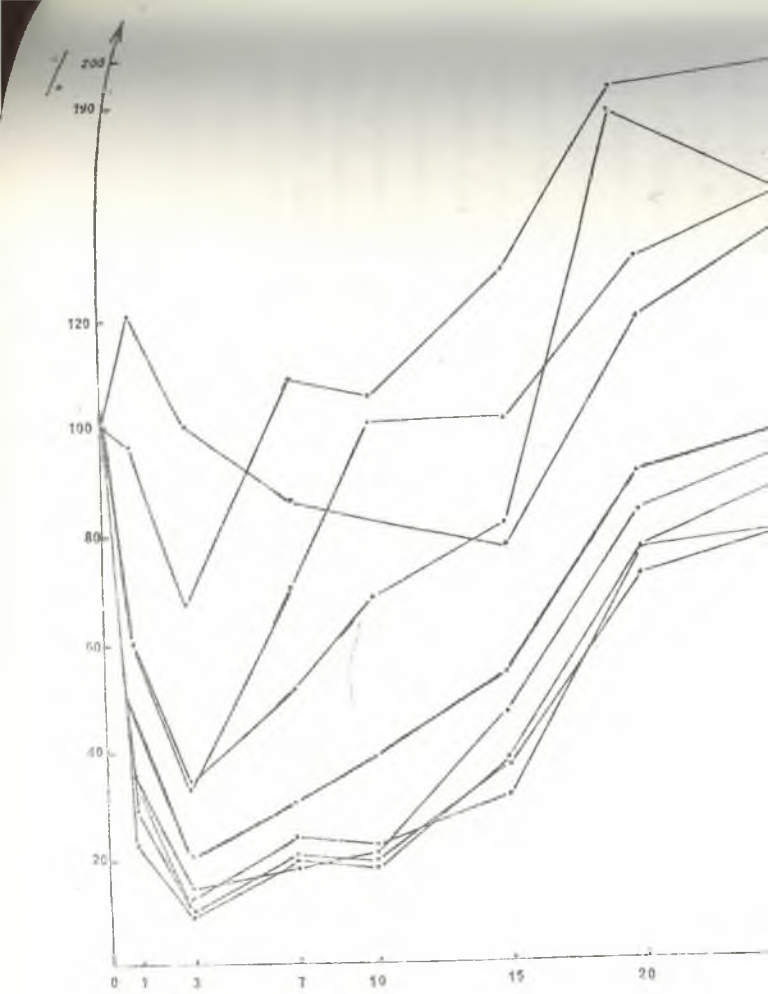

A b s t r a c t

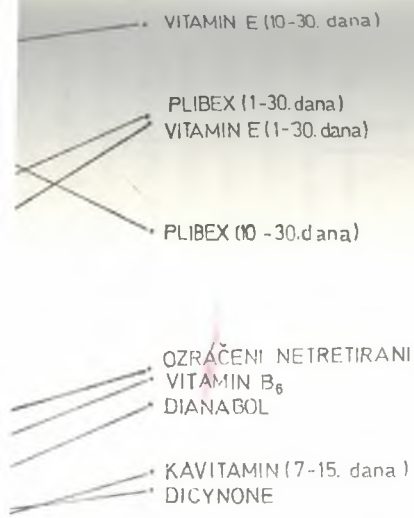
SOME ASPECTS OF SYMTOMATIC PHARMACOTHERAPY OF THE ACUTE RADIATION ILLNESS IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

The experimental study includes the investigation of reactivity of some physiological radiosensitive systems and pharmacotherapeutic effects of stimulators on the haematopoietic tissue, anabolics and angioprotectors, exposed to the high doses of the total body gamma irradiation. The effects of the applied drugs on the postradiational haematologic reaction and reparatorics, have been observed in dependence on ordinary time in some phases of the acute radiation illness. It has been shown, that ordinary time of antiradiation means in relation to some phases of the acute radiation illness are from the greatest importance for the next postradiation period, having in view that illness becoms worse or better. In this study have been discussed the possibility of appliance of the drugs in prevention and therapy of radiation injuries, as well as the optimal time and ordinary way.


LITERATURA


1. Stojanović D., Milivojević K., Proc. of a Symp. Radiobiological Research and Radiotherapy, IAEA, SM-212/6o, pp.247-259, Vienna, 1977.
2. Saksonov P.P.i sot., Radiacionaja farmakologija, Medicina, Moskva, 1976.
3. Milivojević K., Stojanović D., Izučenie effekta terapij ostroj lučevoj bolezni u opitnih životnih, II Radibiologičeskaja konf. socialističeskih stran, Varna, 1978.
4. Manual on Radiation Haematology, Technical Reports Series No 123, IAEA, Vienna, 1974.
5. Stojanović D., Doktorska disertacija, Beograd, 1979.

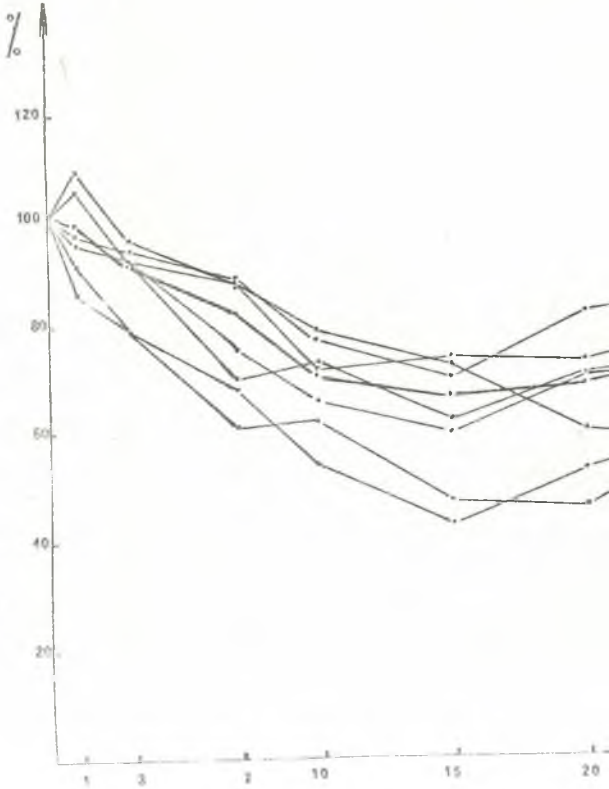

%
200
190
120
100
80
60
40
20
0
1
3
7
10
15
20



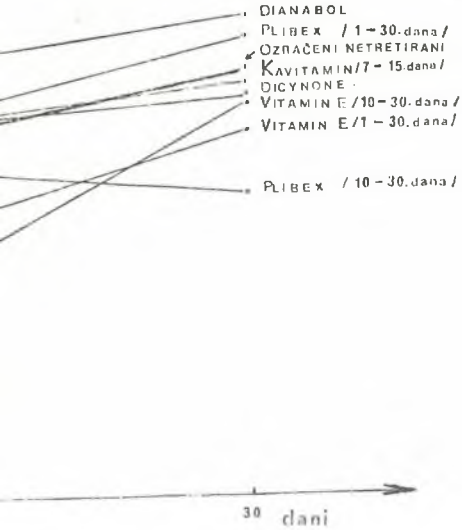



SL.1. LEUKOCITI U PERIFERNOJ KRVI

30 dani




SL2.


DIANABOL
PLIBEX / 1 – 30. dana /
OZNAČENI NETRETIRANI
KAVITAMIN / 7 – 15. dana /
DICYNONE
VITAMIN E / 10 – 30. dana /
VITAMIN E / 1 – 30. dana /
PLIBEX / 10 – 30. dana /
30 dani

XI. Jugoslavenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24. aprila 1981.

Živan Deanović, Jasminka Pavelić i Branko Vitale
Institut "Rudjer Bošković", Zagreb, p.p. 1016
OOUR Eksperimentalna biologija i medicina

# SPECIFIČNOSTI RADIJACIJSKE BOLESTI U MIŠEVA OZRAČENIH BRZIM NEUTRONIMA

U preporukama Medjunarodne komisije za zaštitu od zračenja (ICRP )[1] od 1977. godine navodi se da je faktor kvaliteta (Q) za neutrone jednak 10. Medjutim, o energetskom spektru neutrona kao i o dozi uvelike će ovisiti njihov biološki efekt. Taj efekt je takodjer ovisan i o vrsti i veličini ozračene žive jedinke. Imajući u vidu sve te činjenice, pokušali smo na miševima CBA soja usporediti neke,pretežno hematološke, parametre nakon ozračenja životinja različitim dozama gama-zraka ($^{60}$Co - panoramski izvor) ili brzih neutrona ( izvor - ciklotron sa $\bar{E}_n$ od 4 - 5 MeV).

Na slici 1 prikazan je diagram preživljavanja unutar grupa od 15 miševa koji su bili akutno ozračeni s 4 različite doze gama-zraka. Dok uz dozu od 680 cGy nije tokom 30 dana uginuo ni jedan miš, nakon 900 cGy svi su uginuli izmedju 8. i 12. dana po ozračenju; to je njihova redovita "hematološka smrt".[2]

Pogledamo li na slici 2 kako su slične grupe miševa preživljavale razne doze brzih neutrona kontinuiranog spektra (iz ciklotrona), vidimo da je više od 20 % miševa podleglo dozi od 315 cGy, da je u grupi ozračenoj s 400 cGy uginulo 80 % životinja, a miševi koji su primili 470 cGy i više svi su uginuli i to već unutar 6 dana. Istražujući uzrok ovog ranog ugibanja, ustanovili smo da se radi o tzv. "intestinalnoj smrti". Na slici 3 dobro se vide opsežne degenerativne i nekrotične promjene na sluznici odnosno resicama tankog crijeva tih životinja ozračenih neutronima. (Za usporedbu na slici 4 vide se normalne crijevne resice intaktnog miša ). Znači da u miša već doza od oko 500 cGy izaziva smrtonosni gastro-intestinalni oblik akutne radijacijske bolesti.

Pomoću konstruiranih doza - efekt krivulja (slika 5) izračunali smo $LD_{50/30}$ za miševe ozračene gama-zrakama - 780 cGy, te za životinje ozračene brzim

neutronima iz ciklotrona = 360 cGy. Prema tome, RBE faktor (≈ Q faktor) za CBA miševe izložene brzim neutronima kontinuiranog spektra s prosječnom energijom 4 - 5 MeV iznosi 2,16.

Kretanje tjelesne težine miševa ozračenih jednim ili drugim izvorom zračenja poslužilo nam je kao jedan od objektivnih pokazatelja dinamike i težine radijacijske bolesti. Životinje koje su primile letalnu dozu brzih neutrona (900 cGy) pokazivale su znatno nagliji i izraženiji pad tjelesne težine u usporedbi s miševima koji su bili takodjer letalno ozračeni (950 cGy) ali gama-zrakama.

U posebnom eksperimentu miševi su bili zračeni raznim subletalnim dozama (20, 40, 80 i 160 cGy) gama-zraka ili brzih neutrona, pa smo kod njih pratili u razmacima od 4 dana promjene broja nukleiranih stanica koštane srži, matičnih stanica hematopoeze te leukocita odnosno limfocita u perifernoj krvi.

Zapaženi pad staničnog sadržaja u koštanoj srži nakon ozračenja od 80 cGy na više bio je najjače izražen u drugom danu i to uglavnom proporcionalno s dozom; i ovdje je efekt neutronskog ozračenja bio uz iste doze značajno jače izražen. Nakon toga slijedio je postepeni oporavak jednako u gama-ozračenih kao i u miševa ozračenih brzim neutronima.

Za odredjivanje broja matičnih stanica hematopoeze poslužili smo se klasičnom metodom Till-a i McCulloch-a (1961)[3] pomoću ubrizgavanja stanica koštane srži letalno ozračenim miševima-primaocima te brojenja kolonija u njihovoj slezeni. Usporedba efekta gama-zraka i brzih neutrona na postotak preživjelih matičnih stanica i to u 2. danu poslije ozračenja prikazana je na slici 6. Vidi se da je efikasnost brzih neutrona u pogledu "ubijanja" matičnih stanica za oko 6 puta veća od efikasnosti gama-zraka.

Od bijele loze u perifernoj krvi najizrazitije je kretanje broja limfocita. Već u drugom danu poslije izlaganja jednom ili drugom izvoru zračenja strmo pada broj preživjelih limfocita, i to prilično proporcionalno s primljenom dozom. Na slici 7 vidi se značajno strmiji pad broja limfocita kod miševa ozračenih na ciklotronu od onog pada izraženog kod životinja izloženih istim dozama gama-zraka (od prilike za faktor 2). S obzirom da limfocite zahvaća i "smrt u interfazi", razumljiva je tolika osjetljivost tih stanica.[4] Upravo zbog toga može se smatrati da praćenje apsolutnog broja limfocita u perifernoj krvi može poslužiti

kao praktičan hematološki pokazatelj radijacijskog oštećenja. Čini se da je taj pokazatelj još osjetljiviji kad se radi o ozračenju brzim neutronima.

Summary: SPECIFICITIES OF RADIATION DISEASE IN MICE IRRADIATED BY FAST NEUTRONS

In CBA mice exposed to different lethal doses of gamma or fast neutron irradiation, some haematological parameters were compared. The effectiveness of cyclotron -produced neutrons was considerably greater than the same dose of gamma-rays in provoking: lethal effect, haematopoietic and gastro-intestinal damage.

In the range of sublethal doses, the investigation of bone-marrow cellularity - especially of haematopoietic stem cells - as well as the periferal blood counting were performed. Fast neutron sublethal irradiation provoked a more pronounced decrease in the number of nucleated bone-marrow cells and of circulating lymphocytes than the same doses of $^{60}Co$ gamma-rays.

Literatura:

1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, 1(No 3) 1977, ICRP Publication 26

2. Burek, V.: Dinamika i regulacijski mehanizmi obnove krvotvornog tkiva nakon subletalnog ozračenja, Disertacija, IRB, Zagreb 1977.

3. Till,J.E. & McCulloch,E,A.: Adirect measurement of the radiation sensitivity of normal mouse bone marrow cells, Radiat. Res., 14:213,1961.

4. Kozinets, G.: Radiation effects on the lymphocytic cell renewal system, in: Manual on Radiation Haematology, IAEA & WHO,Vienna 1971, p. 129 .

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. - 24. april 1981.

I.Selak, Z.Miloešević, Z.Marković, E.Horšić, R.Kljajić
Institut za patologiju Medicinskog fakulteta Sarajevo
Zavod za radiologiju Veterinarskog fakulteta Sarajevo

# MANIFESTACIJE RADIJACIONOG SINDROMA KOD LETALNO OZRAČENIH EKSPERIMENTALNIH KOZA

## REZIME

*U radu je prikazan radijacioni sindrom koza, jednokratno ozračenih letalnom dozom tvrdog X zračenja sa posebnim osvrtom na hemoragične manifestacije. Zapaženo je da su hemoragije dominantna manifestacija radijacionog sindroma kod ovi životinja a praćene su odgovarajućim promjenama u kliničkoj i krvnoj slici.*

*Patoanatomski ustanovljena su kod svih životinja brojna makroskopski vidljiva krvarenja koja su kod izvjesnog broja životinja bila i direktan uzrok smrti. Patohistološki utvrdjena je incidencija krvarenja naročito u mozgu, miokardu, bubregu i slezeni.*

## U V O D

Radijacioni sindrom kod velikih životinja predstavlja jedan od najznačajnijih problema radiobilogije u cijelom svijetu. Iako je obavljen velik broj eksperimentalnih iskustava ipak je ostalo mnogo neriješenih pitanja. Značaj istraživanja u ovoj oblasti ocrtava se u činjenici da se reakcije od radijacije i procjena oporavljanja od štetnog djelovanja zračenja dobivene kod velikih životinja mogu mnogo bolje koristiti za predvidjanja reakcija na ljudima, i da su kvalitativno uporedivi u pogledu praga za akumulaciju radijacionih povreda kod čovjeka.

## Materijal i metode

Za istraživanja je upotrijebljeno 15 koza autohtone pasmine iz Hercegovine u starosti od 2 - 4 godine, težine 26-42 kg. Ozračivanje eksperimentalnih životinja izvršeno je tvrdim X zrakama u visini letalne doze. Za patohistološke nalaze primjenjena je standardna tehnika.

Sve označene životinje uginule su 5 - 10 dana nakon označivanja, dok su one iz kontrolne grupe žrtvovane nakon 10 dana.

## Rezultati i diskusija

Budući da su krvarenja dominirala kako u kliničkoj tako i u patološko anatomskoj slici u radu ćemo prikazati njihovu zastupljenost, lokalizaciju i opsežnost.

Rezultati su prikazani u tabeli i slikama. U tabeli 1 prikazana je zastupljenost i opsežnost krvarenja po organima i sistemima. Upada u oči da su krvarenja nadjena u svim pregledanim organima ali u različitim oblicima i intenzitetu. Kod dvije životinje su krvarenja bila i neposredni uzrok smrti. Kod jedne je nadjeno opsežno krvarenje u perikardu što je dovelo do tamponade srca (Sl.1) a u drugom slučaju je bila izražena masivna gastro-intestinalna hemoragija.

TABELA 1 ZASTUPLJENOST KRVARENJA I OPSEŽNOST, PO ORGANIMA I SISTEMIMA KOZA OZRAČENIH LETALNOM DOZ

| ISPITIVANI ORGANI I SISTEMI | | zastupljenost krvarenja kod ispitivanih životinja | | | | | | | | | | zastupljenost u % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 0 | + | ++ | +++ | drugo |
| koža, potkožje i mišići | | ++ | +++ | + | ++ | ++ | +++ | + | ++ | ++ | +++ | 0 | 20 | 50 | 30 | 0 |
| gastro intestinalni trakt | želudac | ++ | +++ | ++ | + | +++ | +++ | ++ | ++ | +++ | +++ | 0 | 10 | 40 | 50 | 0 |
| | tanko crevo | +++ | +++ | + | +++ | ++ | +++ | ++ | +++ | +++ | ++ | 0 | 10 | 30 | 60 | 0 |
| | debelo crevo | ++ | +++ | + | ++ | +++ | +++ | + | +++ | ++ | +++ | 0 | 20 | 30 | 50 | 0 |
| respiratorni sistem | pluća | +++ | ++ | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | +++ | +++ | 0 | 20 | 50 | 30 | 0 |
| | sleznа | +++ | +++ | ++ | +++ | +++ | ++ | + | +++ | +++ | ++ | 0 | 10 | 30 | 60 | 0 |
| | slušnice | + | + | + | ++ | ++ | + | ++ | + | + | + | 0 | 70 | 30 | — | 0 |
| srce | endokard | + | ++ | + | + | +++ | +++ | ++ | ++ | +++ | +++ | 0 | 30 | 30 | 40 | 0 |
| | epikard | ++ | +++ | ++ | +++ | ++ | ++ | ++ | +++ | + | + | 0 | 20 | 50 | 30 | 0 |
| | miokard | ++ | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | ++ | 0 | 40 | 60 | — | 0 |
| urinarni trakt | slušnice | ++ | ++ | ++ | ++ | 0 | ++ | + | + | + | ++ | 10 | 30 | 60 | — | 0 |
| | bubreg | + | 0 | ++ | + | + | + | ++ | + | 0 | + | 20 | 10 | 20 | — | 0 |
| jetra | | + | 0 | + | + | + | 0 | + | 0 | + | 0 | 40 | 10 | — | — | 0 |
| mozak i moždane ovojnice | | ++ | +++ | +++ | + | ++ | +++ | ++ | + | ++ | ++ | 0 | 20 | 50 | 30 | 0 |
| slezena | | + | + | 0 | + | + | + | 0 | + | + | 0 | 30 | 70 | — | — | 0 |
| limfni čvorovi | | + | + | + | 0 | + | 0 | + | + | + | 0 | 30 | 70 | — | — | 0 |

| LEGENDA | |
|---|---|
| opsežno krvarenja | +++ |
| srednje izražena | ++ |
| oskudna krvarenja | + |
| nije prisutna | 0 |

Manifestacije krvarenja po sistemima pokazuju slijedeću sliku. U koži, potkožnom tkivu i muskulaturi kod svih životinja su nadjena krvarenja u formi petehija (20%), petehija i sugilacija (u 50% slučajeva), dok su opsežnija krvarenja (difuzni krvni podlivi) nadjena kod tri životinje. Krvarenja su najčešće bila lokalizirana a najjače izražena u predjelu plećki i grudnog koša.

Krvarenja u gastro-intestinalnom traktu (sluznice, zid i seroza) bila su dominantan nalaz kod ozračenih životinja. Manifestirala su se u obliku ekhimoza u najmanjem procentu 10-20% te u vidu sugilacija sluznice i zida u 30-50%, dok su najteža krvarenja u vidu difuzne infiltracije svih slojeva zida kao i okolnog radiksa mezenterija nadjeni kod polovine životinja (sl. 2).

U respiratornom traktu, zapravo u njegovim sluznicama, krvarenja su se manifestirala u vidu tačkastih krvarenja i sufuzija dok su krvarenja u parietalnoj i visceralnoj pleuri bila prisutna kod svih životinja i to uglavnom u najtežim oblicima (60%). I u parenhimu pluća su takodjer prisutna krvarenja uglavnom u vidu hemoragične infiltracije.

Kao upadljivi pato anatomski nalaz na srcu nadjena su krvarenja koja su pogadjala sve slojeve zida a najteže su bile pogodjene aurikule u vidu difuzne hemoragične infiltracije. Tačkasta i slivena krvarenja bila su prisutna u svim slojevima zida.

Krvarenja u urinarnom traktu su predominirala u sluznicama sa sufuzijama do 60%. Slična situacija je bila i u parenhimu i kapsuli bubrega.

Krvarenja u tkivu jetre, slezene i limfnih čvorova bila su dijagnosticirana tek na mikroskopskim isječcima i bila su u vidu sitnih tačkastih krvarenja. I u mozgu kao i nekim moždanicima su dominirala tačkasta krvarenja.

Kao najmarkantniji patološko-anatomski nalaz kod letalno ozrečenih životinja nadjena su, uz krvarenja, i upalne promjene uglavnom u respiratornom i digestivnom traktu, te trombotični materijal u sitnim krvnim sudovima nekih organa i brojne fokalne nekroze i degenerativne promjene u parenhimnim organima.

Nalaz opsežnih krvarenja u svim sistemima i organima zajednički je za sve eksperimentalne životinje.

Literaturni podaci koji tretiraju patogenezu nastalih hemoragija kod životinja su veoma oskudni (3,11,12). Tumačenje ove pojave daju i neki drugi autori gdje su simptomatologija i hemoragične manifestacije na organima bile slične, a uzroci različiti. Opsežna krvarenja naročito u respiratornom i digestivnom traktu paralelno sa zapaljivim procesima nadjeni su i na humanom materijalu kod hemoragične groznice (2,5,lo). Kod svih životinja i u većini organa nadjena su oštećenja zida krvnih sudova i njihovog permeabiliteta, te poremećaj mikrocirkulacije sa nalazom multiplih tromba u manjim krvnim sudovima. Teške degenerativne promjene ćelija parenhimnih organa, fokalne nekroze su posledica vaskularnih promjena i nisu specifična za ova oboljenja nego ih nalazimo i u raznim drugim patološkim stanjima (protrahirani šok i hipoksidoze).

Hemoragični period, očigledno je patofiziološka i morfološka posledica poremećaja na kapilarima i u sistemu grušenja krvi.

Produženo protrombinsko vrijeme i vrijeme koagulacije koje je prema kliničkim podatcima postojalo i kod naših eksperimentalnih životinja govore takodje u prilog da poremećaji koagulacije predstavljaju jedan od najglavnijih patogenetskih momenata u razvoju hemoragičnog sindroma kod ozračenih životinja. Prisustvo i nalaz kapilarnih tromba uz pojavu hemoragija kao što je slučaj kod ovih životinja donekle potkrepljuju tvrdnju da je hemoragični sindrom usko vezan za diseminiranu intravaskularnu koagulaciju koja nastaje zbog direktnog oštećenja endotela kapilarnih krvnih sudova, što bi dovelo do povećanja tromboplastične aktivnosti u ovoj fazi koagulacije (8).

Ovi nalazi veoma su slični rezultatima eksperimentalnih istraživanja sistema hemostaze kod raznih vrsta šoka (1,6,7,8,10).

*SUMMARY*

*This paper deals with the radiation syndrome in goats treated once with lethal dosage of X-rays with particular consideration to haemorrhagic manifestations.*

*Haemorrhage was observed as dominant manifestation of radiation syndrome in these animals accompanied with corresponding changes in clinical and blood picture.*

*Numerous haemorrhages macroscopically obvious and pathoanatomically established in all animals were direct cause of death in certain number of animals.*

*The incidence of haemorrhage was pathohistologically established particularly in brain, myocardium, kidney and spleen.*

## L I T E R A T U R A


1. Bergentz S.E.: Georg Thime Verl. Stuttgart, 1966.
2. Bojanić N., Brankovan K., Djoković V.: Zbornik radova Vojnomedicirske akademije 272-274, Beograd,1962
3. Edmondson P.W., Batchelor A.L.: Internatonal Journal of radiation Research 50 No 3, 260-290, 1971.
4. Hupp E. W., Austin J.W., Krise G.M., Brown S.O., Szabuniewicz M.: International Journal of Radiation Biology 20, No 5, 475-484, 1971.
5. Gmaz-Nikulin E., Kahvić M., Marković Z., Rimski B.: Folia med.fac. med. Saraev, 3, 139-160, 1968.
6. Hardaway R.: Arch. Surg. 83, 842-85o, 1961.
7. Hardaway R.: Ann. Surg. 153/3, 325-328, 1962.
8. Hardaway R.: Thomas publ. Springfield, 1966.
9. Leonard A. et al: Mutat. Res. 36, No 3, 319-332, 1976.
10. Nikulin A., Plamenac P., B., Gmaz-Nikulin E.: Folia med. fac. med. Saraev, 5, 53-67, 1969.
11. Sasser L.G. et. al: American Journal of Research 34, 12, 1555-156o, 1973.
12. Sasser L.B. et al: Radiation Research 47, 1, 24o, 1971.

SL. 1. Opsežno krvarenje u perikardijalnoj kesi (haematopericardium)

SL. 2. Difuzno krvarenje u zidu crijeva i radiksu mezenterija.

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21. - 24. april, 1981.

Jevrosima BEGOVIĆ, Slobodanka STANKOVIĆ i R. MITROVIĆ

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu, Beograd - Zemun

# UTICAJ X-zraka NA BLAST TRANSFORMACIJU I MITOTSKI INDEKS LIMFOCITA SVINJA in vitro

Ispitivan je efekat X-zračenja na limfocite periferne krvi svinja i n v i t r o. Efekat zračenja praćen je preko mitotskog indeksa, blast transformacije limfocita i njihove sposobnosti da sintetizuju DNK u odnosu na neozračene limfocite u kulturi stimulisane fitohemaglutininom (PHA).

Mitotski indeks i procenat transformisanih ćelija odredjivan je na 500 ćelija kako neozračenih tako i ozračenih kultura. Brzina i dinamika sinteze DNK odredjivana je na osnovu nivoa i brzine inkorporacije obeleženog $^{3}$H-timidina.

Sposobnost ćelija da proliferišu i sintetizuju DNK ispitivana je u funkciji vremena i doze ozračivanja ćelija u kulturi.

Limfociti u kulturi stimulisani specifičnim ili nespecifičnim mitogenom iz stanja mirovanja prelaze u aktivno stanje rasta (Hausen i Stein, 1968, Kay 1968) zbog čega su veoma pogodni kao model za ispitivanje metaboličkih i biosintetskih aktivnosti u i n v i t r o uslovima. Sobzirom na ulogu koju ove ćelije imaju u imunobiologiji i njihovu izrazitu radioosetljivost to je ova vrsta ćelija postala predmet istraživanja mnogobrojnih istraživača, kako i n v i v o (Schrek, 1958, Neff i Cassen, 1967), tako i i n v i t r o (Schrek i Stefani, 1964, Fliender, 1966), a koji su ispitivanja vršili uglavnom na humanim i limfocitima periferne krvi eksperimentalnih životinja.

U ovom radu prikazan je deo rezultata naših višegodišnjih izučavanja uticaja X-zračenja (i n v i t r o) na limfocite periferne krvi domaćih životinja (svinja), koja se odnose na mitotski indeks, procenat blast transformisanih ćelija i dinamiku sinteze DNK u zavisnosti od doze ozračivanja, u cilju procene radijacionog oštećenja.

## M a t e r i j a l i m e t o d e

Za ova ispitivanja korišćena je krv svinja oba pola, starosti 5-6 meseci, rase Šveski landras. Krv je vadjena iz vene jugularis pod sterilnim uslovima. Kao antikoagulans korišćen je heparin 20 U/ $10^{-3}$L.

Izdvajanje limfocita iz pune krvi, zasejavanje kultura i uslovi inkubacije dati su detaljno u radovima Begović i sarad., 1979. i Begović i Gligorijević, 1976.
Mitogen: Fitohemaglutinin, Burrough Wellcame, London.
Sinteza DNK je praćena brzinom inkorporacije thymidin-2-$^{14}$C (spec. akt. 1850 MBq/mMol, Radiochemic, Ctr., Amersham, London).

Kao izvor zračenja korišćen je Röndgen apara, marke "Philips" za dubinsku terapiju. Uslovi zračenja: tubus 30x15x10, napon 200kV, FOO - 0,5 m, Filtri- 0,5 Cu i 1 Al. Brzina doze ozračivanja 0,43 x $10^{-3}$ A/kg.

## R e z u l t a t i i d i s k u s i j a

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja uticaja X-zračenja na limfocite periferne krvi svinja u kulturi, koji su stimulisani nespecifičnim mitiogenom - fitohemaglutininom (PHA) u odnosu na neozračene. Rezultati izučavanja prikazani su mitotskim indeksom, procentom blast transformisanih ćelija i dinamikom sinteze DNK.

Rezultati dobijeni ispitivanjem uticaja X-zraka na transformaciju limfocita i n v i t r o i mitotski indeks u stimulisanim kulturama prikazani su u tabeli 1.

TABELA 1. UTICAJ X-ZRAKA NA BLAST TRANSFORMACIJU I MITOTSKI INDEKS LIMFOCITA SVINJA I N V I T R O (NA 1000 ĆELIJA)

| DOZA C/KG x $10^{-2}$ | % TRANSFORMISANIH ĆELIJA | MITOTSKI INDEKS |
|---|---|---|
| 0 | 54,8 | 48 |
| 2,58 | 51,2 | 38 |
| 6,45 | 53,2 | 20,5 |
| 11,61 | 47,2 | 11,0 |

Iz tabele se vidi da niže doze ozračivanja ne utiču znatno na procenat blast transformacije dok mitotski indeks izrazito opada sa povišenjem doze ozračivanja. Ovi rezultati su u saglasnosti sa ispitivanjima i rezultatima koje su dobili Ćirković (1970), Conrad (1969), ispitujući humane limfocite i Gačević, 1973 kod limfocita svinja, dok Bari & Sorensen (1964) navode da ćelije ozračene umerenim dozama ne uginjavaju sve do prve ili druge postradijacione mitoze.

Naša ranija ispitivanja su pokazala da sinteza DNK u stimulisanim limfocitima svinja počinje nešto pre 24. sata od početka inkubacije i da je najintenzivnija oko 48. sata, kao i to da u nestimulisanim limfocitima nije zapažena nikakva dinamika porasta sinteze DNK, (Begović & Gligorijević, 1976). Ovaj podatak ukazuje da se u ovom periodu u toku transformacije, odnosno prolaska ćelija kroz generacioni ciklus, najveći broj ćelija nalazi u blast formi, tj. S-fazi.

Sinteza DNK u zavisnosti od doze ozračivanja praćena je u kulturama ozračenim u samom početku inkubacije i kulturama ozračenim 48 sati kasnije, tj. u periodu ćelijskog ciklusa u kome se dogadja najintenzivnija sinteza DNK. Rezultati ovih ispitivanja prikazani su na grafikonu 1. sa koga se vidi da procenat ćelija sposobnih da sintetizuju DNK naglo opada sa povišenjem doze ozračivanja

i to do 19,35 x $10^{-2}$ C/kg, dok je sa višim dozama opadanje nešto sporije. Kriva ukazuje na eksponencijalno povišenje inhibicije sinteze DNK. Inhibicija sinteze DNK kod kultura ozračenih u periodu intenzivne sinteze, takodje, je izrazitija pri nižim dozama, ali se već pri dozi od 12,90 x $10^{-2}$ C/kg uočava razlika u broju ćelija sposobnih za sintezu u odnosu na kulture ozračene na početku inkubacije.

Rezultati pokazuju da i posle ozračivanja ćelija sa 0,52 C/kg ostaje oko 20% ćelija sposobnih za sintezu kod kultura ozračenih na početku inkubacije i oko 30% kod ćelija ozračenih 48 sati kasnije, što ukazuje na postojanje ćelija sposobnih za sintezu DNK i posle ozračivanja sa 0,52 C/kg. Ispitivanja Sörn (1973) su pokazala da sve ćelije ne ulaze istovremeno u S-fazu, pa prema tome nisu podjednako osetljive na zračenje u datom momentu ozračivanja, čime bi se eventualno mogli objasniti ovi rezultati.

Pretpostavlja se takodje, da je povišena metabolička aktivnost stimulisanih limfocita vezana za povećanje obnovljene enzimske aktivnosti. Treba napomenuti da ne postoje podaci koji govore da su metabolički aktivni limfociti (u odnosu na nestimulisane) istovremeno i zaštićeni od mitotske smrti indukovane zračenjem (Rickinson & Ilbery, 1971).

## Zaključak

Rezultati ispitivanja efekta X-zračenja na stimulisane limfocite svinja u i n v i t r o sistemu pokazuju da:

- niske doze ozračivanja ne utiču znatno na procenat blast transformacije indukovane fitohemaglutininom, dok izazivaju značajno sniženje mitotskog indeksa (mitotski indeks kod doze od 11,6 x $10^{-2}$ C/kg u odnosu na kontrolu - 48);

- zračenje znatno inhibira sintezu DNK, što zavisi od vremena ozračivanja, odnosno od momenta u kom se stadijumu ćelije nalaze u toku transformacije, kao i dužine trajanja inkubacije nakon ozračivanja. Limfociti svinja, kao i humani su najosetljiviji na zračenje na prelazu iz kasne $G_1$ u ranu S-fazu;

- sa povišenjem doze ozračivanja procenat ćelija sposobnih za sintezu opada, odnosno eksponencijalno raste inhibicija sinteze DNK. Kod kultura ozračenih u početku inkubacije sa 0,52 C/kg oko 20% ćelija je sposobno za biosintetsku aktivnost, a kod onih ozračenih 48. sata čak i 30%.

# THE EFFECT OF X-RAYS ON BLAST TRANSFORMATION AND MITOTIC INDEX OF PIG LYMPHOCYTES *IN VITRO*

Jevrosima Begović, Slobodanka Stanković and R. Mitrović

Institute for the Application of Nuclear Energy in Agriculture, Veterinary Medicine and Forestry, Belgrade - Zemun

## S u m m a r y

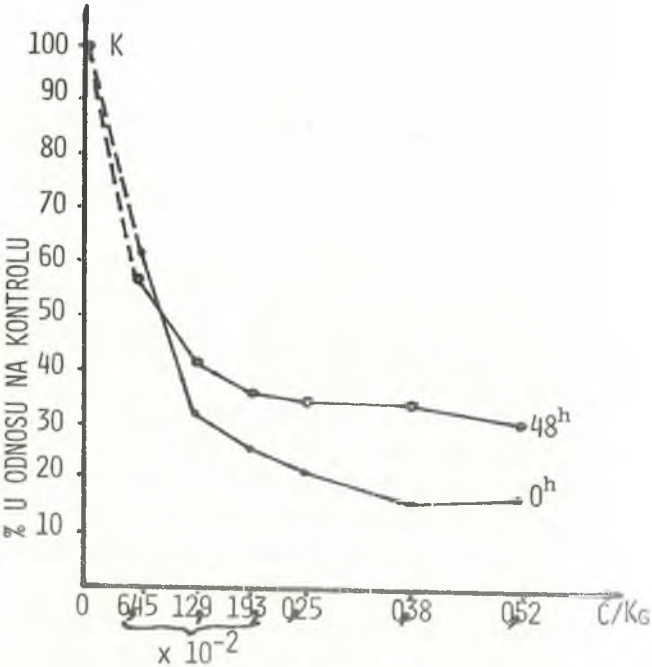
The effect of X-rays on the lymphocytes of the periphenal blood of pigs has been examined *in vitro*. The effect of irradiation was followed by the mitotic index, blast transformation of lymphocytes and their ability to synthesize DNA regarding non-irradiated lymphocytes in culture stimulated by photohaemaglutinine (PHA).

The mitotic index and percentage of transformed cells was determined in 500 cells of both non-irradiated and irradiated cultures. The rate and dynamics of DNA synthesis were determined on the basis of the level and rate of the incorporation of $^{3}$H-labelled thymidine.

The ability of these cells for proliferation and synthesis of DNA was examined in the function of time and dose of irradiation of cells in culture.

## R e f e r e n c e

1. Begović, J., Gligorijević, J., Veterinaria, Sarajevo, svez. 1-2, 1976.
2. Begović, J., Lazarević-Deretić, N. i Borojević, D., Periodicum Biologorum, 81, 517, 1979.
3. Conrad, R. A., Int. J. Radiat. Biol., 16, 157, 1969.
4. Ćirković, D., Strahlentherapie, 140, 318, 1970.
5. Gačević, M., Doktorska disertacija, Beograd, 1973.
6. Fliender, T. M., Symposium held at Bristol, April, p. 198, 1966.
7. Hausen, P. and Stein, H., Europ. J. Biochem, 4, 101, 1968.
8. Kay, J. E., Europ. J. Biochem. 4, 225, 1968.
9. Naff, R. D. and Cassen, B., J. Nuc. Med., 9, 402, 1967.
10. Schrek, R., J. Lab. Clin. Med., 51, 904, 1958.
11. Schrek, R. and Stefani, S., J. Nat. Canc. Inst., 32, 507, 1964.
12. Sören, L., Exptl. Cell. Res., 78, 201, 1973.




GRAF. 1 - SINTEZA DNK U ZAVISNOSTI OD DOZE OZRAČIVANJA I VREMENA U KOME JE OZRAČIVANJE VRŠENO

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Portorož, 21.-24.4.1981.

Nada BARJAKTAROVIĆ i Branislav PENDIĆ

Klinička bolnica grada Beograda

# HROMOZOMSKE ABERACIJE I UČESTALOST IZMENA SESTRINSKIH HROMATIDA U OSOBA AKCIDENTALNO OZRAČENIH PRE 21 GODINU

1958. godine na nuklearnom reaktoru u Vinči je ozračeno šest osoba dozama od 207-436 rad neutronskog i gama zračenja. Prve citogenetske analize su uradjene pet godina kasnije i pokazale su značajno povećanje broja hromozomskih aberacija. Sve kasnije periodične analize su pokazale da se izvesno povećanje strukturnih aberacija održavalo tokom svih ovih godina. Primenjena BUdR-harlequin tehnika za diferencijalno bojenje hromatida je pokazala da nema povećanja broja izmena sestrinskih hromatida u odnosu na kontrolu, što pokreće interesantno pitanje o ( različitom ) poreklu hromozomskih aberacija i izmena sestrinskih hromatida.

## UVOD

15. oktobra 1958. godine dogodio se akcident na nuklearnom reaktoru u Vinči prilikom koga je ozračeno šest osoba. Primljene doze su različito procenjene u vreme akcidenta, jer prema Auxier-u (1) totalna doza je iznosila izmedju 207 i 436 rada neutronskog i gama zračenja, prema Ritchie-u (2) od 350 do 640 rad, a prema Jammet-u (3) od 408 do 1024 rema. Pet preživelih osoba se od vremena akcidenta nalaze pod stalnom lekarskom kontrolom, a isto tako niko od njih ne radi u sferi jonizujućih zračenja. Njihovo zdravstveno stanje je zadovoljavajuće.

## MATERIJAL I METODE

Počevši od prvih analiza hromozoma koje su radjene pet godina posle akcidenta, citogenetske analize su ponavljane u odredjenim vremenskim razmacima. Tokom ovog perioda su se pojavile i nove tehnike za identifikaciju hromozoma, tako da smo njihovom primenom bili u stanju sa dosta preciznosti da pratimo tip i perzistenciju aberacija.

Analize su radjene iz limfocita periferne krvi po modifikovanoj metodi Moorhead-a(4). Tehnika G-traka pomoću proteolitičkog enzima radjena je po metodi Seabright (5).

U poslednjoj analizi uradjenoj na četiri od pet preživelih osoba, po prvi put smo primenili i novu BUdR tehniku za diferencijalno bojenje sestrinskih hromatida po metodi Wolffa i Perry-a iz 1974. godine (6).

## REZULTATI I DISKUSIJA

U našim ispitivanjima su od značaja bile uglavnom strukturne hromozomske aberacije, mada smo nailazili i na numeričke promene tipa tetraploidija, endoreduplikacija i hipodiploidnih setova. Numeričke promene ne mogu biti direktno vezane samo za ozračenu ćeliju, pa smo smatrali da je daleko precizniji parametar praćenje strukturnih hromozomskih aberacija i njihove perzistencije tokom svih ovih godina. Sumirani rezultati svih periodičnih analiza prikazani su na tabeli 1.

Podaci iz literature o preživljavanju ćelija sa nestabilnim i stabilnim promenama su dosta raznovrsni ( Norman 1966, ref. 7 ) , ali se većina proračuna slaže u tome da ćelije sa nestabilnim aberacijama ne mogu da prežive više od nekoliko godina. Medjutim, naši rezultati ukazuju na to da se ove aberacije zadržavaju znatno duže jer smo u svim periodičnim analizama nailazili i na dicentrične i ring-hromozome koji su klasifikovani u grupu nestabilnih promena.

Istovremeno smo analizirali kariotip i u cilju detekcije eventualno nastalog novog ćelijskog klona, jer neki autori iznose podatke o njima posle akcidentalnih ozračivanja: Littlegield (8), Bloom (9), medjutim, tokom svih ovih periodičnih analiza nismo bili u mogućnosti da detektujemo sličnu pojavu kod naših ispitanika.

Može se konstatovati da broj hromozomskih aberacija opada tokom godina, iako je njihov nivo još uvek povišen u odnosu na kontrolu.

| | 1963. | 1974. | 1977. | 1980. |
|---|---|---|---|---|
| R M ♂ | | 36% | 22% | 10% |
| D G ♂ | 28% | 20% | 12% | 9% |
| S H ♂ | 8% | 19% | 17% | 12% |
| R D ♀ | 25% | 26% | 10% | 13% |

TABELA 1. Hromozomske aberacije nadjene u periodičnim analizama naših ispitanika

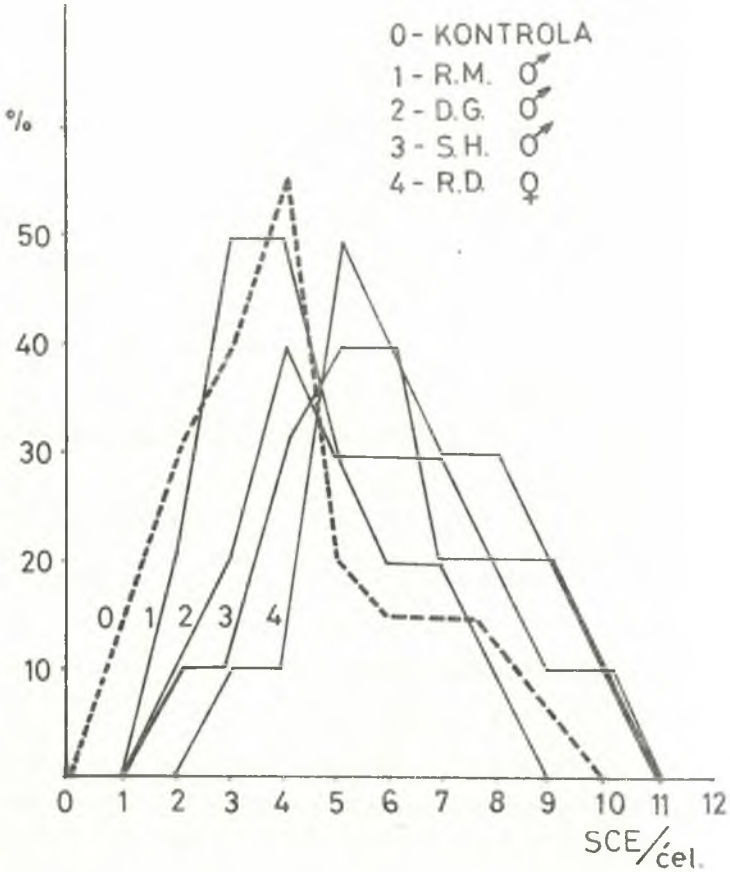



TABELA 2. Distribucija SCE po ćeliji

LITERATURA

1. Auxier,J.A., In Diagnosis and Treatment of Acute Radiation Injury,p.141, WHO, Geneva, 1961.
2. Ritchie,R.H., In Radiation Accidents ( G.S.Hurst and R.H. Ritchie,eds),p.1, Oak Ridge, TN, 1959.
3. Jammet,H. et al., Rev.Fr.Etud.Clin.Biol,4,p.210, 1959.
4. Moorhead,P.S. et al.,Exp.Cell Res.,20,p.613, 1960.
5. Seabright,M., Chromosoma,36,p.204, 1972.
6. Wolff et al., Chromosoma,48,p.341, 1974.
7. Norman,A., et al, Blood,27,p.706, 1966.
8. Littlefield, et al.,Excerpta medica,Int.Cong.Ser.,397, p.137, 1976.
9. Bloom,A.D., et al., Lancet,2,p.802, 1967.

# 10. s e k c i j a

## NEIONIZIRAJOČE SEVANJE

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21. - 24. april 1981.

Dipl.ing. Arpad Giser
Dr Slobodan Milićević
Odeljenje za medicinu rada BHI
Zavoda za preventivnu medicinu VMA - Beograd

# ZNAČAJ KLASIFIKACIJE LASERSKIH UREDJAJA ZA ZAŠTITU OD NJIHOVOG ZRAČENJA

Za bezbedan rad sa laserskim uredjajima neophodno je poznavanje stepena opasnosti kojem su izloženi njihovi korisnici. Na osnovu literaturnih podataka u članku su izloženi osnovni parametri na kojima se zasniva podela laserskih uredjaja na četiri osnovne klase. Takodje se ukazuje i na značaj klasifikacije u odnosu na mere zaštite pri korišćenju laserskih uredjaja odredjenih klasa.

## Uvod

Za protekle dve decenije primena laserskog zračenja je dostigla neslućene razmere. Medjutim, pored koristi od ove primene, lasersko zračenje ima i štetna dejstva na organizam čoveka. Zbog toga je neophodno preduzimati preventivne mere zaštite. U tom cilju je i izvršena klasifikacija laserskih uredjaja prema stepenu opasnosti za eksponirano ljudstvo. Ovo je učinjeno skoro u svim zemljama sveta koje rade na razvoju laserske tehnike, pa i kod nas /1, 2, 3/. Naš standard reguliše samo pitanje nalepnice ili znaka upozorenja prema klasi lasera. Medjutim, kod nas ne postoji propis ili standard po kome se može vršiti klasifikacija. Polazni prihvatljivi podaci za ovu klasifikaciju su razvijeni na osnovu standarda ANSI i BRH /4/ koji su slični. Svi laserski uredjaji su podeljeni u četiri klase.

Klasifikacija lasera

Klasa 1, obuhvata laserske sisteme koji se smatraju bezopasni za okolinu, tj. nesposobni da stvore oštećenja kod eksponiranog ljudstva u toku osmočasovnog rada /5/. Zbog toga su oni isključeni iz kontrolnih mera i drugih oblika nadzora. To je tzv. bezopasna kategorija laserskih uredjaja kod kojih ne postoji opasnost kako od direktnog tako i od reflektovanog zračenja. Ovoj klasi pripadaju i laseri čije gustine snaga ili energija u normalnim uslovima /bez oklopljavanja i dr. mera/ mogu da oštete organizam čoveka, ali koji su tehničkim merama saštite i tehnologijom posla bezbedni za rukovanje.

Klasa 2, obuhvata laserske sisteme čije zračenje ima talasnu dužinu iz vidljivog područja /400-700 nm/, i koji predstavljaju opasnost za čoveka. Ovde postoji mogućnost povrede oka ako se direktno gleda u zrak za odredjen period vremena. Za ovo talasno područje čovek ima izgradjen refleks zaštite treptanjem. Smatra se da je izlazna snaga za ovu klasu ograničena na 1 mW za kontinualne lasere i 1 mW vršne snage za lasere sa ponovljenim impulsima, kao i za skanirajuće lasere. Zbog toga se zahteva da ova kategorija laserskih uredjaja nosi nalepnicu, znak obeležavanja, što bi upozoravalo korisnika da ne gleda u snop laserskog zračenja. Ovo je kategorija tzv. lasera male opasnosti.

Klasa 3, laseri ove grupe pripadaju kategoriji tzv. umerene opasnosti. Ova kategorija ima dve podgrupe i to: klasa 3A i klasa 3B. Klasa 3A, obuhvata laserske sisteme gde direktno gledanje u snop ili ogledalaste refleksije snopa mogu biti opasne. Ova klasa obuhvata takodje vidljivo područje i dopušta izlaznu snagu sve do 5 mW za kontinualne lasere ili 5 mW vršne snage za impulsne lasere i za skanirajuće lasere /6/. U ovu kategoriju

spadaju i laserski sistemi gde se koriste i optički instrumenti, kada je laserski izlazni snop sakupljen i fokusiran,što mnogostruko povećava gustinu snaga i energija. Gustina snage u bilo kojoj tački u snopu ne sme premašiti 25 $W/cm^2$. Ovo je kategorija laserskih uredjaja koji moraju nositi nalepnicu /oznaku/, što upozorava korisnika da ne gleda u zrak /direktni ili ogledalasto reflektovan/ golim okom i da ne gleda snop sa optičkim instrumentima. Klasa 3B, obuhvata lasere koji mogu emitovati vidljivo ili nevidljivo zračenje, a čije izlazne snage ne premašuju granicu od 0,5 W u trajanju većem od 0,25 s ili gustine energije koje nisu veće od $10J/cm^2$, a pri izlaganju do 0,25 s.

Direktno gledanje u snop ovih uredjaja je vrlo opasno, ali pod izvesnim uslovima reflektovano zračenje ovih uredjaja može biti bezopasno, što zavisi od daljine, vremena izlaganja i prečnika difuzne slike /1/.

Klasa 4, obuhvata laserske uredjaje velike snage i energije iz vidljivog, ultraljubičastog i infracrvenog spektra zračenja. Gustine snage i energije laserskih sistema iz ove klase premašuju sve nivoe iz prethodnih klasa. Sistemi iz ove klase zahtevaju dodatne mere zaštite koje sprečavaju izlaganje oka i kože direktnom ili difuzno reflektovanom snopu laserskog zračenja. Laserski uredjaji iz ove klase moraju da nose nalepnice ili oznake koje upozoravaju ljudstvo na opasnost od zračenja. Ovo je kategorija tzv. laserskih uredjaja velike opasnosti.

Navedene vrednosti snaga i energija laserskog zračenja kao i njihovih gustina, ne mogu se primeniti u svim slučajevima. Za preciznije preračunavanje i klasifikaciju laserskih uredjaja, posebno kada se radi o graničnim vrednostima, treba koristiti vrednosti, u tabeli 1 i 2, koje daje navedeni ANSI standard.

Značaj klasifikacije

Napred navedena klasifikacija ima veliki značaj u preduzimanju preventivnih mera zaštite od laserskog zračenja. Donošenjem propisa o klasifikaciji laserskih uredjaja i njihovim odgovarajućim obeležavanjem tzv. znacima upozorenja, korisnik ima mogućnost da se već pri prvom upoznavanju sa laserskim uredjajem orijentiše i da zna sa čime radi. To znači da je odmah jasno da sa upoznavanjem klasifikacije laserskog uredjaja, mi već imamo i predstavu o riziku i o obaveznim merama zaštite.

Postojeći propisi /standardi/ predvidjaju da je klasifikaciju dužan da izvrši proizvodjač pri definitivnoj izradi laserskog uredjaja. Medjutim, na ovo je obavezan i korisnik, ukoliko je dodatnim prepravkama učinio da laserski uredjaj pripada nižoj ili višoj klasi. To može biti oklopljavanje uredjaja ili zračenja, kada se rizik smanjuje i kada taj uredjaj u tom slučaju pripada nižoj klasi. Isti je slučaj i pri skidanju oklopa ili preduzimanju drugih mera kada laser pripada višoj klasi. U svim tim slučajevima korisnik je dužan da stavi na uredjaj odgovarajuću nalepnicu ili znak upozorenja, prema propisu, odnosno klasi kojoj dotični laser pripada.

Zaključak

Očigledna je korist od klasifikacije laserskih uredjaja u preduzimanju preventivnih mera zaštite od njihovog zračenja. Proizvodjači i korisnici su obavezni da se ove klasifikacije pridržavaju. Organi kontrole i svi oni koji se bave zaštitom od laserskog zračenja su dužni da kontrolišu da li se ovi propisi iz klasifikacije pravilno sprovode. Sve ovo će smanjiti rizik i oštećenja od laserskog zračenja. U našoj zemlji predstoji dodatni napor da se donese primarni propis - standard iz klasifikacije lasera.

SUMMARY

CLASSIFICATION OF LASER DEVICES AND IT IMPORTANCE FOR PROTECTION OF ITS RADIATION

For the safe use of laser devices the users need have knowledge about hazard to which they are exposed. This hazard is connected with classification of laser devices in four classes. In this article authors give fundamental parameters for classification. The authors also point out the importance of the classification related to the preventive measures when lasers from particular class are used.

LITERATURA:

1. American National Standard for the Safe Use of Lasers, ANSI Z136.1-1976.
2. Obeležavanje laserskih proizvoda, zatvorenih prostorija i terena, JUS N.S9.025, 1978.
3. International Radiation Protection Association /IRPA/, Overviews on nonionizing radiation, 60-74, april, 1977.
4. Performance Standard for Laser Products, Bureau of Radiological Health, Dept.of Health, Education and Welfare, July,1975.
5. Holzinger G.: Laserklassen, Laser 79, Opto-electronics, 646-648, Munich, 1979.
6. International electrotechnical commission, Technical committee No.76: Laser equipment, 14-18, November, 1976.

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
PORTOROŽ, 21.-24.4.1981.

Mr.Sc. Tomašević Miroslav

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

# REZULTATI ISPITIVANJA PARAZITNOG ZRAČENJA KOD ELEKTRONSKE PEĆI DOMAĆE PROIZVODNJE EP-2000 DP

Za vreme upotrebe elektronskih peći, koje koriste mikrotalasnu energiju, može se u njihovoj okolini registrovati parazitno zračenje energije.
U radu su prikazani rezultati naših ispitivanja elektronske peći EP-2000-DP domaće proizvodnje pod različitim uslovima korišćenja. Merenja su obavljena na oko 5o peći u proizvodnom pogonu, pre njihovog puštanja u eksploataciju, kao i na izvesnom broju peći, koje se redovno koriste za spravljanje hrane u domaćinstvima.

Ispitivanje parazitnog zračenja mikrotalasne energije kod elektronske peći model EP-2000 DP, koja kao izvor zračenja koristi magnetron Toshiba 2M 57A, izvršili smo u pogonu proizvodjača na 5o uzoraka. Prilikom ispitivanjapridržavali smo se preporuka IEC /Publikacija 335-22, tačka 32.1/ i propisa JIS/ Japanese Industrial Standard C 9250 od 1974. godine, tačka 7.2.11/. Prema ovim preporukama i propisima za vreme kontrole parazitnog zračenja mikrotalasne peći u njenoj se unutrašnjosti mora nalaziti sud sa 275 $cm^3$ vode, prethodno zagrejane do 20°C. Merenje se obavlja na rastojanju od 5 cm od površine peći, a izmerene vrednosti ne smeju prelaziti 1 $mW/cm^2$ pri potpuno zatvorenim vratima na peći i 5 $mW/cm^2$ za slučaj kada se vrata maksimalno odvoje od kućišta a da mikroprekidači ne reaguju. Za ova ispitivanja koristili smo instrument Narda Mikroline, Model 8100 B sa sondom Model 8120A opsega 2 $mW/cm^2$, uz korišćenje konusnog držača odstojanja model 8140A /1,2,3,4/.

Rezultate naših ispitivanja prikazali smo na crtežu, kako bi što jasnije pokazali ponašanje parazitnog zračenja, koje se oslobadja

iz peći za vreme njenog rada. Uočava se da ne postoji neka zakonitost u tome na kome mestu treba očekivati manje a na kome veće vrednosti. Ako se sonda polako pomera duž ivice vrata, nailazi se na mesta sa vrlo različitim vrednostima parazitnog zračenja. One se skokovito pojavljuju i izčezavaju i ne može se predvideti mesto sa većim odnosno manjim vrednostima. Ukoliko se kontrola ponovi, tada se slika može sasvim izmeniti, jer izmerena veličina parazitnog zračenja nije karakteristična za odredjeno mesto na kome se merilo. Ispitivanja smo obavljali i sa različitom količinom vode u peći od one koja je propisima bila odredjena. Koristili smo 100, 200, 300, 400, 500 i 600 $cm^3$ vode i tada smo uporedili dobijene rezultate videli smo da ni u ovom slučaju nema neke zakonitosti. Sa povećanjem količine vode u peći izmerene vrednosti na odredjenim mestima nisu bile sa njom u nekoj korelaciji.

Merenja su pokazala da u svim slučajevima parazitno zračenje mikrotalasne energije nije bilo veće od propisanih maksimalno dozvoljivih vrednosti, ali nismo bili u stanju da veličinu zračenja dovedemo u vezu ni sa odredjenim mestom na peći, niti sa količinom absorbenta mikrotalasne energije u peći. Naravno, postojala su mesta na peći, na kojima smo uvek dobijali najveće vrednosti, kao npr. kod selektora mikrotalasne energije i tajmeru. Na veličinu parazitnog zračenja u velikoj meri utiče da li su vrata pravilno montirana i da li je ispravno postavljena zaptivka na njima. Za eksploataciju ovo je od velikog značaja, jer ukoliko se sa vratima pažljivo rukuje i ne ošteti i ne deformiše zaptivka, možemo tvrditi da će zaštita biti uspešna. Medjutim, ukoliko tokom eksploatacije zaptivka bude oštećena, možemo očekivati povećano zračenje u okolini peći.

Prema tome svako uputstvo za rukovanje sa ovom peći mora korisnika da upozna sa načinom održavanja peći, njenih vitalnih delova i zaštitnih sistema.

Pošto u nas nema zakonskih propisa, koji regulišu ovu materiju, možemo zaključiti da su izmerene vrednosti parazitnog zračenja mikrotalasne energije kod elektronske peći KP-2000 DF znatno niže od maksimalno dozvoljivih vrednosti u stranim standardima.

parazitno zračenje
mikrotalasne peći
mW/cm²
0.10
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
leva ivica
gornja ivica vrata
desna ivica
cm

SUMMARY

INVESTIGATIONS ON LEAKAGE RADIATION FROM MICROWAVE OVENS MODEL EP-2000-DP OF YUGOSLAVE PRODUCTION

Mr.Sc.Tomašević Miroslav

Institute on Occupational and Radiological Health
"Dr.Dragomir Karajović" Belgrade, Deligradska 29

During the use of electronic ovens involving the microwave energy some leakage of radiation can be registered in the nearest vicinity. The results of our investigations on microwave oven Model EP-2000-DP of yugoslave production under different conditions of its use are presented in the paper. Before their dispatch for sale about 50 ovens have been under the surveys at the very plant. We have undertaken the surveys on a few ovens that have already been used regularly in domestic purposes for preparation of food, as well.

LITERATURA

1. Tomašević M. : Mikrotalasna zračenja. Zbornik radova izlaganih na sastancima sekcije za medicinu rada srpskog lekarskog društva u periodu od januara 1978. do decembra 1979.godine. Beograd, februar 1980. str. 201.

2. Tomašević M. : Izvori mikrotalasnog zračenja koji se koriste u domaćinstvima. Zbornik radova IX.Simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja. Jajce, 31. maj - 3.juni 1977. godine, str. 547 - 551.

3. Tomašević M. : Kontrola parazitnog mikrotalasnog zračenja kod mikrotalasne peći namenjene za spravljanje hrane. Zbornik radova IX. Simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja. Jajce, 31.maj - 3. juni 1977.godine, str. 551 - 553.

4. NARDA : Electromagnetic Leakage Monitor Model 8100 B Data Sheet 19-6

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Portorož, 21. - 24. 4. 1981.

Ljerka Alunić

Institut za pomorsku medicinu, Split

# MJERENJE MIKROVALNOG ZRAČENJA NA BRODOVIMA I PRIMJENA POSTOJEĆIH PROPISA

U radu su prikazane karakteristike radarskih uređaja na brodovima čije antene emitiraju visokofrekventnu energiju kao energiju elektromagnetskih valova radijalno u okolni prostor. U cilju zaštite zaposlene posade od štetnog djelovanja mikrovalnog zračenja, ističe se potreba mjerenja gustoće snage zračenja na pojedinim dijelovima palube broda radi određivanja granica opasnih zona. Prikazane su i najčešće primjenjivane norme maksimalno dozvoljenog intenziteta mikrovalnog zračenja i njihove neusklađenosti kao rezultat neujednačenosti stavova o štetnom djelovanju mikrovalnog zračenja.

## UVOD

Radar kakav danas poznajemo, ubraja se među najvažnija elektronska otkrića II svjetskog rata. Međutim, princip njegovog rada i prvi eksperimenti datiraju mnogo ranije.

Radari se prvi puta pojavljuju u zračnoj navigaciji SAD-a 1936. godine. Od tada Englezi i Amerikanci ujedinjenim snagama usavršavaju impulsni sistem zračenja i započinju masovnu proizvodnju radara na polju vojne tehnike. Usavršavanjem mikrovalne tehnike poslije II svjetskog rata usavršavaju se i postojeći radarski uređaji u smislu povećanja predajne snage, dometa i preciznosti mjerenja podataka. Danas radari imaju univerzalnu primjenu i upotrebljavaju se za navigaciju, određivanje objekata na kopnu, moru i u zraku, za navođenje aviona kao i za kontrolu brodskog i avionskog saobraćaja /1,2/.

Usporedo s razvojem radarske tehnike vrše se istraživanja utjecaja mikrovalnog zračenja na ljudski organizam i donose se propisi kako bi se pronašle najpogodnije metode zaštite čovjeka.

## VRSTE MJERENJA

Mjerenje mikrovalnog zračenja može imati različite ciljeve. Ako se ograničimo na ocjenjivanje djelovanja mikrovalnog zračenja na ljude, onda mjerenje zračenja na brodovima treba smatrati sastavnim dijelom rada na zaštiti zdravlja posade izložene tomu zračenju. Prema složenosti, mjerenja se mogu podijeliti na standardna i specijalna ili istraživačka.

Standardnim mjerenjem utvrđuje se intenzitet mikrovalnog zračenja na određenim mjestima na palubi broda, gdje se u toku rada radara zadržava posada te se utvrđuje da li su zadovoljene postavljene norme i propisi. Mjerenje mikrovalnog zračenja obavljaju osobe koje su upoznate s mjernim metodama, instrumentima, karakteristikama izvora i sposobne su za interpretaciju pokazivanja na instrumentu. Mjereni podaci koriste se za ocjenu opasnosti od oštećenja zdravlja zaposlene posade uz provjeru da nije došlo do znatnijeg odstupanja zračenja u odnosu na prethodna mjerenja.

Specijalna mjerenja vrše se na primopredaji broda ili nakon većih remonta, a u cilju provjeravanja podataka postavljenih od klasifikacionog društva. Ova mjerenja vrše stručnjaci iz specijaliziranih institucija uz primjenu mjernih instrumenata znatno veće osjetljivosti u odnosu na instrumente koji se koriste kod standardnih mjerenja.

## KARAKTERISTIKE BRODSKIH RADARSKIH UREĐAJA

Brodski radarski uređaji poznatih svjetskih firmi, koji se koriste u navigaciji i za promatranje objekata na površini mora rade kao impulsni sistemi zračenja, sa snagom u impulsu od 20 kW do iznad 125 kW. Predajna antena radara s reflektorom u obliku isječka paraboloida ili valovodna antena s prorezom okreće se s konstantnim brojem okretaja u minuti i visokofrekventnu elektromagnetsku energiju odašilje u vidu elektromagnetskih valova radijalno u okolni prostor. Elektromagnetski valovi se odašilju u nizu serija impulsa u uskom snopu zračenja s kutem usmjerenosti od 0,75° do 1,9° u horizontalnoj ravnini i relativno širokim kutem od 18° do 22° u vertikalnoj ravnini, radi eliminiranja utjecaja nagiba broda. Između pojedinih

impulsa postoji kratak vremenski interval od nekoliko mikrosekundi za prijem reflektiranih valova od pojedinih reflektirajućih objekata /3/.

Osnovna karakteristika svake radarske antene je dijagram zračenja, koji pokazuje u kojem smjeru antena pobuđuje najjače elektromagnetsko polje i koliko je zračenje prigušeno u ostalim smjerovima. Sastoji se od glavnog snopa i sporednih ili bočnih snopova s maksimumima zračenja koji su mnogo manji od maksimuma glavnog snopa zračene energije. Teoretski se dijagram zračenja može odrediti proračunima uz izvjesne aproksimacije poznavajući karakteristike antene /2,4/. Međutim, na raspored elektromagnetskog polja na palubi broda veliki utjecaj ima čelična konstrukcija trupa i nadgrađa, te razni drugi metalni predmeti na palubi oko kojih se širi sekundarno elektromagnetsko polje, tim većeg intenziteta što je veća električna vodljivost reflektirajućih predmeta. Na promjenu polja značajan utjecaj ima i brzina vrtnje antene oko svoje osi, uslijed čega zračenje nije kontinuirano već se mijenja u ovisnosti od broja okretaja antene. Na palubama broda gdje se zadržava posada pojavljuju se zbog toga područja u kojima je gustoća snage zračenja, ili intenzitet na jedinicu površine značajno povećan, neovisno od udaljenosti od izvora zračenja i može premašiti dozvoljene norme sigurnosti izražene u $W/m^2$ ili $mW/cm^2$ /4/.

Na osnovu postojećih podataka /2,4,5/ mjerenje gustoće snage zračenja vrši se periodički, zavisno od primjenjenih norma ili propisa, u visini čovječjeg tijela. Mjerenje se vrši pod raznim kutevima nagiba antene u zoni Fraunhoffera ili udaljenoj zoni na osi glavnog snopa zračenja, gdje je gustoća elektromagnetske energije u nekoj točci funkcija udaljenosti te točke u odnosu na izvor /4,6/. Dobiveni podaci zračenja zavisno od položaja mjernog mjesta od antene unašaju se u nacrte brodske konstrukcije, i određuju se područja ili zone gdje intenzitet zračenja prelazi dozvoljene norme sigurnosti. Još uvijek ne postoje detaljne norme i propisi kojima bi bila propisana mjerna metoda i uvjeti mjerenja na brodu, kao što je to ISO standardom propisano za buku i vibracije.

U Institutu za pomorsku medicinu mjerenje mikrovalnog zračenja na plovnim objektima sastavni je dio naučnog rada o proučavanju utjecaja tog zračenja na brodsku posadu. Kod toga se sva mjerenja osnivaju na lako prenosivom instrumentariju firme NARDA 8316B pogodnom za direktno očitavanje u $mW/cm^2$ u frekventnom p[illegible]su od 0,[illegible] do 18 GHz.

DOZVOLJENI INTENZITET MIKROVALNOG ZRAČENJA

Na osnovu istraživanja biološko fizičkog efekta zračenja na ljudski organizam razvijaju se i usavršavaju mjerne metode i instrumenti, donose se propisi i norme o najpogodnijim metodama zaštite čovjeka. Danas u svijetu postoji niz propisa, normi i preporuka o maksimalno dozvoljenim intenzitetima zračenja. One se međusobno razlikuju, zbog različitih tumačenja posljedica koje mikrovalno zračenja može izazvati u biološkom materijalu i ljudskom organizmu. Znatne poteškoće postoje kod primjene pojedinih propisa i njihove ispravne interpretacije nakon mjerenja i obrade mjernih podataka. Zato postoji potreba za izmjenom određenih propisa i usaglašavanjem maksimalno dozvoljenog intenziteta zračenja na internacionalnom nivou.

U priloženoj tabeli br. 1, za visokofrekventno područje radiovalova prikazani su maksimalno dozvoljeni intenziteti zračenja koji se primjenjuju u SAD-u, SSSR-u, Poljskoj i Jugoslaviji /5,7,8,9/. U našoj zemlji na snazi su norme iz Pravila Jugoregistra koje međutim nisu usklađene s ostalim propisima u svijetu i jedinim uputstvom u zemlji izdanim od Komande RV, a ograničenim na sprovođenje zaštite na radu na radarsko-računarskim sredstvima RV i PVO /7,8/.

Za intenzitet zračenja od 0,1 $W/m^2$ nema ograničenja u vremenu izlaganja organizma gotovo u svim propisima, dok je za interval intenziteta od 1 do 10 $W/m^2$ dozvoljeno samo povremeno izlaganje organizma. Kod većine navedenih propisa i normi intenzitet zračenja iznad 100 $W/m^2$ predstavlja potencijalnu opasnost za ljudski organizam. Međutim, najveće razlike u intenzitetu uočavaju se u normama SAD-a i SSSR-a, jer se temelje na različitim stavovima stručnjaka o biološkom utjecaju mikrovalnog zračenja. Dok se norme SAD-a temelje na utjecaju toplinskog efekta na cijelo tijelo, norme SSSR-a temelje se na promjenama nervnog i kardiovaskularnog sistema i javljaju se kod zračenja znatno nižeg intenziteta nego što je granica pojave toplinskog efekta. U toku zadnjih decenija u SAD-u je praćen utjecaj mikrovalnog zračenja od 100 $W/m^2$ na ljudski organizam, isključujući genetska oštećenja, i utvrđeno je da nema potreba da se taj intenzitet smanjuje /10,11/.

ZAKLJUČAK

Dokazana štetnost mikrovalnog zračenja na ljudski organizam nameće potrebu da se štetne zone zračenja na brodovima dovedu u okvire od-

ređenih normi, s ozakonjenim dozvoljenim intenzitetima zračenja i propisanim metodama određivanja tih zona, a s ciljem zaštite osoblja na radarskim uređajima.

Zato ostaje zadatak svih zainteresiranih da zajedničkim naporima popunimo prazninu koja postoji na području zaštite od mikrovalnog zračenja.

SUMMARY

The study shows the basic characheristics of radar plant on ships, which antennas emit high freguency energy of electromagnetic waves radially in the shorrounding area. Tend to protect the crew from harmful effects of microwave radiation emphasis necessity of measuring the density of the force of radiation on individual sections of the ship's deck to determining the periphery of the danger zones. Most often used standards of the values of maximum allowed dosages have been presented and their disharmonious, as the result of unequalised opinions about harmful effect of microwave radiation.

LITERATURA

1. Operativna vazduhoplovna tehnička uprava: "Osnovi radara".
2. B.Đ.Popović: "Osnovi teorije radarske tehnike", Sarajevo,1970.
3. Naučno-tehnička informacija:"Koncipiranje sistema lokatora radara", Beograd,1972.
4. E.L.Kulikovskaja:"Zaštita ot dejstvija radiovoln",Lenjingrad,1970.
5. S.Baranski,P.Czerski:"Biological Effects of Microwaves",Pennsylvania,USA.
6. Department of Industrial Medicine,New York University:"Biological Effects of Microwave Radiation", New York,1961.
7. Komanda RV:"Higijensko-tehnička zaštita ljudstva pri radu na RRS".
8. Jugoregistar:"Pravila o gradnji pomorskih brodova", dio XII, Zaštita na radu,1976.
9. Z.Đorđević:"Mikrotalasno zračenje i zaštita ",Beograd,1978.
10. L.V.Zaharov:"Nejrocirkulatornie narušenija pri vozdejstviji svjerhvisokočastotnava elektromagnetnova polja", Lenjingrad,1963.
11. "Health Hazards from Exposure to Microwaves" Health Physics vol. 28,1975,st.69-73.

Tabela br. 1

| SAD | | SSSR | | Poljska | | Jugoslavija Uputstva RV | | Jugoslavija Jugoregistar | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W / m$^2$ | Vrijeme izlaganja | W / m$^2$ | Doz. vrijeme izlaganja u toku radnog dana | W / m$^2$ | Doz. vrijeme izlaganja u toku radnog dana | W / m$^2$ | Doz. vrijeme izlaganja u toku radnog dana | W / m$^2$ | Doz. vrijeme izlaganja u toku radnog dana |
| < 10 | neograničeno | < 0.1 | neograničeno | < 0.1 | neograničeno | < 1 | neograničeno | < 0.1 | neograničeno |
| 10 - 100 | kratkotrajno | < 1 | 2 sata | < 1 | 2 sata | 1 - 10 | 3 sata | < 1 | 2 sata |
| > 100 | potencijalno opasno | < 10 | 15 - 20 min s zaštitom očiju | < 10 | 20 min | 10 - 100 | 15 min | < 10 | 10 - 20 min |
| | | | | > 10 | s zaštitnim odijelom | > 100 | s zaštitnim odijelom | | |

XI. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Portorož, 21. - 24. april, 1981.

Dr Slobodan Milićević
Dr Nikola Smiljanić
Dr Petar Mladenović

Vojnomedicinska akademija - Beograd
Odeljenje za medicinu rada HHI ZPM
Klinika za očne bolesti
Klinika za kožne i polne bolesti

# PREDLOG METODOLOGIJE PREVENTIVNIH PREGLEDA LJUDSTVA KOJE RADI SA LASERSKIM ZRAČENJEM

Na osnovu višegodišnjeg rada i stečenog iskustva, data je metodologija rada i parametri posmatranja za obavljanje preventivnih /prethodnih, periodičnih i vanrednih/ pregleda ljudstva koje radi sa laserskim zračenjem. Za obavljanje ovih pregleda neophodan je timski rad, što je u članku detaljno obradjeno. Navedena je i lista kontraindikacija za rad sa laserskim zračenjem, koje se treba pridržavati u toku ovih pregleda. Predloženo je da se periodični pregledi obavljaju jednom godišnje, a vanredni po potrebi.

## Uvod

Preventivni pregledi predstavljaju u suštini filtar ili barijeru da se već narušeno zdravstveno stanje radnika ne bi pogoršalo pod dejstvom laserskog zračenja. Oni takodje, doprinose da se spreči oštećenje od laserskog zračenja, koje bi dovelo do trajne nesposobnosti za rad. Nalazi na kontrolno-periodičnim pregledima su istovremeno i ogledalo ili signal o sprovodjenju ili nesprovodjenju zaštite pri radu sa laserskim zračenjem.

Za sada u našoj zemlji ne postoje kompletni propisi o elementima preventivnih pregleda, a ne postoji i razradjena metodologija rada sa neophodnim parametrima posmatranja. Naš zadatak u ovom radu je da damo predlog za metodologiju izvodjenja ovih pregleda.

## Predlog metodologije preventivnih pregleda

Lasersko zračenje ima specifična svojstva i pripada nejonizujućem delu elektromagnetnog spektra /1/. Zbog toga se ono javlja kao nova i specifična noksa pri profesionalnoj ekspoziciji /2,3,4/. Hronična profesionalna ekspozicija se odlikuje simptomatologijom i nalazima koji nisu uvek manifestni, niti specifični /6, 7/, te ih treba tražiti korišćenjem odredjene kliničke metodologije pregleda i laboratorijskih analiza.

U principu, metodologija prethodnih, periodičnih i vanrednih medicinskih pregleda se bitno ne razlikuje, a takodje i parametri posmatranja. Prema našem dosadašnjem stečenom iskustvu i analizi višegodišnjeg praćenja zdravstvenog stanja ljudstva koje radi sa laserskim zračenjem, elementi preventivnih pregleda bi se sastojali u sledećem:

Obavezni elementi

- specijalista medicine rada,
- specijalista za očne bolesti,
- specijalista za kožne bolesti,
- laboratorijski - hematološki standard,
- biohemijske analize: holesterol, alkalna fosfataza, šećer i gvožđje,
- transaminaze /SGOT i SGPT/

Fakultativni elementi

- specijalista neuropsihijatar ili psiholog,
- proteinogram,
- faktori koagulacije,
- elektroliti,
- imunoglobulini i ostali faktori,
- EKG i kapilarografija

Kao što se vidi, za obavljanje preventivnih pregleda ljudstva koje radi sa laserskim zračenjem je neophodan timski rad. U ovom timu specijalista medicine rada ima dvostruki zadatak, što obuhvata rad na organizaciji ovih pregleda i stručni deo posla. Pored čisto organizacionog dela, neophodno je ustrojavanje zdravstvenog kartona ili knjižice sa opštim podacima, uz uzimanje anamneze: lične, porodične, socijalne i radne.

Zatim dolazi uži stručni rad - klinički pregled eksponiranih po sistemima i organima i evidentiranje nadjenog stanja u odredjenim rubrikama za svaki posmatrani parametar. Merenje pulsa i pritiska se vrši u ležećem položaju. U delokrug rada specijaliste za medicinu rada spada i organizacija, uzimanje materijala za laboratorijske analize.

Rad specijaliste oftalmologa obuhvata kompletan oftalmološki pregled: oftalmološka anamneza, odredjivanje vizusa, segmentoskopija /posle maksimalnog širenja zenice/ i snimanje očnog dna pri utvrdjenim promenama. Kriterijumi za praćenje promena na sočivu su sledeći:

- Normalan nalaz: čisto sočivo - bez zamućenja;
- Promene lakšeg stepena: nalaz do 10 tačkastih zamućenja;
- Promene srednjeg stepena: nalaz više od 10 tačkastih zamućenja;
- Promene težeg stepena:mrljaste i slivene promene - zamućenja;

Kriterijumi za gradaciju i praćenje promena na očnom dnu bi bili sledeći:

- Normalan nalaz: čisto očno dno - bez promena
- Promene lakšeg stepena: sve registrovane promene, pa čak i nespecifične /na pr. ožiljne promene, dezintegracija pigmenta i dr./;
- Promene srednjeg stepena: jedan "oftalmološki pečat", okrugla beličasto-žućkasta promena - opekotina;
- Promene težeg stepena: iste promene kao i kod prethodnog stepena, samo nalaz dve ili više promena - pečata.

Svi nalazi i promene se evidentiraju za svaki parametar posmatranja, po godinama, u posebnim šemama i rubrikama.

Klinički pregled specijaliste dermatologa obuhvata kompletan nalaz, sa evidencijom: boje kože /tena/, vlažnosti kože i nadjenih promena na koži. Prema boji kože ili stepenu pigmentacije podela je sledeća: svetla, smedja i tamna koža. Prema stepenu vlažnosti predlaže se kriterijum podele na:

suvu, normalnu i vlažnu kožu. Pored ovoga, treba evidentirati i sve promene na koži, kao što su: alergične promene, teleangiektazije, hiperpigmentacije, hiperkeratoze, atrofije i dr. Posebnu pažnju treba obratiti na otkrivene delove ruku i lica. Naravno, i ovi parametri posmatranja se evidentiraju, po godinama pregleda, u posebno pripremljenim šemama i rubrikama.

Rad sa laserskim uredjajima zahteva psihički stabilne ličnosti, podobne za kolektivan rad i koje nisu sklone panici. U tom smislu treba da se odvija pregled eksponiranih od strane psihijatra ili psihologa, kao i eventualni njihovi zaključci.

Cilj prethodnih pregleda je da se utvrdi specifična sposobnost za rad sa laserskim uredjajima i u zoni dejstva laserskog zračenja. Zbog toga je pri prethodnim pregledima najvažnije dobro utvrdjena lična anamneza, odnosno podaci o dosadašnjim i sadašnjim oboljenjima, pored objektivnog nalaza. Na osnovu svih utvrdjenih parametra, za zaključak o oceni sposobnosti, treba da se uzme u obzir i lista kontraindikacija za rad sa laserskim zračenjem.

Periodicitet periodičnih pregleda treba da bude jedna godina. Ovi pregledi imaju za cilj da se utvrdi zdravstveno stanje pregledanog ljudstva, tj. štetno dejstvo laserskog zračenja na zaposlene. Jedan od obaveznih novih elemenata je radna anamneza. Ovde treba posebno evidentirati vrstu lasera sa kojim radnik radi, navike ozračenja ruku, izloženost direktnom i reflektovanom zračenju i akcidente /ozračenje oka ili kože/. Na osnovu svih nalaza daje se zaključak sa mišljenjem o sposobnosti za dalji rad sa laserima. Naravno, i sada se uzima u obzir lista kontraindikacija za rad sa laserskim uredjajima.

Vanredni pregledi se obavljaju posle akcidenata ili

intenzivnog i neprekidnog rada sa laserskim zračenjem, kao i pri pojavi subjektivnih tegoba lica koja rade sa laserskim uredjajima /8/. Cilj ovih pregleda je isti kao i kod periodičnih. Elementi pregleda i metodologije rada su takodje isti.

Laboratorijske rezultate treba obradjivati, po mogućnosti, na automatskim analizatorima, a ukoliko ovo nije moguće na klasičan način.

Lista kontraindikacije za rad sa laserskim uredjajima /oboljenja i telesna oštećenja/ bi sadržala sledeće:

- mladji od 18 godina,
- gubitak vida na jednom oku ili poremećaj oštrine vida veći od ± 5 Dpt.,
- Oboljenja pojedinih delova oka: konjuktiviti, katarakte, poremećaj pigmentacije retine, odvajanje retine, promene na krvnim sudovima očnog dna, tumori oka ili sumnje na neko drugo hronično oboljenje;
- Oboljenje kože: alergične reakcije kože, hipo ili hiperpigmentacije, ekcemi, tumorozne promene i druga hronična oboljenja;
- Sva oboljenja krvotoka: koštane srži, promene u krvnoj slici, promene na krvnim sudovima i dr.;
- Endokrinološka oboljenja: dijabetes, hiper i hipotireoza, Adison i dr.;
- Oboljenja unutrašnjih organa: jetre, pluća, srca, bubrega i dr.
- Hronično zapaljenje zglobova;
- Neurološka i duševna oboljenja;
- Patološka trudnoća;
- Postojanje i najmanje sumnje na žarište raka;
- Svi oblici TBC-a.

Ovu listu treba primenjivati strogo individualno.

Na završetku ovih pregleda, a na osnovu rezultata i liste kontraindikacija za rad, specijalista za medicinu rada daje zaključak sa mišljenjem o sposobnosti za rad sa laserskim uredjajima. Naravno, da bi ovi zaključci bili kvalitetno stručni, neophodno je dobro poznavanje uslova rada eksponiranih lica.

## Zaključak

Metodologija rada na preventivnim pregledima i parametri posmatranja su proistekli iz rezultata višegodišnjeg ispitivanja i saznanja do kojih smo došli posle statističke obrade rezultata. Držali smo se realnih mogućnosti i uslova rada u našoj zemlji, ali i zahteva za kvalitetniji rad. Uglavnom, ovi pregledi predstavljaju timski rad i zbog toga su nešto složeniji od drugih, pa i u organizacionom pogledu su novina za službu medicine rada kod nas.


## SUMMARY

### A PROPOSAL OF METHODS OF PREVENTIVE EXAMINATIONS OF PEOPLE WHICH WORK WITH LASER RADIATION

On the basis of work during many years and from experience, author give the parameters of observation for preventive examinations /preliminary, periodical and extraordinary/ of people which work with laser radiation. The list of contraindication for work with laser radiation is given. Also, the one year periodical examinations are proposed and extraordinary examinations as circumstances require.


## LITERATURA:


1. Redy F.J.: Effects of High-Power Laser Radiation, Academic Press, New York - London, 1971.
2. Kaveckij R.E. et all.: Lazeri v biologiji i medicine "Zdorovja", Kiev, 1969.
3. Gamaleja F.N.: Lazeri v eksperimente i klinike, "Medicina", Moskva, 1972.
4. Goldman L. et all.: Arch.Dermatol, 113:4, 504-505, 1977.
5. Hromov B.M., V.N.Frigin: Vestn.dermatol.veneral., 4, 14-21, 1969.
6. Rajzer P.Ju.: Dejstvije lazernovo izlučenija, Sbornik statej, "Mir", Moskva,1968.
7. Herrypon De.H.: Arch. d.Malad.Prof., 29:6, 315-318, 1968.

XI Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24. 4. 1981

Prof dr Bogosav Soldatović
Prof dr Borislav Draganović
Katedre za biologiju i radiologiju
Veterinarskog fakulteta u Beogradu

# CITOGENETSKE PROMENE KAO BIODOZIMETRIJSKI PARAMETAR DELOVANJA MALIH DOZA MIKROTALASNIH ZRAČENJA

Izučavanje delovanja malih (subtermičkih) doza MT zračenja u in vitro i in vivo sistemu predstavlja značajan problem u zaštiti od hroničnog delovanja nejonizujućih zračenja. Našim istraživanjima smo pokušali da pokažemo da su promene na ćelijama i hromozomima jedan od mogućih bioparametara koji pokazuju intenzitet i trajnost oštećivanja nastalih delovanjem subtermičkih (malih) doza MT zračenja.

Delovanje malih doza MT zračenja ostvareno je snopom talasne dužine 12,5 cm iz zračne elektrode kojim su akutno totalno ozračeni odrasli polno zreli kunići. Mitotska aktivnost, promene na ćelijama i hromozomima posmatrane su na preparatima kostne srži cevastih kostiju životinja, koje su bile ozračene dozama od 5, 10 i 20 mW/cm$^2$ u vremenima od 10 do 60 minuta, kao i na kulturama limfocita čoveka.

Rezultati pregleda metafaznih figura, radi bolje preglednosti, dati su u priloženim tabelama. Iz njih se može zapaziti da doze od 5 i 10 mW/cm$^2$ pri kraćim vremenima ekspozicije ne daju bitne promene ne ćalijama i hromozomima. Pri delovanju većih doza i dužeg vremena ekspozicije dolazi do pada mitotske aktivnosti. Ovaj pad je naročito izražen pri ekspoziciji od 40 i 60 minuta kod doza 10 i 20 mW/cm$^2$ i ima vrednost polovine

TAB. br. 1 CITOGENETSKE PROMENE KOD OZRAČIVANJA SA MT 5 mW/cm$^2$

| Vreme ozračavanja | mitotska aktivnost | | %heteroploidnih ćel | | %poliploidnih ć. | %ćel.na strukt. promenu hromoz. | %ćel.sa asoc. akroc.hromoz. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SV | IV | SV | IV | | | |
| 10 min | 8,0 | 7,0 - 9,6 | 9,1 | 7,9 - 10,3 | 0 - 1,2 | 0 - 2 | 1 - 7 |
| Kontrola | 7,4 | 6,9 - 7,8 | 9,6 | 8,0 - 11,2 | 0 - 2 | 0,- 2 | 4 - 8 |

TAB. br. 2 CITOGENETSKE PROMENE KOD OZRAČAVANJA SA MT 10 mW/cm$^2$



| | SV | IV | SV | IV | SV | IV | SV | IV | SV | IV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 min | 7,5 | 6,8 - 8,2 | 8,8 | 8,4 - 10,2 | 1,3 | 1 - 2 | 1,3 | 1 - 2 | 6,6 | 4 - 8 |
| 20 min | 7,3 | 6,0 - 8,4 | 10,0 | 8,5 - 12,3 | 1 | 1 | 1,7 | 1 - 2 | 7,1 | 6 - 10 |
| 40 min | 4,6 | 3,1 - 7,3 | 12,3 | 10,6 - 15,2 | 1,3 | 1 - 2 | 1,7 | 1 - 2 | 21 | 18 - 23 |
| 60 min | 3,9 | 2,1 - 5,8 | 13,5 | 10,1 - 18,2 | 2,3 | 1 - 4 | 3,3 | 2 - 4 | 32 | 28 - 36 |
| Kontrola | 7,4 | 7,0 - 7,8 | 8,6 | 7,9 - 10,4 | 1,3 | 1 - 2 | 1,3 | 1 - 2 | 7,0 | 5 - 9 |

TAB. br. 3 CITOGENETSKE PROMENE KOD OZRAČAVANJA SA MT 20 mW/cm$^2$

| Vreme ozračivanja | mitotska aktiv. | | %heteropl.ćelija | | %polipl.ćelija | | %ćel.sa struktur. prom.hromozoma | | %ćel.sa asocij. akroc.hromozoma | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SV | IV | SV | IV | SV | IV | SV | IV | SV | IV |
| 10 minuta | 5,9 | 3,1 - 9,2 | 10,4 | 9,3 - 11,9 | 3,4 | 2,8 - 4,2 | 1,2 | 1 - 2 | 26 | 16 - 31 |
| 20 minuta | 4,0 | 3,1 - 4,9 | 12,9 | 10,9-15,2 | 4,5 | 1,6 - 8,9 | 4,0 | 3 - 7 | 36,6 | 26 - 56 |
| 40 minuta | 3,2 | 2,9 - 4,1 | 12,4 | 11,5-15,0 | 4,7 | 3,7 - 6,1 | 4,0 | 2 - 5 | 28,0 | 22 - 33 |
| Kontrola | 7,3 | 7,2 - 7,5 | 9,8 | 8,5-11,1 | 1,8 | 1,4 - 2,4 | 1,0 | 1,0 | 5,5 | 4 - 7 |

TAB. br. 4 CITOGENETSKE PROMENE KOD OZRAČAVANJA IN VITRO 20 mW/cm$^2$

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 minuta | 5,2 | 3,9 - 7,2 | 21,1 | 13,7 - 32 | 3,8 | 1,9 - 5,5 | 4,2 | 1 - 8 | 30 | 19 - 37 |
| Kontrola | 9,1 | 8,2 - 10,2 | 7,4 | 2,2 - 12,6 | | 0,0 - 1,0 | | 0,0 - 1 | 9 | 8 - 10 |

u odnosu na kontrolne grupe. Može se takodje primetiti da je povećan broj heteroploidnih i poliploidnih ćelija uslovljen povećanjem doze ozračivanja i produženjem vremena ekspozicije. Strukturne promene hromozoma primećene su samo kod najvećih doza i najdužeg vremena ozračivanja kunića mikrotalasima. Od ovih promena uočene su uglavnom prekidi hromatida i fragmenti.

Prema dobijenim rezultatima može se zaključiti da ove male doze MT značajno deluju na blokadu deobnog vretena a u manjem stepenu utiču i na strukturu hromozoma. Pored navedenih pojava smatramo takodje značajnom pojavu asocijacija akrocentričnih hromozoma, koja je takodje u korelaciji sa dozom MT i vremenom ekspozicije.

## CITOGENIC CHANGES AS BIODOSIMETRIC PARAMETERS FOR THE SMALL - DOSE ACTIVITY OF MICROWAVE RADIOATION


### S u m m a r y

The activity of subthermic doses of MW radiation in vitro and in vivo systems is a significant problem in the protection from chronic activity of non-ionizing radiation. Our research was aimed at showing that the changes in chromosoms could be one of the possible bioparameters showing the intensity and continuity of damages due to the activity of subthermic doses of MW radiations.


### Bibliografija


1. S.Baranski, P.Czersky: Biological effects of Microwaves, Dowden 1976.
2. Z.Đorđević: Mikrotalasna zračenja i zaštita, Vojno-izdavački zavod 1978.

# OŠTEĆENJA TESTISA PACOVA MIKROTALASNIM ZRAČENJEM

V.Djoković,Z.Djordjević

Vojnomedicinska akademija,Beograd
Vazduhoplovnomedicinski institut,Zemun

Rezime: Eksperimentalno su ispitivani efekti mikrotalasnog zračenja visokih intenziteta na testise pacova.Primenjene su doze od 50 i 70 mW/cm$^2$ u uslovima kratkotrajne i jednokratne ekspozicije. Utvrdjene su teške degenerativne i destruktivne promene u parenhimu polnih žlezdi ozračenih pacova.Opisani su karakteristični patohistološki nalazi u tkivu testisa i ukazano je na mogućnost sličnih oštećenja u uslovima akcidentalnih ozračenja lica koja rade sa snažnim izvorima mikrotalasne energije.

**Uvod:**

Poznato je da mikrotalasno zračenje apsorbovano u biološkom materijalu ima termički efekat.Takodje je poznato da su testisi naročito osetljivi na porast temperature.Leary(1959) je opisao učestalu pojavu privremene sterilnosti u američkih vojnika u Drugom svetskom ratu koji su se borili u tropskim predelima,a nosili su rublje od najlona.Ovakav veš onemogućavao je dobru ventilaciju te je dolazilo do pregrevanja testisa,čemu su doprineli i visoka temperatura okolnog vazduha,visoki procenat vlage i izuzetni fizički napori(4).Prva istraživanja uticaja mikrotalasa na polne žlezde eksperimentalnih životinja izveo je Imig sa saradnicima(1948)(3).Takodje su zanimljive rezultate sličnih eksperimentalnih radova Dolatkowskog i saradnika(1963,1964)(1,2.U ovim istraživanjima utvrdjene su značajne promene i poremećaji u spermatogenezi,kao i upadljive degenerativne promene u germinativnom epitelu semenih kanalića u testisima kunića.

U radu čiji će rezultati biti ovde pr kazani,ispitivani su efekti visokih doza mikrotalasnog zračenja u uslovima kratkotrajne ekspozicije.

Materijal i metode rada

Eksperimenti su izvedeni na 35 pacova Wistar soja,mužjaka telesne težine 150-200 g.Kao izvor mikrotalasnog zračenja korišćen je MEDITRON 200,aparat za mikrotalasnu terapiju,snage 200W,2450 MHz-frekventnog područja. Eksperimentalne životinje su izlagane zračenju intenziteta 50 i 70 mW/cm$^2$ u trajanju 5 i 30 minuta.Pacovi su bili podeljeni u tri eksperimentalne grupe.Prva grupa: vreme ekspozicije 5 min.,doza: 70 mW/cm$^2$(10 pacova),druga grupa: vreme ekspozicije 30 min.,doza zračenja 50 mW/cm$^2$i treće grupa: vreme ekspozicije 30 min.,doza zračenja 70 mW/cm$^2$.Svaku od navedenih grupa sačinjavalo je po 10 pacova,dok je 5 pacova predstavljalo kontrolnu grupu.Za odredjivanje doze zračenja u eksperimentalnom polju korišćen je merač mikrotalasnog polja tipa NARDA 8100 B.

Rezultati

Prva grupa: Omotač testisa zadebljao i delimično raslojen. Krvni sudovi hiperemični i stazni. Leydig-ove ćelije umnožene. Interticijum edematozan sa krvavljenjima. Bazalna membrana semenog kanalića zadebljala i delimično od epitela odvojena. Ćelije semenog epitela reducirane i distrofično izmenjene. Druga grupa:Omotač zadebljao i raslojen. Krvni sudovi stazni.Leydig-ove ćelije reducirane. U interticijumu brojna krvarenja.Bazalna membrana zadebljala.Ćelije epitela reducirane, nabubrele sa mahom liziranim jedrom.Pojedini semeni kanalići ispunjeni nekrotičnom masom.Treća grupa: Omotač raslojen.Krvni sudovi stazni. Leydig-ove ćelije se retko uočavaju.Bazalna membrana je kontinuirana i od epitela odlupljena.Od ćelija semenog epitela ostala je samo po gde koja patološki izmenjena ćelija. Ovo su mahom gigantske polijedarne ćelije. Veći deo kanalića, uključujući i lumen, u celosti su ispunjeni nekrotičnom masom.

Komentar

Rezultati ovih istraživanja pokazuju da mikrotalasno zračenje intenziteta od 50 do 70 mW/cm$^2$ izaziva brzo teške oštećenja u tkivu testisa ozračenih pacova,čak i kad se primeni kratkotrajna ekspozicija u polju zračenja.Posmatranjem patohistoloških nalaza i uporedjenjem istih u različitim eksperimentalnim grupama,dolazimo do zaključka da su promene i oštećenje u korelaciji sa intenzitetom primenjenog zračenja.Primarne promene su uslovljene poremećajima regionalne cirkulacije i karakterišu ih staza i hiperemija u ozračenim testisima.Kasnije razvijaju se degenerativne promene u parenhimu,zatim dezintegracija epitelijalnih ćelija testisa,sve do kompletne nekroze koja zahvata i testikularne tubule i intersticijum.Spermatocitoza je u početku izlaganja zračenju reducirana a kasnije i pri primeni većih doza mikrotalasne energije dolazi do nekro i aspermije.Po našem mišljenju sve promene i oštećenja koja su registrovana u ovim istraživanjima,posledica su snažnog termičkog efekta mikrotalasa.Rezultati ovih istraživanja ukazuju da visoke doze mikrotalasnog zračenja mogu da dovedu do teških oštećenja muških polnih žlezda za relativno kratko vreme.Moguće je da zanemarivanjem propisanih mera zaštite u mikrotalasnom polju i lica koje rade u blizini izvora ovog zračenja budu izložena visokim intenzitetima makar i za kratko vreme.

SUMMARY: The testicles of rats were irradiated by 200 W microwave generator at the intensity of 50 and 70 mW/cm$^2$. The animals were divided into three groups,by random selection according to the time of exposure and dose of radiation.In all irradiated rats significant histopathological changes were found.The intensity of these changes was in correlation with the intensity of microwave radiation.

Bibliografija

1.Dolatkowski A.,et al.:Pol.Przegl.Chirurg.,35:1221,1963.
2. Dolatkowski A.,et al.:Pol.Med.J.,5:1156,1964.
3. Imig C.J.,et al.: Proc.Soc.Exptl.Biol.Med.,69:382,1948.
4. Leary F.: Electronics,,32:49,1959.

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21. -24.4. 1981

R. Radovanović, Simonović J. i M. Jeremić *
Institut za biofiziku Medicinskog fakulteta, Beograd
* Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd

# BIOFIZIČKE KARAKTERISTIKE ULTRAZVUKA

Kratak sadržaj. Poslednjih trideset godina došlo je do veoma rasprostranjene primene ultrazvuka u mnogim oblastima tehnike, medicine, biologije i td.
U ovom radu autori razmatraju ultrazvuk kao jedan od faktora koji opisuju stanje složenog sistema "čovek-okolina".
Polazeći od činjenice da u interakciji ultrazvuk-čovek dolazi do razmene energije, moguća je analogija sa interakcijom jonizujuće zračenje-čovek, gde normalno, prenosne funkcije i parametri sistema nisu isti.
Kod izvesnih autora dominantno je mišljenje da je rizik od ultrazvuka zanemarljivo mali ili da čak i ne postoji. U ovom radu, medjutim, izražava se sumnja u pogledu takvog stava.

## 1. Uvod

Pojmom "ultrazvuk" danas se u najširem smislu označavaju mehanički talasi ili oscilacije elastične sredine sa frekvencijama od 2 . $10^4$ do $10^9$ Hz. Navedene granice nisu apsolutne[1], pa se ponekad donja frekventna granica za ultrazvuk uzima od 1,5 - 1,6 . $10^4$ Hz.

Imajući u vidu specifičnost prostiranja i interakcije, opseg ultrazvučnih frekvencija obično se deli na tri oblasti:
a) Oblast niskofrekventnog ultrazvuka (frekvencije do $10^5$ Hz)
b) oblast srednjefrekventnog ultrazvuka (frekvencije $10^5$-$10^7$ Hz)
c) oblast visokofrekventnog ultrazvuka (frekvencije $10^7$-$10^9$ Hz).
Zvuk s frekvencijama od $10^9$ do $10^{13}$ Hz naziva se hiperzvuk, koji ima takodje svoju primenu

Sva dosadašnja istraživanja pokazuju[2] da je kod primene ultrazvuka čovek po pravilu izložen i dejstvu zvučnih talasa (frekventni opseg od 20 Hz do 1,5 - 2 kHz).

Za odredjivanje rizika kod primene ultrazvuka u bilo kojoj oblasti, neophodno je odrediti, pre svega, spektralnu raspodelu zvučnih i ultrazvučnih talasa. U tom smislu veoma je bitno da li je čovek u neposrednom kontaktu sa ultrazvučnim izvorom, ili se interakcija ostvaruje preko vazdušne ili neke druge sredine.

Naravno, problem sigurnosti primene ultrazvuka ( napr. u dija-

gnostici[3]) nije zanemaren, ali je često nepotpuno sagledan. Kod bilo kakvog oblika prenosa energije iz okoline na čoveka pitanje tzv. "praga dejstva" je otvoreno pitanje. Prema tome, nije problem u traženju "praga dejstva" (koji sa stanovišta interakcije složenog biološkog sistema i primljene energije nema smisla), već u definisanju dozvoljenog ili prihvatljivog rizika koji ta interakcija uslovljava.

## 2. Osnovne fizičke veličine značajne za ultrazvuk

Osnovne karakteristike koje opisuju ultrazvučno polje i njegovu interakciju s biološkim sistemom date su u TAB br. 1.

TAB br. 1
Fizičke veličine značajne za ultrazvuk

| Naziv veličine | Oznaka | SI jedinica (naziv) |
|---|---|---|
| Talasna dužina | $\lambda$ | m |
| frekvencija | $\nu$ | Hz ( $s^{-1}$) (herz) |
| brzina prostiranja zvučnog talasa | $v_p$ | $m\ s^{-1}$ |
| zvučni pritisak | p | Pa ( $N\ m^{-2}$) (paskal) |
| zapreminska brzina | $v_z$ | $m^3\ s^{-1}$ |
| akustički otpor | $Z_a$ | $Pa\ s\ m^{-3}$ ( $kg / (m^2\ s)$) |
| mehanički otpor | $r_m$ | $N\ s\ m^{-1}$ |
| intenzitet zvuka | I | $W\ m^{-2}$ |
| gustina zvučne energije | $E_d$ | $J\ m^{-3}$ |
| zvučna energija | $E_z$ | J (džul) |
| zvučna snaga | $P_z$ | W (vat) |

Za frekventni opseg ultrazvuka od $2 \cdot 10^4$ do $10^9$ Hz talasne dužin u vazduhu iznose $1,7 \cdot 10^{-2}$ m do $10^{-7}$ m.

Dok se brzina i talasna dužina ultrazvuka razlikuju za različite sredine, frekvencija ostaje nepromenjena. Tako napr. brzina prostiranja ($v_p$) ultrazvuka u vazduhu na 20 °C iznosi oko 340 $m\ s^{-1}$, u vodi oko 1450 $m\ s^{-1}$, u mekim tkivima čoveka od 1490 do 1610 $m\ s^{-1}$ a u kostima oko 4000 $m\ s^{-1}$. Brzina prostiranja u datoj sredini zavisi od gustine te sredine i njenih elastičnih osobina.

Pri prostiranju ultrazvučnih talasa u vazdušnoj sredini može se okarakterisati nivo jačine $L_I$ ultrazvuka,

$$L_I = 10 \log I/I_o \quad (dB),$$

ili nivo zvučnog pritiska $L_p$ [4],

$$L_p = 2o \log p/p_o \quad (dB),$$

gde se za apsolutne vrednosti kao referentni iznosi uzimaju za intenzitet $I_o = 1o^{-12}$ W $m^{-2}$ a za zvučni pritisak $p_o = 2 . 1o^{-5}$ Pa.

Akustički otpor ili akustička impedancija ( $Z_a$) date homogene sredine ili sistema definiše se kao

$$Z_a = d\ v_p,$$

gde je d srednja gustina sistema kroz koji se prostire akustički talas. Isto tako akustički otpor se može odrediti preko akustičkog pritiska p pomoću izraza

$$Z_a = p / v_m.$$

$v_m$ označava brzinu oscilovanja molekula sistema usled njihove interakcije sa akustičkim talasima.

U TAB br. 2 dat je pregled vrednosti akustičkog otpora raznih sistema za frekvenciju od 1 MHz. Kako se može videti akustički otpor kostiju je veći za nekoliko puta od otpora mekih tkiva.

TAB br. 2
Akustički otpori različitih sistema

| Sistem | $Z_a$ ( $1o^6$ kg/ $m^2$ s ) |
|---|---|
| Voda | 1,5 |
| krv | 1,61 |
| masno tkivo | 1,38 |
| mišići | 1,7o |
| jetra | 1,67 |
| mozak | 1,58 |
| kosti lobanje | 7,8o |
| vazduh | 0,ooo4 |

Akustički otpori sistema koji razmenjuju energiju preko ultrazvučnog talasa bitno utiču na proces te razmene. Tako napr. ako se ultrazvučni talas prostire iz jedne sredine u drugu, prenos njegove energije u drugu sredinu će biti utoliko veći ukoliko se manje razlikuju vrednosti akustičkih otpora ovih dveju sredina.

Za odredjivanje ultrazvučnog rizika za biološke sisteme od izuzetnog značaja je apsorbovana energija ultrazvučnog talasa. Tako se definiše koeficijent apsorpcije $\alpha$ ultrazvučnog talasa kao recipročna vrednost rastojanja x na kome se amplituda talasa smanji za e-puta,

$$\alpha = 1/x .$$

S druge strane, koeficijent apsorpcije može se definisati i kao promena nivoa jačine ili nivoa zvučnog pritiska po jedinici dužine datog sistema. U tom slučaju koeficijent apsorpcije se izražava u dB $m^{-1}$. Najzad, koeficijent apsorpcije ultrazvuka se može izraziti u procentima

kao

$$\alpha = \frac{I_{aps}}{I_o} \cdot 100\ \%,$$

gde je $I_o$ upadni ultrazvuk a $I_{aps}$ intenzitet ultrazvuka koji je apsorbovan. Na primer, pri prelazu ultrazvuka iz vazduha u vodu apsorbuje se samo 0,1 do 0,7 % od upadnog intenziteta.

3. Pojam apsorbovane doze ultrazvuka

Količina energije dE ultrazvuka apsorbovane po jedinici mase dm može se nazvati apsorbovana doza $D_u$ ultrazvuka,

$$D_u = dE / dm.$$

Veličina ove doze zavisi od frekvencije ultrazvuka i akustičkih svojstava sistema. Za homogene sisteme koeficijent apsorpcije sledi tzv. kvadratni zakon apsorpcije, tj.

$$\alpha = \frac{\omega^2}{Z_a} ( k_1 \eta + k_2 K ).$$

$\omega$ predstavlja kružnu frekvenciju ultrazvuka, $\eta$ koeficijent viskoznosti sistema, K toplotnu provodljivost sistema, $k_1$ veličinu koja zavisi od brzine zvuka i $k_2$ veličinu koja zavisi od specifične toplote, apsolutne temperature i zapreminskog širenja sistema. Pokazalo se da za većinu bioloških sistema koeficijent $\alpha$ ne raste sa kvadratom kružne frekvecije već je u linearnoj zavisnosti od frekvencije.

Treba napomenuti da vrednost apsorbovane doze $D_u$ zavisi i od kvadrata rastojanja:ultrazvučni izvor - čovek. Jedinica za apsorbovanu dozu bila bi ( J / kg) - džul po kilogramu.

4. Neki efekti ultrazvuka koji bi mogli biti značajni za ultrazvučni rizik.

Pregled izloženosti odredjene kategorije ljudi dejstvu ultrazvučnog polja u raznim delatnostima dat je u TAB br. 3.

TAB br. 3
Izloženost ljudi ultrazvuku

| Vrsta delatnosti | Organ | Intenzitet ( $W/m^2$) |
|---|---|---|
| Tehnička primena ultrazvuka | glava | do 10 |
| Medicinska dijagnostika | razni | $10^2 - 10^3$ |
| Medicinska terapija | razni | $10^3 - 10^5$ |

Izučavanja bioloških promena koje nastaju pod dejstvom ultrazvuka pokazuju da efekti zavise od stanja organizma, apsorbovane doze

ultrazvuka i vremenske raspodele ozvučavanja.

Konstatovane su promene u centralnom nervnom sistemu kao i niz drugih patoloških stanja čiji intenzitet zavisi od navedenih faktora. Centralni i periferni nervni sistem su najosetljiviji u čoveka pri konstantnoj primeni ultrazvuka. Veliki broj istraživača ustanovio je da se pri malim apsorbovanim dozama ultrazvuka povećava frekvencija srčanog ritma i da veće doze dovode do aritmije i hiperemije.[5] Hronične male doze ultrazvuka izazivaju hipotinični efekat[2].

Pri odredjenom dejstvu ultrazvuka na čoveka pokazano je da može doći i do letalnog ishoda (TAB br. 4).

TAB br. 4

Letalno vreme izlaganja čoveka ultrazvuku različitih nivoa jačine[2]

| Apsorpcija ultrazvučne energije (%) | Nivo jačine ultrazvuka (dB) koji odgovara "letalnom vremenu" | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 5 min | 1o min | 2o min | 4o min |
| 1o | 167 | 165 | 165 | 161 |
| 1 | 177 | 165 | 173 | 171 |
| 0,1 | 187 | 185 | 183 | 181 |

Očigledno je čovečiji organ sluha nije kritičan organ za ultrazvuk na koji je relativno malo osetljiv sa stanovišta prenošenja informacije čujenja do odredjenog nivoa kad nastaje osećaj bola. Medjutim, izloženost ultrazvuku uslovljava pojavu zamora sluha i vida. Ovaj efekat može produžizi vreme percepcije za nekoliko desetina milisekundi.

## 5. Zaključak

Nagla primena ultrazvuka u raznim delatnostima zahteva svestraniju ocenu rizika koji se javlja kako kod onih koji ga primenjuju tako i kod onih na koje se primenjuje. Iskustva u našoj zemlji u tom pogledu su minimalna.

Smatramo da je moguće napraviti izvesnu analogiju izmedju opšteg tretiranja zaštite od ultrazvuka i zaštite od jonizujućeg zračenja. Medjutim, ovde se javljaju specifičnosti kod odredjivanja ekvivalentne doze ultrazvuka i ekvivalentne doze jonizujućeg zračenja, naročito u pogledu vrednosti Q i N, koje figurišu u izrazu za ekvivalentnu dozu jonizujućeg zračenja, pa bi za ultrazvuk ekvivalentna doza $H_u$ bila

$$H_u = D_u Q_z N_z .$$

Fizički smisao veličine $Q_z$ odnosi se na linearni gubitak ultrazvučne

energije po jedinici dužine (u biološkom sistemu), dok je $N_z$ suma svih ostalih modifikujućih faktora za ovu energiju i dati sistem.

Odredjivanje vrednosti $Q_z$ i u ovoj oblasti je veoma složeno jer zavisi kako od karakteristika ultrazvuka tako i od akustičkih karakteristika sistema.

Pitanje odgovora u obliku zavisnosti doza-efekat ostaje otvoreno. Mišljenja smo da treba sakupljati i uopštavati iskustva iz svih oblasti primene ultrazvuka kako bi se te zavisnosti našle .

BIOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF ULTRASOUND

There are represented all physical characteristics of ultrasound, which are of interest for the system " ultrasound - man". It is also discussed about the possible risk from exposition of human body to the ultrasound waves.

Literatura

1. I.P. Geljamina (red): Ultrazvuk. Sovjetskaja enciklopedija. Moskva, 1977, 9.
2. A.S. Meljkumova i sar.: Ultrazvuk. Medicina. Moskva, 1975.
3. U.Abdula: Ultrazvuk u kliničkoj medicini (ur. A.Kurjak). Medicinska naklada. Zagreb, 1977, 367-373.
4. D.Ristanović, J.Simonović, J.Vuković i R.Radovanović: Biofizika za studente medicine. RO "Zaječar", 1979, Zaječar.
5. J.Duhamel: Biophysique des vibrations materielles et ultrasons. A.Colin, Paris, 1974.

11. s e k c i j a

IZOBRAŽEVANJE

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portorož, 21.-24.4.1981.

J.Vujić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča
Centar za permanentno obrazovanje
Beograd, Kosančićev venac 29

M.Ninković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča
Laboratorija za zaštitu od zračenja

# ZAŠTITA OD ZRAČENJA U OBUCI KADROVA ZA RAD SA IZVORIMA ZRAČENJA - ISKUSTVA CENTRA ZA PERMANENTNO OBRAZOVANJE IBK

U saopštenju je iznet karakter i razvoj Centra za permanentno obrazovanje Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča, koji se više od četvrt veka bavi obrazovanjem kadrova za rad sa radioaktivnim izotopima i zračenjem, i zaštitu od zračenja. Data je analiza kurseva u pogledu na stupanj obrazovanja koji daju, zastupljenu zaštitu od zračenja, odnos teorijske nastave i praktičnog rada, kao i analiza polaznika u pogledu na stručnu spremu i oblast rada.Na kraju su izneti planovi Centra za organizovanje novih kurseva u oblasti zaštite od zračenja.

## 1. UVOD

Naša zemlja ubrzano korača putem mirnodopske primene nuklearne energije. To je naročito uočljivo poslednjih nekoliko godina, imajući u vidu izgradnju nuklearne elektrane Krško, kao i planove za izgradnju niza drugih nuklearnih postrojenja /3/. Pored energetike, široka je primena zračenja u medicini, industriji, poljoprivredi,itd. Za rad u svim ovim oblastima neophodno je poznavanje dejstva zračenja i zaštite od zračenja. Sa sigurnošću se može reći da student medicine po završetku fakulteta ima malo znanja o zračenju, njegovom dejstvu i mogućnostima primene. Slično se može reći za biologe, geologe, veterinare, tehnologe i dr. Multidisciplinarnost koja je svojstvena ovoj oblasti onemogućila je da se više mesta posveti zračenju u redovnom srednjoškolskom i fakultetskom obrazovanju.

S druge strane, sve šira primena u praksi zahteva obučen kadar u radu sa zračenjem. Jedino rešenje, bar za sada, je u održavanju specijalističkih kurseva i seminara. Postoji i ideja o osnivanju fakulteta na kome bi se školovali kadrovi za rad sa zračenjem, njegovu primenu u raznim oblastima, kao i zaštitu od zračenja. Iako do

početka rada ovakvog fakulteta predstoji dug period, krajnje je vreme da se počne sa planiranim podizanjem kadrova u ovoj oblasti, jer nam vrlo brzo može baš takav kadar biti deficitaran.

## 2. ISTORIJAT I KARAKTER CENTRA ZA PERMANENTNO OBRAZOVANJE IBK

Jedina institucija u našoj zemlji, koja u većem delu zadovoljava kriterijume obuke kadrova u oblasti rada sa zračenjem je Centar IBK. Začeci ovog Centra se nalaze u dalekoj 1952. godini, kada je prof. Pavle Savić uvodio mlade saradnike još mladjeg instituta (Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča) u tajne nuklearnih i radiohemijskih procesa.

Sve veća primena zračenja u privredi i medicini zahtevala je da se obučava kadar i van okvira Instituta, tako da je organizovan Bazični kurs za obuku kadrova za rad sa radioaktivnim izotopima i zračenjem /5/, a sedište je prebačeno iz Instituta u centar Beograda (bivša zgrada SKNE). Organizovanje ovakvog kursa, u okviru koga se obradjuju osnovni pojmovi iz atomske i nuklearne fizike, radioaktivnost, interakcija zračenja i materije, proizvodnja radioaktivnih izotopa, osnovni principi detekcije, detektori i prateća elektronska instrumentacija, merenja i korekcije merenja, identifikacija i separacija radioaktivnih izotopa, hemijsko i biološko dejstvo, dozimetrija zračenja, tehnička zaštita od zračenja, medicinska zaštita, dekontaminacija i radioaktivni otpadni materijal, kao i primene zračenja u pojedinim oblastima, omogućila je multidisciplinarnost samog Instituta, odnosno naučnih radnika koji rade u njemu. Iz ovog osnovnog kursa je proisteklo oko pedeset različitih specijalističkih kurseva.

Do sada je održano oko 300 kurseva i obučeno oko 5000 polaznika. U nastavi je učestvovalo 246 predavača iz 10 centara u zemlji (124 iz IBK) i 20 predavača iz drugih zemalja, od toga 5 akademika, 66 profesora univerziteta, 15 docenata, 116 doktora nauka, 16 magistara i 27 diplomiranih. Izdate su 24 knjige i 20 skripata.

Centar raspolaže radiohemijskom laboratorijom, elektronskom mernom laboratorijom, dozimetrijskom sobom i mračnom komorom, koje su potpuno opremljene za istovremeni rad 20 polaznika. Pored ovoga Centar raspolaže rentgen uredjajima za radiografsku kontrolu, kontejnerima-defektoskopima, instrumentima za dozimetrijsku kontrolu, neutronskim Am-Be izvorom i nizom drugih radioaktivnih izvora. Učionica je takodje predvidjena za 20 slušalaca, uz mogućnost korišćenja pomoćnih nastavnih sredstava (filmova, slajdova, dijapozitiva i sl.).

Nastava se obično održava u vremenu od 8-15 časova. Ustaljeno je da se u okviru jedne teme prvo održi predavanje (2-3 sata), zatim praktična vežba u laboratorijama (2-3 sata), a onda obrada dobijenih rezultata uz diskusiju (1-2 sata). U savladjivanju gradiva i radu polaznicima pomažu asistenti, kojih u Centru ima 4 i dva tehničara-laboranta. Posle svake predjene oblasti održavaju se kolokvijumi i konsultacije, tako da se u neposrednom kontaktu kontinualno prati rad svakog polaznika.

Od samog početka rada Centra prihvaćena je formula, koja je doprinela njegovom ugledu i popularnosti:

1. Praćenje dostignuća u nauci i njihovih primena u praksi,
2. Brzo reagovanje u pripremi programa prema zahtevima privrede i njihova elastičnost,
3. Visokostručan nastavni kadar, uz obezbedjivanje knjiga i skripata,
4. Maksimalno 20 polaznika po kursu,
5. Samostalan praktičan rad sa instrumentima u laboratorijama,
6. Diskusije, konsultacije, kontinualna provera znanja, završni ispit

U sledećoj tabeli je dat pregled polaznika na kursevima prema stručnoj spremi i oblasti kojom se bave:

| NAZIV KURSA I GODINA ODRŽAVANJA PRVOG | BROJ KURSEVA | BROJ POLAZNIKA | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | UKUPAN | VSS | VS | SS | NS |
| Bazični kurs (1956.) | 121 | 1979 | 1311 | 53 | 606 | 9 |
| Industrijska radiografija (1971.) | 23 | 372 | 67 | 12 | 293 | - |
| Kontrola metodama bez razaranja (1971.) | 8 | 83 | 37 | 15 | 31 | - |
| Interpretacija i ocenjivanje radiograma (1976.) | 10 | 202 | 72 | 32 | 98 | - |
| Zaštita od jonizujućeg zračenja (1964.) | 61 | 1806 | 165 | 119 | 712 | 100 |
| Radioimunološke analize (1977.) | 4 | 57 | 53 | 3 | 1 | - |
| Dijagnostička primena rad. izotopa u gastroenterologiji (1979.) | 2 | 34 | 34 | - | - | - |
| Primena rad. izotopa u dijagnostici i terapiji oboljenja štitaste žljezde (1979.) | 2 | 26 | 26 | - | - | - |

## 3. UDEO ZAŠTITE OD ZRAČENJA U POJEDINIM KURSEVIMA

Zahvaljujući karakteru Centra, moguće je permanentno obrazovanje svih profila, sa stručnom spremom počev od KV radnika pa do doktora nauka. Normalno, nivo nastave pojedinih kurseva je uskladjen sa predznanjem polaznika. Ipak, u odnosu na zaštitu od zračenja,

na svakom kursu je obuhvaćena sledeća programska celina:

I Teorijski deo, koji obuhvata: osnovne pojmove o zračenju, vrste zračenja i njihov nastanak, interakciju zračenja i materije, detekciju zračenja, vrste detektora i prateće elektronske komponente, hemijsko i biološko dejstvo zračenja, radijaciono-biološke efekte, dozimetriju zračenja, merenje doze zračenja, tehničku zaštitu od zračenja i medicinsku zaštitu /4/.

II Rad u laboratorijama sa zračenjem, koji treba da omogući slušaocima praktična iskustva i osećaj zračenja, tj. uticaj aktivnosti izvora, vrste zračenja koju emituje izvor, energije zračenja, uticaj vremena, rastojanja od izvora i zaštitnih zidova na ekspozicionu dozu, odnosno mogućnost rada sa takvim izvorom. Slušaoci se upoznaju sa instrumentima, koji prestaju da budu crne kutije za njih, već bliske stvari čiji mehanizam rada, prednosti i mogućnosti poznaju.

III Konsultacije i diskusije sa polaznicima u toku vežbi i obrade vežbi pomažu da se prati način na koji savladjuju gradivo, da se uoči njihov odnos prema zračenju i radu sa zračenjem, a kolokvijumi daju uvid u stepen savladanog gradiva i nivo samostalnosti do koje su došli u obradi nekog problema.

Zavisno od namene kursa, njegovog trajanja (od 5 dana do 7 nedelja), predznanja polaznika, pojedini delovi se obradjuju manje ili više detaljno (npr. medicinari se više upoznaju sa biološkim dejstvom zračenja i medicinskom zaštitom i sl.), ali, uglavnom, svi u osnovnim crtama prodju kroz ova tri stepena.

U odnosu na zaštitu od zračenja svi kursevi su grupisani u tri nivoa:

1. Polaznici ne rade sa radioaktivnim izotopima i zračenjem.
Tu dolaze jednonedeljni kursevi: Zaštita na radu i Zaštita od jonizujućeg zračenja, koji su namenjeni svima koji su zainteresovani da steknu osnovne pojmove o strukturi materije, dejstvu zračenja na ljudski organizam i zaštiti od zračenja. Ovi kursevi su namenjeni naročito onima koji imaju vrlo mala znanja iz ovih oblasti (KV radnici, spremačice), a zbog mesta na kom rade nužno moraju da se susreću sa zračenjem (javljači požara, debljinomeri, nivometri, radioaktivni gromobrani i sl.). Posebna pažnja se posvećuje demonstracijama u laboratoriji (pošto oni ne rade samostalno sa zračenjem) i direktnom razgovoru sa slušaocima, da bi se sprečio s jedne strane nerazumni strah, a sa druge isto tako nerazumna "hrabrost" u odnosu na zračenje.

2. Samostalan rad sa zračenjem. Na ovom nivou slušaoci se obučavaju

za samostalan rad sa otvorenim i zatvorenim izvorima zračenja. Po uspešnom završetku Bazičnog kursa stiču zakonsku dozvolu za rad sa otvorenim i zatvorenim izvorima zračenja, dok po uspešnom završetku kursa Industrijska radiografija dobijaju zakonsku dozvoju za rad sa zatvorenim izvorima zračenja (rentgen uredjajima i gama defektoskopima). Od ukupno 179 sati koliko traje Bazični kurs (6 nedelja), predavanja su zastupljena sa 96 sati, laboratorijske i računske vežbe sa 60 sati a konsultacije i kolokvijumi sa 23 sata. Iako se svakog dana obradjuje nova metodska jedinica, veliki broj sati koji je odvojen za praktične vežbe , konsultacije i kolokvijume omogućava da slušaoci ponesu sa sobom dovoljno znanje za potpuno samostalan rad. Zastupljenost predavanja i vežbanja iz oblasti zaštite od zračenja iznosi oko 30% na svim kursevima. Pored ova dva osnovna kursa, postoji niz specijalističkih kurseva primene zračenja u raznim oblastima, gde se traži prethodno završavanje jednog od ova dva kursa. Iz oblasti medicine obradjuje se dijagnostička primena radioaktivnih izotopa u gastroenterologiji, u dijagnostici i terapiji štitaste žljezde, u onkološkoj dijagnostici i terapiji, radioimunološkim analizama, dok se industrijska primena odnosi na rad u oblasti ispitivanja bez razaranja, interpretacije radiograma i sl.

3. Profesionalno bavljenje zaštitom od zračenja.

Sve šira primena zračenja i nova saznanja u oblasti dejstva zračenja na ljudski organizam /6/, ukazuju na potrebu stvaranja kadra koji bi se profesionalno bavio zaštitom od zračenja, i to ne samo u nuklearnim postrojenjima, već i u medicinskim ustanovama, industrijskim organizacijama i sl.

U okviru ovog nivoa razlikuju se tri stepena:
a) Tehničari nuklearnih postrojenja, b) Inženjeri zaštite, c) Istraživački kadar u oblasti zaštite od zračenja.

- Za sada je razradjen program kursa za tehničare za poslove zaštite od zračenja na nuklearnim elektranama /1/ i kroz ovaj kurs su prošli tehničari nuklearne elektrane Krško. Pored gradiva koje se obradjuje na Bazičnom kursu, ovde se detaljnije obradjuju nuklearni reaktori, karakteristike nuklearnog dela elektrana, prenosna oprema za kontrolu zračenja i kontaminacije u radnim i tehnološkim prostorijama elektrane, prenosni instrumenti za kontrolu kontaminacije površina i vazduha, sakupljači uzoraka radioaktivnih aerosola, individualna i ostala zaštitna oprema za rad u radijaciono-kontaminacionim poljima, organizacija službe zaštite od zračenja, propisi i uputstva za rad službe, organizacija rada u normalnim i akcidentalnim uslovima, kao i

kontrola radioaktivnosti okoline nuklearnih postrojenja. Posebne vežbe se održavaju u IBK: na reaktorima RA i RB, laboratoriji za dozimetriju, laboratoriji za kontrolu radioaktivnosti okoline, laboratoriji za dekontaminaciju i radioaktivne otpadne materijale i laboratoriji za medicinsku zaštitu. Kurs traje 32 efektivna radna dana sa 6-7 sati dnevno predavanja, vežbanja, konsultacija, kolokvijuma i praktične obuke. Na realizaciji kursa se angažuje 50 nastavnika i asistenata, uz knjige i skripta.

Verovatno će se i u zakonskim propisima, koji su kod nas u fazi izrade zahtevati u svakoj radnoj organizaciji koja koristi radioaktivne izotope i zračenja, postojanje ekipe ili čoveka koji će se isključivo baviti poslovima zaštite od zračenja ( inženjeri zaštite). Za sada na Elektrotehničkom fakultetu u Begradu postoji na postdiplomskim studijama smer zaštite od zračenja i primene zračenja. U saradnji sa fakultetom, Centar je za ove postdiplomce organizovao kurs u skladu sa programom na postdiplomskim studijama. Angažovani su predavači sa Elektrotehničkog fakulteta, IBK, PMF i Vojnotehničkog instituta. Posebna pažnja je posvećena transportnim teorijama X, gama, beta zračenja i neutrona, njihovoj interakciji sa materijom, detekciji, dozimetriji u složenim (mešovitim) poljima zračenja, numeričkoj analizi i njenoj primeni u obradi podataka i rešavanju problema u ovoj oblasti (Monte Karlo metod).

- Kurs za inženjere zaštite, odnosno istraživački kadar /2/ iz ove oblasti je u pripremi. Namena ovog kursa je da se izlože najnovija dostignuća, pravci razvoja i najaktuelnija tematika na polju zaštite od zračenja. Namenjen je licima koja se profesionalno bave problemima zaštite od zračenja sa njihove praktične, razvojne ili istraživačke strane.

Obradjivale bi se sledeće oblasti: radijaciona fizika (interakcija zračenja i materije, fizika akceleratora i X zračenja, nejonizujuća zračenja), radiobiologija (radiopatologija, epidemiologija i ocena radijacionog rizika,analiza metaboličkog modela ICRP, toksičnost i problemi kontrole aktinida i sl.), dozimetrija (neutronska dozimetrija, luminescentna dozimetrija, biološki indikatori doze, mikrodozimetrija, dozimetrija nejonizujućih zračenja), instrumentacija (tekući razvoj detektora i dozimetara zračenja, radijacione jedinice, metode standardizacije, savremena obrada podataka), tehnička zaštita od zračenja (moderne koncepcije, planiranje kontrole, metodika i tehnika zaštite u uslovima pojave radioaktivnih aerosola, u procesima kopanja i prerade uranijumske rude, pri radu sa linearnim akceleratorima, sa nejonizujućim zračenjem ), zaštita stanovništva (lanac is-

hrane, procena doza,uvod u nuklearnu sigurnost i kriterijume za lokaciju nuklearnih objekata, sa procenom rizika akcidenata većih razmera), medicinska zaštita ( medicinski aspekti zaštite od zračenja u nuklearnoj industriji i pri radu sa akceleratorima, implikacija doza iznad graničnih nivoa, savremene metode humane dekontaminacije - preventivne i postakcidentalne), regulativa (medicinsko-pravni aspekti, nacionalna i internacionalna tela za zaštitu od zračenja, organizacija i rukovodjenje servisom za zaštitu od zračenja).

Praktičan deo predvidja obilazak i upoznavanje sa pogonima i laboratorijama specifičnim u pogledu organizacije i sprovodjenja mera zaštite od zračenja. Kao moguća mesta se planiraju: IBK (reaktor RA, proizvodnja radioizotopa, radijaciona jedinica, akceleratori, laboratorije za zaštitu od zračenja), Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu, Radiološki institut, VMA-medicinska radioizotopna laboratorija i jedna od industrijskih radnih organizacija koja koristi raznovrsne izvore zračenja.

Potencijalni predavači bi bili iz Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča, Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" Beograd, Instituta za nuklearne nauke "Rudjer Bošković" Zagreb, Instituta "Jožef Štefan" Ljubljana, Vojnomedicinske akademije, Beograd, Radiološkog instituta, Beograd i odgovarajućih fakulteta.

Potencijalni slušaoci na ovom kursu su: istraživači i stručni saradnici sa iskustvom na problemima zaštite od zračenja, saradnici Inspektorata za zaštitu od zračenja (republičkih, pokrajinskih i regionalnih), studenti postdiplomci iz oblasti zaštite od zračenja, stručni saradnici službi zaštite u industriji, medicini, armiji i sl.

Svi ovi kursevi pokazuju mogućnosti Centra, koji oslanjajući se na naučni i stručni kadar naših instituta, fakulteta i drugih institucija, može da organizuje nove bazične i specijalističke kurseve u oblasti primene zračenja i zaštite od zračenja, u zavisnosti od njihove namene, specijalnih zahteva, potreba privrede, predznanja polaznika i sl.

ABSTRCT

In this paper character and development of the Center for Permanent Education in the Institute for Nuclear Sciences "Boris Kidrič" Vinča are discussed. The Center is holding training courses on application of radioactive isotopes and radiation techniques in

industry and medicine as well as specialised courses for radiation protection for more than the qarter of the century. The analysis of the courses in relation to degree of given knowledge, specially the knowledge of radiation protection and the ratio of the lectures to the experimental work are presented. The analysis of the participans professional qualifications and fields of interest were done also. The projects for new radiation protection courses organisation are discussed.

LITERATURA

/1/ Ninković M.,Mladjenović O.,Kanduč M.:Obuka tehničara za poslove zaštite od zračenja na nuklearnim elektranama, Zbornik radova sa X simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac, 29.5.-1.6.1979.

/2/ Morgan Z.K.: Graduate Programs for Health Physicist in the United States, Health Physics, Vol.11, pp 895-915, 1965.

/3/ Bojović.P.S.: Projektovanje ciljeva i programiranje razvoja sistema za zaštitu od zračenja, Zbornik radova sa X simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Arandjelovac, 29.5.-1.6.1979.

/4/ Draganić I.i sar. : Radioaktivni izvori i zračenja. I i II, Naučna knjiga, Beograd, 1963.

/5/ Draganić I. i dr.: Bazični kurs za obuku kadrova za rad sa radioaktivnim izvorima, Interna dokumentacija IBK,Vinča, 1956.

/6/ ICRP Publication 26, Pergamon Press, 1977.

XI Simpozijum Jugoslovenskog društva za
zaštitu od zračenja
Portorož, 20.- 25. aprila 1981. godine

Petar Marković

Institut za fiziku, Prirodno-matematički fakultet - Kragujevac

# ELEMENTI PLANA I PROGRAMA POSLEDIPLOMSKIH I SPECIJALISTIČKIH STUDIJA IZ OBLASTI RADIJACIONE FIZIKE I ZAŠTITE U INSTITUTU ZA FIZIKU - PRIRODNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA - KRAGUJEVAC

## 1. OPŠTA RAZMATRANJA

Statutom Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta "Svetozar Marković"- Kragujevac predvidjena je mogućnost organizovanja i izvodjenja poslediplomskih studija iz oblasti radijacione fizike i zaštite. Studije su dvogodišnje i izvode se u Institutu za fiziku Fakulteta. Pravilnikom fakulteta o poslediplomskim studijama pobliže su definisani uslovi koje kandidati moraju zadovoljiti da bi im bio dozvoljen upis na studije. Dva osnovna uslova odnose se na srednju ocenu na redovnim studijama i vrstu prethodno završenog fakulteta. S tim u vezi o uslovima upisa konkursa za poslediplomske studije stoji. Na poslediplomske (magistarske) studije pojedinog studijaskog smera mogu se upisati kandidati koji su diplomirali na odgovarajućim studijskim grupama i srodnim fakultetima sa srednjom ocenom najmanje 8 (osam).

Izuzetno na poslediplomske (magistarske) studije mogu se upisati i kandidati koji imaju nižu srednju ocenu, ali ne manju od 7,50 (sedam ipo) ako iz grupe predmeta koji su od posebnog značaja za poslediplomske (magistarske) studije imaju srednju ocenu iznad 8, imaju objavljene radove iz oblasti ili imaju završenu specijalizaciju.

Detektori nejonizujućih zračenja;
Jedinice mere u zaštiti od zračenja;
Etalon jonizujućeg zračenja;
Merne instalacije i merni lanci u zaštiti od zračenja;
Zakonski aspekti merenja - Legalna metrologija;
Metrologija nejonizujućih zračenja;
Seminar (projektni zadatak).

Radijaciona fizika i proračun zaštite:

Apsorpcija, rasejane i slabljenje jonizujućih zračenja;
Faktori nagomilavanja;
Teorija transporta X, gama zračenja i neutrona;
Proračuni zaštite od tačkastih i površinskih izvora zračenja;
Proračuni zaštite od zračenja pri ratnim i drugim vanrednim uslovima;
Proračun zaštite i faktori zaštite pri radu reaktora, akceleratora i velikih X i gama izvora zračenja;
Projektni zadatak;

Primenjena zaštita od zračenja:

Program ovog predmeta bi se sastojao uglavnom u praktičnom radu koji bi uključivao sve oblasti zaštite od zračenja u primeni, kao što su: lična dozimetrija; kontrola zračenja kod nuklearnih reaktora, akceleratora, X i gama instalacija i drugih; kontrola kontaminacije; planiranje i konstrukcioni standardi za rad sa otvorenim i zatvorenim izvorima zračenja. Primena radijacionih normi i istraživačkom radu, industriji i medicini, mere i postupci u ratu i drugim vanrednim uslovima, itd.

Dozimetrija zračenja:

Osnovni pojmovi o dozimetriji zračenja;
Dozimetrija gama zračenja;
Dozimetrija beta zračenja;
Neutronska dozimetrija;
Dozimetrija unutrašnjeg ozračivanja;
Jonizacione metode dozimetrije;
Specijalne metode u dozimetriji zračenja;
Etaloni dozimetrijskih veličina;
Organizacija stalne lične dozimetrijske kontrole i kontrole okoline;
Projektni zadatak.

Izabrana poglavlja

Zavisno od želje kandidata i izbora magistarskog rada moguća su usmeravanja u sledećim pravcima:

1. Optička spektroskopija,
2. Zaštita od zračenja u Nuklearnoj industriji,
3. Prostiranje radioaktivnih materijala u prirodnoj sredini i problemi radijacionog rizika za pojedince i stanovništvo,

4. Problemi radijacione zaštite u medicinskoj primeni izbora zračenja,
5. Problemi radijacione zaštite i bezbednosti u vanrednim uslovima.

3. MATERIJALNE I DRUGE OSNOVE ZA IZVODJENJE STUDIJA

Kao elementi koji su se stekli i postoje i koji služe kao osnova za organizovanje i izvodjenje poslediplomskih studija, mogu se navesti:

- zainteresovanost kandidata,
- postojeći nastavni kadar u Institutu za fiziku i mogućnost angažovanja kadra sa strane,
- materijalna potpora od strane Osnovne zajednice nauke regiona Šumadije i Pomoravlja, kao i Univerziteta "Svetozar Marković" - Kragujevac.

  Ta potpora se sastoji u dodeljivanju finansijskih sredstava za nabavku opreme za poslediplomske studije, kao i dodeljivanju stipendije kandidata,
- saradnja sa institutima za fiziku SR Srbije - Beograd i Instituta "Boris Kidrič", Vinča, Beograd. Ta saradnja biće sada regulisana i odgovarajućim samoupravnim sporazumima,
- postojanje predmeta iz ove oblasti na redovnim studijama fizike, kako na našem tako i na mnogim drugim fakultetima,
- istraživački rad iz ove oblasti u Institutu za fiziku Fakulteta, definisan preko dva projekta koja već finansira regionalna zajednica nauke, i druga dva koja treba da udju u srednjoročni plan regionalne i republičke zajednice nauke.

## 4. SPECIJALISTIČKE STUDIJE

Statutom fakulteta predvidjene su i specijalističke studije iz oblasti radijacione fizike i zaštite. Za ovo u zadnje vreme postoji znatan interes (oko 20 evidentiranih kandidata) od kojih, uglavnom, svi zaposleni ili pred zaposlenjem na poslovima na kojima se radi sa ranim vidovima izvora jonizujućih i nejonizujućih zračenja. U toku je pravljenje plana i programa za ove studije, a skoro je sigurno da će iste početi školske 1981/82. godine.

Dj.N.Bek-Uzarov, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"
P.fah 522, 11001 Beograd

# ELEMENTARNE FIZIČKE VELIČINE I JEDINICE IZ OBLASTI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U SISTEMU JEDINICA-SI

U radu su dati kratki i najvažniji statovi i praktične preporuke o korišćenju jedinica Medjunarodnog sistema-SI i preračunavanju vansistemskih u jedinice-SI.

## Uvod

Jedinice mera i sistemi jedinica mera ma koliko da su logični, jednostavni i fizički opravdani, nisu se ni izbliza za poslednje stoleće racionalno razvijali i primenjivali. Tako je postojalo nekoliko sistema mera, a sistem koji se najduže zadržao u fizici, sastavljen od osnovnih jedinica: centimetra, grama i sekunde, skraćeno nazivan CGS-sistem, dugo je neopravdano smatran naučnim sistemom. Sistem sa osnovnim jedinicama: metar, kilogram i sekunda – MKS-sistem – bio je dugo u upotrebi u elektrotehnici i gradjevinarstvu. Tehnički sistem mera, u kome su osnovne veličine: dužina, sila i vreme, služio je dugo u raznim oblicima u mašinskoj tehnici. Mernih sistema je bilo još, ne treba ih nabrajati. I u samoj fizici bilo je nekoherentnosti: toplotna energija je merena kalorijama; mehanička, električna i elektromagnetska džulima, a nuklearna elektronvoltima. Rezultat je bio takav da se za istu fizičku veličinu moglo naći i po nekoliko različitih jedinica. Tako se, recimo ravnopravno, za pritisak upotrebljavalo pet raznih jedinica, za energiju četiri, za silu tri i tako dalje. To je, razume se, imalo za posledicu veliki broj zabuna, nesporazuma i šteta, čak u medjunarodnom prometu. Učenici i studenti su imali da uče više nego što je racionalno bilo potrebno. Zbog svega toga je 1960. godine Generalni komitet za tegove i mere pokrenuo akciju za uvodjenje Medjunarodnog sistema jedinica – „Le Système International d' Unités" – skraćeno u celom svetu obeležen sa SI. Kod nas se SI usvaja Zakonom o mernim jedinicama i merilima, objavljenim u „Sl. listu SFRJ" broj 13/76, koji nalaže da se od 31. decembra 1980. godine ovaj sistem u potpunosti uvede u javni saobraćaj.

U ovom tekstu će skraćeno biti izložen materijal koji može korisno da posluži kao priručna beleška o zakonskim jedinicama u javnom saobraćaju. Razume se da su u tekstu obradjene jedinice uglavnom iz oblasti jonizujućeg zračenja, koje se najčešće koriste u okviru delatnosti zaštite, dok su druge date samo u onoj meri u kojoj se najopštiji interesi naših radnika mogu da zadovolje.

## Struktura Medjunarodnog sistema jedinica – SI

Medjunarodni sistem jedinica – SI je sistem fizičkih veličina koji služi za sve naučne i tehničke discipline, privredu i celokupnu ljudsku razmenu dobara i usluga. Uvodjenje Medjunarodnog sistema jedinica – SI podrazumeva isključenje nekih specifičnih jedinica i sistema u pojedinim oblastima nauke i tehnike.

Medjunarodni sistem jedinica – SI sastoji se od tri grupe fizičkih veličina i jedinica:

1. osnovne jedinice,
2. dopunske jedinice i
3. izvedene jedinice.

*Osnovne jedinice fizičkih veličina SI su:*

| veličina | jedinica | oznaka jedinice |
|---|---|---|
| 1. dužina | metar | m |
| 2. vreme | sekunda | s |
| 3. masa | kilogram | kg |
| 4. jačina električne struje | amper | A |
| 5. termodinamička temperatuta | kelvin | K |
| 6. svetlosna jačina | kandela | cd |
| 7. količina materije-gradiva | mol | mol |

*Dopunske jedinice SI su:*

| | | |
|---|---|---|
| 1. ugao u ravni | radijan | rad |
| 2. ugao u prostoru | steradijan | sr |

*Izvedene jedinice SI* su jedinice koje se isključivo izražavaju pomoću navedenih osnovnih i dopunskih jedinica.

Zakon o mernim jedinicama i merilima reguliše status svih jedinica i merila koje se smeju koristiti na teritoriji SFRJ u javnom saobraćaju. Po tom zakonu dopunske jedinice SI spadaju u izvedene jedinice nacionalnog zakonskog (legalnog) sistema metrološkog jedinstva SFR Jugoslavije. Zakonodavac pod pretnjom kazne (videti članove od 50. do 53) nalaže rigorozno uvodjenje u javni saobraćaj jedinica citiranih u pomenutom broju „Službenog lista", koje u suštini čine Medjunarodni sistem jedinica, pa na taj način naša zemlja ispunjava svoju medjunarodnu obavezu kao zemlja potpisnica Metarske konvencije iz 1885. godine. Pod javnim saobraćajem se podrazumeva svake razmena dobara, usluga, dokumenata, čak i razmena izmedju OOUR-a u složenoj organizaciji; čas nastave u školi i na univerzitetu; predavanja i referati spadaju takodje u javni saobraćaj.

Zakon o mernim jedinicama i merilima obuhvata tri (uskoro: četiri) izvedene jedinice koje su neposre-

čno povezane sa radioaktivnošću i jonizujućim zračenjem. To su:

1. **Aktivnost radioaktivnog izvora.** Jedinica za aktivnost radioaktivnog izvora je *bekerel* (becquerel) – oznaka: Bq. Bekerel je izvedena jedinica SI. Bekerel je aktivnost radioaktivnog izvora u kome se dešava jedan raspad radioaktivnog jezgra u 1 sekundi

$$1\ \mathrm{Bq} = \frac{1}{1\ \mathrm{s}}$$

2. **Apsorbovana doza jonizujućeg zračenja.** Jedinica za apsorbovanu dozu jonizujućeg zračenja je *grej* (gray) – oznaka: Gy. Grej je izvedena jedinica SI. Grej je apsorbovana doza jonizujućeg zračenja u telu čija je masa 1 kilogram, a kome je jonizujućim zračenjem stalne gustine energetskog fluksa unesena energija od 1 džula

$$1\ \mathrm{Gy} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{kg}}$$

3. **Ekspoziciona doza jonizujućeg zračenja.** Jedinica za ekspozicionu dozu jonizujućeg zračenja je kulon po kilogramu (oznaka: C/kg ili $\mathrm{C \cdot kg^{-1}}$). Kulon po kilogramu je izvedena jedinica SI. Kulon po kilogramu je ekspoziciona doza jonizujućeg zračenja koje u količini vazduha mase 1 kilogram može stvoriti jone istog znaka ukupnog naelektrisanja od 1 kulona ako je gustina energetskog fluksa ista u celoj količini ozračenog vazduha

$$1\ \mathrm{C/kg} = \frac{1\ \mathrm{C}}{1\ \mathrm{kg}}$$

(4.) U spisak zakonskih jedinica nije ušla (a nije ni mogla da udje) jedinica za ekvivalentnu dozu jonizujućeg zračenja *sivert* (oznaka: Sv) koja je usvojena na XVI generalnoj konferenciji za tegove i mere. Sivert je jednak džulu po kilogramu. Sivert će nesumnjivo i formalno biti zakonski usvojena jedinica za SFRJ; njegovo usvajanje se očekuje ovih dana.

## Identifikacija izvedenih jedinica SI

Bilo koja fizička veličina Q izražena je jedinicom $Q_j$ Medjunarodnog sistema SI ako se može dimenzionalnom analizom utvrditi da je iskazana isključivo u jedinicama koje čine sledeći algebarski izraz:

$$\dim Q_j = [m^a \cdot s^b \cdot kg^c \cdot A^d \cdot K^e \cdot cd^f \cdot mol^g \cdot rad^h \cdot sr^i], \qquad (1)$$

gde su: m, s, kg, A, cd, mol, rad i sr respektivno označene jedinice citirane u početnim tablicama osnovnih i dopunskih jedinica u ovom tekstu. Eksponenti: *a, b, c, d, e, f, g, h* i *i* su realni brojevi - negativni, pozitivni celi i razlomljeni brojevi i nule. Kada je eksponent o tredjene jedinice jednak nuli, to znači da ta izvedena jedinica ne zavisi od te osnovne jedinice. *Osnovna jedinica* je jedinica neke fizičke veličine koja se ne može izkazati i ne iskazuje se nekom drugom veličinom. Na primer, dužina se ne može iskazati vremenom, ili vreme masom.

**Gradjenje izvedenih veličina.** Izvedene veličine se grade na osnovu fizičkih i matematičkih zakonitosti.

Geometrija nas uči da se veličina površine može iskazati pomoću jedinice koja čini geometrijsku sliku kvadrata. Ako je stranica kvadrata dužine 1 metar, onda je kvadratni metar izvedena jedinica za površinu od osnovne jedinice za dužinu – 1 m. Slično je sa zapreminom, čija je jedinica kubni metar – $m^3$.

Fizika nas uči da je brzina rastojanje predjeno u toku vremena. Brzina se matematički izražava relacijom $v = \ell/t$, gde je $\ell$ – predjeno rastojanje, a $t$ – interval vremena. Izvedena jedinica za brzinu će biti ona brzina kojom se prelazi rastojanje od jednog metra u intervalu vremena od 1 sekunde. Metar i sekunda su osnovne jedinice, a brzina je izvedena jedinica.

*Primer. Identifikovanje jedinice sile u SI.* Drugi Njutnov zakon u fizici nas uči da je sila $F$ srazmerna proizvodu mase $m$ i ubrzanja $a$. Napisano matematičkim simbolima to izgleda ovako:

$$F = m \cdot a \qquad (2)$$

Masa se u SI meri kilogramom, a ubrzanje $\mathrm{m/s^2}$. Tako će dimenzionalna analiza da pruži sledeći rezultat

$$\dim F = [\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}] \qquad (3)$$

Kada se nadjeni dimenzionalni izraz uporedi sa izrazom (1), vidi se da su eksponenti: d=e=f=g=h=i=0, da je a=c=1 i da je b=2, tj. da jedinica pripada SI. Ona se zove njutn i ima oznaku: N. Kada je merena ili računata vrednost sile, ona se piše

$$F = x\mathrm{N}, \qquad (4)$$

gde je $x$ brojna vrednost (zove se i merni broj), a N je oznaka (simbol) jedinice – njutn, koji zamenjuje složeni dimenzionalni izraz $[\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}]$. Za jedinice koje nemaju ime u SI treba pisati dimenzije jedinice.

Broj $x$ pokazuje koliko se puta odredjena jedinica sadrži u datoj (posmatranoj) fizičkoj veličini. Taj broj može da bude veći od 1 i manji od 1. Kada, recimo, broj $x$ dostigne vrednost 1 000, umesto 1 000 N može se pisati jednostavno kN, (1 000 N=1 kN), što je znatno kraće, jednostavnije i pouzdanije. Broj $x$ se sada zove predmetak jedinice. Kada su predmeci veći od jedinice zovu se umnošci, a kada su manji zovu se podeljci.

## Izražavanje i pisanje jedinica SI

a. Jedinice SI pišu se uspravnim slovima latinice bez obzira na pismo teksta: ćirilica, latinica, japanski, kineski; izuzetak je samo rusko pismo.

b. Decimalni predmeci navedeni u gornjoj tablici smeju da se koriste samo za jedinice SI i pored njih još za: litar, teks, vatčas, elektronvolt, votamper (var i kvar).

c. Za obrazovanje decimalnih mernih jedinica može se upotrebiti samo jedan predmetak. Na primer: 1 GBq, a ne 1 kMBq; pA, a ne μμA. Striktno se preporučuje da se upotreba milijardi, biliona, triliona i dr. isključi.

## TABLICA PREDMETAKA JEDINICA SI

| Predmetak | Oznaka predmetka | Vrednost predmetka | Simbol* vrednosti | |
|---|---|---|---|---|
| eksa | E | $10^{18}$ | dex(18) | |
| peta | P | $10^{15}$ | dex(15) | |
| tera | T | $10^{12}$ | dex(12) | |
| giga | G | $10^{9}$ | dex(9) | decimalni umnošci |
| mega | M | $10^{6}$ | dex(6) | |
| kilo | k | $10^{3}$ | dex(3) | |
| hekto | h | $10^{2}$ | dex(2) | korišćenje predmetaka u ovom dijapazonu nije preporučljivo; u regionima gde su oni uobičajeni treba ih postepeno isključivati |
| deka | da | $10^{1}$ | dex(1) | |
| deci | d | $10^{-1}$ | dex(-1) | |
| centi | c | $10^{-2}$ | dex(-2) | |
| mili | m | $10^{-3}$ | dex(-3) | decimalni podeljci |
| mikro | $\mu$ | $10^{-6}$ | dex(-6) | |
| nano | n | $10^{-9}$ | dex(-9) | |
| piko | p | $10^{-12}$ | dex(-12) | |
| femto | f | $10^{-15}$ | dex(-15) | |
| ato | a | $10^{-18}$ | dex(-18) | |

* Napomena. Postoji preporuka Medjunarodne unije za primenjenu i čistu fiziku – IUPAP da se eksponenti sa osnovom prirodnog broja, kao $e^x$, pišu simbolički kao: exp (x), tj. $e^x$ = exp (x), pa je analogno tome i za $10^x$ uvedena simbolička oznaka dex(x); $10^x$ = dex(x), što je uvedeno na Tablici predmetaka, a nije obuhvaćeno Zakonom o mernim jedinicama i merilima.

Predmeci navedeni u Tablici koriste se isključivo za jedinice SI i izuzetno još i za: liter, tona, bar, vatčas, elektronvolt, voltamper i var.

d. Predmetak i naziv, kao i oznaka merne jedinice pišu se zajedno, kao jedna reč. Na primer: eV – elektronvolt; kWh – kilovatčas; pA - pikoamper; MBq –megabekerel. Kada se misli na jedinicu (naziv jedinice) piše se malim početnim slovom, na primer: amper i herc, za razliku od imena naučnika: Amper, Herc.

e. Nije dozvoljeno razdvajanje predmetka od merne jedinice ni slovnim mestom niti bilo kakvim simbolom. Na primer, dobro je: MBq, a nije dobro: M Bq i nije dobro: M · Bq.

f. Kada se na oznaku merne jedinice stavlja eksponent, on se odnosi i na jedinicu i na decimalni predmetak. Na primer: $km^2 = (km)^2$.

g. Kada se izražava jedinica koja je složena iz dve ili više fizičkih jedinica, kao npr. moment sile (proizvod iz sile i kraka sile), ona se piše u obliku proizvoda sa tačkom u sredini izmedju oznaka; u ovom slučaju N · m (njutnmetar), ili za impuls sile: N · s (njutnsekunda).

h. Jedinice se pišu i izgovaraju samo u nominativu (nema padeža). Na primer, 5 $\mu$s čita se kao pet mikrosekunda.

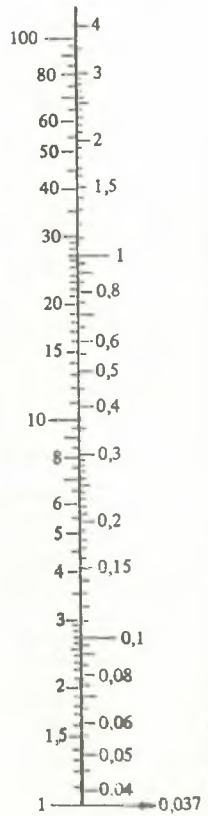
i. Iza oznake merne jedinice se ne stavlja tačka.

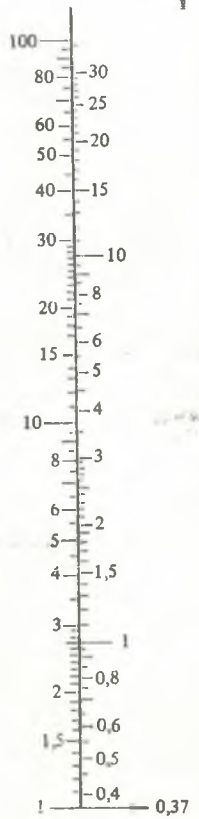
### Preračunavanje nekih jedinica izvan SI u jedinice SI

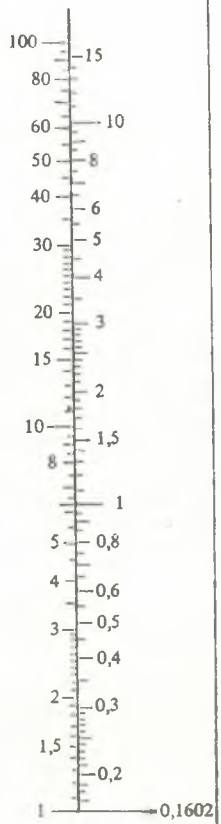
U daljem tekstu date su tablice i nomogrami za približna preračunavanja jedinica van SI u jedinice SI. Svaki od nomograma je autonoman i može se primenjivati nezavisno od teksta kao priručno sredstvo za brza preračunavanja jedinica van SI u jedinice SI.

Pogodnim pretvaranjem nomograma u uglovne mere ili lukove može se konstruisati nomogramska skala za merne instrumente i merila sa obrtnim indeksima, kako to podzakonski akti o mernim jedinicama i merilima nalažu. Priloženi nomogrami predstavljeni u obliku luka mogu da posluže kao skale na mernim instrumentima.

| AKTIVNOSTI, ZAPREMINSKE, POVRŠINSKE I MASENE AKTIVNOSTI RADIOAKTIVNIH IZVORA | | ENERGIJE |
|---|---|---|
| van SI → SI | van SI → SI | van SI → SI |
| Ci → TBq | μCi/cm² → GBq/m² | GeV → nJ |
| mCi → GBq | nCi/cm² → MBq/m² | MeV → pJ |
| μCi → MBq | pCi/cm² → kBq/m² | keV → fJ |
| μCi/cm³ → TBq/m³ | | eV → aJ |
| pCi/ℓ → kBq/m³ | | |
| pCi/g → kBq/kg | | |
| Ci/km² → MBq/m² | | |




| | | |
|---|---|---|
| 1 Ci = 3,700 · $10^{10}$ Bq | 1 Ci = 3,700 · $10^{10}$ Bq | 1 eV = 1,602 19 · $10^{-19}$ J |

Nomogrami za pretvaranja vansistemskih jedinica – van SI – u jedinice SI. Prva dva nomograma služe za pretvaranja veličina aktivnosti i specifičnih aktivnosti, a treći za pretvaranje energetske jedinice elektronvolt-eV u džule-J. Dozvoljeno je da se jedinica elektronvolt koristi bez ograničenja naporedo sa jedinicama SI, sa ravnopravnom upotrebom svih predmetaka (podeljaka i umnožaka) kao i za SI jedinice, ali samo u oblasti atomskih i nuklearnih nauka i tehnika.

# JEDINICE VAN SI KOJE SE MOGU UPOTREBLJAVATI POSLE 31. DECEMBRA 1980.

| Veličina | Jedinica | | Konverzija u SI | Napomena |
|---|---|---|---|---|
| | Naziv | Oznaka | | |
| dužina | morska milja | — | 1 morska milja = 1 852 m | dozvoljena samo u pomorskom i vazdušnom saobraćaju |
| površina | ar<br>hektar | a<br>h | 1 a = 100 $m^2$ = $(10\ m)^2$<br>1 ha = 10 000 $m^2$ | samo za merenje površine zemljišta |
| zapremina | litar[1] | ℓ ; L | 1 ℓ = 1 $dm^3$ = $10^{-3}$ $m^3$ | |
| ugao u ravni | puni ugao<br>pravi ugao<br>stepen<br>minuta<br>sekunda<br>gradus gon | —<br>L'<br>°<br>'<br>''<br>g | 1 puni ugao = 2 $\pi$ rad<br>1 L' = $\pi/2$ rad<br>$1^\circ = \pi/180$ rad<br>$1' = \pi/10\ 800$ rad<br>$1'' = \pi/648\ 000$ rad<br>$1^g = \pi/200$ rad | |
| masa | tona<br>jedinica atomske mase | t<br>u | 1 t = 1 Mg = $10^3$ kg<br>1 u = 1/12 mase nuklida $^{12}C$<br>1 u ≅ 1,660 53 · $10^{-27}$ kg | <br>dozvoljena je samo u hemiji i u atomskoj i nuklearnoj fizici |
| podužna (linijska) masa | teks | tex | 1 tex = $10^{-6}$ kg/m | samo za izražavanje podužne mase vlakna i konca |
| vreme | minuta<br>sat ili čas<br>dan<br>nedelja<br>mesec, godina | min<br>h<br>d<br>—<br>— | 1 min = 60 s<br>1 h = 3 600 s<br>1 d = 86 400 s | <br><br><br>po Gregorijanskom kalendaru; nema oznaka |
| brzina | čvor | — | 1 čvor je morska milja na sat = 0,514m/s | U pomorskom saobraćaju |
| pritisak | bar | bar | 1 bar = 100 000 Pa | |
| energija<br>rad<br>količina toplote | vatčas<br><br>elektronvolt | Wh<br><br>eV | 1 Wh = 3 600 J<br><br>1 eV = 1,602 · $10^{-19}$ J | U elektroenergetici<br>Samo u atomskim i nuklearnim naukama i tehn. |

1. Prema XVI generalnoj konferenciji, izuzetno litar može imati dve oznake: malo slovo latinice „el" — ℓ i veliko — L. (Zakonska odredba o ovom je u toku usvajanja).

Od pomrojanih jedinica u ovoj tablici samo jedinice: *litar, teks, vatčas, elektronvolt, voltamper* i *var* se smeju koristiti sa svim predmecima (umnožima i podelcima) SI jedinica. Videti napomenu iza Tablice predmetaka.

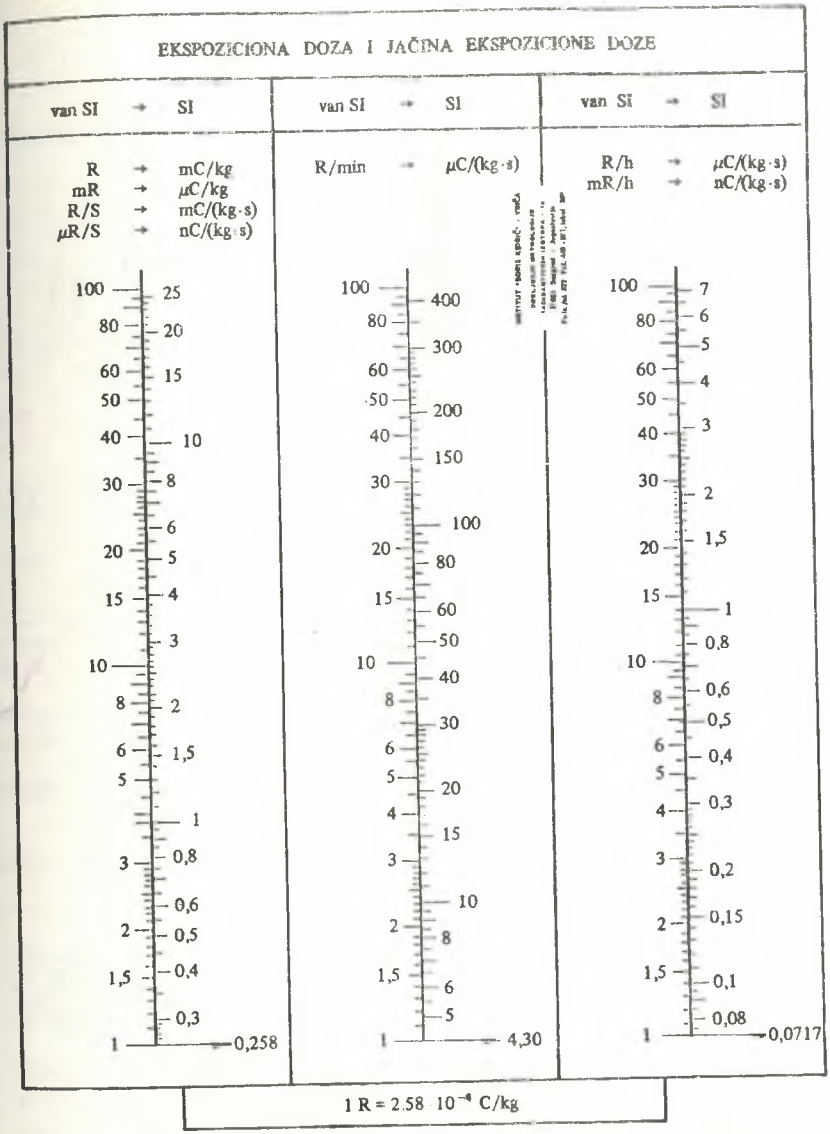
nastavak

## JEDINICE VAN SI KOJE SE MOGU UPOTREBLJAVATI POSLE 31. DECEMBRA 1980.

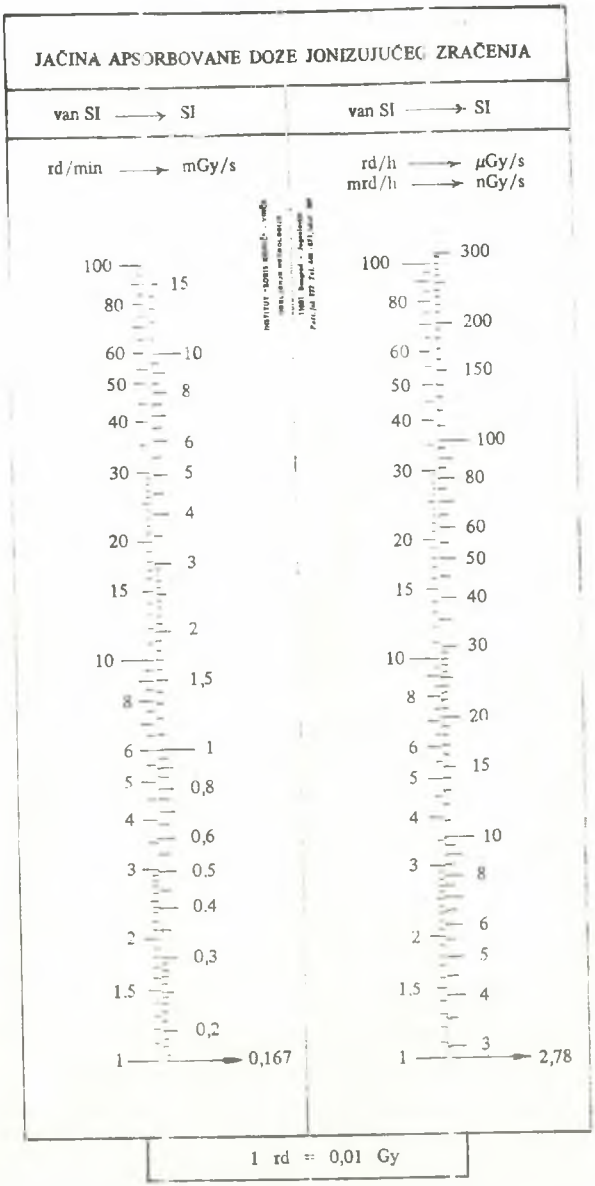
| Veličina | Jedinica | | Konverzija u SI | Napomena |
|---|---|---|---|---|
| | Naziv | Oznaka | | |
| snaga | voltamper<br>var | VA<br>var | 1 VA = 1 W<br>1 var = 1 W | samo za odredjivanje prividne i jalove snage naizmenične struje |
| temperatura | stepen celzijusa | °C | \|1 °C\| = \|1 K\| | temperatura: 0°C = 273,15 K |
| | | Dim. | | |
| fluens ili fluks | – | $Xm^{-2}$ | X mogu da budu fotoni, protok energije i dr., ali ako su sa X označene čestice-gradivo, česticu treba imenovati a količinu izraziti molom. Na primer: fluks neutrona je: mol · $m^{-2}$, ili gustina fluksa je $\phi$ = mol $m^{-2}$ $s^{-1}$ protona | |
| gustina fluksa | – | $Xm^{-2}\ s^{-1}$ | | |
| bezdimenzionalni odnosi | procent<br>promil | %<br>‰ | | |
| logaritamski odnosi fizičkih veličina[2] | bel | B | 1 B = log $P_2/P_1$ kada je $P_2 = 10\ P_1$ ili<br>1 B = 2 log $F_2/F_1$ za $F_2 = \sqrt{10} \cdot F_1$ | $P_2$ i $P_1$ su istoimene veličine: snaga, energija i dr.<br>$F_2$ i $F_1$ su napon, jačina el. struje, pritisak, jač. el. polja i dr. |
| | decibel | dB | 1 dB = 0,1 B | |
| frekventni opseg | oktava | – | 1 oktava = $\log_2 f_2/f_1$ za $f_2/f_1 = 2$ | $\log_2$ je log za osnovu 2 |
| | dekada | | 1 dekada = log $f_2/f_1$ kada je $f_2/f_1 = 10$ | |
| količina informacija | bit | bit | 1 bit je količina informacija koja se dobija kada se ostvari jedan od dva ravnopravna dogadjaja | |

2. Pri pisanju veličina izraženih u belima i decibelima obično se traži i pisanje referentnog nivoa, na primer 20 dB (ref 10 μPa), što znači 20 decibela u odnosu na referentni nivo od 10 mikropaskala.

Napomena. Počev od fluensa pa nadalje u tablici su citirane jedinice koje nisu obuhvaćene Zakonom o mernim jedinicama, ali nisu ni u suprotnosti sa njim i one se ovde date baš zbog česte upotrebe u našim naučnim disciplinama.




Nomogrami za konverziju vansistemskih jedinica u jedinice SI za ekspozicionu dozu i jačinu ekspozicione doze X- i gama-zračenja. Jačine ekspozicione doze zračenja izražene u C/(kg · s) izražavaju se u nekim slučajevima i sa A/kg, što nije preporučljivo. Diferenciranjem po vremenu veličina na prvom nomogramu dobijaju se jačine ekpozicionih doza jonizujućeg zračenja koje se iskazuju u jedinicama C/(kg · s).




Nomogram za proračun van SI jedinica jačine doze zračenja u jedinice SI-Gy. Za jedinicu rad su postojale oznake rad i rd. Jedinica rad je vanzakonska jedinica.

# ELEMENTARNE VELIČINE I JEDINICE U OBLASTI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

[illegible]

| Veličina | Medjun. oznaka | Jedinice van SI | | Jedinice SI | | | Pretvaranje u SI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Naziv | Oznaka | Naziv | Oznaka | Dimenzije izvedene jedinice | |
| Aktivnost | A | kiri | Ci | bekerel | Bq | $s^{-1}$ | $1\ Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ Bq$ |
| Ekspozicionа doza | X | rentgen | R | – | $C \cdot kg^{-1}$ | $C \cdot kg^{-1}$ | $1\ R = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ C \cdot kg^{-1}$ |
| Jačina ekspozicione doze | $\dot{X}$ | rentgen u sekundi | $R \cdot s^{-1}$ | – | $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ | $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ | $1\ R/s = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ C \cdot kg^{-1}\ s^{-1}$ |
| Apsorbovana doza | D | rad | rd | grej | Gy | $J \cdot kg^{-1}$ | $1\ rd = 1 \cdot 10^{-2}\ Gy$ |
| Jačina apsorbovane doze | $\dot{D}$ | | $rd \cdot s^{-1}$ | | $Gy \cdot s^{-1}$ | $W \cdot kg^{-1}$ | $rd\ s^{-1} = 1 \cdot 10^{-2}\ W\ kg^{-1}$ |
| Ekvivalentna[1] doza zračenja | | rem | rem | sivert | Sv | $J \cdot kg^{-1}$ | $1\ rem = 1 \cdot 10^{-2}\ Sv$ |
| Rad; energija[2] | E | elektron-volt | eV | džul | J | J | $1\ eV = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ J$ |
| Efikasni presek | $\sigma$ | barn | b | | $m^2$ | $m^2$ | $1\ b = 1 \cdot 10^{-28}\ m^2$ |

1. Diferenciranjem ekvivalentve doze po vremenu dobija se veličina jačine ekvivalentne doze, kao što je to bio slučaj kod ekspozicione i apsorbovane doze zračenja. Jedinica sivert je usvojena na XVI generalnoj konferenciji za tegove i mere; njeno zakonsko usvajanje na SFRJ je u toku.
2. Dozvoljeno je da se jedinica eV koristi sa svim umnošcima i podeljcima kao jedinice SI, ali samo u oblasti nuklearne i atomske fizike i njihove primene.

## Neke važnije napomene u vezi sa gradjenjem jedinica SI

U jednačini (1) i u jednačinama (2) i (3) pokazano je da svaka jedinica SI gradi se tako da se u jednačinu fizičke veličine zamene jedinicama tih različitih veličina. Te jedinice su prikazane na Tablicama osnovnih i dopunskih jedinica SI. Takav postupak obezbedjuje koherentnost jedinica SI.

Primer. Jedinica za zapreminu je kubni metar-$m^3$ ali je na XVI Generalnoj konferenciji za tegove i mere dopušten i litar - l (1 ℓ = 1 $dm^3$). Jedinica za gustinu u SI je 1 kg/1 $m^3$. Medjutim, kada bi i litar bio dopušten za tvorbu izvedenih jedinica onda

bi se dobila još jedna jedinica za $10^3$ veća, što nebi bilo koherentno, pa 1 kg/ℓ 1 nije jedinica SI. S druge strane, tačno je da bi se mogla napisati jednakost: 1 kg/1 $m^3$ = 1 g/1 l = = 1 mg/1 ml = . . . itd. medjutim, to nije dopustivo jer i SI mora imati samo jednu jedinicu a to je ona prva, ostale, u relaciji veličine su koherentne ali ipak nisu jedinice i ne smeju se kao takve upotrebljavati. Ovi se primeri naročito daju zbog toga što postoji dosta uvrežena navika kod svih radnika na polju merenja i zaštite od jonizujućih zračenja da se jačine ekspozicionih ili jačine apsorbovanih doza zračenja daju i izražavaju na: minut, čas, godinu što je nesumnjivo nekoherentna jedinica u SI. Jedinica jačine apsorbovane doze je Gy/s ili ekvivalentne doze je Sv/s.

Abstract

In paper are treated some general statements and practical recomandations for use of the International System of Units-SI (Le System International d´Unites-SI) in practice. Some converssions into SI-units are also given.

Literatura

1. V.A.Bazakuca. Mezhdunarodnaya sistema edinic.Izdatel´stvo Har´kovskogo Universiteta. Har´kov. 1973.

2. D.Herrman. SI-Einheiten in Strahelnschutz.Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz.Report SAAS 2001.Berlin.1978.

3. Službeni list SFRJ broj 13/76

4. Medjunarodni standardi-ISO: ISO/DIS 31/9 i ISO/DIS 31/10 Jugoslovenski standardi: JUS A.A1.031 i JUS A.A1.032 (1981)

5. Dj.Bek-Uzarov. Interna dokumentacija Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič": IBK-FIZIKA Dokument 1529. Vinča 1981.

XI. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja
Portoroz, 21. -24.4. 1981.

Jelena Simonović
Institut za biofiziku Medicinskog fakulteta, Beograd

# JEDINICE SI U RADIOLOSKOJ ZAŠTITI

Rezime: U radu su prikazani izvesni konverzioni faktori kao i neke tablice za prelaz odredjenih vansistemskih jedinica u jedinice Medjunarodnog sistema mernih jedinica.

## Uvod

Celokupnoj jugoslovenskoj javnosti je poznato /1/ da mnoge merne jedinice koje ne pripadaju Medjunarodnom sistemu mernih jedinica su prestale da važe 31.12.1980.godine, tako da je njihovo dalje korišćenje zbranjeno u kompletnom javnom prometu. Medjutim, mnoge od njih nalaze se još uvek u dokumentacijama odredjenih oblasti a takodje i u literaturi, pa je neopnodno njihovo prevodjenje u zakonske, SI jedinice.

## Medjunarodni sistem mernih jedinica

Medjunarodni sistem mernih jedinica, s medjunarodnom skracenicom "SI", usvojen je od strane generalne konferencije za tegove i mere 1960. godine u Parisu, a u našoj zemlji se postepeno uvodi počev od 1961. godine da bi u celini bio usvojen 1976. godine.

SI se sastoji od 7 osnovnih jedinica, i to: kilogram - za masu, metar - za dužinu, sekunda - za vreme, kelvin - za termodinamicku temperaturu, amper za jacinu elektricne struje, kandela za jačinu svętlosti i mol za količinu supstancije /materije/. Pomocu ovih osnovnih jedinica moguce je izraziti bilo koju izvedenu SI jedinicu, koristeći se odgovarajućom definicionom formulom za datu izvedenu veličinu. Pored osnovnih i izvedenih jedinica u Medjunarodnom sistemu mernih jedinica postoje i decimalne merne jedinice sa SI prefiksima, koji imaju svoj naziv decimalnih umnožaka i delova SI jedinica. Decimalne merne jedinice obrazuju se isključivo od SI jedinica i sledećih vansistemskih jedinica čija je upotreba i dalje dopuštena: litar, bar, teks, vatčas, elektronvolt, voltamper i var.

## Merne jedinice koje su zabranjene za dalju upotrebu

Vansistemske jedinice koje su prestale da važe 31.12. 1980.godine

i odgovarajući faktori prelaza u SI jedinice:

Za dužinu: angstrem Å, 1 Å = 0,1 nm
mikron μ, 1 μ = 1 μm
milja = 1609,3 m.

Za površinu: barn = $10^{-28}$ $m^2$.

Za masu: kvintal ili metrička centa q, 1 q = $10^2$ kg.

Za silu: dyn, 1 dyn = $10^{-5}$ N
pond p, 1 p = 9,81 . $10^{-3}$ N.
kilopond kp, 1 kp = 9,81 N.

Za pritisak: fizicka atmosfera atm, 1 atm = 10,13 . $10^4$ Pa
tehnicka atmosfera at, at = 9,81 . $10^4$ Pa
milimetar vodenog stuba mm $H_2O$, 1 mm $H_2O$ = 9,81 Pa
milimetar živinog stuba mm Hg, 1 mm Hg = 133,3 Pa
/TAB br. 1 daje vrednosti krvnog pritiska iz mm Hg u kPa a TAB br. 2 iz mm Hg u mbar/

Za kinematicku viskoznost: stoks St, 1 St = $10^{-4}$ $m^2/s$.

Za dinamicku viskoznost: poaz P, 1 P = 0,1 Pa s /poazej/

Za energiju: erg, 1 erg = $10^{-7}$ J
kilopondmetar kpm, 1 kpm = 9,81 J
kalorija cal, 1 cal - 4,187 J /TAB br. 3/

Za snagu: konska snaga KS, 1 KS = 735,5 W /TAB br. 4 i br. 5/

Za aktivnost radionuklida: kiri Ci, 1 Ci = 3,7 . $10^{10}$ Bq
/ TAB br.6/

Za apsorbovanu dozu jonizujućeg zračenja: rad, 1 rad = $10^{-2}$ Gy
/TAB br. 7/

Za dozu izlaganja jonizujućem zracenju: rendgen R, 1 R = 2,58 . . $10^{-4}$ C/kg /TAB br. 8/ .

Za ekvivalentnu dozu: rem, 1 rem = $10^{-2}$ Sv (J/kg) (TAB br.9)

SI UNITS IN RADIATION PROTECTION

Summary: There are represented some conversion factors as well as certain tables for transmission of determined units out of SI into the SI units.

TAB br. 1

Vrednosti krvnog pritiska:

mm Hg ( = Torr) - kPa

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 |
| 10 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,5 |
| 20 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,9 |
| 30 | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 5,1 | 5,2 |
| 40 | 5,3 | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,9 | 6,0 | 6,1 | 6,3 | 6,4 | 6,5 |
| 50 | 6,7 | 6,8 | 6,9 | 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,6 | 7,7 | 7,9 |
| 60 | 8,0 | 8,1 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,7 | 8,8 | 8,9 | 9,1 | 9,2 |
| 70 | 9,3 | 9,5 | 9,6 | 9,7 | 9,9 | 10,0 | 10,1 | 10,3 | 10,4 | 10,5 |
| 80 | 10,7 | 10,8 | 10,9 | 11,1 | 11,2 | 11,3 | 11,5 | 11,6 | 11,7 | 11,9 |
| 90 | 12,0 | 12,1 | 12,3 | 12,4 | 12,5 | 12,7 | 12,8 | 12,9 | 13,1 | 13,2 |
| 100 | 13,3 | 13,5 | 13,6 | 13,7 | 13,9 | 14,0 | 14,1 | 14,3 | 14,4 | 14,5 |
| 110 | 14,7 | 14,8 | 14,9 | 15,1 | 15,2 | 15,3 | 15,5 | 15,6 | 15,7 | 15,9 |
| 120 | 16,0 | 16,1 | 16,3 | 16,4 | 16,5 | 16,7 | 16,8 | 16,9 | 17,1 | 17,2 |
| 130 | 17,3 | 17,5 | 17,6 | 17,7 | 17,9 | 18,0 | 18,1 | 18,3 | 18,4 | 18,5 |
| 140 | 18,7 | 18,8 | 18,9 | 19,1 | 19,2 | 19,3 | 19,5 | 19,6 | 19,7 | 19,9 |
| 150 | 20,0 | 20,1 | 20,3 | 20,4 | 20,5 | 20,7 | 20,8 | 20,9 | 21,1 | 21,2 |
| 160 | 21,3 | 21,5 | 21,6 | 21,7 | 21,9 | 22,0 | 22,1 | 22,3 | 22,4 | 22,5 |
| 170 | 22,7 | 22,8 | 22,9 | 23,1 | 23,2 | 23,3 | 23,5 | 23,6 | 23,7 | 23,9 |
| 180 | 24,0 | 24,1 | 24,3 | 24,4 | 24,5 | 24,7 | 24,8 | 24,9 | 25,1 | 25,2 |
| 190 | 25,3 | 25,5 | 25,6 | 25,7 | 25,9 | 26,0 | 26,1 | 26,3 | 26,4 | 26,5 |
| 200 | 26,7 | 26,8 | 26,9 | 27,1 | 27,2 | 27,3 | 27,5 | 27,6 | 27,7 | 27,9 |
| 210 | 28,0 | 28,1 | 28,3 | 28,4 | 28,5 | 28,7 | 28,8 | 28,9 | 29,1 | 29,2 |
| 220 | 29,3 | 29,5 | 29,6 | 29,7 | 29,9 | 30,0 | 30,1 | 30,3 | 30,4 | 30,5 |
| 230 | 30,7 | 30,8 | 30,9 | 31,1 | 31,2 | 31,3 | 31,5 | 31,6 | 31,7 | 31,9 |
| 240 | 32,0 | 32,1 | 32,3 | 32,4 | 32,5 | 32,7 | 32,8 | 32,9 | 33,1 | 33,2 |
| 250 | 33,3 | 33,5 | 33,6 | 33,7 | 33,9 | 34,0 | 34,1 | 34,3 | 34,4 | 34,5 |
| 260 | 34,7 | 34,8 | 34,9 | 35,1 | 35,2 | 35,3 | 35,5 | 35,6 | 35,7 | 35,9 |
| 270 | 36,0 | 36,1 | 36,3 | 36,4 | 36,5 | 36,7 | 36,8 | 36,9 | 37,1 | 37,2 |
| 280 | 37,3 | 37,5 | 37,6 | 37,7 | 37,9 | 38,0 | 38,1 | 38,3 | 38,4 | 38,5 |
| 290 | 38,7 | 38,8 | 38,9 | 39,1 | 39,2 | 39,3 | 39,5 | 39,6 | 39,7 | 39,9 |
| 300 | 40,0 | 40,1 | 40,3 | 40,4 | 40,5 | 40,7 | 40,8 | 40,9 | 41,1 | 41,2 |
| 310 | 41,3 | 41,5 | 41,6 | 41,7 | 41,9 | 42,0 | 42,1 | 42,3 | 42,4 | 42,5 |
| 320 | 42,7 | 42,8 | 42,9 | 43,1 | 43,2 | 43,3 | 43,5 | 43,6 | 43,7 | 43,9 |
| 330 | 44,0 | 44,1 | 44,3 | 44,4 | 44,5 | 44,7 | 44,8 | 44,9 | 45,1 | 45,2 |

Konverzioni faktori:

(mm Hg) . 0,1333 = (kPa)

(kPa) . 7,501 = (mm Hg)

Primer: 120 mm Hg (=120 Torr) = 16 kPa

TAB br. 2

Vrednosti krvnog pritiska:

mm Hg (= Torr) - mbar

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 |
| 10 | 13 | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 21 | 23 | 24 | 25 |
| 20 | 27 | 28 | 29 | 31 | 32 | 33 | 35 | 36 | 37 | 39 |
| 30 | 40 | 41 | 43 | 44 | 45 | 47 | 48 | 49 | 51 | 52 |
| 40 | 53 | 55 | 56 | 57 | 59 | 60 | 61 | 63 | 64 | 65 |
| 50 | 67 | 68 | 69 | 71 | 72 | 73 | 75 | 76 | 77 | 79 |
| 60 | 80 | 81 | 83 | 84 | 85 | 87 | 88 | 89 | 91 | 92 |
| 70 | 93 | 95 | 96 | 97 | 99 | 100 | 101 | 103 | 104 | 105 |
| 80 | 107 | 108 | 109 | 111 | 112 | 113 | 115 | 116 | 117 | 119 |
| 90 | 120 | 121 | 123 | 124 | 125 | 127 | 128 | 129 | 131 | 132 |
| 100 | 133 | 135 | 136 | 137 | 139 | 140 | 141 | 143 | 144 | 145 |
| 110 | 147 | 148 | 149 | 151 | 152 | 153 | 155 | 156 | 157 | 159 |
| 120 | 160 | 161 | 163 | 164 | 165 | 167 | 168 | 169 | 171 | 172 |
| 130 | 173 | 175 | 176 | 177 | 179 | 180 | 181 | 183 | 184 | 185 |
| 140 | 187 | 188 | 189 | 191 | 192 | 193 | 195 | 196 | 197 | 199 |
| 150 | 200 | 201 | 203 | 204 | 205 | 207 | 208 | 209 | 211 | 212 |
| 160 | 213 | 215 | 216 | 217 | 219 | 220 | 221 | 223 | 224 | 225 |
| 170 | 227 | 228 | 229 | 231 | 232 | 233 | 235 | 236 | 237 | 239 |
| 180 | 240 | 241 | 243 | 244 | 245 | 247 | 248 | 249 | 251 | 252 |
| 190 | 253 | 255 | 256 | 257 | 259 | 260 | 261 | 263 | 264 | 265 |
| 200 | 267 | 268 | 269 | 271 | 272 | 273 | 275 | 276 | 277 | 279 |
| 210 | 280 | 281 | 283 | 284 | 285 | 287 | 288 | 289 | 291 | 292 |
| 220 | 293 | 295 | 296 | 297 | 299 | 300 | 301 | 303 | 304 | 305 |

| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 267 | 280 | 293 | 307 | 320 | 333 | 347 | 360 | 373 | 387 |
| 300 | 400 | 413 | 427 | 440 | 453 | 467 | 480 | 493 | 507 | 520 |
| 400 | 533 | 547 | 560 | 573 | 587 | 600 | 613 | 627 | 640 | 653 |
| 500 | 667 | 680 | 693 | 707 | 720 | 733 | 747 | 760 | 773 | 787 |
| 600 | 800 | 813 | 827 | 840 | 853 | 867 | 880 | 893 | 907 | 920 |
| 700 | 933 | 947 | 960 | 973 | 987 | 1000 | 1013 | 1027 | 1040 | 1053 |
| 800 | 1067 | 1080 | 1093 | 1107 | 1120 | 1133 | 1147 | 1160 | 1173 | 1187 |
| 900 | 1200 | 1213 | 1227 | 1240 | 1253 | 1267 | 1280 | 1293 | 307 | 1320 |

Konvezioni faktori:

(mm Hg) . 1,333 = (mbar)

(mbar) . 0,7501 = (mm Hg)

Primer: 12o mm Hg = 160 mbar

TAB br. 3

**Vrednosti energije (količine toplote) cal - J, odnosno kcal - kJ**

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 4 | 8 | 13 | 17 | 21 | 25 | 29 | 33 | 38 |
| 10 | 42 | 46 | 50 | 54 | 59 | 63 | 67 | 71 | 75 | 80 |
| 20 | 84 | 88 | 92 | 96 | 100 | 105 | 109 | 113 | 117 | 121 |
| 30 | 126 | 130 | 134 | 138 | 142 | 147 | 151 | 155 | 159 | 163 |
| 40 | 167 | 172 | 176 | 180 | 184 | 188 | 193 | 197 | 201 | 205 |
| 50 | 209 | 214 | 218 | 222 | 226 | 230 | 234 | 239 | 243 | 247 |
| 60 | 251 | 255 | 260 | 264 | 268 | 272 | 276 | 281 | 285 | 289 |
| 70 | 293 | 297 | 301 | 306 | 310 | 314 | 318 | 322 | 327 | 331 |
| 80 | 335 | 339 | 343 | 348 | 352 | 356 | 360 | 364 | 368 | 373 |
| 90 | 377 | 381 | 385 | 389 | 394 | 398 | 402 | 406 | 410 | 414 |
| 100 | 419 | 423 | 427 | 431 | 435 | 440 | 444 | 448 | 452 | 456 |
| 110 | 461 | 465 | 469 | 473 | 477 | 481 | 486 | 490 | 494 | 498 |
| 120 | 502 | 507 | 511 | 515 | 519 | 523 | 528 | 532 | 536 | 540 |
| 130 | 544 | 548 | 553 | 557 | 561 | 565 | 569 | 574 | 578 | 582 |
| 140 | 586 | 590 | 595 | 599 | 603 | 607 | 611 | 615 | 620 | 624 |
| 150 | 628 | 632 | 636 | 641 | 645 | 649 | 653 | 657 | 662 | 666 |
| 160 | 670 | 674 | 678 | 682 | 687 | 691 | 695 | 699 | 703 | 708 |
| 170 | 712 | 716 | 720 | 724 | 729 | 733 | 737 | 741 | 745 | 749 |
| 180 | 754 | 758 | 762 | 766 | 770 | 775 | 779 | 783 | 787 | 791 |
| 190 | 795 | 800 | 804 | 808 | 812 | 816 | 821 | 825 | 829 | 833 |
| 200 | 837 | 842 | 846 | 850 | 854 | 858 | 862 | 867 | 871 | 875 |
| 210 | 879 | 883 | 888 | 892 | 896 | 900 | 904 | 909 | 913 | 917 |
| 220 | 921 | 925 | 929 | 934 | 938 | 942 | 946 | 950 | 955 | 959 |
| 230 | 963 | 967 | 971 | 976 | 980 | 984 | 988 | 992 | 996 | 1001 |
| 240 | 1005 | 1009 | 1013 | 1017 | 1022 | 1026 | 1030 | 1034 | 1038 | 1043 |
| 250 | 1047 | 1051 | 1055 | 1059 | 1063 | 1068 | 1072 | 1076 | 1080 | 1084 |
| 260 | 1089 | 1093 | 1097 | 1101 | 1105 | 1110 | 1114 | 1118 | 1122 | 1126 |
| 270 | 1130 | 1135 | 1139 | 1143 | 1147 | 1151 | 1156 | 1160 | 1164 | 1168 |
| 280 | 1172 | 1176 | 1181 | 1185 | 1189 | 1193 | 1197 | 1202 | 1206 | 1210 |
| 290 | 1214 | 1218 | 1223 | 1227 | 1231 | 1235 | 1239 | 1243 | 1248 | 1252 |
| 300 | 1256 | 1260 | 1264 | 1269 | 1273 | 1277 | 1281 | 1285 | 1290 | 1294 |
| 310 | 1298 | 1302 | 1306 | 1310 | 1315 | 1319 | 1323 | 1327 | 1331 | 1336 |
| 320 | 1340 | 1344 | 1348 | 1352 | 1357 | 1361 | 1365 | 1369 | 1373 | 1377 |
| 330 | 1382 | 1386 | 1390 | 1394 | 1398 | 1403 | 1407 | 1411 | 1415 | 1419 |
| 340 | 1424 | 1428 | 1432 | 1436 | 1440 | 1444 | 1449 | 1453 | 1457 | 1461 |
| 350 | 1465 | 1470 | 1474 | 1478 | 1482 | 1486 | 1491 | 1495 | 1499 | 1503 |
| 360 | 1507 | 1511 | 1516 | 1520 | 1524 | 1528 | 1532 | 1537 | 1541 | 1545 |
| 370 | 1549 | 1553 | 1557 | 1562 | 1566 | 1570 | 1574 | 1578 | 1583 | 1587 |
| 380 | 1591 | 1595 | 1599 | 1604 | 1608 | 1612 | 1616 | 1620 | 1624 | 1629 |
| 390 | 1633 | 1637 | 1641 | 1645 | 1650 | 1654 | 1658 | 1662 | 1666 | 1671 |
| 400 | 1675 | 1679 | 1683 | 1687 | 1691 | 1696 | 1700 | 1704 | 1708 | 1712 |
| 410 | 1717 | 1721 | 1725 | 1729 | 1733 | 1738 | 1742 | 1746 | 1750 | 1754 |
| 420 | 1758 | 1763 | 1767 | 1771 | 1775 | 1779 | 1784 | 1788 | 1792 | 1796 |
| 430 | 1800 | 1805 | 1809 | 1813 | 1817 | 1821 | 1825 | 1830 | 1834 | 1838 |
| 440 | 1842 | 1846 | 1851 | 1855 | 1859 | 1863 | 1867 | 1871 | 1876 | 1880 |
| 450 | 1884 | 1888 | 1892 | 1897 | 1901 | 1905 | 1909 | 1913 | 1918 | 1922 |
| 460 | 1926 | 1930 | 1934 | 1938 | 1943 | 1947 | 1951 | 1955 | 1959 | 1964 |
| 470 | 1968 | 1972 | 1976 | 1980 | 1985 | 1989 | 1993 | 1997 | 2001 | 2005 |
| 480 | 2010 | 2014 | 2018 | 2022 | 2026 | 2031 | 2035 | 2039 | 2043 | 2047 |
| 490 | 2052 | 2056 | 2060 | 2064 | 2068 | 2072 | 2077 | 2081 | 2085 | 2089 |

# cal - J, odnosno kcal - kJ

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 500 | 2093 | 2098 | 2102 | 2106 | 2110 | 2114 | 2119 | 2123 | 2127 | 2131 |
| 510 | 2135 | 2139 | 2144 | 2148 | 2152 | 2156 | 2160 | 2165 | 2169 | 2173 |
| 520 | 2177 | 2181 | 2186 | 2190 | 2194 | 2198 | 2202 | 2206 | 2211 | 2215 |
| 530 | 2219 | 2223 | 2227 | 2232 | 2236 | 2240 | 2244 | 2248 | 2252 | 2257 |
| 540 | 2261 | 2265 | 2269 | 2273 | 2278 | 2282 | 2286 | 2290 | 2294 | 2299 |
| 550 | 2303 | 2307 | 2311 | 2315 | 2319 | 2324 | 2328 | 2332 | 2336 | 2340 |
| 560 | 2345 | 2349 | 2353 | 2357 | 2361 | 2366 | 2370 | 2374 | 2378 | 2382 |
| 570 | 2386 | 2391 | 2395 | 2399 | 2403 | 2407 | 2412 | 2416 | 2420 | 2424 |
| 580 | 2428 | 2433 | 2437 | 2441 | 2445 | 2449 | 2453 | 2458 | 2462 | 2466 |
| 590 | 2470 | 2474 | 2479 | 2483 | 2487 | 2491 | 2495 | 2500 | 2504 | 2508 |
| 600 | 2512 | 2516 | 2520 | 2525 | 2529 | 2533 | 2537 | 2541 | 2546 | 2550 |
| 610 | 2554 | 2558 | 2562 | 2567 | 2571 | 2575 | 2579 | 2583 | 2587 | 2592 |
| 620 | 2596 | 2600 | 2604 | 2608 | 2613 | 2617 | 2621 | 2625 | 2629 | 2633 |
| 630 | 2638 | 2642 | 2646 | 2650 | 2654 | 2659 | 2663 | 2667 | 2671 | 2675 |
| 640 | 2680 | 2684 | 2688 | 2692 | 2696 | 2700 | 2705 | 2709 | 2713 | 2717 |
| 650 | 2721 | 2726 | 2730 | 2734 | 2738 | 2742 | 2747 | 2751 | 2755 | 2759 |
| 660 | 2763 | 2767 | 2772 | 2776 | 2780 | 2784 | 2788 | 2793 | 2797 | 2801 |
| 670 | 2805 | 2809 | 2814 | 2818 | 2822 | 2826 | 2830 | 2834 | 2839 | 2843 |
| 680 | 2847 | 2851 | 2855 | 2860 | 2864 | 2868 | 2872 | 2876 | 2881 | 2885 |
| 690 | 2889 | 2893 | 2897 | 2901 | 2906 | 2910 | 2914 | 2918 | 2922 | 2927 |
| 700 | 2931 | 2935 | 2939 | 2943 | 2948 | 2952 | 2956 | 2960 | 2964 | 2968 |
| 710 | 2973 | 2977 | 2981 | 2985 | 2989 | 2994 | 2998 | 3002 | 3006 | 3010 |
| 720 | 3014 | 3019 | 3023 | 3027 | 3031 | 3035 | 3040 | 3044 | 3048 | 3052 |
| 730 | 3056 | 3061 | 3065 | 3069 | 3073 | 3077 | 3081 | 3086 | 3090 | 3094 |
| 740 | 3098 | 3102 | 3107 | 3111 | 3115 | 3119 | 3123 | 3128 | 3132 | 3136 |
| 750 | 3140 | 3144 | 3148 | 3153 | 3157 | 3161 | 3165 | 3169 | 3174 | 3178 |
| 760 | 3182 | 3186 | 3190 | 3195 | 3199 | 3203 | 3207 | 3211 | 3215 | 3220 |
| 770 | 3224 | 3228 | 3232 | 3236 | 3241 | 3245 | 3249 | 3253 | 3257 | 3262 |
| 780 | 3266 | 3270 | 3274 | 3278 | 3282 | 3287 | 3291 | 3295 | 3299 | 3303 |
| 790 | 3308 | 3312 | 3316 | 3320 | 3324 | 3329 | 3333 | 3337 | 3341 | 3345 |
| 800 | 3349 | 3354 | 3358 | 3362 | 3366 | 3370 | 3375 | 3379 | 3383 | 3387 |
| 810 | 3391 | 3395 | 3400 | 3404 | 3408 | 3412 | 3416 | 3421 | 3425 | 3429 |
| 820 | 3433 | 3437 | 3442 | 3446 | 3450 | 3454 | 3458 | 3462 | 3467 | 3471 |
| 830 | 3475 | 3479 | 3483 | 3488 | 3492 | 3496 | 3500 | 3504 | 3509 | 3513 |
| 840 | 3517 | 3521 | 3525 | 3529 | 3534 | 3538 | 3542 | 3546 | 3550 | 3555 |
| 850 | 3559 | 3563 | 3567 | 3571 | 3576 | 3580 | 3584 | 3588 | 3592 | 3596 |
| 860 | 3601 | 3605 | 3609 | 3613 | 3617 | 3622 | 3626 | 3630 | 3634 | 3638 |
| 870 | 3643 | 3647 | 3651 | 3655 | 3659 | 3663 | 3668 | 3672 | 3676 | 3680 |
| 880 | 3684 | 3689 | 3693 | 3697 | 3701 | 3705 | 3710 | 3714 | 3718 | 3722 |
| 890 | 3726 | 3730 | 3735 | 3739 | 3743 | 3747 | 3751 | 3756 | 3760 | 3764 |
| 900 | 3768 | 3772 | 3776 | 3781 | 3785 | 3789 | 3793 | 3797 | 3802 | 3806 |
| 910 | 3810 | 3814 | 3818 | 3823 | 3827 | 3831 | 3835 | 3839 | 3843 | 3848 |
| 920 | 3852 | 3856 | 3860 | 3864 | 3869 | 3873 | 3877 | 3881 | 3885 | 3890 |
| 930 | 3894 | 3898 | 3902 | 3906 | 3910 | 3915 | 3919 | 3923 | 3927 | 3931 |
| 940 | 3936 | 3940 | 3944 | 3948 | 3952 | 3957 | 3961 | 3965 | 3969 | 3973 |
| 950 | 3977 | 3982 | 3986 | 3990 | 3994 | 3998 | 4003 | 4007 | 4011 | 4015 |
| 960 | 4019 | 4024 | 4028 | 4032 | 4036 | 4040 | 4044 | 4049 | 4053 | 4057 |
| 970 | 4061 | 4065 | 4070 | 4074 | 4078 | 4082 | 4086 | 4091 | 4095 | 4099 |
| 980 | 4103 | 4107 | 4111 | 4116 | 4120 | 4124 | 4128 | 4132 | 4137 | 4141 |
| 990 | 4145 | 4149 | 4153 | 4157 | 4162 | 4166 | 4170 | 4174 | 4178 | 4183 |
| 1000 | 4187 | 4191 | 4195 | 4199 | 4204 | 4208 | 4212 | 4216 | 4220 | 4224 |

## cal - J, odnosno kcal - kJ

| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 4187 | 4229 | 4271 | 4312 | 4354 | 4396 | 4438 | 4480 | 4522 | 4564 |
| 1100 | 4605 | 4647 | 4689 | 4731 | 4773 | 4815 | 4857 | 4899 | 4940 | 4982 |
| 1200 | 5024 | 5066 | 5108 | 5150 | 5192 | 5234 | 5275 | 5317 | 5359 | 5401 |
| 1300 | 5443 | 5485 | 5527 | 5568 | 5610 | 5652 | 5694 | 5736 | 5778 | 5820 |
| 1400 | 5862 | 5903 | 5945 | 5987 | 6029 | 6071 | 6113 | 6155 | 6196 | 6238 |
| 1500 | 6280 | 6322 | 6364 | 6406 | 6448 | 6490 | 6531 | 6573 | 6615 | 6657 |
| 1600 | 6699 | 6741 | 6783 | 6824 | 6866 | 6908 | 6950 | 6992 | 7034 | 7076 |
| 1700 | 7118 | 7159 | 7201 | 7243 | 7285 | 7327 | 7369 | 7411 | 7453 | 7494 |
| 1800 | 7536 | 7578 | 7620 | 7662 | 7704 | 7746 | 7787 | 7829 | 7871 | 7913 |
| 1900 | 7955 | 7997 | 8039 | 8081 | 8122 | 8164 | 8206 | 8248 | 8290 | 8332 |
| 2000 | 8374 | 8415 | 8457 | 8499 | 8541 | 8583 | 8625 | 8667 | 8709 | 8750 |
| 2100 | 8792 | 8834 | 8876 | 8918 | 8960 | 9002 | 9043 | 9085 | 9127 | 9169 |
| 2200 | 9211 | 9253 | 9295 | 9337 | 9378 | 9420 | 9462 | 9504 | 9546 | 9588 |
| 2300 | 9630 | 9672 | 9713 | 9755 | 9797 | 9839 | 9881 | 9923 | 9965 | 10006 |
| 2400 | 10048 | 10090 | 10132 | 10174 | 10216 | 10258 | 10300 | 10341 | 10383 | 10425 |
| 2500 | 10467 | 10509 | 10551 | 10593 | 10634 | 10676 | 10718 | 10760 | 10802 | 10844 |
| 2600 | 10886 | 10928 | 10969 | 11011 | 11053 | 11095 | 11137 | 11179 | 11221 | 11262 |
| 2700 | 11304 | 11346 | 11388 | 11430 | 11472 | 11514 | 11556 | 11597 | 11639 | 11681 |
| 2800 | 11723 | 11765 | 11807 | 11849 | 11891 | 11932 | 11974 | 12016 | 12058 | 12100 |
| 2900 | 12142 | 12184 | 12225 | 12267 | 12309 | 12351 | 12393 | 12435 | 12477 | 12519 |
| 3000 | 12560 | 12602 | 12644 | 12686 | 12728 | 12770 | 12812 | 12853 | 12895 | 12937 |
| 3100 | 12979 | 13021 | 13063 | 13105 | 13147 | 13188 | 13230 | 13272 | 13314 | 13356 |
| 3200 | 13398 | 13440 | 13481 | 13523 | 13565 | 13607 | 13649 | 13691 | 13733 | 13775 |
| 3300 | 13816 | 13858 | 13900 | 13942 | 13984 | 14026 | 14068 | 14110 | 14151 | 14193 |
| 3400 | 14235 | 14277 | 14319 | 14361 | 14403 | 14444 | 14486 | 14528 | 14570 | 14612 |
| 3500 | 14654 | 14696 | 14738 | 14779 | 14821 | 14863 | 14905 | 14947 | 14989 | 15031 |
| 3600 | 15072 | 15114 | 15156 | 15198 | 15240 | 15282 | 15324 | 15366 | 15407 | 15449 |
| 3700 | 15491 | 15533 | 15575 | 15617 | 15659 | 15701 | 15742 | 15784 | 15826 | 15868 |
| 3800 | 15910 | 15952 | 15994 | 16035 | 16077 | 16119 | 16161 | 16203 | 16245 | 16287 |
| 3900 | 16329 | 16370 | 16412 | 16454 | 16496 | 16538 | 16580 | 16622 | 16663 | 16705 |
| 4000 | 16747 | 16789 | 16831 | 16873 | 16915 | 16957 | 16998 | 17040 | 17082 | 17124 |
| 4100 | 17166 | 17208 | 17250 | 17291 | 17333 | 17375 | 17417 | 17459 | 17501 | 17543 |
| 4200 | 17585 | 17626 | 17668 | 17710 | 17752 | 17794 | 17836 | 17878 | 17920 | 17961 |
| 4300 | 18003 | 18045 | 18087 | 18129 | 18171 | 18213 | 18254 | 18296 | 18338 | 18380 |
| 4400 | 18422 | 18464 | 18506 | 18548 | 18589 | 18631 | 18673 | 18715 | 18757 | 18799 |
| 4500 | 18841 | 18882 | 18924 | 18966 | 19008 | 19050 | 19092 | 19134 | 19176 | 19217 |
| 4600 | 19259 | 19301 | 19343 | 19385 | 19427 | 19469 | 19510 | 19552 | 19594 | 19636 |
| 4700 | 19678 | 19720 | 19762 | 19804 | 19845 | 19887 | 19929 | 19971 | 20013 | 20055 |

Konverioni faktori:

(kcal) . 4,1868 = kJ

(kJ) . 0,2388 = kcal

Primer: 645 kcal = 2 700 kJ = 2,7 MJ

TAB br. 4

Jedinice snage

KS - kW

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 0,7 | 1,5 | 2,2 | 2,9 | 3,7 | 4,4 | 5,1 | 5,9 | 6,6 |
| 10 | 7,4 | 8,1 | 8,8 | 9,6 | 10,3 | 11,0 | 11,8 | 12,5 | 13,2 | 14,0 |
| 20 | 14,7 | 15,4 | 16,2 | 16,9 | 17,7 | 18,4 | 19,1 | 19,9 | 20,6 | 21,3 |
| 30 | 22,1 | 22,8 | 23,5 | 24,3 | 25,0 | 25,7 | 26,5 | 27,2 | 27,9 | 28,7 |
| 40 | 29,4 | 30,2 | 30,9 | 31,6 | 32,4 | 33,1 | 33,8 | 34,6 | 35,3 | 36,0 |
| 50 | 36,8 | 37,5 | 38,2 | 39,0 | 39,7 | 40,5 | 41,2 | 41,9 | 42,7 | 43,4 |
| 60 | 44,1 | 44,9 | 45,6 | 46,3 | 47,1 | 47,8 | 48,5 | 49,3 | 50,0 | 50,7 |
| 70 | 51,5 | 52,2 | 53,0 | 53,7 | 54,4 | 55,2 | 55,9 | 56,6 | 57,4 | 58,1 |
| 80 | 58,8 | 59,6 | 60,3 | 61,0 | 61,8 | 62,5 | 63,3 | 64,0 | 64,7 | 65,5 |
| 90 | 66,2 | 66,9 | 67,7 | 68,4 | 69,1 | 69,9 | 70,6 | 71,3 | 72,1 | 72,8 |
| 100 | 73,5 | 74,3 | 75,0 | 75,8 | 76,5 | 77,2 | 78,0 | 78,7 | 79,4 | 80,2 |
| 110 | 80,9 | 81,6 | 82,4 | 83,1 | 83,8 | 84,6 | 85,3 | 86,1 | 86,8 | 87,5 |
| 120 | 88,3 | 89,0 | 89,7 | 90,5 | 91,2 | 91,9 | 92,7 | 93,4 | 94,1 | 94,9 |
| 130 | 95,6 | 96,4 | 97,1 | 97,8 | 98,6 | 99,3 | 100,0 | 100,8 | 101,5 | 102,2 |
| 140 | 103,0 | 103,7 | 104,4 | 105,2 | 105,9 | 106,6 | 107,4 | 108,1 | 108,9 | 109,6 |
| 150 | 110,3 | 111,1 | 111,8 | 112,5 | 113,3 | 114,0 | 114,7 | 115,5 | 116,2 | 116,9 |
| 160 | 117,7 | 118,4 | 119,2 | 119,9 | 120,6 | 121,4 | 122,1 | 122,8 | 123,6 | 124,3 |
| 170 | 125,0 | 125,8 | 126,5 | 127,2 | 128,0 | 128,7 | 129,4 | 130,2 | 130,9 | 131,7 |
| 180 | 132,4 | 133,1 | 133,9 | 134,6 | 135,3 | 136,1 | 136,8 | 137,5 | 138,3 | 139,0 |
| 190 | 139,7 | 140,5 | 141,2 | 142,0 | 142,7 | 143,4 | 144,2 | 144,9 | 145,6 | 146,4 |
| 200 | 147,1 | 147,8 | 148,6 | 149,3 | 150,0 | 150,8 | 151,5 | 152,2 | 153,0 | 153,7 |
| 210 | 154,5 | 155,2 | 155,9 | 156,7 | 157,4 | 158,1 | 158,9 | 159,6 | 160,3 | 161,1 |
| 220 | 161,8 | 162,5 | 163,3 | 164,0 | 164,8 | 165,5 | 166,2 | 167,0 | 167,7 | 168,4 |
| 230 | 169,2 | 169,9 | 170,6 | 171,4 | 172,1 | 172,8 | 173,6 | 174,3 | 175,0 | 175,8 |
| 240 | 176,5 | 177,3 | 178,0 | 178,7 | 179,5 | 180,2 | 180,9 | 181,7 | 182,4 | 183,1 |
| 250 | 183,9 | 184,6 | 185,3 | 186,1 | 186,8 | 187,6 | 188,3 | 189,0 | 189,8 | 190,5 |
| 260 | 191,2 | 192,0 | 192,7 | 193,4 | 194,2 | 194,9 | 195,6 | 196,4 | 197,1 | 197,8 |
| 270 | 198,6 | 199,3 | 200,1 | 200,8 | 201,5 | 202,3 | 203,0 | 203,7 | 204,5 | 205,2 |
| 280 | 205,9 | 206,7 | 207,4 | 208,1 | 208,9 | 209,6 | 210,4 | 211,1 | 211,8 | 212,6 |
| 290 | 213,3 | 214,0 | 214,8 | 215,5 | 216,2 | 217,0 | 217,7 | 218,4 | 219,2 | 219,9 |
| 300 | 220,6 | 221,4 | 222,1 | 222,9 | 223,6 | 224,3 | 225,1 | 225,8 | 226,5 | 227,3 |
| 310 | 228,0 | 228,7 | 229,5 | 230,2 | 230,9 | 231,7 | 232,4 | 233,2 | 233,9 | 234,6 |
| 320 | 235,4 | 236,1 | 236,8 | 237,6 | 238,3 | 239,0 | 239,8 | 240,5 | 241,2 | 242,0 |
| 330 | 242,7 | 243,5 | 244,2 | 244,9 | 245,7 | 246,4 | 247,1 | 247,9 | 248,6 | 249,3 |

Konverzini faktori:

(KS) . 0,7355 = (kW)

(kW) . 1,36 = (KS)

Primer: 75 KS = 55,2 kW

TAB br. 5

Jedinice snage

kcal / min - W

| | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 |
| 1 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 | 105 | 112 | 119 | 126 | 133 |
| 2 | 140 | 147 | 154 | 160 | 167 | 174 | 181 | 188 | 195 | 202 |
| 3 | 209 | 216 | 223 | 230 | 237 | 244 | 251 | 258 | 265 | 272 |
| 4 | 279 | 286 | 293 | 300 | 307 | 314 | 321 | 328 | 335 | 342 |
| 5 | 349 | 356 | 363 | 370 | 377 | 384 | 391 | 398 | 405 | 412 |
| 6 | 419 | 426 | 433 | 440 | 447 | 454 | 461 | 468 | 475 | 482 |
| 7 | 488 | 495 | 502 | 509 | 516 | 523 | 530 | 537 | 544 | 551 |
| 8 | 558 | 565 | 572 | 579 | 586 | 593 | 600 | 607 | 614 | 621 |
| 9 | 628 | 635 | 642 | 649 | 656 | 663 | 670 | 677 | 684 | 691 |
| 10 | 698 | 705 | 712 | 719 | 726 | 733 | 740 | 747 | 754 | 761 |
| 11 | 768 | 775 | 782 | 789 | 795 | 802 | 809 | 816 | 823 | 830 |
| 12 | 837 | 844 | 851 | 858 | 865 | 872 | 879 | 886 | 893 | 900 |
| 13 | 907 | 914 | 921 | 928 | 935 | 942 | 949 | 956 | 963 | 970 |
| 14 | 977 | 984 | 991 | 998 | 1005 | 1012 | 1019 | 1026 | 1033 | 1040 |
| 15 | 1047 | 1054 | 1061 | 1068 | 1075 | 1082 | 1089 | 1096 | 1103 | 1110 |
| 16 | 1116 | 1123 | 1130 | 1137 | 1144 | 1151 | 1158 | 1165 | 1172 | 1179 |
| 17 | 1186 | 1193 | 1200 | 1207 | 1214 | 1221 | 1228 | 1235 | 1242 | 1249 |
| 18 | 1256 | 1263 | 1270 | 1277 | 1284 | 1291 | 1298 | 1305 | 1312 | 1319 |
| 19 | 1326 | 1333 | 1340 | 1347 | 1354 | 1361 | 1368 | 1375 | 1382 | 1389 |
| 20 | 1396 | 1403 | 1410 | 1417 | 1424 | 1430 | 1437 | 1444 | 1451 | 1458 |
| 21 | 1465 | 1472 | 1479 | 1486 | 1493 | 1500 | 1507 | 1514 | 1521 | 1528 |
| 22 | 1535 | 1542 | 1549 | 1556 | 1563 | 1570 | 1577 | 1584 | 1591 | 1598 |
| 23 | 1605 | 1612 | 1619 | 1626 | 1633 | 1640 | 1647 | 1654 | 1661 | 1668 |
| 24 | 1675 | 1682 | 1689 | 1696 | 1703 | 1710 | 1717 | 1724 | 1731 | 1738 |
| 25 | 1745 | 1751 | 1758 | 1765 | 1772 | 1779 | 1786 | 1793 | 1800 | 1807 |
| 26 | 1814 | 1821 | 1828 | 1835 | 1842 | 1849 | 1856 | 1863 | 1870 | 1877 |
| 27 | 1884 | 1891 | 1898 | 1905 | 1912 | 1919 | 1926 | 1933 | 1940 | 1947 |
| 28 | 1954 | 1961 | 1968 | 1975 | 1982 | 1989 | 1996 | 2003 | 2010 | 2017 |
| 29 | 2024 | 2031 | 2038 | 2045 | 2052 | 2059 | 2065 | 2072 | 2079 | 2086 |
| 30 | 2093 | 2100 | 2107 | 2114 | 2121 | 2128 | 2135 | 2142 | 2149 | 2156 |
| 31 | 2163 | 2170 | 2177 | 2184 | 2191 | 2198 | 2205 | 2212 | 2219 | 2226 |
| 32 | 2233 | 2240 | 2247 | 2254 | 2261 | 2268 | 2275 | 2282 | 2289 | 2296 |
| 33 | 2303 | 2310 | 2317 | 2324 | 2331 | 2338 | 2345 | 2352 | 2359 | 2366 |

Konvezioni faktori:

(kcal / min) . 69,78 = (W)

(W) . 0,01433 = (kcal/min)

Primer: m25,2 kcal/min = 1758 W = 1,76 kW

**TAB br. 6**

**Jedinice aktivnosti radionuklida**

**Ci - GBq mCi - MBq /uCi -kBq**

| | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 4 | 7 | 11 | 15 | 19 | 22 | 26 | 30 | 33 |
| 1 | 37 | 41 | 44 | 48 | 52 | 56 | 59 | 63 | 67 | 70 |
| 2 | 74 | 78 | 81 | 85 | 89 | 93 | 96 | 100 | 104 | 107 |
| 3 | 111 | 115 | 118 | 122 | 126 | 130 | 133 | 137 | 141 | 144 |
| 4 | 148 | 152 | 155 | 159 | 163 | 167 | 170 | 174 | 178 | 181 |
| 5 | 185 | 189 | 192 | 196 | 200 | 204 | 207 | 211 | 215 | 218 |
| 6 | 222 | 226 | 229 | 233 | 237 | 241 | 244 | 248 | 252 | 255 |
| 7 | 259 | 263 | 266 | 270 | 274 | 278 | 281 | 285 | 289 | 292 |
| 8 | 296 | 300 | 303 | 307 | 311 | 315 | 318 | 322 | 326 | 329 |
| 9 | 333 | 337 | 340 | 344 | 348 | 352 | 355 | 359 | 363 | 366 |

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 370 | 407 | 444 | 481 | 518 | 555 | 592 | 629 | 666 | 703 |
| 20 | 740 | 777 | 814 | 851 | 888 | 925 | 962 | 999 | 1036 | 1073 |
| 30 | 1110 | 1147 | 1184 | 1221 | 1258 | 1295 | 1332 | 1369 | 1406 | 1443 |
| 40 | 1480 | 1517 | 1554 | 1591 | 1628 | 1665 | 1702 | 1739 | 1776 | 1813 |
| 50 | 1850 | 1887 | 1924 | 1961 | 1998 | 2035 | 2072 | 2109 | 2146 | 2183 |
| 60 | 2220 | 2257 | 2294 | 2331 | 2368 | 2405 | 2442 | 2479 | 2516 | 2553 |
| 70 | 2590 | 2627 | 2664 | 2701 | 2738 | 2775 | 2812 | 2849 | 2886 | 2923 |
| 80 | 2960 | 2997 | 3034 | 3071 | 3108 | 3145 | 3182 | 3219 | 3256 | 3293 |
| 90 | 3330 | 3367 | 3404 | 3441 | 3478 | 3515 | 3552 | 3589 | 3626 | 3663 |

**Ci - TBq mCi - GBq /uCi-MBq**

| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 3,7 | 4,1 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,6 | 5,9 | 6,3 | 6,7 | 7,0 |
| 200 | 7,4 | 7,8 | 8,1 | 8,5 | 8,9 | 9,3 | 9,6 | 10,0 | 10,4 | 10,7 |
| 300 | 11,1 | 11,5 | 11,8 | 12,2 | 12,6 | 13,0 | 13,3 | 13,7 | 14,1 | 14,4 |
| 400 | 14,8 | 15,2 | 15,5 | 15,9 | 16,3 | 16,7 | 17,0 | 17,4 | 17,8 | 18,1 |
| 500 | 18,5 | 18,9 | 19,2 | 19,6 | 20,0 | 20,4 | 20,7 | 21,1 | 21,5 | 21,8 |
| 600 | 22,2 | 22,6 | 22,9 | 23,3 | 23,7 | 24,1 | 24,4 | 24,8 | 25,2 | 25,5 |
| 700 | 25,9 | 26,3 | 26,6 | 27,0 | 27,4 | 27,8 | 28,1 | 28,5 | 28,9 | 29,2 |
| 800 | 29,6 | 30,0 | 30,3 | 30,7 | 31,1 | 31,5 | 31,8 | 32,2 | 32,6 | 32,9 |
| 900 | 33,3 | 33,7 | 34,0 | 34,4 | 34,8 | 35,2 | 35,5 | 35,9 | 36,3 | 36,6 |

**Konvezioni faktori:**

(Ci) . 37 = (GBq); (GBq) . 0,02703 = (Ci)

(mCi) .37 = (MBq); (MBq) . 0,02703 = (mCi)

(/uCi).37 = (kBq); (kBq) . 0,02703=(/uCi)

Primer: 250 mCi = 9250 MBq = 9,3 GBq

TAB br. 7

Jedinice apsorbovane doze

rad - mGy (mJ / kg)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 10 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| 20 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 |
| 30 | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 | 370 | 380 | 390 |
| 40 | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 |
| 50 | 500 | 510 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 |
| 60 | 600 | 610 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 |
| 70 | 700 | 710 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 |
| 80 | 800 | 810 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 |
| 90 | 900 | 910 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 |

rad - Gy (J / kg)

| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| 100 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 |
| 200 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 |
| 300 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 |
| 400 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 |
| 500 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,8 | 5,9 |
| 600 | 6,0 | 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,7 | 6,8 | 6,9 |
| 700 | 7,0 | 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,7 | 7,8 | 7,9 |
| 800 | 8,0 | 8,1 | 8,2 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,6 | 8,7 | 8,8 | 8,9 |
| 900 | 9,0 | 9,1 | 9,2 | 9,3 | 9,4 | 9,5 | 9,6 | 9,7 | 9,8 | 9,9 |

| | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 2000 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 3000 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 4000 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| 5000 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 |
| 6000 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 |
| 7000 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |
| 8000 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 |
| 9000 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 |

Konverzini faktori:

(rad) . 0,01 = (Gy); (rad) . 1o = (mGy)

(Gy) . 100 = (rad); (mGy) . 0,1 = (rad)

Primer: 25o rad = 2,5 Gy

TAB br. 8

Jedinice doze izlaganja

R - mC/ kg

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,3 |
| 10 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,6 | 3,9 | 4,1 | 4,4 | 4,6 | 4,9 |
| 20 | 5,2 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,2 | 6,5 | 6,7 | 7,0 | 7,2 | 7,5 |
| 30 | 7,7 | 8,0 | 8,3 | 8,5 | 8,8 | 9,0 | 9,3 | 9,5 | 9,8 | 10,1 |
| 40 | 10,3 | 10,6 | 10,8 | 11,1 | 11,4 | 11,6 | 11,9 | 12,1 | 12,4 | 12,6 |
| 50 | 12,9 | 13,2 | 13,4 | 13,7 | 13,9 | 14,2 | 14,4 | 14,7 | 15,0 | 15,2 |
| 60 | 15,5 | 15,7 | 16,0 | 16,3 | 16,5 | 16,8 | 17,0 | 17,3 | 17,5 | 17,8 |
| 70 | 18,1 | 18,3 | 18,6 | 18,8 | 19,1 | 19,4 | 19,6 | 19,9 | 20,1 | 20,4 |
| 80 | 20,6 | 20,9 | 21,2 | 21,4 | 21,7 | 21,9 | 22,2 | 22,4 | 22,7 | 23,0 |
| 90 | 23,2 | 23,5 | 23,7 | 24,0 | 24,3 | 24,5 | 24,8 | 25,0 | 25,3 | 25,5 |

| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 26 | 28 | 31 | 34 | 36 | 39 | 41 | 44 | 46 | 49 |
| 200 | 52 | 54 | 57 | 59 | 62 | 65 | 67 | 70 | 72 | 75 |
| 300 | 77 | 80 | 83 | 85 | 88 | 90 | 93 | 95 | 98 | 101 |
| 400 | 103 | 106 | 108 | 111 | 114 | 116 | 119 | 121 | 124 | 126 |
| 500 | 129 | 132 | 134 | 137 | 139 | 142 | 144 | 147 | 150 | 152 |
| 600 | 155 | 157 | 160 | 163 | 165 | 168 | 170 | 173 | 175 | 178 |
| 700 | 181 | 183 | 186 | 188 | 191 | 194 | 196 | 199 | 201 | 204 |
| 800 | 206 | 209 | 212 | 214 | 217 | 219 | 222 | 224 | 227 | 230 |
| 900 | 232 | 235 | 237 | 240 | 243 | 245 | 248 | 250 | 253 | 255 |

| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 258 | 284 | 310 | 335 | 361 | 387 | 413 | 439 | 464 | 490 |
| 2000 | 516 | 542 | 568 | 593 | 619 | 645 | 671 | 697 | 722 | 748 |
| 3000 | 774 | 800 | 826 | 851 | 877 | 903 | 929 | 955 | 980 | 1006 |
| 4000 | 1032 | 1058 | 1084 | 1109 | 1135 | 1161 | 1187 | 1213 | 1238 | 1264 |
| 5000 | 1290 | 1316 | 1342 | 1367 | 1393 | 1419 | 1445 | 1471 | 1496 | 1522 |
| 6000 | 1548 | 1574 | 1600 | 1625 | 1651 | 1677 | 1703 | 1729 | 1754 | 1780 |
| 7000 | 1806 | 1832 | 1858 | 1883 | 1909 | 1935 | 1961 | 1987 | 2012 | 2038 |
| 8000 | 2064 | 2090 | 2116 | 2141 | 2167 | 2193 | 2219 | 2245 | 2270 | 2296 |
| 9000 | 2322 | 2348 | 2374 | 2399 | 2425 | 2451 | 2477 | 2503 | 2582 | 2554 |
| 10000 | 2580 | 2606 | 2632 | 2657 | 2683 | 2709 | 2735 | 2761 | 2786 | 2812 |

Konverzioni faktori:

(R) . 0,258 = (mC/kg)

(mC/kg) . 3,876 = (R)

Primer: 3900 R = 1006 mC/kg = 1 C/kg

TAB br. 9

Jedinice ekvivalentne doze

rem - mSv (mJ /kg)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 10 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| 20 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 |
| 30 | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 | 370 | 380 | 390 |
| 40 | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 |
| 50 | 500 | 510 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 |
| 60 | 600 | 610 | 620 | 630 | 640 | 650 | 660 | 670 | 680 | 690 |
| 70 | 700 | 710 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | 790 |
| 80 | 800 | 810 | 820 | 830 | 840 | 850 | 860 | 870 | 880 | 890 |
| 90 | 900 | 910 | 920 | 930 | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 |

rem - Sv

| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | – | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| 100 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 |
| 200 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 |
| 300 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 |
| 400 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 |
| 500 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,8 | 5,9 |
| 600 | 6,0 | 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,7 | 6,8 | 6,9 |
| 700 | 7,0 | 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,7 | 7,8 | 7,9 |
| 800 | 8,0 | 8,1 | 8,2 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,6 | 8,7 | 8,8 | 8,9 |
| 900 | 9,0 | 9,1 | 9,2 | 9,3 | 9,4 | 9,5 | 9,6 | 9,7 | 9,8 | 9,9 |

| | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 2000 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 3000 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 4000 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| 5000 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 |
| 6000 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 |
| 7000 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |
| 8000 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 |
| 9000 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 |

Konverzini faktori:

(rem) . 0,01 = (Sv); (rem) . 1o = ( mSv )

( Sv ) . 100 = (rem); (mSv) . 0,01 = (rem)

Primer: 53o rem = 5,3 Sv

Literatura


1. Zakon o mernim jedinicama i merilima. Sl.list SFRJ 13/1976.
2. J.Simonović: Medjunarodni sistem mernih jedinica -SI. Nova knjiga, Beograd, 1977.
3. J.Simonović i Bek-Uzarov Dj.: Medjunarodni sistem mernih jedinica u medicinskim i drugim merenjima. IX dug.simp. o zašt. Jajce,1977.
4. H.Lippert: SI-Einheiten in der Medizin. Urban und Schwarzenberg. München-Wien-Baltimore, 1978.
5. J.Simonović i sar.: Praktikum iz biofizike za studente medicine. Medicinska knjiga [illegible]

XI. Jugoslavenski simpozijum o zaštiti od zračenja

Portorož, 21. - 24.04.1981.

S. Lulić i K. Kvastek

Centar za istraživanje mora, Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

# DOZE OZRAČENJA STANOVNIŠTVA PRILIKOM RADA NUKLEARNE ELEKTRANE

U referatu bit će prikazane izračunate doze ozračivanja stanovništva uslijed rada nuklearne elektrane. Kod proračuna doza uzeti su u obzir slijedeći parametri: gustoća, naseljenost, protok rijeke, količina ispuštene radioaktivnosti i njen sastav, način i vrsta prehrane stanovništva kao i dob stanovništva. Čitava analiza radjena je za područje koje se nalazi u radijusu od 80 km od nuklearne elektrane.

## UVOD

Prilikom rada nuklearne elektrane dolazi do otpuštanja radioaktivnih materijala u okolinu, i to u atmosferu ili u površinske vode. Radi toga mora se računati sa dodatnim ozračenjem čovjeka u okolini nuklearne elektrane. Budući da se ispuštanje pojedinih radionuklida ili radionuklidne smjese može točno izmjeriti, proračun ozračenja stanovništva je moguć. Dakle poznavajući vrstu i količinu radionuklida, mjesne uvjete i literaturne podatke, omogućuje nam postavljanje proračunskih modela za izračunavanje ozračenja stanovništva u okolini nuklearnih elektrana.

Treba posebno nopomenuti da proračunski modeli predstavljaju podlogu koja je potrebna za planiranje nuklearnih elektrana. Nadalje proračunski modeli pomažu da u pojedinim slučajevima točno odredimo mjesta kontrole i zaštite okoline.

Proročunske podloge nisu jednostavne i ovise o raznim mjesnim osobitostima, koje treba ispitati i čak dati slobodnu procjenu.

## ISPUŠTANJE RADIOAKTIVNOSTI

### Odvodjenje radioaktivnosti zrakom

Ozračenje stanovništva odvodjenjem plinovitog radioaktivnog materijala nuklearne elektrane zrakom može se vršiti na više načina. Ti pojedini putevi različitog

su značenja u stupnju ozračenja čovjeka.

Općenito uzimaju se slijedeći putevi ozračenja :

- $\beta$ - submersija,
- $\gamma$ - submersija,
- zračenje tla,
- inhalacija i
- ingestija

Za odredjivanje cjelokupne doze ozračenja čitavog tijela ili pojedinog organa treba sumirati unošenje relevantnih radionuklida, koji su relevantni za člana kritične skupine stanovništva.

Odvodjenje radioaktivnosti s vodom

Ovdje model proračuna doze ozračenja stanovništva važi samo za ispuštanje radioaktivnog materijala u tekuću vodu, dok isti model ne vrijedi za stajaće vode. Cjelokupna godišnja doza izračuna se sumiranjem pojedinačnih doza za radionuklid.

Ozračenje stanovništva ispuštanjem radioaktivnosti u vodu uzrokovano je:

- vanjskim ozračenjem aktivnosti čovjeka van vode i
- unutarnje ozračenje, unošenje radionuklida u organizam.

PRORAČUN DOZA

Proračuni doza su izračunati na osnovu kompjuterskog programa LADTAP od US NRC. Pri tome su uzeti slijedeći kritični putevi :

a) voda za piće

b) ribe

c) priobalne aktivnosti.

Rezultati našeg proračuna doza dani su u Tabeli 1 i 2. Pri proračunu doza uzeti su slijedeće pretpostavke :

- samo sportski ribolov pridonosi populacijskoj dozi
- sva ulovljena riba je potpuno konzumirana
- riječna voda se ne upotrebljava kao površinski izvor pitke vode
- svi bunari podzemne vode sadrže koncentraciju radionuklida kao u

riječnoj vodi

- godišnji prosječni tok je 250 $m^3/s$
- maksimalno ispuštanje cirkulirajuće vode je 15 $m^3/s$
- raspodjela stanovništva po dobi :

  66% odrasli

  14% izmedju 13 i 19 godina

  20% djece

SUMMARY

Radiation doses resulting from normal operation of nuclear power plant were calculated for the population that lives within a radius of 89 km from the nuclear power plant. Parameters used for the calculation were : population density, age, human diet, concentration factors, quantities and kinds discharged radioactivity, river flow and local conditions and circumstances.

LITERATURA

1. U.S. Nuclear Regulatory Commision, Regulatory Guide 1.109.

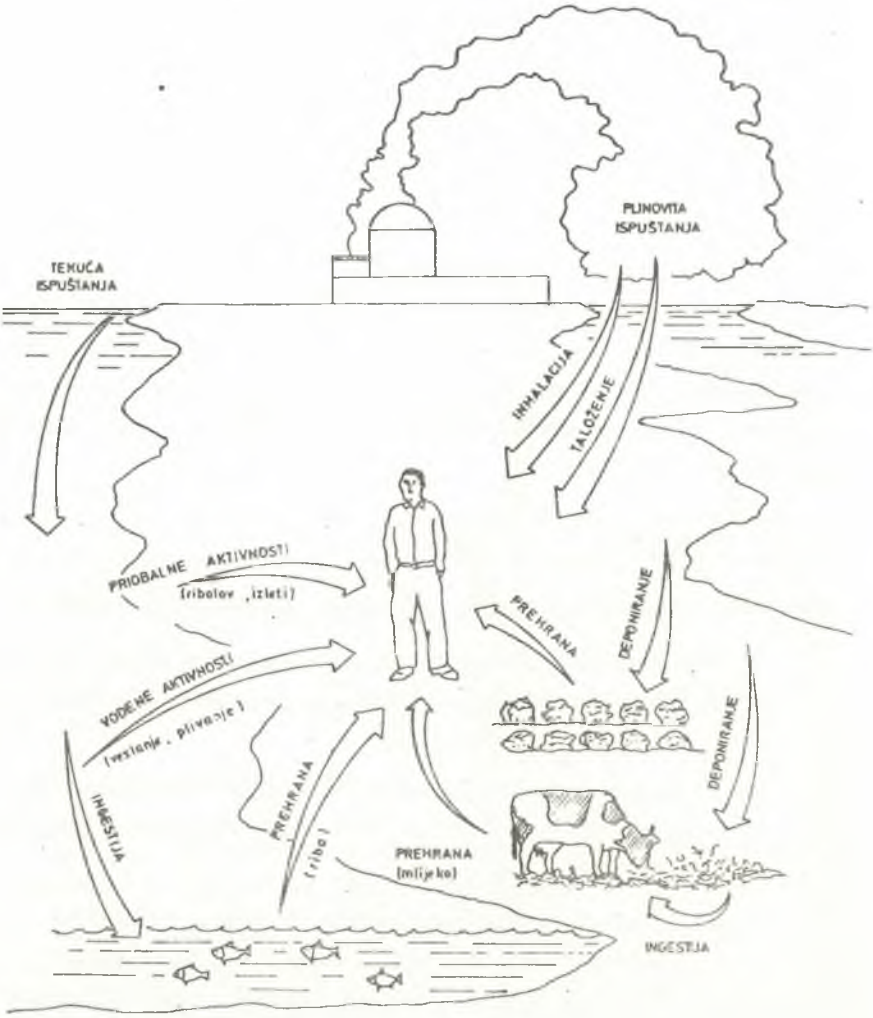
   Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compilance with IOCFR Part 50, Appendix I, Mart 1976.

2. Allgemetne Berechungsgrundlage für die Strahlexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberrlächengewässer, BRD 1979.

3. U.S. Nuclear Regulatory Commision, Regulatory Guide 1.113 Estimating Aquatic Dispersion of Effluents from Accidental and Routine Reactor Releases for the Purpose of Implementing Appendix I, 1976.

4. Konačni sigurnosni izvještaj za NE Krško, Poglavlje 11

5. Statistički zbornik Jugoslavije - popis stanovništva 1971.




SLIKA 1
KRITIČNI PUTEVI OZRAČENJA ZA ČOVJEKA

TAB 1 : Ukupna godišnja doza (mrem/godinu)

| Put ozračenja | Uzrast | Koža | Kosti | Jetra |
|---|---|---|---|---|
| Riba | dojenče | .00 | .00 | .00 |
| | dijete | .00 | 2.66 (4) | 2.86 (4) |
| | tinedjer | .00 | 2.14 (4) | 3.26 (4) |
| | odrasli | .00 | 2.12 (4) | 3.29 (4) |
| Pitka voda | dojenče | .00 | 2.30 (5) | 3.79 (4) |
| | dijete | .00 | 1.10 (5) | 2.44 (4) |
| | tinedjer | .00 | 3.84 (6) | 1.27 (4) |
| | odrasli | .00 | 4.21 (6) | 2.26 (4) |
| Priobalne aktivnosti | dojenče | .00 | .00 | .00 |
| | dijete | 2.66 (7) | 2.28 (7) | 2.28 (7) |
| | tinedjer | 1.27 (6) | 1.09 (6) | 1.09 (6) |
| | odrasli | 2.28 (7) | 1.96 (7) | 1.96 (7) |
| Ukupno | dojenče | .00 | 2.30 (5) | 3.79 (4) |
| | dijete | 2.66 (7) | 2.77 (4) | 5.31 (4) |
| | tinedjer | 1.27 (6) | 2.19 (4) | 4.55 (4) |
| | odrasli | 2.28 (7) | 2.16 (4) | 5.57 (4) |

Napomena : 2.66 (4) odgovara $2.66 \times 10^{-4}$

| Tiroida | Bubreg | Pluća | Probavni trakt | Čitavo tijelo |
|---|---|---|---|---|
| .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 6.27 (5) | 3.88 (5) | 3.56 (5) | 6.22 (6) | 5.07 (5) |
| 5.94 (5) | 9.01 (5) | 4.49 (5) | 1.16 (5) | 1.27 (4) |
| 6.74 (5) | 1.18 (4) | 4.14 (5) | 1.69 (5) | 2.29 (4) |
| 1.17 (3) | 1.57 (4) | 3.54 (4) | 3.53 (4) | 3.54 (4) |
| 5.72 (4) | 1.57 (4) | 2.33 (4) | 2.34 (4) | 2.34 (4) |
| 2.58 (4) | 1.57 (4) | 1.22 (4) | 1.23 (4) | 1.23 (4) |
| 3.82 (4) | 2.24 (4) | 2.20 (4) | 2.22 (4) | 2.23 (4) |
| .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 2.28 (7) | 2.28 (7) | 2.28 (7) | 2.28 (7) | 2.28 (7) |
| 1.09 (6) | 1.09 (6) | 1.09 (6) | 1.09 (6) | 1.09 (6) |
| 1.96 (7) | 1.96 (7) | 1.96 (7) | 1.96 (7) | 1.96 (7) |
| 1.17 (3) | 1.57 (4) | 3.54 (4) | 3.53 (4) | 3.54 (4) |
| 6.35 (4) | 1.96 (4) | 2.69 (4) | 2.40 (4) | 2.85 (4) |
| 3.18 (4) | 2.48 (4) | 1.68 (4) | 1.36 (4) | 2.52 (4) |
| 4.50 (4) | 3.43 (4) | 2.61 (4) | 2.39 (4) | 4.53 (4) |

TAB 2 : Raspodjela izotopa u ukupnoj godišnjoj dozi za odrasle

| Put ozračenja | Izotop | Koža | Kosti | Jetra |
|---|---|---|---|---|
| | $^{3}H$ | | | 1% |
| | $^{95}Nb$ | | | |
| | $^{99}Mo$ | | | |
| | $^{132}Te$ | | | |
| Riba | $^{131}I$ | | | |
| | $^{133}I$ | | | |
| | $^{134}Cs$ | | 13% | 20% |
| | $^{136}Cs$ | | 1% | 2% |
| | $^{137}Cs$ | | 84% | 74% |
| | $^{3}H$ | | | 96% |
| | $^{99}Mo$ | | | |
| | $^{131}I$ | | 6% | |
| Pitka voda | $^{133}I$ | | 2% | |
| | $^{132}Te$ | | 2% | |
| | $^{134}Cs$ | | 11% | |
| | $^{136}Cs$ | | 1% | |
| | $^{137}Cs$ | | 74% | 1% |
| Priobalne aktivnosti | $^{134}Cs$ | 11% | 11% | |
| | $^{137}Cs$ | 87% | 87% | |

| Tiroida | Bubreg | Pluća | Probavni trakt | Čitavo tijelo |
|---|---|---|---|---|
| 8% | 4% | 13% | 33% | 2% |
| | | | 1% | |
| | | | 3% | |
| | | | 18% | |
| 73% | | | | |
| 16% | | | | |
| | 18% | 17% | 6% | 24% |
| | 4% | 1% | 6% | 3% |
| | 70% | 66% | 28% | 70% |
| 57% | 97% | 99% | 98% | 98% |
| | 1% | | 1% | |
| 31% | | | | |
| 10% | | | | |
| | | | | 1% |

XI. JUGOSLOVANSKI SIMPOZIJ O ZAŠČITI PRED SEVANJI

Portorož, 21.- 24.aprila 1981

Milko Križman
Zavod SRS za varstvo pri delu, Ljubljana

# O KVALITETI DOSEDANJIH MERITEV RADIOAKTIVNOSTI ŽIVLJENJSKEGA OKOLJA

Kljub temu, da se izvajajo meritve radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja že celi dve desetletji, pri nas še vedno ni ne dogovorjenih niti izdelanih kriterijev, ki naj bi zagotavljali ustrezno kvaliteto rezultatov teh meritev. V delu je prikazana potrebe in razlogi za zagotovitev kvalitete merjenja radioaktivnosti v celotnem jugoslovanskem prostoru.

Sistematični nadzor nad radioaktivnostjo življenjskega okolja v naši državi poteka neprekinjeno že dvajst let, t.j. od leta 1961 dalje. Na podlagi rezultatov meritev se spremlja gibanje in zaznava spremembe ter ugotavlja izvor radioaktivnosti zraka, zemlje, padavin, pitne vode, hrane in krmil, v krajnji fazi pa se daje približna ocena o obremenjenosti prebivalstva. Vrsta vzorca, kraj in način zbiranja ali odvzema vzorcev, način priprave in obdelave vzorcev, vrsta in način merjenja vzorcev, način podajanja rezultatov je bolj ali manj določen z zveznim pravilnikom o preiskovanju kontaminacije (Ur.l.SFRJ štev.27/77).

Začetek kontrole nad radioaktivnostjo je sovpadal z obdobjem najintenzivnejših ameriških in sovjetskih poskusov zračnih eksplo-

zij jedrskih bomb, z obdobjem, ko so bile aktivnosti analiziranih vzorcev za današnje pojme izjemno visoke: skupna aktivnost beta v zraku je znašala okrog 1 do 2 $Bq/m^3$ ( nekaj 10 $pCi/m^3$ ), v padavinah okoli 100 000 $Bq/m^3$ ( nekaj 1000 pCi/l ), v geografskih vodah okoli 1000 $Bq/m^3$ ( nekaj 10 pCi/l ), prav toliko tudi v vodovodni vodi, v cisternskih pitnih vodah pa celo nekako desetkrat več, itd.

Razumljivo je, da je za takratne meritve aktivnosti tako visokih velikostnih redov povsem zadoščala preprostejša oprema, v glavnem, kot je razvidno iz letnih poročil, so vzorci bili merjeni z navadnimi GM števci in to s povsem zadovoljivo statistično natančnostjo. V sedanjem času pa so aktivnosti, ki so izmerjene v preiskovanih vzorcih okolja dva do tri ali pa celo več velikostnih redov nižje kot pred dvema desetletjema. Za merjenje nizkih nivojev z ustrezno natančnostjo pa so potrebne zahtevnejše metode, ki omogočajo zanesljive rezultate meritev tudi pri zelo nizkih aktivnostih. Za to so potrebne večje ali bolj koncentrirane količine vzorca, potrebni so ustrezni števci, ki imajo večji izkoristek in nižje ozadje, pa tudi daljši časi merjenja.

Pred izvajalci meritev radioaktivnosti življenjskega okolja so naslednja vprašanja, ki še nimajo odgovora:

- kolikšna naj bo spodnja meja zaznavanja radioaktivnosti (LLD) in iz nje izvedena najmanjša merljiva aktivnost za posamezne vrste preiskovanih vzorcev[x)]
- s kolikšno natančnostjo naj bodo ti vzorci izmerjeni
- kolikšna naj bo zanesljivost teh rezultatov.

Pod pojmom spodnja meja detekcije razumemo tisto najmanjšo aktivnost vzorca pri kateri registriramo tolikšno število impulzov, da lahko z neko gotovostjo zanesljivo trdimo, da je vzorec radioaktiven.

Spodnja meja detekcije se običajno izraža v poenostavljeni obliki:

$$SMD(LLD) = 2.\sqrt{2}\ .k.\sqrt{N_{vzorca} + N_{ozadja}} \doteq 4,66\ .\sigma_{ozadja}$$

poleg ozadja zavisi najmanjša merljiva aktivnost še od geometrije vzorca, absolutnega izkoristka števca in od števnega časa.

Odgovorov na prej postavljena vprašanja pred dvajsetimi leti zaradi visokih aktivnosti ni bilo treba iskati niti predpisovati, saj kljub manj kvalitetni merilni opremi ni bilo težko doseči ob standardnih pogojih merjenja natančnosti lo do 2o% (2s). Poglejmo nekaj primerov:

Povprečna aktivnost dnevnih padavin je znašala okrog o.2o mCi/km$^2$, kar je zneslo 5o pCi na vzorec, ki se je zbiral v lijaku s površino o.25 m$^2$.(ker gre v danem primeru samo za številčni prikaz točnosti meritve, bom uporabljal izven sistemske enote) Vzorec se je meril z GM števcem z izkoristkom 2o% in z ozadjem 12 sunkov na minuto. Čas meritve je bil 3o minut. Kratek izračun nam da statistično napako tega rezultata, ki znaša pri 95% zanesljivosti pičlih 11% tako, da bi rezultat zapisali o.2o ±o.o2 mCi/km$^2$.

Poglejmo, kako kvalitetno bi sedanjih nivojih dnevnih padavin izmerili aktivnost po tedanjem postopku. Površinsko aktivnost o.oo4 mCi/km$^2$ bi izmerili zelo nenatančno, saj bi bila samo statistična napaka približno 4oo% (2s). Ustrezni rezultat bi morali zapisati o.oo4 mCi/km$^2$ ± o.o16 mCi/km$^2$. Pripadajoča najmanjša merljiva aktivnost dnevnih padavin znaša za te merilne pogoje o.o27 mCi/km$^2$. Vidimo torej, da je zgoraj dobljeni rezultat praktično brez vrednosti, saj je daleč izpod spodnje merljive meje, daje nam v bistvu le informacijo, da vzorec ni kdove kako aktiven.

Rezultata torej ne moremo podajati v taki obliki, kot smo navedli zgoraj, ampak bi morali preprosto zapisati, da je bila površinska kontaminacija manjša od o.o3 mCi/km$^2$.

Izmerimo sedaj enak vzorec, ki smo ga zbrali v zbiralni posodi s površino 1 m$^2$ na sodobnem antikoincidenčnem proporcionalnem števcu z izkoristkom 4o% in ozadjem 1.o sunka na minuto. Pri dvakratnem števnem času znaša procentualna napaka samo 17% (2s), najmanša merljiva površinska kontaminacija pa znaša sedaj o.oo06 mCi/km$^2$. Kvalitete obeh načinov merjenja torej sploh ne moremo primerjati. Seveda pa je odveč pripomniti, da cena kvalitetnejše meritve ne more biti enaka ceni prejšne meritve. Čim bolj se približujemo namreč večjim natančnostim in večjim zanesljivostim tem bolj naraščajo stroški meritev. Nedvomno je torej tudi cena eden od kriterijev kvalitete meritev.

Iz navedenih primerov je razvidno, da mora biti občutljivost merilne metode tolikšna, da pri nekih standardnih merilnih pogojih zagotavlja zaznavanje nekega najmanjšega nivoja radioaktivnosti, ki pa bi moral biti v naprej predpisan zahtevam ali dogovorjen v okviru celotne jugoslovanske mreže. Ta nivo bi bil lahko postavljen n. pr. glede na relacijo o maksimalnih dovoljenih koncentracijah posameznih radionuklidov ali glede na njihove delno znane zmesi (v zraku, vodi, hrani itd.) ali glede na nivoje naravnih radioaktivnosti, ki se pojavljajo v posameznih elementih okolja.

Sedanji veljavni pravilnik o preiskovanju radioaktivne kontaminacije ne postavlja nobene od navedenih zahtev. Predhodni pravilnik, ki je veljal do leta 1977 je samo za meritve skupne beta aktivnosti zraka določil minimalno merljivo aktivnost o.1 pCi/m$^3$, kar je sicer v popolnem soglasju za veljavni in predpisani način merjenja v istem pravilniku.

Nasprotno pa velja, da so v svetu za nadzor radioaktivnosti okolice nuklearnih naprav v predobratovalnem obratovalnem obdobju, ko se ugotavlja ničelno stanje radioaktivnosti in v obratovalnem obdobju zahteve po kvaliteti tovrstnih meritev zelo dobro in precizno definirane. Spodnje meje zaznavanja aktivnosti posameznih vrst vzorcev so postavljene dovolj nizko, da je možno zanesljivo ugotoviti tudi dovolj majhne prispevke povečane radioaktivnosti okolja zaradi obratovanja n.pr. jedrske elektrarne. Razumljivo je, da so temu ustrezno izbrane in predpisane metode merjenja, ki terjajo seveda zahtevno merilno opremo in zahtevnejše postopke zbiranja,odvzema, priprave in samega merjenja.

Za prikaz kvalitete rezultatov meritev v okviru jugoslovanskega programa nadzora radioaktivnosti življenskega okolja sem na podlagi letnih zbirnih poročil zadnjih let skušal oceniti za posamezne kategorije vzorcev razpon najmanjših merljivih aktivnosti, oceniti verjetnost navedih vrednosti ter jih primerjati z vrednostmi U.S. REGULATORY GUIDE 4.8., ENVIRRONMENTAL RADIOACTIVITY SURVEILLANCE GUIDE in drugimi ter tam kjer je bilo mogoče primerjati vrednosti z maksimalno dovoljeno srednjo letno dovoljeno koncentracijo radionuklidov (Ur.l.SFRJ štev. 32/79) in s 1/1000 teh MDK. Na podlagi teh primerjav sem skušal izdelati eventuelne predloge minimalnih merljivih koncentracij za potrebe nadzora radioaktivnosti v našem prostoru.

Tabelo podajam na naslednji strani.

| Vrsta vzorca | Min. merljiva aktivnost (jugosl.) | Min. merljiva aktivnost (drugi) |
|---|---|---|
| 1.ZRAK (pCi/m$^3$) | | |
| skupna beta | o.ol - o.1 | o.oo3 - o.ol |
| 2.ZEMLJA (pCi/kg) | | |
| stroncij-9o | 15 - 5o | 15o |
| 3.PADAVINE (mCi/km$^2$) | | |
| beta (dvevno) | o.ool | - |
| beta (mes.) | o.ol | - |
| stroncij-9o | o.oo5 - o.ol | - |
| gama Cs-137 | o.ol - o.ool | - |
| 4.GEOGR. VODE | (pCi/l) | |
| beta | o.1 - 1.o | 1.o , 2-3 |
| 5.PITNA VODA | (pCi/l) | |
| beta | o.1 - 1.o | 1.o , 2-3 |
| 6.MLEKO | (pCi/l) | |
| Sr-9o | o.2 - 1.o | 1 - 2 |
| Cs-137 | 1.o - 2.o | 1o - 15 |
| 7.HRANA | (pCi/kg) | |
| Sr-9o,Cs-137 | 1.o, 1.o | 4 - 8o |
| 8.KRMILA | (pCi/kg) | |
| Sr-9o,Cs-137 | 1.o, 1.o | 4 - 8o |

| MDK | 1/1000 MDK | Predlog MM |
|---|---|---|
| 0.30 (III) | 0.0003 (III) | 0.003 - 0.0 |
| - | - | 15 - 150 |
| - | - | 0.001 - 0.01 |
| - | - | 0.01 - 0.0 |
| - | - | 0.005 - 0.01 |
| - | - | 0.001 - 0.01 |
| - | - | 0.1 - 3 |
| 4 (IV) | 0.004 (IV) | 0.1 - 1 |
| - | - | 1 - 2 |
| - | - | 1 - 10 |
| iznad 1000 | 1 | 1 - 10 |
| iznad 1000 | 1 | 1 -20 |

Pregledna tabela nam pokaže, da so najnižje izmerjene koncentracije radioaktivne kontaminacije v posameznih vrstah vzorcev, ki so jih izmerili posamezni republiški laboratoriji razveseljivo nizke, vendar to dejstvo samo po sebi žal še ničesar ne dokazuje. Pogrešamo namreč evaluacijo podanih rezultatov. Pri nekaterih rezultatih se namreč takoj vidi, da ne morejo biti povsem realni, saj je bila izbrana taka metodologija meritev, ki ne more dati tako preciznih rezultatov. Naj navedem nekaj primerov: pri standardnih pogojih merjenja je namreč težko ali sploh nemogoče izmeriti n.pr. o.1 pCi/l skupne beta aktivnosti, če razpolagamo s preostankom pepela od dvo-litrskega vzorca in opravimo meritev z navadnim GM števcem. Podobno je z rezultatom o.ool mCi/km$^2$ pri isti merilni tehniki. Težko bomo izmerili tudi vsebnost o.1 pCi Cs-137/kg vzorca hrane z navadnim scintilacijskim detektorjem manjših dimenzij. Na prvi pogled torej še tako kvalitetni rezultati brez navedbe celokupne procentualne pogreške (napaka pri zbiranju in odvzemu, transportu, pripravi vzorca, statistična napaka pri samem merjenju) nimajo ustrezne teže. Marsikje bi se namreč pokazalo, da podani rezultati takih merjenj ležijo za precejšen faktor izpod minimalne merljive aktivnosti. Mislim, da je to eden od dovolj tehtnih razlogov, ki narekujejo čimprej nujen dogovor na ravni samih izvajalcev oziroma na širši ravni o zagotavljanju določene kvalitete meritev, predvsem seveda do kakšne aktivnosti navzdol naj bodo vzorci izmerjeni. Predlagam, da bi pri takem dogovoru upoštevali naslednje:

- spodnja meja merljivosti glede na MDK (n.pr. 1/looo MDK)
- relacija glede na nivoje radioaktivnosti, ki v naravi že obstajajo
- določiti take metode merjenja, ki zagotavljajo boljše rezultate

Zahtevo po kvaliteti tovrstnih meritev bo moral postaviti uporabnik rezultatov, ki pa se bo moral zavedati, da je kvaliteta rezultatov tesno povezana s cenikom meritev in obratno.

S težnjo po večji kvaliteti meritev in uvedbo novih predvsem specifičnih analiz vzorcev bomo lahko takoimenovane monitoring rezultate lahko uporabili kot prave radioekološke pokazatelje katerih cilj je oceniti dejansko obremenjenost prebivalstva od virov sevanja, ki se pojavljajo v življenskem okolju.

Zavedati se moramo, da predstavlja povedano v bistvu le prvo fazo v kvaliteti meritev. Nadaljnja kontrola kvalitete je stalna in sestoji iz dveh faz:

- znotraj posameznega merilnega laboratorija se stalno preverja absolutna natančnost in preverja reproducibilnost merilnih postopkov in merilnih sistemov (merjenje referenčnih vzorcev, merjenje istih vzorcev v paralelkah, itd)
- medlaboratorijske interkomparacije preiskovanih vzorcev okolja ali pripravljenih vzorcev z znano aktivnostjo.

V kolikor se bo pripravljala kakršnakoli novelacija obstoječega pravilnika ali dopolnilo v zvezi s podajanjem rezultatov v enotah mednarodnega sistema, bi bilo istočasno nujno predpisati tudi zahteve po kvaliteti teh rezultatov.

LITERATURA

Pravilnik o preiskovanju kontaminacije....(Ur.l.SFRJ št.27/77)
Pravilnik o največjih dovoljenih mejah radioaktivne kontaminacije človekovega okolja (Ur.l.SFRJ št.32/79)
Regulatory Guide 4.8. Environmental Technical Specifications for Nuclear Power Plants (Washington, december 1975)
Environmental Radioactivity Surveillance Guide, (Wash., junij 1972)
Standard procedures for Environmental Radiation Monitoring (maj 1973)
Radioassay Procedures for Environmental Samples (HEW, Washington 1970
Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji (BG, 1975 do 1978)

AVTORSKO KAZALO


Ajdačić N. 253
Aleksić B. 609
Alunić L. 661
Andrić S. 473
Anovski T. 73
Antanasijević R. 519
Antić M. 409

Bačić S. 333
Baha Al-Deen A.H. 99
Barjaktarović N. 641
Barlič J. 383
Bauman A. 171, 185, 573, 597
Begović J. 165, 583, 635
Bek-Uzarov Dj. 29, 91, 137, 363, 703
Besarabić M. 609
Bojović P.S. 47
Boreli F. 535
Brajnik D. 107, 237, 491
Briski B. 35
Brnović R. 575, 579
Buben M. 557
Budnar M. 277

Cvelbar F. 375, 383

Deanović Ž. 621
Despotović R. 329, 339
Djoković V. 677
Djordjević Ž. 677
Djukić Z. 91
Djurić G. 179, 357
Dobrilović Lj. 485
Draganović B. 357, 673
Dražić G. 419
Drndarević V. 485
Dvornik I. 35, 403, 409, 427, 439
Džambasević M. 133

Fanka T. 179

Gačević M. 583
Giser A. 651
Gnjatović S. 299
Graunar M. 109
Gruden N. 553, 557

Hajduković D. 211
Horšić E. 147, 151, 171, 565, 629
Horvat Dj. 591, 597
Hrušovar G. 21

Ilić R. 369
Ivanović-Mićić G. 357

Janković D. 259
Jeremić M. 605
Južnič K. 109

Kačurkov D. 73
Kalendarov Z. 283
Kargačin B. 549
Katušin-Ražem B. 35
Kilibarda M. 217
Kirkov P. 73
Kneževič Lj. 259
Kljajić R. 147, 161, 171, 565, 629
Kobal I. 107, 231
Kocić A. 507
Kolar D. 419
Kostial K. 549
Kostić V. 473
Košutić K. 99
Koturović A.M. 495
Kovač J. 185, 573
Križanović D. 303, 363
Krstić J. 519
Kukoč A. 473
Kvastek K. 727

Križman M. 733
Likar A. 383
Lokobauer N. 573
Lulić S. 99, 191, 727

Mandić M. 345
Marinković N. 263
Marković P. 11, 121, 397, 541, 697
Marković P.D. 79
Marković S. 299
Marković Z. 629
Marsel J. 197
Maršičanin B. 247
Martić M. 253
Martinčič 197, 383
Mihailović M. 61
Mihailović M.V. 61
Mihailović S. 201
Mihalj A. 147
Mihelič M. 453
Mijalović R. 433
Mijatović Lj. 157
Miklavžič U. 107, 197, 453
Minčeva B. 73
Miličević S. 651, 667
Milivojević K. 615
Miljanić S. 409, 439
Milojević K. 397

Milojević S.S. 79, 141
Milošević Z. 147, 171, 565, 629
Mirić I. 363, 369, 391, 447
Mirić P. 363, 391
Mitrović M. 529
Mitrović R. 165, 583, 635
Mladenović P. 651, 667
Momčilović B. 553

Nikezić D. 11, 121
Ninković M. 433, 689
Novak Lj. 569

Orlić M. 501

Panov D. 569, 605
Paligorić D. 485
Patić D. 87, 127
Pavelić J. 621
Pavlović R.S. 535
Pendić B. 473, 641
Pendić Z. 473
Perdan A. 277
Petrović D. 269
Pirš M. 329
Plečaš N. 351
Popovski S. 95

Račić J. 591, 597
Radovanović R.G. 67, 79, 133, 141, 157, 681
Ranogajec-Komor M. 409, 427, 439
Ražem D. 35
Ristić Dj. 11, 121, 541
Rozgaj R. 591, 597
Ružička I. 321

Saračević L. 147, 171
Selak I. 165, 629
Simonović J. 137, 447, 713
Simović M. 485
Simović R. 513
Slivnik J. 243
Smiljanić N. 667
Smiljanić R. 87, 127
Soldatović B. 673
Spreizer F. 453
Stanković S. 583, 635
Stanojlović Č. 231
Stanovnik A. 197, 491
Stergaršek A. 243
Stipčić-Solić N. 315
Stojanović D. 397, 615
Stojanović D.P. 535
Strugar P. 115
Subotić B. 329, 339
Sušnik D. 453

Šeruga M. 107
Šimonović I. 549
Šmelcerović M. 485
Šobajić M. 467
Švarcer K. 413

Todorović Ž. 519
Tomašević M. 17, 295, 304, 525, 657
Tomljenović I. 529
Toplišek M. 61
Trajković M. 561
Trkov A. 277
Trontelj M. 419, 453

Ubović Ž. 391, 561
Udovč H. 383

Vasiljević Lj. 447
Vekić B. 427
Veličković D. 447
Vertačnik A. 191
Vidmar M. 3
Vilfan I. 383
Višnjić V. 605
Vitale B. 621
Vujić J. 29, 689
Vujnić V. 473
Vukčević M. 369
Vukotić M. 67, 157
Vuković Š. 541
Vuković Ž. 333, 345, 351

Zarić M. 3

Žerovnik I. 453
Živadinović M. 403