Mišić P.

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 RADOVA

## IX SIMPOZIJUMA JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

J A J C E
31. V — 3. VI 1977.

POČASNI PREDSEDNIK: TOMIĆ ZORA
Član SIV-a i predsednik Saveznog komiteta za zdravstvo i socijalnu zaštitu

ORGANIZACIONI ODBOR:

Dipl. hem. Borivoje Simić, predsjednik
Doc. Dr. Petar Marković
Prof. Dr. Zdravko Miloševič
Dr. Radoslav Radovanović
Prof. Dr. Zdravko Pujić
Prof. Dr. Fadil Čerkez
Dr. Anton Marjanc
Mr. Hrvoje Cerovac
Dipl. inž. Stevo Kuzmanović
RŌ tehn. Nada Bužanin

TEHNIČKA ORGANIZACIJA:

Institut za higijenu, socijalnu medicinu i medicinu rada - Sarajevo

i

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja - Sekcija za SR BiH

MJESTO ODRŽAVANJA:

Jajce, hotel "Jajce"

# S A D R Ž A J

Strana

1. M. Mihailović, V. Kosi:
ULOGA NEČISTOĆA U TERMOLUMINESCENTNIM EMAJLIMA . . . . . 1

2. M. Prokić:
MERENJE DOZA ZRAČENJA POMOĆU TERMOLUMINESCENTNIH DOZIMETARA U SISTEMU ZA RADIJACIONI MONITORING OKOLINE . . . . . 7

3. M. Knežević, G. Djurić, B. Petrović:
ODREDJIVANJE APSORBOVANE DOZE X-ZRAČENJA POMOĆU TERMOLUMINESCENTNIH DOZIMETARA KOD SVINJA OZRAČENIH U ROTACIONOM KAVEZU. . . . . 17

4. I. Mirić, P. Mirić, D. Veličković:
REZULTATI LIČNE DOZIMETRIJSKE KONTROLE POMOĆU FILM-DOZIMETARA. . . . . 23

5. M. Ninković, Z. Mininčić, J. Bjelanović, Dj. Tanković:
ISKUSTVA IZ PRAĆENJA OZRAČIVANJA RADNOG OSOBLJA KOD REAKTORA RA U VINČI U PROTEKLOM DESETOGODIŠNJEM PERIODU . . . . . 29

6. M. Šmelcerović, R. Ilić:
MERENJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE I DOZE IMPULSNIM DETEKTORIMA NUKLEARNOG ZRAČENJA . . . . . 37

7. I. Dvornik, M. Živadinović, U. Zec, S. Miljanić, F. Ranogajec, D. Ražem:
LIČNI RADIJACIONI DOZIMETAR DL-M3-TKIVU EKVIVALENTNI DOZIMETAR NEUTRONA I GAMA ZRAČENJA. . . 43

8. S. Miljanić, I. Dvornik, M. Živadinović, U. Zec, B. Dugonjić:
TOČNOST LIČNE DOZIMETRIJE S DOZIMETRIMA DL-M3 KOJU OSTVARUJU DOZIMETRISTI - POČETNICI. . . . . 49

Strana

9. A. Kocić:
REŠAVANJE TRANSPORTNE JEDNAČINE MONTE CARLO METODOM I NJENA PRIMENA U ZADACIMA PRORAČUNA BIOLOŠKOG ŠTITA . . . . . 53

10. R. Simović:
ANALIZA TRANSPORTA BRZIH NEUTRONA U ZAŠTITNIM MATERIJALIMA METODOM INVARIJANTNOG ULAGANJA . . 59

11. S. Marković, R. Simović:
REZULTATI ANALIZE PROLAZA BRZIH NEUTRONA KROZ ZAŠTITNE SLOJEVE TEŠKIH MATERIJALA METODOM INVARIJANTNOG ULAGANJA. . . . . 65

12. D. Cijetičanin, Dj. Krmpotić, A. Kukoč, V. Vujnić:
PROCENA NEUTRONSKOG FLUKSA NASTALOG U BETATRONSKOM OZRAČIVANJU. . . . . 71

13. S. Ignjatović:
MODEL GLAVE U ULOZI FANTOMA ZA ODREDJIVANJE APSORBOVANE DOZE U MOŽDANOJ REGIJI PRI GRAFIJI ZUBA . . . . . 73

14. B. Petrović, M. Knežević, B. Draganović, M.Gačević:
RADIJACIONO POLJE ZA OZRAČIVANJE MALIH ŽIVOTINJA . . . . . 77

15. V. Vojvodić:
ENERGETSKI HOD DOZIMETRA S OBZIROM NA AKUTNE SOMATSKE EFEKTE GAMA-ZRAČENJA . . . . . 83

16. D.Hajduković:
OZRAČIVANJE RESPIRATORNOG SISTEMA USLED INHALACIJE $^{222}$Rn I POTOMAKA U RUDNICIMA METALIČNIH RUDA. . . . . 89

Strana

17. M. Vrtar, I. Voskresensky:
INTERSTICIJALNA RADIOTERAPIJA PERMANENTNIH IMPLANTANATA LINEARNIH RADIOAKTIVNIH $^{192}$Ir IZVORA KOD TUMORA MOZGA I DOPRINOS DOZE NA OKO . . . . . 95

18. Ž. Ubović, I. Mirić:
ANALIZA INDUKOVANE AKTIVNOSTI KRVI OZRAČENIH OSOBA U NUKLEARNOM AKCIDENTU. . . . . 101

19. V. Joksimović:
OPTIMIZACIJA MEŠANIH KRITERIJUMA KOD PRIPREMA BARITNIH MALTER ZA EFIKASNU ZAŠTITU OD X-ZRAČENJA ISPOD 400 keV. . . . . 107

20. D. Križanović, D. Panov:
PACIJENTNA DOZA PRI RENDGENOGRAFSKIM PREGLEDIMA 113

21. Z. Kalendarov:
RAZVOJNA ZASTAPENOST NA MEDICINSKI IZVORI NA ZRAČENJE VO SR MAKEDONIJA ZA PERIOD 1966-1976. GOD. . . . . 118

22. Z. Kalendarov:
RASPROSTRANENOST NA NEMEDICINSKI IZVORI NA ZRAČENJE VO SR MAKEDONIJA . . . . . 123

23. G. Teodosijevski, Z. Kalendarov:
ASPEKTI DOZIMETRIJE ZRAČENJA I KONTROLE U MEDICINSKOJ I DENTISTIČKOJ RADIOLOGIJI. . . . . 125

24. P. Čremošnik-Pajić
MERE ZAŠTITE NA RADU ZA LICA PROFESIONALNO IZLOŽENA UTICAJU JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U ZDRAVSTVU . . . . . 131

Strana

25. T. Tomašević:
ZASTUPLJENOSTI DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA NA PODRUČJU SRS I PROMENE NASTALE OD 1971. GOD. . 137

26. M. Tomašević:
PROCENA IZLOŽENOSTI ZRAČENJU OSOBLJA KOJE VRŠI KONTROLU DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA . . . . . 141

27. Ž. Ninković, R. Babić:
NEKE VREDNOSTI DODATNIH DOZA OZRAČIVANJA STANOVNIŠTVA PRI RENDGENSKIM PREGLEDIMA I MERE NJIHOVOG SMANJENJA . . . . . 145

28. A. Hebrang, Z. Zubac, F. Petrovčić, D. Kubelka, Z. Brala:
ZAŠTITA BOLESNIKA OD RENDGENSKOG ZRAČENJA KOD ANGIOGRAFSKIH PRETRAGA. . . . . 151

29. Z.Zubac, A. Hebrang, F. Petrovčić, Z. Brala, D. Kubelka, A. Rukavina:
ZAŠTITA PROFESIONALNOG OSOBLJA KOD IZVODJENJA ANGIOGRAFSKIH PRETRAGA. . . . . 157

30. R.Hadžibegović, Z. Puvačić, A. Bušatlija, B. Puvačić:
PREVENCIJA RADIOLOŠKE EKSPOZICIJE U TRUDNOĆI. . . 163

31. Z. Puvačić, R. Bugarčić, B. Puvačić, I. Hadžimujić, Dj. Čatić:
PROCJENA RIZIKA RADIOGRAFIJE KARLICE KOD DOJENČADI . . . . . 167

32. V. Višnjić, M. Jeremić, D. Panov:
KAPILAROGRAFSKO ISPITIVANJE LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆIH ZRAČENJA. . . . . 171

Strana

33. D. Panov, Lj. Novak:
SADRŽAJ POLONIJUMA -210 U PARENHIMATOZNIM ORGANIMA ČOVEKA (pluća, jetra, bubrezi). . . . 179

34. V. Višnjić, M. Kilibarda, D. Panov:
UDRUŽENO DEJSTVO POLONIJUMA -210-I PRAŠINE RUDE URANA NA PLUĆA I BUBREGE PACOVA . . . . . 185

35. B. Momčilović:
UTJECAJ KONCENTRACIJE CINKA U MLIJEKU NA APSORPCIJU $^{65}$Zn U NEONATALNOJ DOBI. . . . . 193

36. I. Rabar, K. Kostijal:
UTJECAJ PREHRAMBENIH FAKTORA NA APSORPCIJU $^{203}$Hg IZ PROBAVNOG TRAKTA ŠTAKORA. . . . . 195

37. D. Kello, T. Fajdetić, K. Kostijal:
MEHANIZAM APSORPCIJE RADIOAKTIVNOG OLOVA -203 IZ PROBAVNOG TRAKTA ŠTAKORA . . . . . 197

38. N. Gruden, M. Buben:
METABOLIZAM RADIOKALCIJA U SITIH I GLADNIH ŠTAKORA TRETIRANIH OLOVOM. . . . . 199

39. R. Mitrović, M. Gačević, J. Gligorijević, J. Begović, S. Stanković:
PEROALNA KONTAMINACIJA OZRAČENIH FAZANA SMEŠOM IZOTOPA Cs-137 I Sr-85,89 . . . . . 201

40. M. Trajković, D. Veljković, N. Barjaktarević, V. Kostić, S. Brkić, B. Pendić:
PROFESIONALNA EKSPOZICIJA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA - VREDNOST NEKIH HEMATOLOŠKIH, CITOMORFOLOŠKIH I IMUNOLOŠKIH TESTOVA. . . . . 207

41. J. Grozdanović, V. Savić:
ELEKTROKARDIOGRAFSKE PROMENE KOD LICA IZLOŽENIH JONIZUJUĆEM ZRAČENJU . . . . . 215

Strana

42. O. Vraspir-Porenta, R. Ozvald, M. Porenta:
DENZITOMETRIČKO ISPITIVANJE LEUKOCITA ČOVJEKA, NAKON TERAPIJE $^{131}$J. . . . . 221

43. I. Voskresensky, V. Voskresensky, L. Grgić-Markulin, M. Šeremet:
APLIKACIJA KOLOIDALNOG RADIOAKTIVNOG KROM-FOSFATA KOD CISTIČNIH TUMORA MOZGA KAO I DOPRINOS DOZE ZRAČENJA NA ZDRAVO TKIVO MOZGA. . 225

44. M. Gačević:
UTICAJ X-ZRAKA NA BLASTIČNU TRANSFORMACIJU, MITOTSKU AKTIVNOST I HROMOZOME LIMFOCITA SVINJE in vitro . . . . . 231

45. S. Muždeka, D. Danilović, S. Kostić:
MONITORING ŽIVOTNE SREDINE. . . . . 237

46. P. Bojović, S. Muždeka:
RADIJACIONI MONITORING SISTEM U SVETLU NAŠIH ZAKONA I POSTOJEĆIH MOGUĆNOSTI. . . . . 243

47. S. Lulić:
ISTRAŽIVANJE AKUMULACIJE ZAGADJIVAČA U SLATKOVODNIM ORGANIZMIMA METODOM KONCENTRACIONIH FAKTORA . . . . . 251

48. V. Kubelka, K. Kvastek, S. Lulić:
ODREDJIVANJE MJESTA ZA KONTROLU RADIOAKTIVNOG ZAGADJENJA PODZEMNE VODE U ALUVIJALNIM TERENIMA. . . . . 257

49. S. Milojević, R. Radovanović:
TRANSLOKACIJA FISIONIH PROIZVODA IZ PADAVINA U VODE AKUMULACIONIH JEZERA . . . . . 263

Strana

50. S. Milojević, R. Radovanović:
PRILOG POZNAVANJU PRODIRANJA FISIONIH PRODUKATA IZ RADIOAKTIVNIH PADAVINA U PODZEMNE VODE . . . . . 269

51. S. Popovski
UKUPNA BETA RADIOAKTIVNOST U IZVORSKIM VODAMA U SR MAKEDONIJI. . . . . 275

52. D. Nedelkovski, P. Filjanski, Dj. Teodosijevski, D. Velev:
NEKOJ REZULTATI OD ISPITUVANJETO NA PRIRODNATA BETARADIOAKTIVNOST NA VODITE ZA PIENJE VO SR MAKEDONIJA . . . . . 279

53. F. Boreli, R. Stojaković, N. Tončev:
EKOLOŠKI ASPEKTI PONAŠANJA TRICIJUMA U ČOVEKOVOJ OKOLINI. . . . . 283

54. R. Brnović, R. Radovanović:
NEKE EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOBALTA - 60. . . 289

55. A. Bauman:
KRETANJE STABILNOG OLOVA I OLOVA -210 U ZRAKU NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA. . . . . 293

56. D. Patić, R. Smiljanić, D. Stojanović:
ISPITIVANJE UNUTRAŠNJE STRUKTURE TEMPERATURSKOG GRADIJENTA U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE . . . . 299

57. F. Čustović, A. Leovac:
KOLIČINA Sr-90 I Cs-137 U DNEVNOM OBROKU STANOVNIŠTVA BiH I PROCJENA DNEVNOG UNOSA. . . . . 305

Strana

58. P. Bojović, M. Mladjenović:
RAZMATRANJE POJAVE PRIRODNIH RADIONUKLIDA KOJI DOSPEVAJU U ŽIVOTNU SREDINU UPOTREBOM PROIZVODA DOBIJENIH IZ MINERALA FOSFORITA. . . 311

59. E. Horšić, Z. Milošević, A. Bauman, R. Kljajić:
KOLIČINA $^{40}K$, $^{90}Sr$ I $^{137}Cs$ U VODI I RIBAMA DOMAĆIH RIBNJAKA . . . . . 317

60. E. Horšić:
KONZUMNA VRIJEDNOST RIBE OBZIROM NA RADIOAKTIVNU KONTAMINACIJU. . . . . 319

61. Z. Milošević, E. Horšić, A. Bauman, R. Kljajić:
NIVO RADIOAKTIVNOSTI U DIVLJAČI SA PODRUČJA BiH . . . . . 321

62. M. Adamov:
REZIDUALNA BETA AKTIVNOST U MESU I KOSTIMA GOVEDA NA PODRUČJU SR MAKEDONIJE . . . . . 323

63. Lj. Knežević:
SORPCIJA $^{137}Cs$ PRIRODNOM I TERMIČKI TRETIRANOM BENTONITU. . . . . 327

64. K. Južnič, Š. Fedina
SORPCIJA RADIOSTRONCIJA IN RADIOCEZIJA NA IZMENJALCU DOVEX 50 W X 8. . . . . 333

65. M. Simović, D. Paligorić, J. Feruh:
ODREDJIVANJE UKUPNE ALFA AKTIVNOSTI U UZORCIMA BILJNOG I ŽIVOTINJSKOG POREKLA PRIMENOM $H_2O_2/Fe^{2+}$ POSTUPKA MOKROG SPALJIVANJA ZA KONCENTROVANJE AKTIVNOSTI . . . . . 339

Strana

66. M. Gačević:
NEKA ISKUSTVA U RADIOMETRIJSKOJ KONTROLI ŽIVOTNE SREDINE U SSSR-u . . . . . 345

67. S. Gnjatović:
O POGODNOSTIMA ZA RADNIKE KOJI RADE NA POSLOVIMA SA IZBORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA . . . . . 351

68. S. Lugomer
KRITERIJI ZA TRAJNO SKLADIŠTENJE NISKO I SREDNJE AKTIVNIH MATERIJA. . . . . 355

69. J. Gligorijević, B. Petrović, B. Draganović, A. Zagorčić-Janković, G. Djurić:
EDUKACIJA VETERINARSKIH STRUČNJAKA (NA REDOVNIM I POSLEDIPLOMSKIM STUDIJAMA) IZ OBLASTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA. . . . . 359

70. V. Ćirić:
ZAŠTITA OD ZRAČENJA U NASTAVNIM PROGRAMIMA ODSEKA ZA PROTIVPOŽARNU I CIVILNU ZAŠTITU VIŠE TEHNIČKE ŠKOLE U NOVOM SADU . . . . . 365

71. J. Simonović, Dj. Bek-Uzarov:
MEDJUNARODNI SISTEM MERNIH JEDINICA U MEDICINSKIM I DRUGIM MERENJIMA . . . . . 371

72. M. Tomašević:
PRIMENA MEDJUNARODNOG SISTEMA JEDINICA U OBLASTI RADIOLOŠKE ZAŠTITE . . . . . 377

73. D. Djurakić, B. Pejušković:
SI - JEDINICE U ZAŠTITI OD ZRAČENJA. . . . . 379

Strana

74. I. Dvornik, M. Živadinović, S. Miljanić, U. Zec:
ŠKOLSKI LIČNI RADIJACIONI DOZIMETRI I OBUKA DOZIMETRISTA ZA RAD U VANREDNIM UVJETIMA. . . . 385

75. J. Stajić, B. Petrović, B. Draganović:
ZNAČAJ RADIJACIONE HIGIJENE U ANIMALNOJ PROIZVODNJI U NORMALNIM I VANREDNIM PRILIKAMA. . . 391

76. B. Hrastnik:
RIZICI UVODJENJA NUKLEARNE ENERGETIKE . . . . . 397

77. R. Mijailović, M. Ninković:
ANALIZA SADRŽAJA RADIOAKTIVNIH PRODUKATA U RASHLADNOM MEDIJU REAKTORA. . . . . 403

78. D. Hajduković:
PRILOG KLASIFIKACIJI RUDNIKA METALIČNIH RUDA U ZAVISNOSTI OD RADIOAKTIVNIH POJAVA U RUDNIKU. . 415

79. J. Kristan, I. Kobal, B. Barlić, S. Jerančić:
IZHAJANJE RADONA IZ ODPADKOV PRI PREDELAVI URANOVE RUDE . . . . . 421

80. R. Despotović, B. Subotić
DEPONIRANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA IZ NUKLEARNIH ELEKTRONA . . . . . 427

81. M. Mandić, Ž. Vuković:
SORPCIJA JODA I NJEGOVIH VALENTNIH FORMI IZ VODENOG RASTVORA NA AKTIVNOM UGLJU. . . . . 431

82. I. Plećaš, Ž. Vuković, M. Jeremić:
UKLANJANJE FOSFATA KLARIFLOKULACIJOM U FLUIDIZOVANOM SLOJU . . . . . 437

Strana

83. B. Subotić, R. Despotović:
DEKONTAMINACIJA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA . . . . . 443

84. B. Pejušković, D. Djurakić, T. Bojović,
O. Nikolić, M. Milovanović:
RADIOLOŠKA DEKONTAMINACIJA RUKU PRIRUČNIM
SREDSTVIMA U POLJSKIM USLOVIMA. . . . . 449

85. K. Milivojević, S. Stojanović:
DEKONTAMINACIJA KOŽE KONTAMINIRANE RADIOJODOM . 455

86. B. Draganović, G. Djurić, B. Petrović, J. Panin:
MOGUĆNOSTI SMANJENJA PRIRODNE RADIOAKTIVNOSTI
SVINJSKOG MESA TEHNOLOŠKO-KULINARSKIM POSTUP-
CIMA. . . . . 461

87. M. Šmelcerović, S. Muždeka, G. Djurić,
B. Petrović:
BRZA PROCENA SPECIFIČNE BETA AKTIVNOSTI HRANE
I DRUGOG MATERIJALA NA UREDJAJU LARA - GS . . . 465

88. R. Tasić, R. Vulović:
STRUJNA JONIZACIONA KOMORA ZA ODREDJIVANJE KON-
CENTRACIJE ČESTICA AEROSOLA . . . . . 471

89. A. Koturović, D. Damljanović, P. Kosić:
DIGITALNI ALARMNI MONITOR ZRAČENJA MZ-D1. . . . 477

90. D. Damljanović:
INDIKATOR ZRAČENJA SA KVAZIPERIODIČNIM ZVUČNIM
SIGNALOM - STRAŽAR - 3. . . . . 483

91. A. Koturović, D. Damljanović, A. Milošević:
DIGITALNI MERAČ ZRAČENJA ZA ŠKOLSKU UPOTREBU -
DIGITIN . . . . . 491

Strana

92. A. Koturović:
KALKULATORSKI ELEMENT U INSTRUMENTACIJI ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA . . . . . 497

93. M. Šobajić:
KOLO ZA MERENJE MALIH JEDNOSMERNIH STRUJA SA LINEARNOM INDIKACIJOM BEZ UPOTREBE VISOKOOMSKIH OTPORNIKA. . . . . 503

94. D. Novković, P. Mirić, R. Ilić:
VAZDUŠNO-EKVIVALENTNE SMEŠE ZA IZRADU JONIZACIONIH KOMORA . . . . . 509

95. T. Bojović, B. Pejušković, M. Šmelcerović, D. Djurakić, M. Milovanović:
ODREDJIVANJE STEPENA KONTAMINACIJE VODE MERENJEM POLJA GAMA ZRAČENJA RAZLIČITIM TIPOVIMA PRENOSNIH DETEKTORA GAMA ZRAČENJA . . . . . 515

96. M. Šmelcerović, R. Ilić, T. Bojović, B. Pejušković:
ODREDJIVANJE STAROSTI SMEŠE FISIONIH PRODUKATA APSORPCIONOM METODOM . . . . . 521

97. J. Vuković, J. Simonović, R. Antanasijević:
ALFA AUTOHISTORADIOGRAFIJA S POLIMERNIM NUKLEARNIM DETEKTORIMA TRAGOVA - PNDT . . . . . 527

98. J. Vuković, R. Milinković, N. Cajlan:
TEM AUTOHISTORADIOGRAFIJA KONTRASTIRANIH REZOVA URANIL ACETATOM. . . . . 533

99. P. Popović:
MIKROTALASNO-RADARSKO ZRAČENJE. . . . . 537

Strana

100. S. Miličević, D. Djordjević:
DEJSTVO LASERSKOG ZRAČENJA NA UNUTRAŠNJE ORGANE ČOVEKA . . . . . 541

101. M. Tomašević:
IZVORI MIKROTALASNOG ZRAČENJA KOJI SE KORISTE U DOMAĆINSTVIMA . . . . . 547

102. M. Tomašević:
KONTROLA PARAZITNOG MIKROTALASNOG ZRAČENJA KOD MIKROTALASNIH PEĆI NAMENJENIH ZA SPRAVLJANJE HRANE . . . . . 551

103. Z.Djordjević:
MOGUĆNOSTI ZA AKCIDENTALNA OZRAČENJA PRI RADU SA MIKROTALASNIM PEĆIMA I ZAŠTITA . . . . . 553

104. B. Petrović, Z. Djordjević, N. Lazarević, N. Štaljonić:
UTICAJ MIKROTALASNOG ZRAČENJA NA PERIFERNU KRV I GLIKEMIJU PACOVA. . . . . 557

105. T. Imami:
PRIMJENA FOTOGRAFSKIH FILMOVA ZA DOZIMETRIJU GAMA ZRAKA PRI TELETERAPIJI . . . . . 563

106. J. Vujnović:
KONCENTRACIJSKI FAKTORI $^{226}$Ra, $^{210}$Pb i $^{90}$Sr U SISTEMU REKE SAVE. . . . . 569

107. M. Pirš, M. Toplišek:
MIGRACIJA RADIONUKLIDOV V TLEH. . . . . 575

108. M. Pirš, M. Toplišek:
ODLAGANJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV. . . . . 581

Strana

109. R.G.Radovanović:
TRANSLOKACIJA $^{137}Cs$ U GLAVNIM FAZAMA EKOLOŠKOG SISTEMA POD USLOVIMA HRONIČNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE . . . . . 589

110. D. Petrović, D. Panov:
PROCENA OZRAČENOSTI STANOVNIŠTVA OD RADIOAKTIVNIH GROMOBRANA . . . . . 607

- - -

IX. Simposium Jugoslovenskog društev
za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.5. do 3.6.1977

M.MIHAILOVIĆ
Universitet u Ljubljani
Institut "Jožef Stefan"

V.KOSI
Kemični institut B.Kidrič
Ljubljana

# ULOGA NEČISTOČA U TERMOLUMINISCENTNIM EMAJLIMA

Abstrakt. Ranije je bilo objavljeno, da boroaluminosilikatna stakla sa litijem kao staklotvornim komponentom (tip GL emajla) te boraluminosilikatno staklo sa utopljenim zrnima termoluminescentnog litij silikata sa dodatnim nečistočama $B_2O_3$ i CaO (GR tip emajla) može da se upotrebi u termoluminiscentnoj dozimetriji.

U daljim eksperimentima sa emajlom tipa GR dodavane su različite količine nečistoča u litijum silikat. Razvijeno je sedam različitih emajl dozimetra i izpitane su njihove osobine. Pokazalo se, da osetljivost dozimetra opada sa porastom dodate količine $B_2O_3$, dok "fading" raste sa porastom količine $B_2O_3$.

1. Uvod. Razvijene su dve vrste termoluminiscentnog emajla(1,2,3). Jedna vrsta, u daljem tip GL, je boroaluminosilikatno staklo sa litijem kao staklotvornom komponentom. Druga vrsta, u daljem tip GR, je boroaluminosilikatno staklo bez litija ali sa ugradjenim termoluminiscentnim zrnima litijevog silikata, ili litijevog silikata sa dodatim $B_2O_3$ i CaO ili samo $B_2O_3$ kao nečistočama.

U sledečem će biti pokazano kako zavise dozimetriske osobine TL emajla tipa GR od količine $B_2O_3$ i CaO, koje su dodate litijevom silikatu.

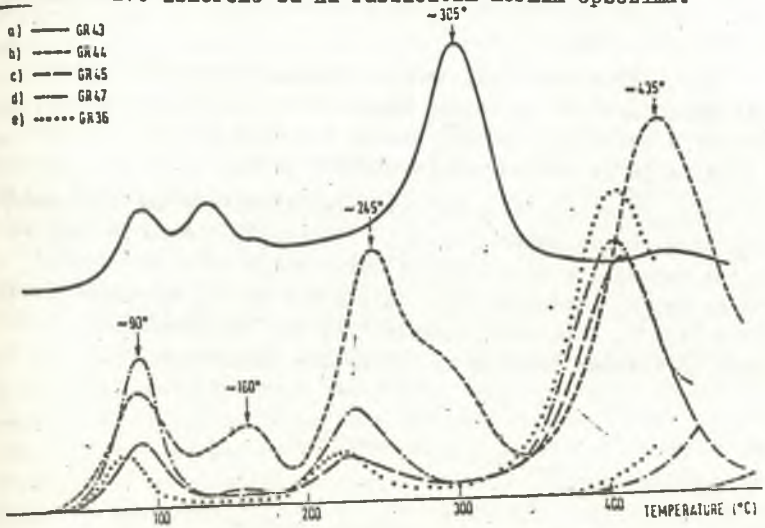
2. Termoluminiscentni emajli. Prozirni emajl je definisan kao staklasta materija pečena na metalu. On može da se napravi takav da ima dobre mehaničke osobine, da je proziran i da izdržava temperaturu do 600°C. Svi boroalumino silikatni emajli napravljeni su u jednoj reakciji tako, da su sve hemiske komponente zagrevane na vazduhu na 1100°-1300°C dok se ne otope. Tada se emajl izlije u sud od platine i ohladi. Na to se samelje, proseje i s tim je pripravljen za pečenje na metalu. U posebnom postupku napravljen je litijev silikat čist, ili sa različitim količinama $B_2O_3$ i CaO, ili samo $B_2O_3$. Borov oksid dodavan je u iznosu: 0,7 % emajl GR 44, 1,6 % emajl GR 40, 3,2 % emajl GR 45, 9,0 % emajl GR 46, 12 % GR 47. Borov oksid i calcijev oksid dodavani su u iznosu: 6,8 % + 5,5 % emajl GR 36, 28 % + 23 % emajl GR 31 i 37 % + 30% emajl GR 32. Zadnja dva emajla nisu pokazivali termoluminiscencu.

3. Merenja. Merenja termoluminiscentnog odgovora dozimetara vršena su na foton-rate metru, firme Oxford Instruments (4,3). Brzina zagrevanja je bila linearna, maksimalna temperatura od 500°C je postignuta u vremenu od jednog minuta. Dozimetri su bili ozračeni izvorom beta zračenja, Sr-90, koji je bio umeren na ekspoziciju gama zračenja.

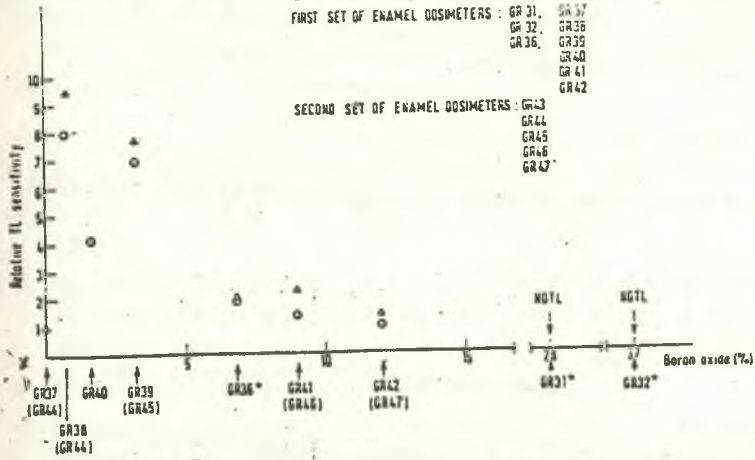
4. Rezultati.

4.1. Krive sjaja i osetljivost. Uobičajena praksa kod istraživača termoluminiscentnih pojava, u dozimetriji, arheologiji ili geologiji, je da prvo pokažu krivu sjaja. Na slici 1 se vide krive sjaja pet različitih vrsta termoluminiscentnih emajla tipa GR. Gornja kriva je emajl u kome su utopljena zrna litijevog silikata bez ikakvih nečistoča. Donje četiri krive pripadaju emajlima GR 44, GR 45, GR 47 i GR 36 koji imaju različite količine $B_2O_3$ i CaO. Iz slike se vidi da zadnje četiri krive sjaja imaju istu

strukturu a različite količine i vrste dodatih nečistoča. Prikazane krive izmerene su na različitim mernim opsezima.




Sl. 1. Krive sjaja emajla GR 43, Gr 44, GR 45, GR 47 i GR 36.



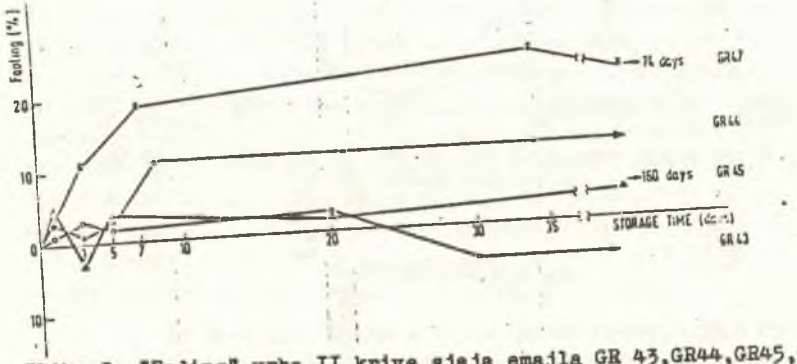

Sl. 2. TL odgovor vrha III krive sjaja različitih emajla prema vrhu III krive sjaja emajla bez $B_2O_3$, u zavisnosti od dodavane nečistoče $B_2O_3$. Emajli GR 36, GR 31 i GR 32 imaju pored $B_2O_3$ i 5,5 %, 23 % i 30 % CaO.

Osetljivost emajla u zavisnosti od količine $B_2O_3$ se vidi na sl. 2.

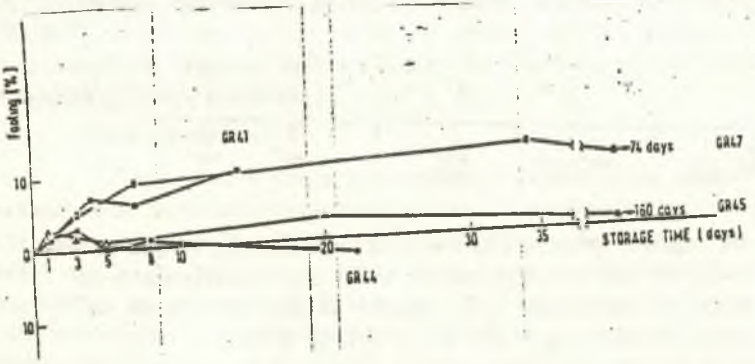
Posle naglog skoka relativne osetljivosti kod 0,7 % $B_2O_3$ osetljivost postepeno pada do emajla sa 12 % $B_2O_3$. Označene su i dve tačke kod kojih je dodatak nečistoča potpuno ugušio termoluminiscencu, GR 31 i GR 32.

4.2. Linearnost. Svi emajli pokazuju linearnost termoluminiscentnog odgovora sa dozom. Emajl GR 44 ima donju granicu osetljivosti u području 100 mR, ostali u području od 0,5R do 1R. Gornja granica je za večinu emajla oko $120.10^3$R.

4.3. "Fading". Merenje termoluminiscentnog odgovora posle različitih vremenskih intervala, t.j. "fadinga", vršeno je kod svih emajla merenjem visine vrha II krive sjaja na temperaturi od 230°C do 245°C i merenjem vrha III, krive sjaja, na temperaturi od 400°C do 435°C. Rezultati merenja "fadinga" u procentima u zavisnosti od vremena čekanja za sve emajle dati su na slici 3 i 4.




Slika 3. "Fading" vrha II krive sjaja emajla GR 43,GR44,GR45,GR47.




Slika 4. "Fading" vrha III krive sjaja emajla GR44, GR45,GR41,GR47.

Na slici 3 se vidi da "fading" vrha II za vremenski interval od dvadeset dana, raste od 5 % za emajl GR 43, bez $B_2O_3$ do 20 % za emajl GR 43 za 12 % $B_2O_3$. Za kratke vremenske intervale "fading" od GR 44 i GR 45 izgleda nestabilan, sa tendercijom da ide u negativnu vrednost. Slika 4 pokazuje rezultate merenja "fadirga" za vrh III. Razlika u ponašanju emajla za većom količinom $B_2O_3$, GR 44, i GR 45 i manjom količinom $B_2O_3$, GR 41 i GR 47 je izrazitija. Emajli GR 44 i GR 45 imaju posle vremenskog intervala od dvadeset dana zanemarljiv fading, -2 % i +3%. Istovremeno GR 41 i GR 47 imaju 10% fadinga. Kod emajla GR 43, GR 44, GR 45 utvrđen je ponovljiv efekat negativnog "fadinga". Kod emajla GR 43 za vrh II on može da bude posle trideset dana i do 10 %.

5. Diskusija. Rezultati dosadašnjih eksperimenata pokazuju da količina dodavane nečistoče, $B_2O_3$ ima vidni uticaj na osetljivost i fading termoluminiscentnog emajla. Kriva sjaja ne mora da bude tipična za jednu vrstu termoluminiscentnog materijala. Pokazalo se da termoluminiscentni materijali koji sadrže različite količine iste nečistoče GR 44, GR 45, GR 47 i termoluminiscentni materijal sa različitim nečistočama GR 36, imaju skoro identične krive sjaja, a različite karakteristike fadinga.

Bibliografija:


1. Mihailović, M., in Proc.of Symp.Solid State and Chemical Radiation Dosimetry in Medicine and Biology, Vienna, IAEA, 1967.
2. Mihailović,M., et al., Phys.Med.Biol., Vol.12, No.3, 395-402, 1967.
3. Mihailović,M., Kosi,V., in Proc.3rd Int.Conf.on Luminiscence Dosimetry, Riso Report 249 Danish Atomic Energy Agency, Riso), 277-289, 1971.
4. Tite,H.S., Archeometry, 9, 155-169, 1966.
5. Aitken,M.J., Alldred, J.C. and Thomson, J., Proc.Second Int. Conf.on Luminiscence Dosimetry, Gatlinburg, 248-265. CONF-680920, NBS, Springfield, Virginia), 1968.

Abstract. It has been reported earlier that baroalumino silicate glass, with lithium as one of glass forming components (GL type enamel) and baroalumino silicate glass with melt in grains of TL active lithium silicate having $B_2O_3$ only, or $B_2O_3$ and CaO, added as impurities (GR type enamel) can be used in theremoluminiscent dosimetry. Further experiments were made with GR type enamel in which various amounts of impurities were added into lithium silicate. Seven different dosimeters were made and their properties investigated. It has been shown that the sensitivity of dosimeters decreases with the increase of added amount of $B_2O_3$, while fading increased with increasing amount of $B_2O_3$.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977

M. Prokić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

# MERENJE DOZA ZRAČENJA POMOĆU TERMOLUMINESCENTNIH DOZIMETARA U SISTEMU ZA RADIJACIONI MONITORING OKOLINE

**Abstrakt**

U radu je izneta metoda za merenje doza zračenja kao i karakteristike razvijenog termoluminescentnog dozimetra visoke osetljivosti, sa zanemarljivo niskim fading-om i visokom reproducibilnošću čiji je poseban kvalitet njegova ekstremno visoka osetljivost koja je za oko 60% viša od osetljivosti istog tipa komercijalnog TL dozimetra, proizvodnje Harshaw Ch. Co. (USA).

Rezultati eksperimenata većeg obima, posebno medjunarodnog karaktera (Second International Intercomparison of Environmental Dosimeters), potvrdili su kvalitet razvijenih termoluminescentnih dozimetara i pokazali da ovaj tip TL dozimetara (TLD-$CaSO_4$:Dy) optimalno ispunjava zahteve za kontinualnu kontrolu nivoa doza zračenja u sklopu sistema za radijacioni monitoring okoline.

## 1. Uvod

Merenje doza zračenja u uslovima egzistencije velikih populacionih grupa kao i u radnim sredinama u kojima se primenjuju izvori jonizujućeg zračenja, predstavlja obaveznu komponentu u sistemu za radijacioni monitoring okoline, s obzirom da rezultati kontrole nivoa doza zračenja u životnoj sredini predstavljaju jedan od osnovnih parametara koji omogućava procenu ozračenosti populacije u celini.

Poslednjih godina termoluminescentni dozimetri (TLD) su prihvaćeni kao najpogodniji integralni dozimetrijski sistem za merenje niskih doza zračenja[1-9] u svim zemljama koje primenjuju nuklearnu energiju i izvore jonizujućeg zračenja. TLD omogućavaju integralno merenje niskih doza zračenja sa visokom osetljivošću i reproducibilnošću, te su izuzetno pogodna dozimetrijska metoda za merenje doza zračenja u sklopu sistema za radijacioni monitoring okoline.

Poteba za što tačnijim merenjem niskih doza zračenja ispod 1 mrad, uslovila je intenzivan razvoj termoluminescentnih dozi-

metara ekstremno visoke osetljivosti sa zanemarljivim fading-om (opadanje intenziteta TL sa vremenom). U tom cilju su u okviru rada na ovom problemu razvijeni termoluminescentni dozimetri čiji je poseban kvalitet njihova visoka osetljivost[10] koja je za oko 60% viša od osetljivosti istog tipa komercijalnog TL dozimetra, proizvodnje Harshaw Chemical Company, USA.

Rezultati eksperimenata većeg obima, posebno medjunarodnog karaktera, potvrdili su kvalitet razvijenih termoluminescentnih dozimetara[11].

2. Izvori zračenja u životnoj sredini

Jačina doze zračenja u nekom regionu potiče od prirodno-radioaktivnih elemenata iz tla, od nekih veštačkih radioaktivnih elemenata čiji su izvori radioaktivni fall-out i industrijska aktivnost, kao i od kosmičkog zračenja. Širok opseg energija zračenja i nizak nivo aktivnosti ovih izvora zračenja, zahteva korišćenje ekstremno osetljivih metoda merenja.

Potreba za merenjem niskih doza zračenja takodje je uslovljena rastućom primenom izvora zračenja u različitim sferama ljudske delatnosti (primena izvora zračenja u industriji, medicini, nauci, za potrebe armije, gradnja nuklearnih elektrana u našoj, kao i u susednim zemljama, itd.). U toku proteklih godina porastao je interes za efekat dugotrajnog izlaganja ljudskog organizma niskim dozama zračenja prirodnih,kao i "veštačkih" izvora zračenja, odnosno uticaja akumulacije efekata niskih doza zračenja na zdravlje čoveka. U cilju procene toga uticaja neophodno je, sa najvišom mogućom tačnošću, izmeriti vrednosti doza zračenja koju prima osoblje ili stanovništvo u kontrolisanoj sredini. U tom cilju se organizuju regionalni, nacionalni, kao i medjunarodni interkomparativni eksperimenti koji imaju za cilj dobijanje tačnih podataka o nivoima doza zračenja u ispitivanim regionima kao i poredjenje karakteristika dozimetrijskih sistema kojima su vršena merenja jačine doze zračenja. U toku leta 1974. godine održana je prva, a početkom 1976. godine druga Internacionalna interkomparacija dozimetrijskih sistema za merenje niskih doza zračenja, odnosno First (and Second) International Intercomparison of Environmental Dosimeters, koja je izvedena u organizaciji University of Texas, School of Public Health and Safety Laboratory, New York, USA. U drugoj interkomparaciji je učestvovalo 85 participanata iz 26 zemalja sa ukupno 133 dozimetrijskih seto-

va, od kojih su 127 bili termoluminescentni dozimetri i u kojoj su bili uključeni termoluminescentni dozimetri razvijeni u grupi za TL dozimetriju.

3. Termoluminescentni dozimetri

Termoluminescentni dozimetri su takvi sintetički ili prirodni materijali koji pri zagrevanju, ako su prethodno bili izloženi zračenju, emituju svetlost čiji je intenzitet proporcionalan apsorbovanoj energiji - dozi zračenja. Termoluminescencija je efekat koji je uslovljen nesavršenostima u kristalnoj strukturi dielektrika. Kinetički proces koji odredjuje oblik krive termoluminescentnog isijavanja, dat je izrazom

$$I = -\frac{dn}{dt} = s' n^{\ell} \exp(-E/kT) \qquad (1)$$

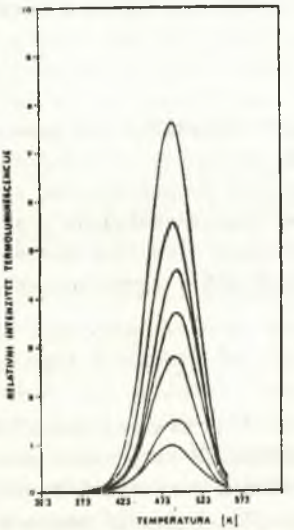
gde je: I, intenzitet termoluminescencije, s' je preeksponencijalna konstanta ($cm^{3(\ell-1)} sec^{-1}$), n je koncentracija trapovanih nosilaca naelektrisanja ($cm^{-3}$), $\ell$ je red kinetičkog procesa, E je aktivaciona energija (eV), T je temperatura (K), K je Boltzmann-ova konstanta $8{,}73 \times 10^{-5}$ eV/K i t je vreme (sec). Rešenje jednačine (1) za $\ell \neq 1$, dato je izrazom

$$I = s' n_o \exp(-E/kT) / \frac{(\ell-1) n_o^{\ell-1}}{q} \int_{T_o}^{T} \exp(-E/kT')dT' + 1/^{-\ell/(\ell-1)} \qquad (2)$$

gde je : q (deg $sec^{-1}$) brzina zagrevanja termoluminescentnog materijala, a $n_o$ početni broj elektrona u trapovima. Površina pod krivom isijavanja je, očigledno, proporcionalna početnom broju trapovanih nosilaca naelektrisanja, odnosno površina pod krivom je mera apsorbovane doze zračenja u termoluminescentnom materijalu (slika 1).

Očitavanje intenziteta emitovane termoluminescencije vrši se na specijalnim aparaturama sa visokom osetljivošću s obzirom da je intenzitet emitovane svetlosti za doze zračenja ispod 1 mrad veoma nizak. Uz adekvatan temperaturni tretman, vrši se očitavanje jednakih zapremina ili masa TL dozimetara, pri čemu se intenzitet emitovane termoluminescencije poredi sa vrednostima emitovane TL za poznate doze zračenja koje su odredjene na osnovu ekspozicionog etalona ili sa jonizacionom komorom koja je kalibrisana sa ekspozicionim standardom.

Termoluminescentni dozimetar $CaSO_4$:Dy, ekstremno visoke osetljivosti je termoluminescentni materijal koji omogućava dete-



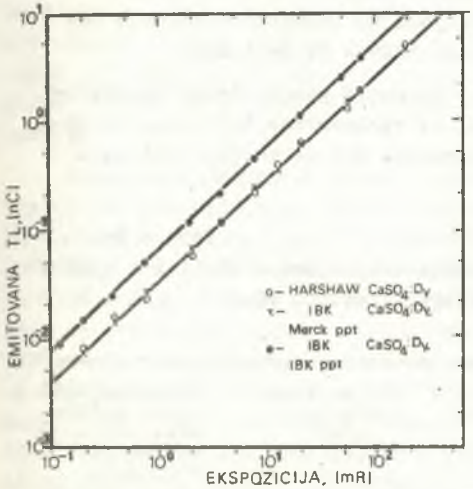

Slika 1 Intenzitet emitovane TL za $CaSO_4$:Dy, u funkciji ekspozicionih doza gama zračenja Ra-226

kciju ekspozicionih doza zračenja od oko 0,1 mR sa svega oko 35 mg TL materijala u praškastom obliku. Poseban uspeh koji je rezultirao iz objašnjenja uticaja koncentracije različitih primesa, kako aktivatorskih, tako i ne-aktivatorskih, na oblik i intenzitet krivih termoluminescentnog isijavanja[10] $CaSO_4$:RZ, omogućio je preparaciju visokoosetljivog TL materijala $CaSO_4$:Dy koja je za oko 60% viša od osetljivosti istog tipa TL dozimetra proizvodnje Harshaw Chemical Co., USA, i na taj način prevazidjen je problem "fading-a evropskih" TL materijal ovog tipa.

Na slici 2 prikazana je zavisnost izmedju intenziteta emitovane termoluminescencije i ekspozicionih doza zračenja $^{226}Ra$ (42 mCi, $E_{eff}$= 840 KeV) za TLD-$CaSO_4$:Dy, proizvodnje Harshaw Ch. Co., kao i dva TL materijala $CaSO_4$:Dy, Merck ppt i $CaSO_4$:Dy IBK ppt, sopstvene proizvodnje, od kojih prvi pokazuje identičnu, dok drugi materijal pokazuje za oko 60% višu osetljivost u odnosu na TLD-Harshaw Ch. Co. Naime, preparacijom startnog materijala $CaSO_4:2H_2O$ visoke čistoće, omogućeno je dobijanje TLD-$CaSO_4$:Dy ekstremno visoke osetljivosti sa niskotemperaturskim pikom zanemarljivo niskog intenziteta i sa izraženim tzv. "dozimetrijskim" pikom na oko 215°C.

Doze zračenja ispod 0,5 mrad merene su sa standardnom devijacijom od ± 2,6%, dok za doze zračenja oko 10 mrad standardna devijacija iznosi svega oko 1,2%. Takodje, tzv. "samoozračivanje" ili "interni fon" usled prisustva primesa radioaktivnih elemenata u samom materijalu dozimetra je veoma nisko, oko 1,24 ±0,1 mrad godišnje. Fading za ovaj TL dozimetar je izuzetno nizak,

1-2 % mesečno pri temperaturi od oko 30°C[12].




Slika 2. Emitovana TL u funkciji ekspozicionih doza gama zračenja Ra-226 merena sa 35 mg TLD-$CaSO_4$:Dy

TL dozimetri na bazi $CaSO_4$:Dy kao termoluminescentni materijali izuzetno kvalitetnih osobina, prihvaćeni su u nizu zemalja (SAD, Danska, Japan, Indija, Republika Kina-Tajvan, Demokratska i Savezna Republika Nemačka, Finska, itd) kao najpogodniji TL dozimetar za merenje doza zračenja u okolini nuklearnih elektrana, različitih nuklearnih postrojenja, u prospekciji terena u cilju nalaženja uranove rude, za merenje fona u stambenim zgradama, za merenje doza zračenja od TV prijemnika u boji, za in situ merenje nivoa doza zračenja u rečnim tokovima u blizini nuklearnih postrojenja, itd.

Mogućnost brze i kvalitetne proizvodnje, takodje doprinose da ovaj termoluminescentni materijal počinje da potiskuje ostale tipove TL materijala sa kompleksnijim procesom preparacije (LiF, BeO, $CaF_2$:Mn) kao i materijale sa visokim fading-om ($CaF_2$:Dy, $CaF_2$:Mn), nedovoljnom osetljivošću, visokim internim fonom ($CaF_2$ i $CaF_2$:Mn), nelinearnošću u oblasti niskih doza zračenja, toksične TL materijale (BeO i LiF), itd.

## 4. Primena razvijenog termoluminescentnog dozimetra TLD-$CaSO_4$:Dy

U cilju eksperimentalne potvrde mogućnosti preciznog merenja fona pomoću razvijenih termoluminescentnih dozimetara izvršeno je merenje doza zračenja na različitim lokacijama u okolini nuklearnih reaktora u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči koji simuliraju uslove koji postoje u okolini nuklearnih elektrana[13].

TL dozimetri su eksponirani u toku jednog meseca na četiri lokacije (na tri pozicije), dve van kruga Instituta i dve unutar

kruga; radi poredjenja izmerenih vrednosti za fon pomoću TL dozimetara, na istim pozicijama su izmerene vrednosti doza zračenja pomoću jonizacionih komora sa pritiskom.

Rezultati merenja doza zračenja pomoću termoluminescentnih dozimetara, komparirani sa vrednostima dobijenim sa jonizacionom komorom pod pritiskom za sve lokacije, dati su u Tabeli br. 1.

Tabela br.1

Vrednosti doza zračenja na nekim lokacijama u okolini i u krugu Instituta "Boris Kidrič", Vinča

| Lokacija (Pozicije: I,II,III) | Izmerene vrednosti doza zračenja pomoću TLD(mR/mesec)+ | | Jačina doza zračenja (μR/h) (TLD) | Izmerene vrednosti jačine doza zračenja pomoću JK (μR/h) |
|---|---|---|---|---|
| Krov meteorološke stanice | (I) | 6,23 | 8,65 | - |
| | (II) | 6,40 | 8,90 | 8.50 - 9,00 |
| | (III) | 6,50 | 9,03 | - |
| 10 m od meteorološke stanice | (I) | 8,50 | 11,80 | - |
| | (II) | 8,20 | 11,40 | 11.00 -12,00 |
| | (III) | 7,92 | 11,00 | - |
| Potok (drveni most) u Institutu | (I) | 8,00 | 11,10 | - |
| | (II) | 7,80 | 10,82 | 10.12-10,68 |
| | (III) | 8,04 | 11,15 | - |
| Izmedju zgrada Laboratorije za zaštitu | (I) | 10,90 | 15,10 | - |
| | (II) | 10,60 | 14,70 | 13.30 -14,46 |
| | (III) | 9,50 | 13,20 | - |

+Srednje vrednosti za 5 merenja.

Eksperimenat je pokazao da TL dozimetri $CaSO_4$:Dy daju rezultate visoke reproducibilnosti koji se, u granicama od oko ±5% slažu sa vrednostima za jačine doza zračenja izmerenim komparativnom metodom pomoću jonizacionih komora sa pritiskom.

Visoka osetljivost razvijenog termoluminescentnog dozimetra $CaSO_4$:Dy omogućava, u specifičnim slučajevima, praćenje fluktuacije nivoa fona na kontrolisanim pozicijama, eksponiranjem

TLD u toku samo jedne sedmice. Optimalno vreme eksponiranja TL dozimetara, prema iskustvu većine eksperimentatora iznosi oko tri meseca, u toku koga su sezonske fluktuacije doza zračenja (gama zračenja) kao i doza zračenja registrovanih u toku transporta dozimetara do matičnih laboratorija, u granicama greške metode.

Mogućnost preciznog merenja niskih doza zračenja sa sopstvenim TLD, omogućili su učešće u medjunarodnom interkomparativnom eksperimentu, Second International Intercomparison of Environmental Dosimeters, u periodu od 28. januara do 27 aprila 1976 godine (ukupno tri meseca). Primarni cilj interkomparacije se odnosio na procenu disperzije rezultata merenja dobijenih pomoću integralnih, odnosno TL dozimetara, s obzirom da su od 133 dozimetrijskih setova, 127 bili termoluminescentni dozimetri, zatim na kompariranje vrednosti rezultata merenja sa različitim tipovima dozimetara, kao i na odredjivanje najkvalitetnijeg tipa (ili tipova) TL dozimetra.

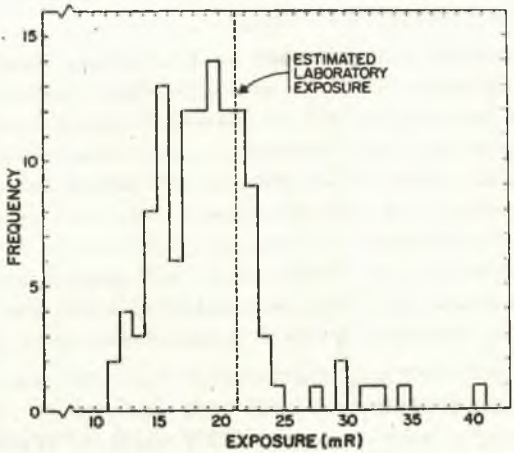
Participanti su bili obavezni da avionskom poštom pošalju po dva seta dozimetara za polje zračenja, tzv. "dozimetre polja zračenja", dva seta dozimetara za laboratorijsku dozu i dva seta kontrolnih dozimetara (ovi dozimetri su bili stacionirani u prostoriji sa niskim fonom u U.S. ERDA Health Safety Lab. N.Y. City, od 1,5 ± 0,2 $\mu$R/h), pri čemu je postojala obaveza procene ekspozicije na mestu ozračivanja (Lloyd, New York City), zatim laboratorijske ekspozicije, s obzirom da je ova grupa dozimetara eksponirana gama zračenju $^{137}Cs$, reda veličine fona, kao i doze zračenja koje su dozimetri primili u toku transporta.

Grafički predstavljene distribucije rezultata merenja za dozimetre eksponirane laboratorijskoj dozi zračenja od 21,3 mR i za dozimetre polja, dati su na slici 3 i slici 4. Vrednosti koje su izmerene sa dozimetrima polja sa TLD-$CaSO_4$:Dy(IBK-1) sopstvene proizvodnje, iznosile su 16,0 mR i 16,3 mR; vrednosti za laboratorijske ekspozicije iznosile su 21,0 mR i 21,1 mR; procenjena tranzitna doza iznosila je 10,5 mR i 8,7 mR.

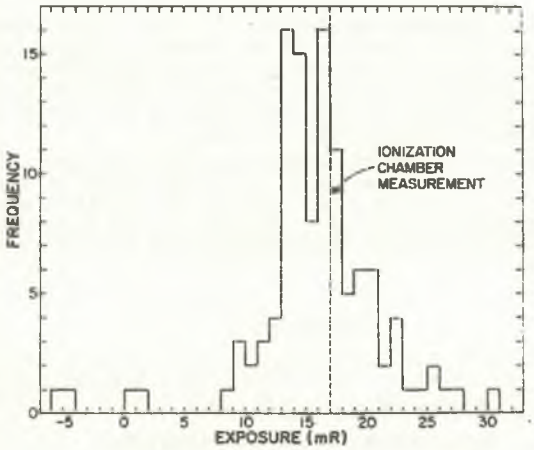
Dobro slaganje vrednosti samo za laboratorijske dozimetre ukazalo bi na ispravno izvršenu kalibraciju dozimetara, a lošu stabilnost pod uslovima na otvorenom prostoru, dok bi neslaganje

laboratorijskih kao i dozimetara polja ukazalo na sistematske probleme, na pr. na neadekvatnu kalibraciju, itd.

Rezultati interkomparacije su takodje pokazali da termoluminescentni dozimetri $CaSO_4$:Dy, $CaF_2$:Dy i LiF, daju rezultate koji se najbolje slažu sa srednjim vrednostima za procenjene ekspozicije za sve dozimetrijske setove. Posebno, slaganje rezultata merenja za termoluminescentne dozimetre sopstvene proizvodnje sa rezultatima dobijenim sa HASL jonizacionim komorama, kao i sa srednjim vrednostima za procenjene ekspozicije, predstavljaju potvrdu kvaliteta dozimetara kao i obrade rezultata merenja emitovane termoluminescencije.




Slika 3. Frekventna raspodela rezultata merenja doza zračenja sa laboratorijskim dozimetrima




Slika 4. Frekventna raspodela rezultata merenja doza zračenja sa dozimetrima polja

## 5. Zaključak

Na osnovu izloženih eksperimentalnih rezultata, kao i karakteristika razvijenog termoluminescentnog dozimetra TLD-$CaSO_4$:Dy, može se zaključiti da je ovaj tip termoluminescentnih dozimetara najpogodniji TL dozimetar za merenje niskih doza zračenja, odnosno da optimalno ispunjava zahteve za kontinualnu kontrolu nivoa doza zračenja u sklopu sistema za radijacioni monitoring okoline.

## Abstract


ENVIRONMENTAL RADIATION MONITORING WITH THERMOLUMINESCENT DOSIMETERS

This work presents the method for dose measurements as well as the dosimetric properties of the developed high sensitivity, low fading and dose proportionality thermoluminescent dosimeter. Its extremly high sensitivity is about 60 per cent higher related to the sensitivity of the same type of the commercial TL phosphor (produced by Harshaw Ch. Co. USA).

Results of the experiments, expecially of the international character (Second International Intercomparison of the Environmental Dosimeters) confirmed the quality of the developed thermoluminescent dosimeter (TLD-$CaSO_4$:Dy) and proved that this TL dosimeter optimally fulfilled the requirements for environmental dose measurements.


## Literatura


1. Gayton F. M. et al., J.Brit. Nucl. En. Soc. 11,125,1972
2. Mejdahl V., Health Phys. 18,164,1970
3. Becker K., Nucl. Instr. Meth. 104,405,1972
4. Hoy J.E., Health Phys. 21,860,1971
5. Lappenbuch W.L. et al., Health Phys. 21,247,1971
6. Partridge J.E. et al., ORP/EERF 73-1, U.S. Environmental Protection Agency, 1973
7. Jones D.E. et al., Proc 3rd Int. Conf. Luminescence Dosimetry, 985,1971
8. Becker K., Proc. 3rd Int. Conf. Luminescence Dosimetry,960,1971
9. Daszkiewicz O.K. and Niewiadomski T., Proc. 4th Int. Conf. Luminescence Dosimetry, 713,1974
10. Prokić M., Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 1976
11. Prokić M., IBK-1396,1976
12. Prokić M., Tehnika N°5, 1976
13. Prokić M., Elektroprivreda, N°1-2, 1976

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. - 3.VI.1977

Knežević M., Djurić Gordana, Petrović B.

Katedra za radiologiju , Veterinarski fakultet, Beograd

# ODREDJIVANJE ABSORBOVANE DOZE X- ZRAČENJA POMOĆU TERMOLUMINISCENTNIH DOZIMETARA KOD SVINJA OZRAČENIH U ROTACIONOM KAVEZU

- Kratak sadržaj -

Odredjivanje absorbovane doze pri ozračivanju domaćih životinja jonizujućim zracima predstavlja višestruko složen problem . Uvodjenje TL dozimetrije u praksu unelo je i nove mogućnosti primene ovog dozimetrijskog sistema .
U ovom referatu saopšteni su rezultati postignuti u odredjivanju absorbovane doze X-zračenja pomoću TLD kod svinja ozračivanih u rotacionom radijacionom polju . Ustanovljeno je da na površini tela životinje se ostvaruje oko 90% ekspozicijske doze, dok se u tkivima koja se nalaze u podužnoj osi životinje ostvaruje oko 80% ekspozicijske doze.

Odredjivanje absorbovane doze pri ozračivanju oglednih životinja jonizujućim zracima predstavlja višestruko složeni problem, pogotovu kada se izučavanja vrše na srednjim i velikim domaćim životinjama .

Uvodjenje TL dozimetrije u praksu, unelo je i nove mogućnosti primene ovog dozimetrijskog sistema, a pre svega, u pogledu mogućnosti postavljanja TL dozimetara u telesne šupljine i pojedine organe u organizmu ozračivanih životinja.

Pošto je u prethodnim ispitivanjima izvršena determinacija homogenosti radijacionog polja u rotacionom sistemu za ozračivanje malih domaćih životinja X-zracima, u ovom referatu će biti prikazani rezultati postignuti u odredjivanju absorbovane doze X-zračenja pomoću TL dozimetara kod svinja ozračivanih u rotacionom kavezu .

METOD RADA

Za ozračivanje eksperimentalnih životinja korišćen je rentgen-terapijski aparat sa volframskom rotacionom anodom, firme Phlips, model 11.645, koji pri 200 kV, 15 mA i uz filtrovanje sa AL=1 mm i FOO=190 cm , emituje tvrdo X-zračenje efektivne energije oko 150 keV . Ekspozicijska doza bila je 500 R, a brzina doze (BD) je iznosila 4,57 R/min .

Raspodela ekspozicijske doze u radijacionom polju merena je TL dozimetrima izradjenim od $CaF_2$:Mn (TLD-08), koji su očitavani na čitaču MTLD-08 ; dozimetri i čitač su bili proizvedeni u Institutu "Jožef Stefan" u Ljubljani .

Da bi mogla istovremeno da se odredi energija i intenzitet X-zračenja, kako u prostoru rotacionog sistema,tako i u samoj oglednoj životinji, korišćene su 3 vrste kućišta za TL dozimetre (kućišta od Pb, Pb+Al i Pb+Cu), koja su bila postavljana na isti način kao što je opisano u prethodnom saopštenju .

Merenja ekspozicione doze u rotacionom radijacionom polju obavljena su na način kao što je dato u našem prethodnom saopštenju .

Merenja absorbovane doze u rotacionom kavezu sa oglednom životinjom (svinja) obavljena su u dve serije : u prvoj seriji merenja, gumena traka -nosač TLD, bila je obavljena po sredini tela, a sa spoljne strane svinje ; u drugoj seriji merenja na životinji, jedan nosač TLD je bio postavljen u tački D, a drugi nosač sa TLD bio je provučen kroz oglednu životinju (leš svinje) i to kroz njenu longitudinalnu osu, a u smeru : anus (čmar) - cavum oris (usna duplja) .

U svim obavljenim merenjima TLD su bili tako postavljani da su svi dozimetri sa istim kućištem bili na istoj transverzalnoj ravni u svih 5 nosača.

POSTIGNUTI REZULTATI

Dobijene srednje vrednosti merenja, izvršenih sa TLD prikazani su u tabeli I , a grafički prikaz dobijenih vrednosti iz iste tabele dat je na dijagramu 1.

Sa dijagrama 1 vidi se da je raspodela intenziteta zračenja po longitudinalnoj osi radijacionog polja uglavnom homogena, sa odstupanjima do najviše 20% i to na krajevima rotacionog sistema , odnosno radijacionog polja . Medjutim, u centralnom delu rotacionog sistema, čija je dužina oko 1 m, odstupanja su reda veličine 1% . Ovi rezultati se vrlo dobro slažu sa geometrijom radijacionog polja, koja je prikazana na slici 2 našeg prethodnog saopštenja .

Ako se iz tabele 1 uzmu vrednosti absorbovanih doza za Al-kućišta i ove vrednosti se podele sa analognim vrednostima doza za Cu-kućišta, dobijaju se podaci o energetskoj raspodeli u radijacionom polju, što je prikazano na dijagramu 2.

Iz dijagrama 2 može se videti da je i energetska raspodela po longitudinalnoj osi životinje uglavnom homogena, sa odstupanjima do 20% i to na oba kraja rotacionog sistema , dok je u centralnom delu rotacionog sistema (na dužini od oko 1 m), radijaciono polje uglavnom energetski homogeno .

Ako se raspodela intenziteta zračenja, posmatrana u longitudinalnoj ravni rotacionog sistema, tj u tački D kaveza, uporedi sa dobijenim vrednostima merenja koja su izvršena u sagitalnoj osi tela životinje (SO), odnosno na periferiji tela životinje - pojasevi sa TLD postavljani su longitudinalno (PP) i po obimu tela životinje (OT) - vidi se da su vrednosti u položajima SO , PP i OT unekoliko niže od vrednosti u koloni D - tabela 2 .

Vrednosti prikazane u kolonama SO , PP i OT su realne , jer predstavljaju izmerene doze u oglednoj životinji.

Ako se vrednosti količnika SO/D , PP/D i OT/D uporede sa izračunatim vrednostima koje se dobijaju za istu ovu geometriju polja kada bi se umesto kaveza okretao prazan valjak sličnih dimenzija, odnosno ako bi se rotirao valjak is-

punjen vodom , videće se da se za ovako zamišljen eksperiment, računskim putem dobija odnos 0,88 za doze izmerene na periferiji praznog i ispunjenog valjka .

Ako se podaci u kolonama SO/D , PP/D i OT/D posmatraju u funkciji brzine doze ( u našem slučaju BD=4,57 R/min), odnosno imajući u vidu da je ekspozicijska doza ED=500 R, može se zaključiti :

- da je na površini tela životinje delovalo oko 90% ED ,
- da je na tkiva u osi životinje delovalo oko 80% ED .

Uz pretpostavku da je 1 R 1 rad , može se smatrati da je u našem ogledu absorbovana doza kod ozračivanih životinja bila :

= u površno postavljenim tkivima oko 450 rad (IAD=90% ED),
= u duboko postavljenim tkivima oko 400 rad ( IAD= 80%) .


S u m m a r y

The determination of absorbed dose during irradiation of domestic animals with ionizing radiation presents a complex problem . Introduction of thermoluminiscent dosimetry into praxis brought about new possibilities of application of this dosimetric system .

In this paper the results of determination of absorbed x-ray dose in pigs irradiated in radiation field and rotational system, measured by TLD, are reported . It was established that about 90% of the exposure dose was effectuated on the animal surface, whereas 80% of the exposure dose is realized in tissue that lay along the longitudinal axis of the animal .


POPIS LITERATURE se nalazi kod autora i može se dobiti na zahtev .

Tabela I

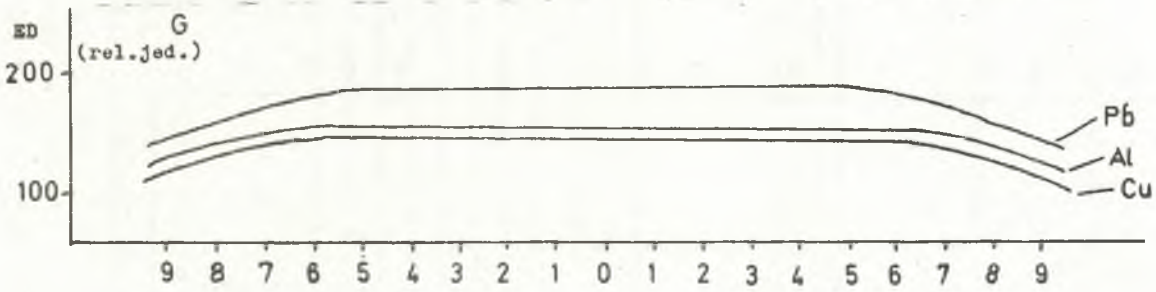
| Vrsta kućišta | G 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | R 13 | $\bar{D}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A l | 132 | 135 | 179 | 146 | 169 | 163 | 161 | 154 | 146 | 151 | 143 | 151 | 136 | 151 |
| C u | 105 | 169 | 145 | 151 | 151 | 163 | 142 | 130 | 151 | 140 | 119 | 116 | 98 | 140 |
| P b | 136 | 166 | 186 | 181 | 182 | 211 | 199 | 248 | 184 | 173 | 201 | 152 | 137 | 181 |

LEGENDA : Brojevi od 1-13 označavaju položaje TL dozimetrijskih grupa u 3 različita kućišta

G = glava životinje R = rep životinje

$\bar{D}$ = srednja vrednost vodoravne vrste

Dijagram 1 RASPODELA DOZA PO DUZINI KAVEZA



Dijagram 2 RASPODELA ENERGIJE PO DUŽINI KAVEZA

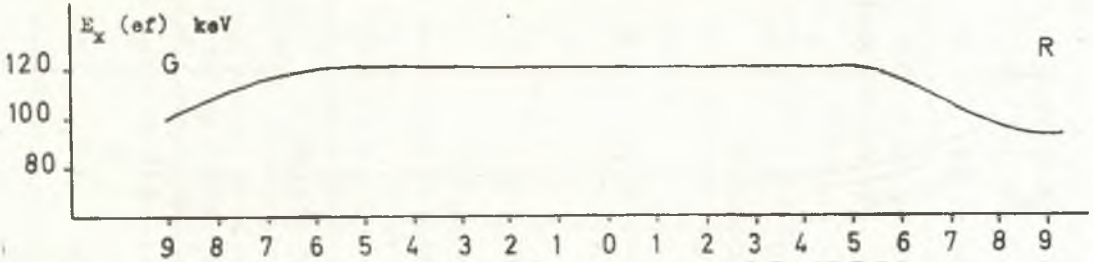



Tabela II

| Vrsta kućišta | Položaj TLD | | | | SO/D | PP/D | OT/D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D | SO | PP | OT | | | |
| Al | 156 | 127 | 142 | 138 | 0,81 | 0,91 | 0,88 |
| Cu | 139 | 114 | 130 | 122 | 0,81 | 0,94 | 0,88 |
| Pb | 180 | 145 | 174 | 159 | 0,81 | 0,97 | 0,88 |

LEGENDA : D = položaj TLD na rastojanju 17 cm od centra;
SO = položaj TLD u sagitalnoj osi tela životinje (ispod kičme);
PP = položaj TLD na periferiji životinje: pojas postavljen longitudinalno;
OT = položaj TLD na periferiji životinja : pojas postavljen po obimu životinje,tj pod uglom od 90° u odnosu na PP, a u predelu prelaza grudnog u trbušni deo životinje.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31 maj - 3 juni 1977 god.

I.Mirić, P.Mirić, D.Veličković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, Beograd
OOUR Laboratorija za zaštitu od zračenja

# REZULTATI LIČNE DOZIMETRIJSKE KONTROLE POMOĆU FILM - DOZIMETARA

## REZIME

Dat je prikaz lične dozimetrijske kontrole koja se vrši u Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Laboratorija za zaštitu od zračenja. Izvršena je analiza primljenih doza zračenja za period 1972.-1976.godina za ljude koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja u institutima, medicinskim ustanovama, industriji i drugim ustanovama.

## U V O D

Sve veća primena izvora jonizujućih zračenja u različitim granama ljudske delatnosti uslovljava da se i broj osoba profesionalno izloženih jonizujućem zračenju stalno povećava.

Cilj ovog rada je bio da se izvrši analiza koja bi pokazala stepen profesionalne izloženosti zračenju za lica koja rade u različitim granama delatnosti. Za analizu su bili na raspolaganju podaci film-dozimetrijske kontrole koju Laboratorija za zaštitu od zračenja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča vrši od 1960.godine. U radu su prikazani rezultati analize za period 1972 - 1976 godina, jer se on može smatrati dovoljno reprezentativnim za dobijanje uvida u postojeće stanje i dalje tendencije profesionalne ozračenosti.

### Film-dozimetrijska kontrola

Osnovne karakteristike film-dozimetrijske kontrole koju vrši Laboratorija za zaštitu od zračenja Instituta "Boris Kidrič", opisani su ranije(1). Film-dozimetar sadrži KODAK RM film koji omogućava merenje doza X-zračenja većih od 10 mrem i doza gama zračenja većih od 50 mrem. Mesečnom kontrolom primljenih doza su obuhvaćena lica koja rade sa različitim izvorima X, gama, beta

i neutronskog zračenja.

U periodu 1972 - 1976 godine ukupan broj lica obuhvaćenih film-dozimetrijskom kontrolom kretao se od 1137 do 1583 (Tabela 1.). Broj film-dozimetara dostavljenih na korišćenje iznosio je od 12938 do 18055.godišnje. Zbog neurednog vraćanja, broj obradjenih film-dozimetara je bio niži i iznosio je od 10892 do 15557 (Tabela 2.).

Tabela 1. Broj lica pod kontrolom u periodu 1972 - 1976 godina

| Godina | IBK | Industrija | Medicinske ustanove | Ostalo |
|---|---|---|---|---|
| 1972 | 597 | 337 | 184 | 19 |
| 1973 | 611 | 411 | 201 | 30 |
| 1974 | 623 | 471 | 297 | 35 |
| 1975 | 601 | 590 | 344 | 38 |
| 1976 | 602 | 598 | 332 | 51 |

Tabela 2. Broj film-dozimetara isporučenih i obradjenih u periodu 1972 - 1976 godine

| | Godina | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| IBK | isporučeno | 7406 | 6669 | 7221 | 7251 | 7252 |
| | obradjeno | 6196 | 5575 | 5998 | 6229 | 6214 |
| Ind. | isporučeno | 3349 | 4062 | 4507 | 5718 | 6661 |
| | obradjeno | 2850 | 2980 | 3437 | 5011 | 5782 |
| Med. | isporučeno | 1972 | 2200 | 2797 | 3527 | 3628 |
| | obradjeno | 1689 | 1787 | 2360 | 2979 | 3109 |
| Ostalo | isporučeno | 211 | 300 | 332 | 359 | 514 |
| | obradjeno | 157 | 240 | 286 | 322 | 452 |

Analiza rezultata kontrole za period 1972 - 1976 god.

Sva kontrolisana lica podeljena su na osobe koje su zaposlene u Institutu "Boris Kidrič", industriji, medicinskim ustanovama i ostalim institucijama čiji se rad sa izvorima jonizujućih

zračenja ne može uporedjivati sa radom u industriji i medicinskim ustanovama (fakulteti, pošta i sl.). Unutar ovih grupa su izdvojene osobe kod kojih je u posmatranoj godini mesečno primljena doza bar jednom bila veća od usvojenog praga detekcije film-dozimetra (X-zračenje:10 mrem; Gama zračenje: 50 mrem). Podaci prikazani u Tabeli 3. pokazuju da se od ukupnog broja kontrolisanih osoba najveći procenat ozračenih dozama većim od praga detekcije javlja u medicinskim ustanovama.

Tabela 3. Procentualna ozračenost kontrolisanih osoba

| Godina | Procenat ozračenih osoba | | | |
|---|---|---|---|---|
| | IBK | Industrija | Medicinske ustanove | Ostali |
| 1972 | 20.77 | 8.90 | 71.74 | 44.44 |
| 1973 | 18.17 | 4.87 | 65.17 | 10.00 |
| 1974 | 16.37 | 7.22 | 58.92 | 11.43 |
| 1975 | 16.31 | 7.97 | 63.08 | 13.89 |
| 1976 | 18.44 | 5.85 | 64.76 | 17.65 |

Za ozračena lica izvršena je analiza mesečno primljenih doza za period od 5 godina. Pri tome su unutar grupa posmatrane sledeće kategorije:

U Institutu "Boris Kidrič" - pogon reaktora RA (RA) i Laboratorija za proizvodnju radioaktivnih izotopa (HL);

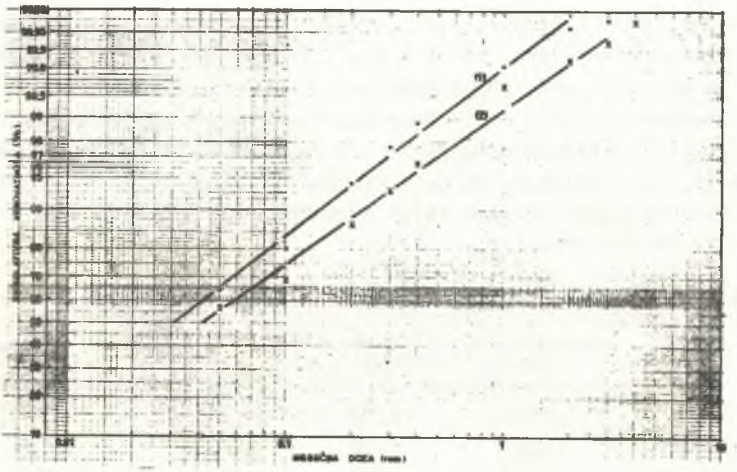
U medicinskim ustanovama - osoblje koje radi u radiološkim i rendgenološkim odeljenjima (Med.RŌ) i osoblje koje koristi RŌ-aparate za potrebe dijagnostike (ortopedsko, hirurško, urološko i dr.)(Med.Dij.).

U raznim granama industrije (Ind.), zbog relativno malog broja osoba kod kojih su mesečno registrovane doze bile veće od ranije navedenih granica, nije vršeno razdvajanje po delatnostima.

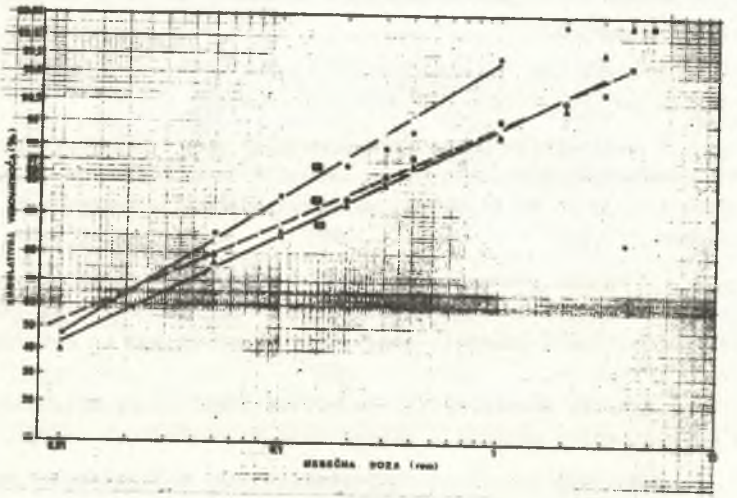
Analiza mesečnih doza za ostale institucije nije vršena zbog heterogenosti primene i malog broja kontrolisanih osoba.

Dobijeni rezultati su pokazali da se mesečno primljene doze za period od 5 godina pokoravaju log-normalnoj raspodeli, što je u saglasnosti sa rezultatima drugih autora[(2)(3)].

Na slici 1 su prikazane prave koje se odnose na raspodelu



Sl.1. Raspodela mesečno primljenih doza za period od 5 godina za kontrolisane osobe (1) • – • RA; (2) x – x HL



Sl.2. Raspodela mesečno primljenih doza za period od 5 godina za kontrolisane osobe (3) o – o Med.Rö, (4) □ – □ Med.Dij., (5) Δ – Δ Ind.

mesečno primljenih doza za osoblje reaktora RA i laboratorije HL. Sa grafika se vidi da strmiji nagib, odnosno povoljniju raspodelu doza, ima prava koja se odnosi na osoblje reaktora RA.

Prave prikazane na slici 2 odnose se na raspodelu mesečno primljenih doza u medicinskim ustanovama i industriji. U ovom slučaju najveći nagib (najpovoljniju raspodelu doza) ima prava koja se odnosi na ozračenost medicinskog osoblja u Med.Rö odeljenjima.

Na osnovu raspodela prikazanih na slikama 1 i 2 odredjene su verovatnoće za mesečno ozračivanje do praga detekcije i za prekoračenje mesečne doze od 400 mrem. Dobijeni podaci za ranije definisane grupacije su prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Verovatnoća za mesečno ozračivanje ispod praga detekcije film-dozimetra i iznad 400 mrem

| Posmatrana grupa | % ispod praga detekcije | | % iznad 400 mrem | |
|---|---|---|---|---|
| | za 5 god. | opseg variranja | za 5 god. | opseg variranja |
| RA$^{+}$ | 67 | 50 - 71 | 1.5 | 2.7 - 0.2 |
| HL$^{+}$ | 54 | 50 - 63 | 4.0 | 4.8 - 2.2 |
| Med.Rö$^{++}$ | 47 | 34 - 54 | 0.8 | 2.2 - 0.2 |
| Med.Dij$^{++}$ | 43 | 31 - 50 | 3.8 | 5.5 - 2.4 |
| Ind$^{+}$ | 80 | 66 - 85 | 3.4 | 4.5 - 2.0 |

Dobijeni rezultati pokazuju da je verovatnoća za prekoračenje doze od 400 mrem manja od 2.7 za lica koja rade u rendgenološkim (radiološkim) odeljenjima medicinskih ustanova i za osoblje reaktora RA. Za ostale grupacije ona je veća i iznosi oko 4%.

Analiza godišnje primljenih doza za navedeni period je pokazala da za kontrolisane osobe u radiološkim (rendgenološkim) odeljenjima medicinskih ustanova i u Institutu "Boris Kidrič" nije bilo prekoračenja doze od 5 rem, dok je u medicinskim ustanovama koje koriste Rö-aparate za dijegnostiku broj prekoračenja bio 2, a u industriji 4.

## RESULTS OF PERSONNEL DOSIMETRY CONTROL WITH FILM BADGES

The results of personnel dosimetry control performed in the Radiation Protection Laboratory of the "Boris Kidrič" Institute of Nuclear Sciences are represented. Personnel doses measured with film badges in the period 1972-1976 were analysed for persons employed in industry, medical, nuclear and other institutions. For all above mentioned groups log-normal distribution of the registered doses was obtained.

## REFERENCE

1. Mirić I.,Mirić P., IV Jugosl.simp. o radiol.zaštiti, Baško Polje (1969) str.696
2. Gale H.J., AERE - 4736 (1965)
3. Cook J.E., Martin A., AERE - R4528 (1964)

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.VI 1977.

M. Ninković, Z. Mininčić, J. Bjelanović i DJ. Tanković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# ISKUSTVA IZ PRAĆENJA OZRAČIVANJA RADNOG OSOBLJA KOD REAKTORA RA U VINČI U PROTEKLOM DESETOGODIŠNJEM PERIODU

## REZIME

U ovom radu dat je najpre pregled karakterističkih operacija kod reaktora pri kojima dolazi do ozračivanja radnog osoblja u najvećoj meri. Zatim su prikazani rezultati analiza ozračivanja izraženi kroz: srednje individualne, maksimalne individualne i kolektivne doze za svaku godinu. Poseban naglasak dat je na praćenje ozračivanja radnog osoblja klasifikovanog po specifičnim radnim grupama odnosno radnim mestima. Ovakvi podaci su nužni kod planiranja poslova kao i preduzimanja posebnih mera zaštite u cilju smanjivanja ozračivanja.

## U V O D

U prethodnim radovima[1,2], data je analiza ozračivanja osoblja koje radi na reaktoru RA u Vinči do 1971. godine. Istovremeno su detaljnije prikazane specifične radne operacije, kao i karakterističan topografije zračenja oko samog reaktora i najvažnijih delova reaktorskih sistema.

U okvirima ovog rada daćemo kratak prikaz osnovnih karakteristika reaktora RA; opis metoda merenja nivoa gama zračenja i neutrona; ukazaćemo na osnovne kontaminante radne sredine i metode kontrole, da bi smo konačno veći deo pažnje posvetili analizi ozračivanja radnog osoblja u zadnjih deset godina. Moramo odmah na lasiti da se u ovom radu operiše sa podacima o spoljašnjem ozračivanju, a da se ipak sve razmatra iz aspekta maksimalno dopuštenih doza zračenja. Ovakav prilaz omogućava činjenica, da je doprinos internog ozračivanja, od inhaliranih radioaktivnih materijala, sigurno manje od 10% u odnosu na ukupno ozračivanje. Kao podloga ove tvrdnje služe merenja radioaktivnosti celog tela, kao i sadržaja radioizotopa u organizmu,

koja se obavljaju u Laboratoriji za medicinsku zaštitu.[3]

Nivoi gama zračenja i neutrona

Na reaktoru se vrši stalna kontrola nivoa gama zračenja u tehnološkim i radnim prostorijama, pomoću ugradjenog stacionarnog sistema. Sem toga, svakodnevno se vrše merenja, prema ukazanim potrebama u reaktorskoj hali i ostalim radnim zonama, sa prenosnim instrumentima. Posebno se prate nivoi zračenja na karakterističnim mestima, i to pri radu reaktora na nominalnoj snazi i za vreme redovnih remontnih poslova.

Merenje nivoa neutronskih doza vrši se diskontinualno pomoću mobilnog sfernog neutronskog dozimetra. Ova merenja se vrše uglavnom u reaktorskoj hali pored horizontalnih eksperimentalnih kanala, odnosno snopova neutronskog i gama zračenja u kojima se izvode eksperimenti.

Kontaminacija vazduha, površina osoblja

Kontrola stepena kontaminacije radnih površina i atmosfere vrše se uglavnom diskontinualno. Kontinualno se prati samo opšti nivo aktivnosti u vazduhu, koji se preko dimnjaka izbacuje u spoljnu sredinu.

Stepen aerosolne kontaminacije vazduha kontroliše se uzimanjem uzoraka na filtrima. Filtri su papirni odnosno papirni impregnirani sa ugljem za sakupljanje $^{131}J$. Uglavnom se vrši merenje totalne alfa i beta aktivnosti na filtrima, a samo u izuzetnim slučajevima vrše se selektivne spektrometrijske analize.

Osnovi aerosolni kontaminanti su: $^{60}Co$, $^{51}Cr$, $^{59}Fe$, $^{65}Zn$, $^{110m}Ag$, $^{131}J$ itd. Kobalt, hrom, gvoždje i cink dospevaju u spoljnu sredinu kao korozioni produkti aktivacije iz rashladnog medija reaktora. Radioizotopi joda i srebra, potiču od curenja materijala koji se ozračuju u vertikalnim eksperimentalnim kanalima, radi proizvodnje radioaktivnih izvora. Posle narušavanja hermetičnosti jednog gorivog elementa u aktivnoj zoni reaktora, medju aerosolnim kontaminantima zapaža se prisustvo i: $^{147}Cs$, $^{140}Ba$, $^{140}La$, $^{239}Np$ i u tragovima ostalih fisionih i transuranskih elemenata [4].

Ritam uzimanja aerosolnih uzoraka ustaljen je za norma-

lne radne uslove. Pri svim specifičnim poslovima (zamena goriva, otpočinjanje novih eksperimenata, razne intervencije na reaktornim sistemima itd.), uzimaju se uzorci. Maksimalno registrovane koncentracije retko prelaze maksimalno dopuštene nivoe, a praktično u većini slučajeva kreću se u granicama fona[5].

Osnovni gasni kontaminant radne sredine je tricijum. Tricijum dospeva u spoljnu sredinu pri svakoj dehermetizaciji teškovodnog i gasnog sistema reaktora, kao i pri svim operacijama sa teškom vodom iz teškovodnog sistema[6]. Sem tricijuma i jod-$^{131}$ se registruje i to posle svakog narušavanja hermetičnosti uzoraka telurne kiseline, koji se ozračuju u vertikalnim eksperimentalnim kanalima reaktora.

Kontrola kontaminacije osoblja, radne odeće, površina, alata itd., vrši se direktnim merenjima, odnosno metodom briseva. Merenja se vrše na brojačkim uredjajima, a u izvesnim slučajevima obavljaju se gama spektrometrijske analize. Osnovni kontaminanti su radioizotopi: $^{60}$Co, $^{51}$Cr i produkti ozračivanja aluminujuma. Takodje se zapaža u tragovima i prisustvo $^{137}$Cs i ostalih dugoživećih fisionih produkata.

Ozračivanje osoblja

Osoblje koje radi na reaktoru nosi individualne kontrolne dozimetre zračenja - filmove i stilo - dozimetre, kojima se direktno mere i odredjuju doze ozračivanja kojima je izloženo. Film poseduje svako lice i nosi ga mesec dana, tako da se sa njega očitava (ocenjuje, procenjuje) mesečna ekspoziciona doza. Stilodozimetri sa direktnim očitavanjem daju se osoblju po potrebi a očitavaju se svakodnevno i na taj način se prati dnevno ozračivanje ili ozračivanje pri pojedinim specifičnim operacijama.

Rezultati analize spoljašnjeg ozračivanja osoblja u proteklom desetogodišnjem periodu dati su u tabelama 1 i 2 i na slikama od 1 do 4. U tabeli i dati su podaci po godinama i to: a) broj lica po arbitrerno izabranim intervalima ekspozicionih doza; b) broj izlaganih; c) kolektivna ekspoziciona doza; d) maksimalna, i e) srednja individualna ekspoziciona doza. Kako se može videti u tabeli 1, posmatrajući desetogodišnji vremenski period u celini, maksimalna ekspoziciona doza bila je samo

**Tabela I**

**Pregled ekspozicionih doza kojima je bilo izloženo osoblje koje radi na reaktoru RA, u periodu od 1967. do 1976. god.**

| Godina | Intervali eksp. doza /R/ 0,4 | 0,4–2 | 2 – 5 | Ukupan broj izlaganih | Kolektivna doza /ljudi R/ | Maksimalna doza individualna /R/ | Srednja individualna doza /R/ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1967 | 38 | 45 | 4 | 87 | 52,9 | 2,3 | 0,61 |
| 1968 | 40 | 32 | 5 | 77 | 51,8 | 4,5 | 0,67 |
| 1969 | 21 | 50 | 5 | 76 | 63,1 | 3,4 | 0,83 |
| 1970 | 13 | 47 | 15 | 75 | 96,3 | 3,3 | 1,28 |
| 1971 | 25 | 48 | 1 | 74 | 48,0 | 2,6 | 0,65 |
| 1972 | 23 | 41 | 1 | 65 | 42,1 | 2,2 | 0,65 |
| 1973 | 33 | 31 | 2 | 66 | 36,5 | 5,6 | 0,55 |
| 1974 | 27 | 27 | 2 | 61 | 32,5 | 2,2 | 0,53 |
| 1975 | 34 | 25 | 0 | 59 | 23,3 | 1,2 | 0,39 |
| 1976 | 24 | 40 | 0 | 64 | 38,9 | 1,8 | 0,61 |

**Tabela II**

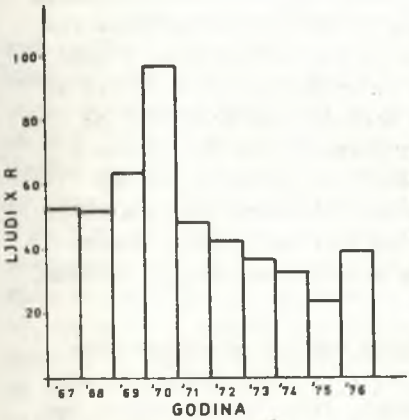
**Pregled ozračivanja osoblja, razvrstanog po karakterističnim radnim grupama**

| radne grupe \ godine | 1967 a | 1967 b | 1967 c | 1968 a | 1968 b | 1968 c | 1969 a | 1969 b | 1969 c | 1970 a | 1970 b | 1970 c | 1971 a | 1971 b | 1971 c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Šefovi smena | 6 | 0,45 | 0,77 | 5 | 0,61 | 1,24 | 5 | 0,93 | 1,58 | 5 | 1,95 | 2,54 | 5 | 0,60 | 0,90 |
| 2. Operatori | 10 | 0,37 | 0,82 | 10 | 0,27 | 0,38 | 10 | 0,57 | 1,24 | 10 | 1,12 | 1,75 | 10 | 0,5[illegible] | 0,96 |
| 3. Električari | 5 | 0,27 | 0,41 | 5 | 0,21 | 0,29 | 6 | 0,80 | 1,49 | 6 | 0,79 | 1,26 | 6 | 0,48 | 0,70 |
| 4. Vodeći mehaničari | 8 | 1,70 | 2,33 | 7 | 1,84 | 3,04 | 5 | 2,46 | 3,40 | 5 | 2,74 | 3,12 | 5 | 1,61 | 2,57 |
| 5. Mehaničari | 17 | 0,71 | 1,09 | 15 | 0,68 | 1,07 | 18 | 0,78 | 1,23 | 17 | 1,83 | 3,33 | 17 | 0,82 | 1,12 |
| 6. Osoblje za održavanje opr. | 24 | 0,45 | 1,83 | 25 | 0,64 | 4,51 | 27 | 0,64 | 2,93 | 25 | 0,67 | 2,61 | 24 | 0,38 | 1,22 |
| 7. Dozimetristi | 7 | 0,97 | 1,37 | 7 | 0,71 | 1,20 | 7 | 0,86 | 1,12 | 7 | 1,13 | 1,95 | 7 | 0,68 | 1,12 |
| | | 1972 | | | 1973 | | | 1974 | | | 1975 | | | 1976 | |
| | 5 | 0,47 | 0,63 | 5 | 0,44 | 0,84 | 5 | 0,48 | 0,61 | 5 | 0,70 | 0,95 | 5 | 0,99 | 1,37 |
| | 7 | 0,51 | 0,77 | 7 | 0,27 | 0,43 | 6 | 0,34 | 0,58 | 6 | 0,31 | 0,43 | 6 | 0,43 | 0,79 |
| | 5 | 0,65 | 0,81 | 5 | 0,31 | 0,69 | 5 | 0,35 | 0,43 | 5 | 0,30 | 0,44 | 5 | 0,45 | 0,57 |
| | 7 | 1,29 | 2,23 | 7 | 1,01 | 1,48 | 7 | 1,06 | 1,78 | 7 | 0,88 | 1,07 | 7 | 1,24 | 1,80 |
| | 15 | 0,84 | 1,34 | 15 | 0,85 | 5,64 | 16 | 0,46 | 0,79 | 16 | 0,32 | 0,67 | 16 | 0,65 | 1,06 |
| | 17 | 0,43 | 1,93 | 17 | 0,49 | 2,32 | 14 | 0,43 | 2,21 | 14 | 0,20 | 0,63 | 14 | 0,50 | 1,37 |
| | 5 | 0,66 | 1,01 | 5 | 0,79 | 1,29 | 6 | 0,67 | 0,71 | 5 | 0,33 | 0,49 | 3 | 0,78 | 0,88 |

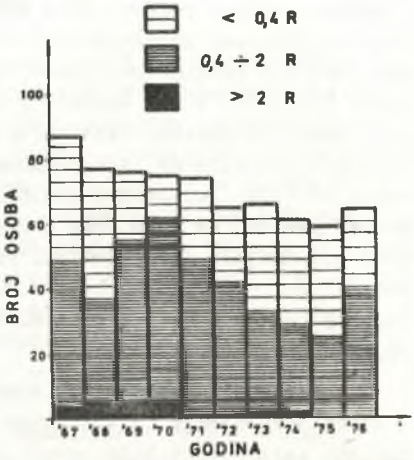
a – broj članova radne grupe

b – srednja individualna godišnja doza u grupi (R)

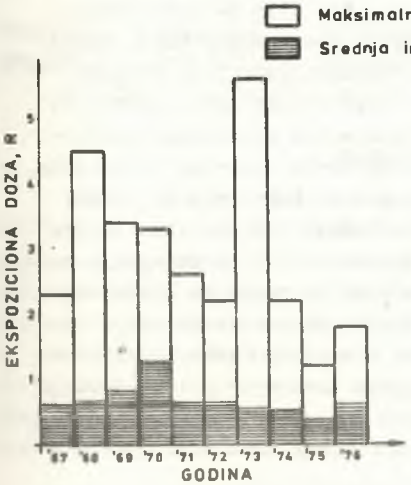
c – maksimalna individualna godišnja doza u grupi (R)



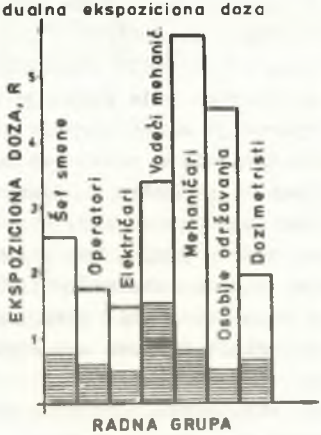

SL.1 Kolektivna godišnja ekspoziciona doza




SL.2 Raspodela ozračivanog osoblja po arbitrarno izabranim intervalima ekspozicionih doza




SL.3 Srednje i maksimalne individualne godišnje ekspozicione doze




SL.4 Srednja i maksimalna individualna ekspoziciona doza po članu radne grupe u desetogodišnjem periodu

u jednom slučaju veća od 5R ; više od 90% od ukupno ozračivanih, bilo je izlagano godišnjem dozama manjim od 2R ; kod preostalih oko 10% izlaganih ekspozicione doze su se kretale uglavnom izmedju 1,5 i 3,5 R, sa izuzetkom malog broja slučajeva. U zadnjih nekoliko godina, izuzimajući jedan akcidentalni slučaj iz 1973.god. maksimalne individualne ekspozicione doze bile su manje od 2,5R. Kolektivne godišnje ekspozicione doze kretale su se, kao što se može videti u tabeli 1, od oko 20 do oko 60 R izuzimajući 1970. godinu. Znatno veće ozračivanje u 1970. godini javilo se kao posledica izvodjenja intenzivnih remontnih operacija u okviru generalnog remonta reaktorskih sistema, koji je obavljen te godine.

Kod analize izlaganja zračenju osoblja na jednom nuklearnom postrojenju interesantno je da se prati izlaganje pojedinih karakterističnih radnih grupa. Jedna takva analiza data je u tabeli 2 i na slici 4. Ceo radni personal razvrstan je u sedam specifičnih radnih grupa: šefovi smena, operatori, električari, mehaničari u hali, mehaničari u pogonu, dozimetristi i osoblje za održavanje opreme. Za svaku grupu date su u tabeli 2, broj osoblja, srednja i maksimalna individualna ekspoziciona doza, a na slici 4, prosečne vrednosti istih veličina za ceo desetogodišnji period. Kao cilj se može videti, najizloženiju grupu čine mehaničari u reaktorskoj hali, zatim slede ostali mehaničari u pogonu, dozimetristi itd. Problem uvećanog ozračivanja mehaničara u reaktorskoj hali pojavio se još na početku rada reaktora dao posledica nedovoljne zaštite pri operaciji manipulisanja sa ozračivanjm uzorcima materijala, što je isključivo posao ove radne grupe. Kako se može videti na slici 4, prosečne maksimalne i srednje individualne ekspozicione doze predstavljaju proporcionalna merila izlaganja za većinu radnih grupa. Izuzetak predstavlja grupa za održavanje opreme, gde su maksimalne individualne ekspozicione ekspozicione doze tri i više puta veće od srednjih. Uvećano ozračivanje pojedinih članova ove radne grupe javlja se pri uhodavanju novih pomoćnih uredjaja ili pak pri intervencijama na delovima reaktorske opreme koja se nalazi u poljima gama zračenja relativno visokog intenziteta.

## ZAKLJUČAK

U ovom radu izloženi su podaci o ozračivanju osoblja kod reaktora RA u Vinči u proteklom desetogodišnjem periodu. Kako se može videti, posmatrajući dati vremenski period u celini, maksimalne individualne ekspozicione doze bile su manje od (pet) 5 R, izuzimajući jedan jedini slučaj; više od 90% od ukupno ozračivanih bilo je izlagano dozama manjim od 2 R, dok su se kod preostalih 10% ozračivanih ekspozicije kretale od 2 do 3 R, sa izuzetno pet-šest slučajeva u celom analiziranom vremenskom periodu. Ocenjeno je da se doprinos ukupnom ozračivanju, koji potiče od interne kontaminacije, može zanemariti, te da se u analizi ozračivanja može koristiti koncepcija maksimalno dopuštenih doza zračenja. Posebno je dat akcenat na analizu ozračivanja osoblja po specifičnim radnim grupama, kojih je izdiferencirano ukupno sedam. Konstatovano je da se osoblje iz radne grupe mehaničara u hali reaktora izlaže u proseku najvećem ozračivanju. Smatramo da su podaci izloženi u ovoj analizi neophodni, za svako nuklearno postrojenje, kod planiranja poslova u poljima zračenja i svodjenje ozračivanja osoblja na najmanju moguću praktično prihvatljivu meru.

Ninković M., Mininčić Z., Bjelanović J., Tankosić DJ.

OPERATING HEALTH PHYSICS EXPERIANCE ON EXPOSURE OF THE PERSONEL WORKING AT RA REACTOR DURING LAST TEN YEARS PERIOD

## ABSTRACT

Basec parameters characterising exposure of the personnel for the period from 1967-1976 during normal operation of the reactor are presented. The date are classificd for each year separately white the personnel is grouped according to arbitrary choosed intervals of exposure. Speacial attention has been paid in this analysis to exposure of the personnel grouped according to specific working groups. Sucg analysis is very inportant for planning operations, adequate distribution of the personnel and for providing efficient protection for prevention of iradiation.

## LITERATURA

1. M.M Ninković, Z.T. Minančić, Spoljašnje ozračivanje osoblja koje radi na reaktoru RA u Vinči u periodu od 1963-1967. III jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja. Banja Luka, Oktobar 1967.

2. M.M. Ninković, Z.T. Minančić, Analiza ozračivanja osoblja na reaktoru RA u Vinči, IV jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Ohrid, April 1972.

3. Izveštaji Laboratorije za medicinsku zaštitu IBK, Interna dokumentacija.

4. R. Mijailović, M.M. Ninković, Analiza sadržaja radioaktivnih produkata u rashladnom mediju reaktora RA, LX jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Jajce, 31 maj - 2 jun 1977.

5. M.M. Ninković, zaštita od zračenja i dozimetrija kod reaktora RA, godišnji izveštaji, IBK, Interna dokumentacija.

6. M.M. Ninković Control and protection against tritium, RGW Symposien "Isotopengeräte und Geräte für Isotopenlaboratorien", Leipzig, 1 gis 4 September, 1970.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

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

Ilić Radovan
Vojnotehnički institut, Beograd

# MERENJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE I DOZE IMPULSNIM DETEKTORIMA NUKLEARNOG ZRAČENJA

Primenom jednog impulsnog detektora zračenja ne može se "pokriti" širok opseg merenja jačine ekspozicione doze od nivoa prirodnog zračenja do vrednosti koje treba meriti u slučaju akcidenata. Zahtevana tačnost merenja, pouzdanost rezultata merenja i maksimalno dozvoljeno vreme odgovora instrumenta, određjuju donju granicu merenja za dati tip detektora. Gornja granica merenja, koje se može vršiti jednim detektorom, odredjena je mrtvim vremenom detektora i dozvoljenom nelinearnošću instrumenta. U radu je analiziran slučaj primene GM brojača kao detektora za merenje jačine ekspozicione doze i doze, a rezultati se mogu primeniti i za druge impulsne detektore.

Osnovne karakteristike instrumenta za merenje bilo koje fizičke veličine su:

- definisana donja granica merenja $P_{min}$,
- definisana gornja granica merenja $P_{max}$,
- definisana greška merenja pri bilo kom $P, \varepsilon(P)$,
- definisana greška merenja za najmanju vrednost merene veličine (najniži opseg merenja) $\varepsilon(P_{min})$

Merenje jačine ekspozicione doze se može obavljati impulsnim detektorima zračenja, kao na primer, GM brojačima ili poluprovodničkim detektorima. GM brojači danas predstavljaju detektore u većini mernih sistema koji su u masovnoj upotrebi. Ovo je uslovljeno činjenicom, da je za ovaj tip detektora zračenja potrebna najjednostavnija prateća elektronika, da je taj tip detektora vrlo stabilan pri promeni uslova eksploatacije i da nije podložan starenju. Pri

postavljanju posebnih zahteva za merenje karakteristika polja kao na primer, pri zahtevu da postoji energetski hod dozimetra |1| sa zahtevanom funkcijom odgovora za merenu vrednost jačine ekspozicione doze od energije zračenja, verovatno je da će se merni sistemi moći realizovati jedino primenom impulsnih detektora. Kako je priroda interakcije polja zračenja sa detektorom statističke prirode, to je neophodno i rezultat merenja tretirati kao statističku promenljivu.

Neka je η efikasnost detektora izražena u jedinicama |imp/s/Rõ/h|. Tada se, pri merenju jačine ekspozicione doze P iz detektora dobija brzina brojanja

$$R = \eta P. \tag{1}$$

Veličina R je matematičko očekivanje ili srednja vrednost brzine brojanja. Neka je vreme u kome instrument treba da dâ rezultat merenja $T_m$, tada je registrovani broj dogadjaja $N_r$

$$N_r = \eta P T_m \tag{2}$$

Statistička promenljiva $N_r$ se registruje sa funkcijom gustine raspodele

$$P_N = \frac{(N_r)^N}{N!} e^{-N_r} \tag{3}$$

Zbog teškoća koje se javljaju pri izračunavanjima sa funkcijom oblika 3, preporučuje se zamena funkcijom gustine raspodele za normalnu raspodelu. Iako pojedini autori tvrde, da je aproksimacija dozvoljena pri vrednostima $N_r \geq 20$ pa i 10, izračunavanja su pokazala da se za primenu u ovom slučaju dobijaju zadovoljavajući rezultati tek kada je $N_r \geq 100$. Funkcija gustine raspodele za normalnu raspodelu je

$$\frac{dP}{dN} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(N-N_r)^2}{2\sigma^2}} \tag{4}$$

gde je σ standardna devijacija normalne raspodele. Nalazi se da je za raspodelu koja je svojstvena merenju nad skupom nezavisnih promenljivih (Studentova raspodela nad skupom sa $N_k$ stepeni slobode)

$$\sigma = \sqrt{N_r} \tag{5}$$

Verovatnoća da registrovani broj dogadjaja bude u granicama zadane greške je data izrazom

$$P\left|(1-\varepsilon)N_r < N \leq (1+\varepsilon)\right| = \int_{(1-\varepsilon)N_r}^{(1+\varepsilon)N_r} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(N-N_r)^2}{2\sigma^2}} dN \qquad (6)$$

Ili izraženo preko funkcije Laplasa za simetrične granice

$$P\left|(N - N_r)\right| < (\varepsilon N_r)\right| = \Phi\left|\frac{\varepsilon N_r}{\sqrt{2}\sigma}\right| \qquad (7)$$

Ovo znači, da se pri zadanoj grešci merenja može definisati verovatnoća dobijanja rezultata unutar granica greške. Sa stanovišta projektovanja instrumenata koji koriste impulsne detektore izneto znači, da se moraju pri merenju malih vrednosti jačine ekspozicione doze definisati greška merenja i pouzdanost rezultata. Nije preteran zahtev, da se definiše greška merenja od 0.1 (10%) uz "pouzdanost" rezultata od 0.995 (nešto slabiji kriterijum od kriterijuma $3\sigma$). Može se kao krajnja granica usvojiti kriterijum, da svako treće merenje bude sa greškom većom od zadane (kriterijum $1\sigma$).

Izneta razmatranja odredjuju donju granicu merenja za upotrebljeni tip impulsnog detektora zračenja. Ukoliko se u instrumentu upotrebljava više detektora zračenja za "pokrivanje" pojedinih mernih podopsega, za svaki od detektora je potrebno, opisanim postupkom, odrediti donju granicu merenja.

Gornja granica merenja je odredjena dozvoljenom greškom merenja i mrtvim vremenom brojača. Rešavanjem transcedentne jednačine (2,3) oblika

$$R = R_i + R\,R_i\,T_{mr}\,\ln\frac{V_o}{V_d(1-e^{-1/RT_{mr}})}, \quad \frac{R - R_i}{R} = \varepsilon_1 \qquad (8)$$

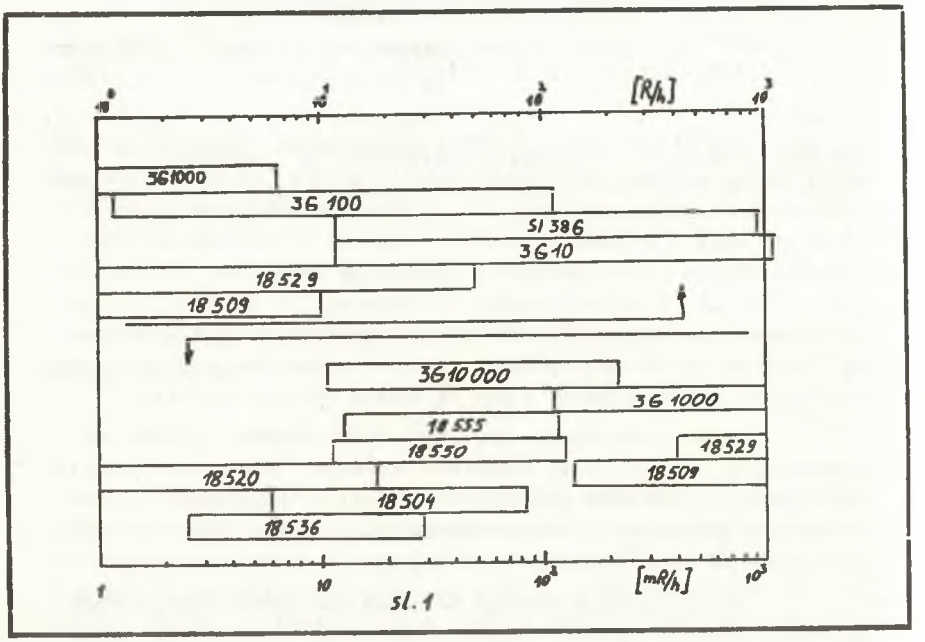
sa oznakama $R$ - očekivana brzina brojanja za vrednost $P_m$;
$R_i$ - izmerena brzina brojanja na izlazu iz brojača;
$T_{mr}$ - mrtvo vreme brojačkog sistema;
$\varepsilon_1$ - dozvoljena vrednost greške na kraju opsega merenja.

dobija se $R$.

Svaki tip brojača ima odgovarajuće mrtvo vreme, koje se u manjoj meri može menjati radnom impedansom brojača, ali na žalost

na štetu deklarisanog "života" brojača.

Za izabrane vrednosti greške (odstupanja) merene i izmerene vrednosti od 0.1 izračunati su opsezi merenja za različite tipove GM brojača. Pri odredjivanju donje granice merenja je usvojena pouzdanost rezultata od 0.995. Rezultati proračuna za nekoliko GM brojača su prikazani na sl.1.




sl. 1

Rezultat merenja se prikazuje u obliku normirane veličine, što znači, da se impulsi iz brojača pre prikazivanja na "displeju" moraju deliti sa brojem

$$M = nT_M \cdot 10^k; \qquad k = 0, \pm 1, \pm 2 \tag{9}$$

Kako vrednost M može da bude različita od celog broja, to je jasno, da će se konačno rešenje pri gradnji "monitora" naći u primeni računara. Poslednja važeća cifra koja se na "displeju" prikazuje, odredjena je zahtevima iznetim na početku rada. Kako digitalni instru-

menti po prirodi rada imaju dodatnu grešku merenja od najmanje $\pm 1/2$ digita, to je prihvatljivo prikazati rezultat merenja sa još jednom nesigurnom cifrom. Pri ovom rešenju, rezultat koji se prikazuje na poslednjem mestu nema deklarisane karakteristike instrumenta.

Alternativno i nešto složenije rešenje za koncipiranje instrumenta je merenje sa predodredjenim brojem impulsa $N_p$ i paralelnim registrovanjem vremena, potrebnog za popunu registra sa predodredjenim brojem impulsa. Ako je proteklo vreme $T_s$, tada je potrebno izvršiti izračunavanje oblika

$$R = \frac{N_p}{\eta T_s} 10^k \tag{10}$$

ili uz korekciju na mrtvo vreme brojača $T_{mr}$

$$R_1 = \left\{\frac{1}{2T_{mr}} - \sqrt{\frac{1}{4T_{mr}} - \frac{N_p}{\eta T_s T_{mr}}}\right\} 10^k \tag{10a}$$

Kako izračunavanja izraza (10a) predstavljaju problem za sebe, dalje aproksimativno izračunavanje je praktično odredjeno mogućnostima primenjene aritmetičke jedinice. Tehnološka složenost rešenja koje je pomenuto znatno otežava realizaciju istog, jer za sada ne daje dobar odnos dobit/uloženi rad.

Pri gradnji instrumenata treba težiti da se isti izvedu kao potpuni automati, to jest, da se promena brojača ili vremena merenja vrši prema vrednoti polja koja se meri. Kola za izvodjenje pomenutih promena zahtevaju, zbog statističke prirode merene veličine, poseban tretman i predstavljaju ozbiljan problem u realizaciji. Pomenimo, da je delimično rešenje nadjeno primenom specijalnih tipova kola sa histerezisnom petljom.

Izneti problemi i rešenja samo delimično mogu prikazati šta se dešava pri primeni detektora sa spektralnim odgovorom, kao što su poluprovodnički detektori, i pri posebnim zahtevima za "hodom" efikasnosti sa energijom.

Autori su zahvalni saradnicima D.Damljanoviću, A.Koturoviću, B.Stamenkoviću na pomoći u jasnom koncipiranju zahteva za sprovedenu analizu.

Abstract

MEASUREMENT OF EXPOSURE RATE AND EXPOSURE WITH IPULSE DETECTORS

With emploument one ipulse detector, we can´t measure rate with iz the range from backçround, to very high levels in accidental conditions. Errors of measurement, reliabiliti of results of measurement and maximal time constant of instrument, give the lower limit for one type of detector. Upper limit of measurement for this type of detector, is determined with "dead time" of detector, and tolerant nonlinearity of instrument. In this article we give analysis for using GM counters for the measurement of exposure rate and exposure, bat results can be used for another ipulse detectors.

Literatura

|1| VOJVODIĆ V., Energetski hod detektora s obzirom na akutne somatske efekte gama zračenja. Rad pripremljen za IX simpozijum JDRZ.

|2| ĆIRILOV B. (et al.), Zbornik radova V jugoslovenski simpozijum JDRZ, Nr/7/04.

|3| MUŹDEKA S. (et al.), Zbornik radova V jugoslovenski simpozijum JDRZ, Nr/7/05.

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja,
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

I. Dvornik, M. Živadinović, U. Zec, S. Miljanić, F. Ranogajec i
D. Ražem
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# LIČNI RADIJACIONI DOZIMETAR DL-M3 - TKIVU EKVIVALENTNI DOZIMETAR NEUTRONA I GAMA ZRAČENJA

Daju se novi podaci o svojstvima ličnog radijacionog dozimetra DL-M3 i čitača doza ČDL-M3, modeli 1976, koji omogućuju točno mjerenje ukupne neutronske i gama doze direktno u jedinicama tkivo-rad, nezavisno od energije zračenja i ostalih fizičkih uvjeta ozračenja, na jednostavan, pouzdan i jeftin način i u terenskim uvjetima mogućim u slučaju nuklearne katastrofe. Ističe se mogućnost vježbe lične dozimetrije uz simulaciju realnih radijacionih uvjeta i mogućnost primjene dozimetra kao preciznog sekundarnog dozimetrijskog standarda u naučne svrhe i za dozimetrijsku kalibraciju.

Lični dozimetar DL-M3 i čitač ČDL-M3 proizvode se od 1972. godine kao standardno sredstvo lične radijacione dozimetrije za masovnu dozimetriju stanovništva u vanrednim uvjetima. Proizvodnju u cijelom proteklom periodu prati intenzivni istraživački i razvojni rad na upoznavanju i poboljšanju svojstava dozimetara i čitača, kako bi dozimetar na najbolji način zadovoljio zahtjeve namjene u uvjetima većeg nuklearnog akcidenta i uvjetima savremenog nuklearnog rata. Takav osnovni novi zahtjev postavlja dozimetrija neutronskog i gama zračenja eksplozije taktičkog nuklearnog oružja. Ovaj rad prikazuje osobine DL-M3 i ČDL-M3, modela 1976, na osnovi rezultata naših najnovijih istraživanja.

DL-M3, model 1976, je tkivu ekvivalentni lični dozimetar neutrona i gama zračenja. Danas je on jedini dozimetar te vrsti koji je prikladan za najmasovniju primjenu u vanrednim radijacionim uvjetima. Dozimetar djeluje na osnovi kemijskog sistema koji pri ozračenju mijenja boju od žute u crvenu. Doza zračenja čita se vizuelnom komparacijom boje ozračene ampule dozimetra s bojom optički identičnih preciznih etalona boje koji se nalaze u čitaču ČDL-M3 (1,2).

Osnovne opće karakteristike dozimetra i čitača:

Dozimetar mjeri ukupnu apsorbiranu dozu za mišićno tkivo u jedinicama tkivo-rad (1 rad = 100 erga/g = 0,01 Joul-a/kg = 0,01 Gy). Njegovo posebno i jedinstveno svojstvo je (unutar ±10%) jednaki odziv za tkivo-rad doze neutrona, gama zračenja i brzih elektrona u cijelom području praktično značajnih energija zračenja od 0,03 do 15 MeV.

Odziv dozimetra za tkivo-rad ne zavisi primjetno od doze, brzine doze i temperature. Promjena temperature ozračenja od -50 do +50°C mijenja osjetljivost dozimetra za svega nekoliko procenata.

Dozimetar reagira trenutno, a doza se čita pomoću čitača ČDL-M3 direktno u jedinicama tkivo-rad na jednostavan i pouzdan način, u svim terenskim uvjetima i uz vrlo male zahtjeve u pogledu izobrazbe dozimetrista.

Osjetljivost dozimetra i kalibracija čitača jednake su unutar proizvodnih serija i između serija unutar 1 do 2% i potpuno su stabilne kroz 10 ili više godina. Brzina određivanja doze je 100 do 200 čitanja na sat, uz standardnu devijaciju ±10 rad-a ili 5% (prema tome što je veće). Sistematska greška prosjeka više čitanja doze manja od 5 rad-a ili 1 do 2% (1,3) postiže se u prosjeku rezultata velikog broja dozimetrista (4) ili paralelnim ponovljenim čitanjem etalona zajedno s dozimetrima (1).

Zahvaljujući ovim osobinama dozimetar se može koristiti kao sekundarni dozimetrijski standard. Dozimetar se može razmjenjivati putem pošte.

Dozimetar i čitač su jeftini, jednostavni i otporni. To unosi bitnu novinu za masovnu primjenu lične dozimetrije - mogućnost potpune decentralizacije i bitno poboljšanje i proširenje uloge lične dozimetrije u uvjetima nuklearne katastrofe (brza dozimetrija na mjestu ozračenja ljudstva omogućuje: brzu pomoć, uklanjanje panike i povećanje obrambene sposobnosti u izoliranim grupama; efikasnu trijažu ljudstva i optimalno planiranje akcija).

Tehnička svojstva dozimetra i čitača prikazuje Tabela 1.

U odnosu na raniji model mjerni opseg dozimetra proširen je od 600 na 1000 rad-a (do 1200 ako je "nula" dozimetra dovoljno niska), a opseg čitača od 720 na 1220 rad-a. Ovom promjenom mjernog opsega nije se promijenila osjetljivost dozimetra niti kalibracija čitača. Novi i stari dozimetri točno registriraju dozu neutrona i gama zračenja do 1000 rad-a, a svi čitači točno mjere

unutar opsega datog skalom čitača. Novi opseg izabran je u skladu sa suvremenim kriterijima lične dozimetrije za akcidentalne i vanredne uvjete. Osnovni razlog za to je činjenica da doza od 1000 rad-a neutrona ili gama zračenja izmjerena na površini tijela ne mora izazvati smrt ako je tijelo pretežno ozračeno s jedne strane, pa je znatni dio organizma ostao zaštićen (3). Ozračenje pretežno s jedne strane tijela bit će u realnim uvjetima najčešći slučaj (sva ozračenja neutronima i gama zračenjem nuklearne eksplozije, ozračenje blizu zida ili u ležećem stavu i sl.).

TABELA 1

Tehnička svojstva dozimetra DL-M3 i čitača ČDL-M3, modeli 1976

| S v o j s t v o | Dozimetar | Čitač |
|---|---|---|
| Mjerni opseg, rad | 1000-1200 | 1220 |
| Dimenzije, mm | Ø 13 x 136 | 80 x 90 x 160 |
| Težina, g | 20 | 1440+ |
| Trajnost na skladištu, godina | 10 ili više | 10 ili više |
| Izvori energije | nepotrebni | nepotrebni |
| Izvori svjetla za rad čitača | bilo koji: svijeća i drugi | |
| Tehničko održavanje | nepotrebno | nepotrebno |
| Konstrukcija | otporna, za poljsku upotrebu | |
| Razlučivanje doze, rad | | |
| - pri brzom čitanju (100/h) | 10 do 20 | |
| - precizno čitanje (2 do 4/h) | 2 do 4 | |
| Točnost pri dozi 450 rad, % (gama zrake, precizno čitanje) | 1 do 3 | |
| Feding signala doze, %, - za 4 dana | 1 do 2 | |
| - za 3 mj. | 7 do 11 | |

+ Kompletan u torbici sa 12 kontrolnih etalona

Umjesto jedinice ekspozicione doze (rendgen, R) upotrebljena je jedinica apsorbirane doze (rad). Apsorbirana doza neutrona i gama zračenja najbolje je mjerilo za radijaciono oštećenje organizma (3).

Broj kontrolnih etalona u kompletu čitača povećan je od 10 na 12 i pokriva opseg nove skale čitača. U toku vrlo velikog broja mjerenja usavršena je metoda obuke dozimetrista pomoću kontrolnih etalona i metoda korekcije sistematske greške pri radu sa či-

tačem u svim mogućim uvjetima osvjetljenja.

Za potrebe obuke i testiranja dozimetrista, kao i za potrebe vježbi lične dozimetrije i radiološke zaštite u simuliranim ratnim uvjetima razvijen je i proizveden "Komplet školskih dozimetara" i razrađena metodika obuke i vježbe lične dozimetrije (5). Za potrebe Civilne zaštite ovaj komplet je već u prodaji. Mogućnost vježbe masovne dozimetrije u simuliranim ratnim uvjetima rješava osnovni problem koji je do sada kočio razvoj masovne i efikasne obuke, a time i postizanje opće osposobljenosti za ovaj dio aktivnosti općenarodne obrane. Komplet se sastoji od 76 etalona u obliku dozimetra, od kojih je svaki po boji jednak dozimetru ozračenom nekom određenom dozom (koji je neozračen odgovarao etalonu vrijednosti 0). Dozimetri-etaloni su precizno kalibrirani, pa im je apsolutna greška manja od 5 rad-a ili 2%. Zbog toga mogu služiti kao standardi doze u preciznim dozimetrijskim mjerenjima s dozimetrom DL-M3.

Vrlo temeljitim ispitivanjima utvrđeno je da metoda korekcije (1) višekratnim naizmjeničnim očitavanjem kontrolnih dozimetara i etalona (koji su im po boji slični) uklanja sistematsku grešku vizuelnog čitanja doze do ispod 3 rad-a ili 1%. Ovo daje takvu preciznost i točnost dozimetrijskih mjerenja pri višim dozama koju je jedva moguće postići najboljim instrumentalnim dozimetrijskim metodama. Za postizanje ovakve preciznosti dovoljno je ponoviti čitanje dozimetra i etalona do 50 puta. Tako je bilo moguće utvrditi da je linearnost dozimetra do 1000 rad-a bolja od 1%.

Tabela 2 sumira rezultate (6) kalibracionih eksperimenata u polju brzih neutrona različite energije. Određen je odziv dozimetra za kermu neutrona u mišićnom tkivu (kerma neutrona je u ovom slučaju praktički jednaka apsorbiranoj dozi koju predaju protoni i ostali teški ioni uzmaka, dakle dijelu ukupne neutronske doze s visokim linearnim prenosom energije), i to u odnosu prema odzivu za fluens gama zračenja kobalta 60, koji bi dao jednaku dozu u tkivu. Ovi eksperimenti pokrivaju područje energije neutrona koje je od interesa za praktičnu ličnu dozimetriju u akcidentalnim i vanrednim uvjetima. Relativni odziv dozimetra, $R_n/R_{gama}$ je unutar greške eksperimenta jednak 1 za sve energije neutrona. Ovo je značajan doprinos praktičnoj dozimetriji. Takav stupanj nezavisnosti odziva od energije neutrona i približno jednak odziv za gama zračenje i neutrone nije postignut ni u

TABELA 2

Omjer odziva za tkivo-rad neutronske kerme ($R_n$) prema odzivu za tkivo-rad gama doze ($R_{gama}$) u kemijskom punjenju DL-M3

| Broj eksp. | Spektar neutrona ili izvor neutrona | Srednja $E_n$, MeV+ | $R_n/R_{gama}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Neutroni iz T(d,n) reakcije | 13 ± 1 | 1,00 ± 0,15 |
| 2 | Al(d,n) reakcija, $E_d$ = 15 MeV | 5 ± 1 | 0,95 ± 0,10++ |
| 3 | Fisioni spektar, nedegradiran | 2,5 | 0,96 ± 0,08++ |
| 4 | Fisioni, iz WWR-SM reaktora, filtriran kroz 145 mm Bi i 10 mm $B_4C$ | 2,0 | 1,08 ± 0,08++ |
| 5 | Fisioni, iz reaktora RB, Vinča, mnogo intermedijarnih i termalnih neutrona (moderiran u $D_2O$) | 1,7 | 1,04 ± 0,20+++ |
| 6 | Fisioni, iz reaktora VIPER, Engleska, jako degradiran kroz 20 cm Cu, brzina doze (puls) $10^6$ rad/s | 0,35 | 0,92 ± 0,14+++ |

+ Procijenjena ili mjerena s obzirom na doprinos kermi

++ Referentno kalibraciono mjerenje parom ionizacionih komora

+++ Referentni kalibracioni podatak je srednja vrijednost rezultata učesnika međunarodnih dozimetrijskih interkomparacija

jednom drugom praktičnom dozimetrijskom sistemu. Na ovoj osnovi dozimetar točno mjeri ukupnu dozu neutrona i gama zračenja. To je upravo podatak koji u vanrednim uvjetima omogućuje brzu prognozu težine radijacione ozljede čovjeka (3).

Time ovaj jednostavni sistem lične dozimetrije zamjenjuje složene i skupe sisteme te štedi vrijeme i stručne kadrove. Eliminiranjem složenih sistema i metoda te pouzdanim radom nezavisno od izvora energije i tehničkih kadrova ovaj sistem daje novu kvalitetu u povećanju pouzdanosti i efikasnosti lične dozimetrije i u proširenju njene primjene upravo na mjestu događaja i u teškim uvjetima gdje je ona najpotrebnija i najkorisnija.

Za detaljniju argumentaciju o značaju jednostavnosti pri mjerenju i interpretaciji ili primjeni dozimetrijskih informacija, kao i o svojstvima DL-M3 u odnosu prema ostalim kriterijima lične dozimetrije upućujemo čitaoce na naš raniji rad i tamo citiranu literaturu (3).

Abstract

THE PERSONAL RADIATION DOSIMETER DL-M3 A TISSUE EQUIVALENT DOSIMETER FOR NEUTRON AND GAMMA RADIATION

The properties of the dosimeter DL-M3 and the readout instrument ČDL-M3, models 1976, are described. This system of dosimetry allows exact measurement of total neutron plus gamma dose directly in tissue-rad units: without appreciable effect of radiation energy or other physical conditions of irradiation, in a most simple way, with low cost and high reliability, and in severe field circumstances possible in case of a nuclear disaster. The training of personal dosimetry in simulated true field conditions is made possible with the available special training set of dose standards. High accuracy, stability and reproducibility of dosimeter sensitivity and reader calibration, as well as the very low systematic error and high precision of the method developed for accurate measurements, qualify DL-M3 and ČDL-M3 as a new secondary standard in dosimetry.

LITERATURA

(1) Uputstvo za upotrebu i održavanje Ličnog radijacionog dozimetra DL-M3 i Čitača ČDL-M3 (modeli 1976), Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, 1976.

(2) DVORNIK, I. et al., Lični kemijski dozimetar neutrona i gama zračenja za vanredne uslove, Zbornik radova VIII Simp. Jug. društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi, 1975, str. 31

(3) DVORNIK, I., ŽIVADINOVIĆ, M., Personal dosimetry independent of radiation energy and quality for prompt handling of large scale nuclear emergency overexposures, Proc. Third International Summer School on Radiation Protection, Herceg Novi, 1976, Ed. P. Marković, "Boris Kidrič" Institute, Beograd, u štampi

(4) MILJANIĆ,S. et al., Točnost lične dozimetrije s dozimetrima DL-M3 koju ostvaruju dozimetristi početnici, ovaj Simpozij

(5) DVORNIK, I. et al., Školski lični radijacioni dozimetri i obuka dozimetrista za rad u vanrednim uvjetima, ovaj Simpozij

(6) DVORNIK, I. et al., Radiation chemical response of the system isooctane-ethanol-chlorobenzene irradiated by neutrons of various spectra, Proc. Fourth Symposium on Radiation Chemistry (Keszthely, Hungary, June 1976), Akademiai Kiado, Budapest, in press

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

S. Miljanić, I. Dvornik, M. Živadinović, U. Zec i B. Dugonjić
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# TOČNOST LIČNE DOZIMETRIJE S DOZIMETRIMA DL-M3 KOJU OSTVARUJU DOZIMETRISTI-POČETNICI

Obuka lične dozimetrije s dozimetrima DL-M3 za potrebe mjerenja u vanrednim uvjetima ostvaruje se brzo i jednostavno. Osobe koje prije ovog pokusa nisu radile s dozimetrima niti su prošle obuku za čitanje doza postigle su dobre dozimetrijske rezultate. Sistematska greška čitanja doze bila je zanemariva.

Ličnu radijacionu dozimetriju u vanrednim uvjetima, koja je po svojoj prirodi masovna aktivnost, provodi veliki broj obučenih dozimetrista. Često će biti potrebno da se obuka izvodi improvizirano na terenu s ljudima koji se zateku na mjestu. Sredstvo lične dozimetrije je lični dozimetar DL-M3 sa čitačem doza ČDL-M3 (1).

Greška čitanja doza ne smije biti veća od ±20%. Brzina čitanja dozimetara određena je zahtjevom da se dozimetrijske informacije za grupu od 50-100 osoba dobiju u toku prvog sata poslije ozračenja (2).

Pokusi s dozimetristima-početnicima izvedeni su u sklopu seminara RBH-zaštite. U ulozi dozimetrista bile su osobe različite dobi i obrazovanja. Nitko od njih nije prošao dozimetrijsku obuku.

Vrlo dobri rezultati rada i lakoća obuke pokazani u toku pokusa dokazuju kako se jednostavno mogu riješiti problemi izbora i obuke dozimetrista za vanredne uvjete.

Postupak pokusa. Među slušaocima seminara sa pokus su uzete po tri osobe bez ikakvog kriterija pri odabiranju. Instruktor im je dao čitač ČDL-M3 i ukratko im objasnio kako se njime rukuje. Zatim im je dao dozimetre-etalone da pročitaju "dozu zračenja". Rezultati čitanja doza zapisivani su na ploči pred auditorijem.

Svaki dozimetrista dobio je na čitanje tri različita etalona, a "dozu" pojedinog etalona čitao je po tri puta. Tako je na svakom seminaru pojedini etalon očitan devet puta. Etaloni su izabrani tako da pokrivaju opseg doza do blizu 1000 rada: 40, 100, 240, 350, 470 i 860 rada.

Uvjeti rada pri čitanju doza bili su različiti (dnevna svjetlost pri oblačnom i sunčanom vremenu te obično električno ili fluorescentno osvjetljenje različitog intenziteta).

Rezultati. Tabela 1 prikazuje odstupanje srednje vrijednosti tri čitanja jednog dozimetriste za isti etalon od nominalne (stvarne) vrijednosti "doze" tog etalona.

TABELA 1

| Nominalna "doza" (rad) | Broj podataka po veličini odstupanja | | | |
|---|---|---|---|---|
| | više od 20% | 10-20% | 5-10% | manje od 5% |
| 40 | 3 | 1 | - | 2 |
| 100 | 7 | 14 | 15 | 4 |
| 130+ | - | 5 | - | 5 |
| 240 | - | 1 | 2 | 6 |
| 350+ | - | - | 3 | 5 |
| 350 | - | 5 | 13 | 18 |
| 470 | - | - | 3 | 3 |
| 670+ | - | - | 2 | 6 |
| 860 | - | 1 | 12 | 32 |

+ Mjerenja na seminarima u SR Srbiji

Tabela 2 prikazuje odstupanje srednje vrijednosti devet čitanja (triju dozimetrista po tri čitanja) jednog etalona od nominalne vrijednosti "doze" tog etalona.

TABELA 2

| Nominalna "doza" (rad) | Broj podataka po veličini odstupanja | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 15-20% | 10-15% | 5-10% | 3-5% | manje od 3% |
| 100 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 350 | - | - | 1 | 6 | 5 |
| 860 | - | 1 | 1 | 4 | 9 |

Tabela 3 prikazuje rezultate najjednostavnije statističke obrade podataka za svaki etalon: točnost srednje vrijednosti svih mjerenja (kolona 4) i standardnu devijaciju pojedinog čitanja doze (kolone 5 i 6).

TABELA 3

| Broj čitanja pojedinog etalona | Nominalna "doza" (rad) | Srednja vrijedn. svih čitanja (rad) | Sistematska greška (rad) 3 - 2 | Standardna devijacija (rad) | Standardna devijacija (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 18 | 40 | 35,5 | - 4,5 | 16,2 | 40,5 |
| 104 | 100 | 96 | - 4 | 21,2 | 21,2 |
| 30+ | 130 | 128 | - 2 | 17,1 | 13,2 |
| 27 | 240 | 231 | - 9 | 17,6 | 7,3 |
| 24+ | 350 | 355 | + 5 | 27,5 | 7,9 |
| 108 | 350 | 353 | + 3 | 31,8 | 8,8 |
| 18 | 470 | 472 | + 2 | 24,1 | 5,1 |
| 24+ | 670 | 684 | + 14 | 41,3 | 6,2 |
| 135 | 860 | 867 | + 7 | 60,8 | 7,1 |

+ Mjerenja na seminarima u SR Srbiji

Diskusija i zaključak. Rezultati s odstupanjem većim od 20% malobrojni su. Isto kao i standardna devijacija veća od 20% ograničeni su na doze oko i ispod 100 rada, tj. za područje žutih boja. Obučeni dozimetristi i u tom području dobro mjere, pa je očito da je baš tu dobra obuka značajnija. Doza niža od 100 rada ne izaziva akutnu bolest, pa je točnost mjerenja ovdje manje značajna (3).

U opsegu doza od 130 do 860 rada i dozimetristi-početnici dobivaju vrlo dobre dozimetrijske rezultate. Odstupanja prema Tabeli 1 samo su u 10% slučajeva veća od 10%, dok je standardna devijacija manja od 9%, osim za etalon 130 (tu je 13,2%).

Kolona 4 u Tabeli 3 pokazuje razliku između srednje vrijednosti svih čitanja jednog etalona i stvarne vrijednosti. Ova razlika pokazuje veličinu prosječne sistematske greške. Ona je manja od 5 rada ili 2% (prema tome što je veće), osim za etalon 240 (3,8%). Ovaj je rezultat osobito značajan jer pokazuje da

će prosječne dozimetrijske informacije za veću grupu ljudi biti točne, a to je osnova za uspješno planiranje svih akcija u vanrednim radijacionim uvjetima (3). Treba napomenuti da se sistematska greška lako dalje smanjuje ako se prema Uputstvu za ČDL-M3 (2) zajedno s dozimetrima očita nekoliko etalona. Ovo je potrebno samo ako se sumnja u kvalitetu rada dozimetriste ili ako su prisutni posebni razlozi za točniju dozimetriju.

Dobri rezultati čitanja doza i obuke "ad hoc" s ljudima koji se nađu na licu mjesta pokazuju:

a) da su lični dozimetri DL-M3 sa čitačem ČDL-M3 jednostavno dozimetrijsko sredstvo pouzdano za upotrebu i primjenu u vanrednim radijacionim uvjetima;

b) da je moguće brzo i lako izvesti obuku dozimetrista bez primjene složenih postupaka i kriterija izbora ljudstva.

Ovaj pokus s dozimetristima-početnicima ostvaren je javno pred učesnicima Seminara za kadrove Civilne zaštite SR Bosne i Hercegovine 1976. godine.

Autori zahvaljuju organizatorima seminara za ukazanu pomoć i gostoljublje, a svim učesnicima pokusa za suradnju.

ACCURACY OF PERSONAL DOSIMETRY AS PERFORMED WITH THE DOSIMETER DL-M3 BY UNTRAINED PERSONS

In case of a radiation emergency personal dosimetry can be performed with high accuracy, quickly and in a simple way by readout of dosimeters DL-M3. A readout test experiment has been performed with untrained persons after few minutes demonstration of work with the reader ČDL-M3. The standard deviation of single reading is less than 22 rad or 10%, and the mean systematic error is less than 5 rad or 2%.

LITERATURA

(1) DVORNIK, I. et al., Lični kemijski dozimetar neutrona i gama zračenja za vanredne uslove, Zbornik radova VIII Simp. Jug. društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi, 1975, str. 31

(2) Uputstvo za upotrebu i održavanje Ličnog radijacionog dozimetra DL-M3 i Čitača ČDL-M3 (modeli 1976), Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, 1976.

(3) DVORNIK, I., ŽIVADINOVIĆ, M., Personal dosimetry independent of radiation energy and quality for prompt handling of large scale nuclear emergency overexposures, Proc. Third International Summer School on Radiation Protection, Herceg Novi, 1976, Ed. P. Marković, "Boris Kidrič" Institute, Beograd, u štampi

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Antanasije Kocić

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič",Vinča
Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku

# REŠAVANJE TRANSPORTNE JEDNAČINE MONTE CARLO METODOM I NJENA PRIMENA U ZADACIMA PRORAČUNA BIOLOŠKOG ŠTITA

Sadržaj:U radu se najpre razmatraju osnovni problemi rešavanja transportne jednačine i način kako Monte Carlo metoda omogućuje da se prevazidju neki od njih: višedimenzionalnost zadatka,problem dubokog prodiranja i dovoljno fino tretiranje efikasnih preseka.Dalje, govori se o iskustvima sa primenom Monte Carlo metode u Laboratoriji za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku i o primeni ove metode na probleme zaštite.Na kraju dati su i analizirani ilustrativni primeri proračuna transporta neutrona kroz ravan sloj zaštitnog materijala korišćenjem Monte Carlo programa TRANSFER.

## 1.Uvod

Za potpuno opisivanje biološkog štita potrebno je upotrebiti višedimenzionalni model transportne jednačine uz korišćenje dovoljno dobrog sistema efikasnih preseka,tako da u svom najopštijem obliku ovaj zadatak postaje vrlo komplikovan i njegovo rešavanje ni malo lako.Medjutim,u velikom broju slučajeva i jednodimenzionalni model uz korišćenje difuzione aproksimacije kao fizički model,može biti dovoljno adekvatan prilaz.Prilikom rešavanja transportne jednačine nailazi se na ozbiljne numeričke probleme u zadacima u kojima se pojavljuju zidovi sa debljinama mnogo većim od srednjeg slobodnog puta, ili ako je geometrija sistema komplikovana.Za rešavanje ovakvih zadataka najčešće se koristi $S_n$ ili Monte Carlo metoda,mada

## 3. Program TRANSFER i njegova primena na probleme proračuna zaštite

Monte Carlo metoda se vrlo široko primenjuje za rešavanje raznih zadataka u reaktorskoj tehnici, a u poslednje vreme i u mnogim drugim oblastima. Ova metoda se u toku niza godina koristi i u Laboratoriji za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku u Vinči, pre svega u vezi sa zadacima koji se odnose na jezgro nuklearnog reaktora /10,11,12/, ali se radi i na drugim zadacima. Program TRANSFER je multigrupni Monte Carlo kod pisan u FORTRAN jeziku za računar CDC3600 sa ciljem analize transporta neutrona kroz sloj materijala (koji može da sadrži i fisibilne izotope) ili kroz konačni cilindar sa istovremenim odredjivanjem i odziva detektora u cilju aktivacionih i dozimetrijskih analiza. Multigrupni sistem efikasnih preseka koji se koristi je 26 grupni ABBN /13/ tipa i posebno je pogodan za analizu transporta brzih neutrona.

Kao ilustrativni primer posmatraćemo gvozdenu cilindričnu ploču na čiju jednu osnovu pada snop neutrona sa zadatom energetskom raspodelom, koja je oblika

$$\chi^*(E) = \chi(E) + \frac{1}{E}\int_E^\infty \chi(E)\,dE \qquad (2)$$

gde je $\chi(E)$ fisioni spektar.

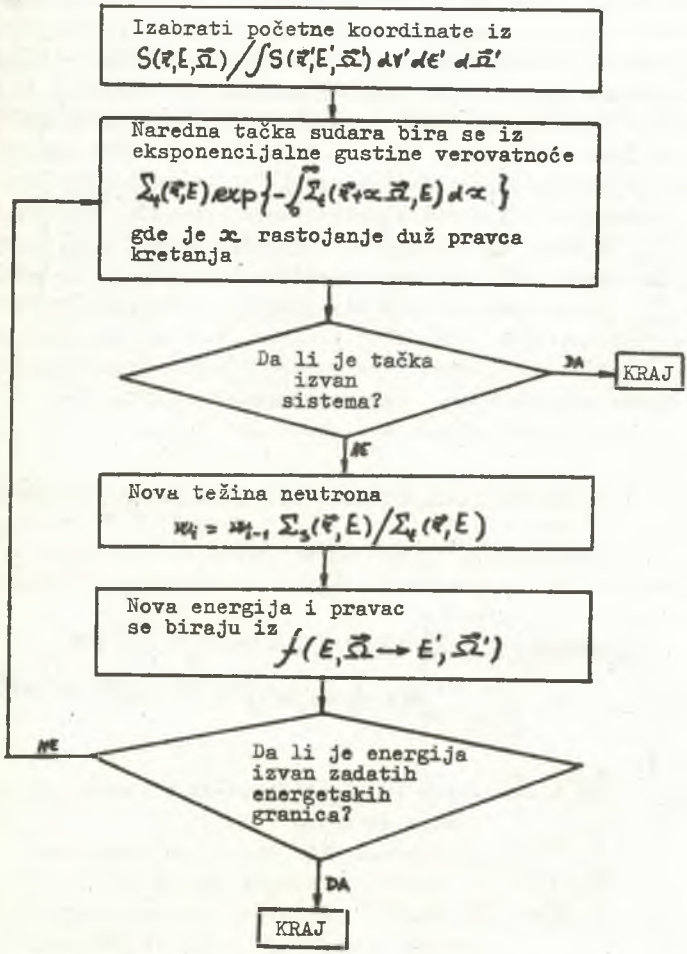
Debljina ploče je 20cm, a poluprečnik 50cm. Detektori su postavljeni na aksijalnoj osi, a posmatraju se rastojanja od 10cm, 20cm i 30cm od ploče.

Spektar upadnih neutrona prikazali smo 26 grupnom step funkcijom

$$p(E) = p_i \quad , \quad E_i \leq E < E_{i+1} \qquad (3)$$

Vrednosti za pojedine grupe, kao i energetske granice grupa date su u Tabeli I. U istoj tabeli prikazan je i izlazni spektar kao i spektri na mestima detektora, dok Slika 2 prikazuje ugaonu zavisnost izlaznih neutrona, a Slika 3 njihovu površinsku raspodelu.

daje nam najlakši način za definisanje odgovarajućih funkcija verovatnoće.




Sl.1. Šema odabiranja za transportnu jednačinu

ova poslednja nije pogodna za brojne analize zbog potrebnog dugog računskog vremena,i često,velikih statističkih fluktuacija na velikim debljinama.U opšte govoreći,za jednodimenzionalne kao i dvodimenzionalne zadatke obično se koristi $S_n$ metoda,dok Monte Carlo metoda ispoljava mnoge prednosti u trodimenzionalnim zadacima.Osim toga,ako se želi fino tretiranje efikasnih preseka,posebno tretiranje anizotropije rasejanja, onda Monte Carlo metoda takodje postaje vrlo pogodna.Za ovakve zadatke razvijeno je više poznatih Monte Carlo programa /1,2, 3/,a takodje se radi i na kombinovanju ovih dveju metoda /4/ radi prevazilaženja nedostataka obeju metoda.U poslednje vreme sve češće se koristi i metoda invarijantnog ulaganja /5/.

U ovom radu najpre će u glavnim crtama biti govora o jednom Monte Carlo prilazu rešavanja transportne jednačine, potom o iskustvima primene ove metode u Laboratoriji za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku u Vinči,i na kraju,biće rasmatran jedan ilustrativni primer i analizirani rezultati dobiveni primenom Monte Carlo programa TRANSFER /6/.

## 2. Monte Carlo prilaz rešavanju transportne jednačine

Ponašanje neutrona u nekoj nemultiplikativnoj sredini opisuje se Boltzmann-ovom integrodiferencijalnom jednačinom

$$\vec{\Omega}\cdot\nabla\phi(\vec{r},E,\vec{\Omega})+\Sigma_t(\vec{r},E)\phi(\vec{r},E,\vec{\Omega})=S(\vec{r},E,\vec{\Omega})+\iint_{E'\,\vec{\Omega}'}\Sigma_s(\vec{r},E')\phi(\vec{r},E',\vec{\Omega}')f(E',\vec{\Omega}'\to E,\vec{\Omega})\,dE'\,d\vec{\Omega}' \tag{1}$$

gde je

$S(\vec{r},E,\vec{\Omega})$ izvor koji potiče od bilo kakvih spoljnih izvora neutrona

$\Sigma_s(\vec{r},E)$ je makroskopski presek za rasejanje

$\Sigma_t(\vec{r},E)$ je totalni efikasni presek

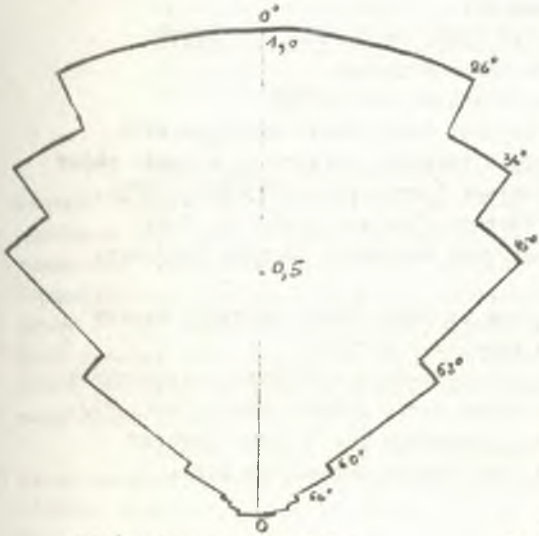
$f(E',\vec{\Omega}'\to E,\vec{\Omega})\,dE\,d\vec{\Omega}$ je verovatnoća da neutron sa presudarnim koordinatama $(E',\vec{\Omega}')$ bude rasejan u element dE oko E i $d\vec{\Omega}$ oko $\vec{\Omega}$.

Radi rešavanja ove jednačine Monte Carlo metodom mogu se koristiti različiti postupci /7,8,9/.Na Slici 1 prikazana je jedna šema odabiranja koja se zasniva na direktnoj simulaciji fizičkog procesa koji se posmatra.Ovakav način prilaza

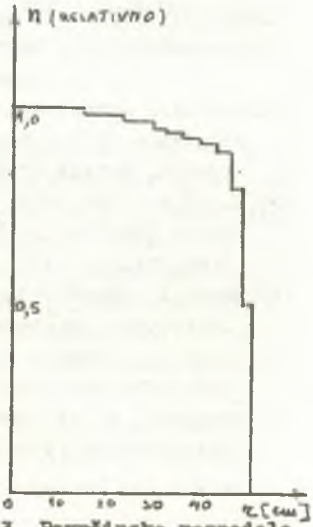
TAB.br. I

Promena spektra pri prolazu kroz 20cm gvoždja.

| Red.br. grupe | Upadni spektar | Izlazni spektar | Red.br. grupe | Upadni spektar | Izlazni spektar |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,002585o | 0.00001 | 14 | 0,0423897 | 0,02330 |
| 2 | 0,011491o | 0,00001 | 15 | " | 0,05038 |
| 3 | 0,0225733 | 0,00005 | 16 | | 0,04524 |
| 4 | 0,0345187 | 0,00007 | 17 | | 0,05268 |
| 5 | 0,0394027 | 0,00022 | 18 | | 0,06198 |
| 6 | 0,0417796 | 0,00058 | 19 | | 0,11246 |
| 7 | 0,0422701 | 0,00074 | 20 | | 0,14633 |
| 8 | 0,0423660 | 0,00085 | 21 | | 0,16254 |
| 9 | 0,0423890 | 0,00095 | 22 | | 0,18224 |
| 10 | 0,0423894 | 0,00325 | 23 | | 0,20317 |
| 11 | 0,0423897 | 0,00663 | 24 | | 0,18259 |
| 12 | 0,0423897 | 0,01567 | 25 | | 0,09591 |
| 13 | 0,0423897 | 0,01687 | 26 | | 0,07414 |




Sl.2. Ugaona raspodela




Sl.3. Površinska raspodela

Abstract: General sampling Monte Carlo scheme for neutron transport equation has been described. Programme TRANSFER for neutron beam transmission analysis has been used to calculate the neutron leakage spectrum, detector efficiency and neutron angular distribution of the example problem.

Reference

1. Irving, D.C., O5R, A General Purpose Monte Carlo Neutron Transport Code, ORNL-3622 (1965).
2. Lanore, J.M., Principes théoriques d'une méthode de pondération dans les calculs de Monte Carlo, C.E.A. N 934 (1968)
3. Hemmings, P., Use of the U.K. Nuclear Data Library in the Monte Carlo code MONK, AASB(S)R.184 (197o).
4. Jordan, T.M., FASTER, A FORTRAN analytic Solution of the Transport Equation by Random Sampling, WANL-PR-(LL)-010 (1967).
5. Simović, R., Analiza transporta brzih neutrona u zaštitnim materijalima metodom invarijantnog ulaganja, IX Simpozijum JDZZ, Jajce 31.V.-3.VI.1977.
6. Kocić, A., Milošević, M., Program TRANSFER za analizu neutronskog transporta (u štampi).
7. Kahn, H., Applications of Monte Carlo, RM-1237 (1954).
8. Hammersley, J.M., Monte Carlo Methods, London, Methueu and Co. LTD
9. Kocić, A., Direct and adjoint Monte Carlo sampling with reference to a resonance integral problem in a small phase element, Annals of Nuclear Energy, Vol.2, 555-564, (1975).
1o. Kocić, A., One group thermal flux at a point by Monte Carlo, Publikacija Comitato Nazionale Energia Nucleare, Roma, Italia, (1973).
11. Kocić, A., KASETA program za Monte Carlo proračun kasete lakovodnog reaktora, IBK-1377, (1975).
12. Kocić, A., Program za izračunavanje efektivnog rezonantnog integrala analognom Monte Carlo metodom, IBK-1o79, (1971).
13. Abagian, et al., Group Constants for Nuclear Reactor Calculations, (1964), Consultants Bureau, New York.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Rodoljub Simović

Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

# ANALIZA TRANSPORTA BRZIH NEUTRONA U ZAŠTITNIM MATERIJALIMA METODOM INVARIJANTNOG ULAGANJA

Sadržaj: U radu je odredjena prostorna, ugaona i energetska raspodela brzih neutrona u planparalelnim zaštitnim materijalima nuklearnih postrojenja. Umesto uobičajenog rešavanja Boltzmannove linearizovane jednačine, integrodiferencijalnog problema sa graničnim uslovima, definišu se refleksiona i transmisiona matrica neutrona i metodom invarijantnog ulaganja razmatra problem sa početnim uslovima. Metoda je izuzetno pogodna za numeričko tretiranje fluksa neutrona u zaštitnim materijalima veće debljine. Bez posebnih teškoća istovetan postupak moguće je primeniti i na proučavanje γ-zračenja.

## 1. Uvod

Uobičajeni postupak analize transporta mnoštva čestica pomoću integrodiferencijalne Boltzmannove jednačine dovodi do razmatranja problema graničnih uslova. Po pravilu to su glomazni matematički zadaci nepodobni lakoj primeni. Nasuprot ovome, metoda invarijantnog ulaganja, koja se u savremenoj literaturi sve češće sreće /1,2/, predstavlja originalan pristup proučavanju transportnih procesa raznovrsnih entiteta u različitim sredinama, matematički jednostavnim postupkom koji svojom efikasnošću konkuriše metodi Monte Carlo.

Osnovu metode čini odredjivanje refleksione i transmisione matrice problema, pomoću kojih se mogu izračunati karakteristični fluksevi čestica. U ovom radu biće pokazano kako se metoda invarijantnog ulaganja može unaprediti kombinovanjem sa srodnom

metodom prenosnih matrica /3/. Umesto da se polazne vrednosti refleksione i transmisione matrice numerički odrede iterativnim rešavanjem sistema nelinearnih integrodiferencijalnih jednačina sa početnim uslovima, prihvaćen je jednostavniji razvoj u red rešenja koje sledi po metodi prenosnih matrica. Postupak je izuzetno prikladan za izračunavanje prolaza neutrona, ili γ-zračenja, kroz zaštitne materijale većih dimenzija, jer omogućava direktno dobijanje reflektovanog i transmitovanog fluksa a da pri tom nije potrebno odrediti potpunu prostornu raspodelu u samom materijalu.

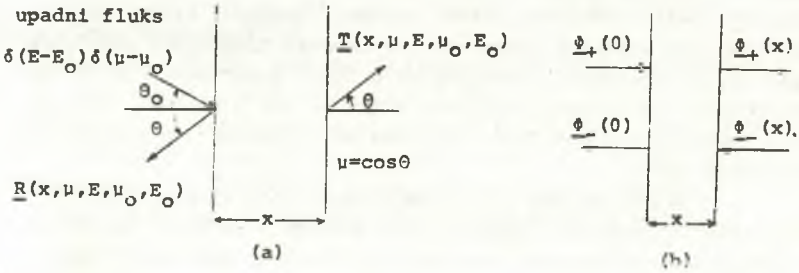
Konačne formule pripremljene su za neposrednu numeričku obradu koja je obavljena na računskoj mašini CDC-3600 i prezentirana u radu /4/ na ovom Simpozijumu.

## 2. Osnovne jednačine invarijantnog ulaganja

Razmatra se beskonačna ploča homogenog materijala debljine x na koju pada fluks neutrona $\delta(E-E_0)\delta(\mu-\mu_0)$, sl.1.(a). Refleksiona funkcija $R(x,\mu,E,\mu_0,E_0)$ i transmisiona funkcija $T(x,\mu,E,\mu_0,E_0)$ odredjene su kao odgovarajući reflektovani i transmitovani fluksevi neutrona. Upadni i izlazni uglovi mereni su tako da su $\mu$ i $\mu_0$ uvek pozitivni. U slučaju proizvoljnog upadnog fluksa $\Phi(0,\mu',E'),\mu'>0$, rezultujući reflektovani i transmitovani fluksevi dati su sa:

$$\Phi(0,-\mu,E) = \int_0^\infty dE' \int_0^1 d\mu' \, R(x,\mu,E,\mu',E')\Phi(0,\mu',E'), \qquad (1)$$

$$\Phi(x,\mu,E) = \int_0^\infty dE' \int_0^1 d\mu' \, T(x,\mu,E,\mu',E')\Phi(0,\mu',E'). \qquad (2)$$




Sl.1. Šematski prikaz problema u ravnoj geometriji

Pogodno je refleksionu i transmisionu funkciju skraćeno obeležavati $\underline{R}(x)$ i $\underline{T}(x)$ i smatrati ih integralnim operatorima u $\mu$ i E prostoru ( čije je dejstvo na proizvoljnu funkciju pokazano gornjim formulama), ili odgovarajućim matricama konačnih dimenzija u matričnom prikazu.

Metod invarijantnog ulaganja daje sledeće jednačine za $\underline{R}(x)$ i $\underline{T}(x)$ /5/:

$$\frac{d}{dx}\underline{R}(x) = \underline{R}(x)\dot{\underline{R}}\underline{R}(x) - \dot{\underline{T}}\underline{R}(x) - \underline{R}(x)\dot{\underline{T}} + \dot{\underline{R}} , \tag{3}$$

$$\frac{d}{dx}\underline{T}(x) = \underline{T}(x)\left[ \dot{\underline{R}}\underline{R}(x) - \dot{\underline{T}} \right] , \tag{4}$$

gde su:

$$\dot{\underline{R}}(\mu,E,\mu_o,E_o) = \frac{1}{\mu_o}\,\Sigma_s(-\mu,E,\mu_o,E_o) , \tag{5}$$

$$\dot{\underline{T}}(\mu,E,\mu_o,E_o) = \delta(E-E_o)\delta(\mu-\mu_o)\frac{\Sigma(E)}{\mu} - \frac{1}{\mu_o}\,\Sigma_s(\mu,E,\mu_o,E_o). \tag{6}$$

$\Sigma(E)$ i $\Sigma_s(\mu,E,\mu_o,E_o)$ označavaju totalni presek i verovatnoću rasejanja neutrona. Početni uslovi su: $\underline{R}(0)=0$ i $\underline{T}(0)=\delta(E-E_o)\delta(\mu-\mu_o)$.

Primena multigrupne aproksimacije po energiji i Gaussove numeričke integracije po uglu predstavlja standardni postupak rešavanja jednačina (3) i (4). Tako se dobija sistem nelinearnih diferencijalnih jednačina koji se korak po korak rešava metodom Runge-Kutta. Kada je zaštitna ploča veće debljine postupak je spor.

Brže izračunavanje refleksione i transmisione matrice omogućavaju funkcionalne jednačine koje glase /1/:

$$\underline{R}(x+y) = \underline{R}(x) + \underline{T}(x)\underline{R}(y)\left[ \underline{I} - \underline{R}(x)\underline{R}(y)\right]^{-1}\underline{T}(x), \tag{7}$$

$$\underline{T}(x+y) = \underline{T}(y)\left[ \underline{I} - \underline{R}(x)\underline{R}(y) \right]^{-1}\underline{T}(x) . \tag{8}$$

Dakle, dovoljno je samo u jednom koraku $\Delta x$ obaviti numeričku integraciju sistema jednačina a potom primenom formula (7) i (8) dobiti $\underline{R}(2\Delta x)$ i $\underline{T}(2\Delta x)$. Tako je metoda invarijantnog ulaganja efikasna i pri tretiranju slojeva veće debljine.

Metod prenosnih matrica omogućava lako izračunavanje $\underline{R}(\Delta x)$ i $T(\Delta x)$, bez razmatranja sistema koji nastaje iz jednačina (3) i (4), te je tako postupak u celini veoma jednostavan.

## 3. Odredjivanje $\underline{R}(\Delta x)$ i $\underline{T}(\Delta x)$ metodom prenosnih matrica

Prenosna matrica $\underline{H}(x)$ zadatka sa slike 1.(b) definisana je sledećim izrazom:

$$\begin{bmatrix} \underline{\Phi}_+(x) \\ \underline{\Phi}_-(x) \end{bmatrix} = \underline{H}(x) \begin{bmatrix} \underline{\Phi}_+(0) \\ \underline{\Phi}_-(0) \end{bmatrix} . \tag{9}$$

Matrica $\underline{H}(x)$ je super matrica čiji su elementi matrice $\underline{R}(x)$ i $\underline{T}(x)$ /6/:

$$\underline{H}(x) = \begin{bmatrix} \underline{T}(x)-\underline{R}(x)\underline{T}^{-1}(x)\underline{R}(x) & \underline{R}(x)\underline{T}^{-1}(x) \\ -\underline{T}^{-1}(x)\underline{R}(x) & \underline{T}^{-1}(x) \end{bmatrix} . \tag{10}$$

Ne upuštajući se u detaljniju analizu ovog metoda navodimo da je pomoću njega moguće zapisati transmisionu i refleksionu matricu u vidu redova:

$$\underline{T}(\Delta x) = \left[ \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (\underline{A}_k + \underline{B}_k) \frac{(\Delta x)^k}{k!} \right]^{-1} , \tag{11}$$

$$\underline{R}(\Delta x) = \left[ \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (\underline{A}_k - \underline{B}_k) \frac{(\Delta x)^k}{k!} \right] \underline{T}(\Delta x) , \tag{12}$$

gde su:

$$\underline{A}_o = \underline{B}_o = \underline{I} \quad \text{i}$$

$$\underline{A}_k = \underline{\sigma}\, \underline{B}_{k-1} , \quad \underline{B}_k = \underline{\tau}\, \underline{A}_{k-1} .$$

Matrice $\underline{\sigma}$ i $\underline{\tau}$ ne zavise od dimenzije x već samo od fizičkih parametara zadatka, $\Sigma(E)$ i $\Sigma_s(\mu,E,\mu_o,E_o)$/3/.

Red na desnoj strani izraza (11) i (12) dovoljno brzo konvergira samo kada je $\Delta x$ manje od srednje dužine slobodnog puta neutrona ( ili $\gamma$-zraka). Otuda je praktično pomoću ovih formula, za dovoljno malo $\Delta x$, izračunati početne vrednosti refleksione i transmisione matrice, a potom, korišćenjem funkcionalnih jednačina (7) i (8), sa relativno malim brojem ciklusa odrediti reflektovani i transmitovani fluks čestica proizvoljno debelog sloja zaštite.

Matrice $\underline{\sigma}$ i $\underline{\tau}$ definisane su matričnim proizvodima $\underline{E\sigma}$ i $\underline{E\tau}$, pri čemu su elementi $e_{mn}$ matrice $\underline{E}$:

$$e_{mn} = \int_0^1 \mu D_m(\mu) D_n(\mu) d\mu \quad , \tag{13}$$

gde su $D_n(\mu)=P_n(2\mu-1)$, $0<\mu\leq 1$, dvojni Legendreovi polinomi.

Elementi matrica $\underline{E\sigma}$ i $\underline{E\tau}$ dati su u višegrupnoj energetskoj aproksimaciji sledećim izrazima:

a) za izotropno rasejanje čestica:

$$(\underline{E\sigma})^{mn}_{jk} = \frac{\delta_{mn}\delta_{jk}}{(2m+1)} \Sigma_k \quad , \tag{14}$$

$$(\underline{E\tau})^{mn}_{jk} = \frac{\delta_{mn}\delta_{jk}}{(2m+1)} \Sigma_k - 2\Sigma_{s,j\to k} \quad ; \tag{15}$$

b) za anizotropno rasejanje čestica:

$$(\underline{E\sigma})^{mn}_{jk} = \frac{\delta_{mn}\delta_{jk}}{(2m+1)} \Sigma_k - \Sigma_{s,j\to k} \underline{D}_{mn}\{1-(-1)^m\} \quad , \tag{16}$$

$$(\underline{E\tau})^{mn}_{jk} = \frac{\delta_{mn}\delta_{jk}}{(2m+1)} \Sigma_k - \Sigma_{s,j\to k} \underline{D}_{mn}\{1+(-1)^m\} \quad . \tag{17}$$

Sa $\underline{D}$ je označena matrica čiji su elementi $\underline{D}_{mn}$:

$$\underline{D}_{mn} = \int_0^1 d\mu \; D_m(\mu) P_m(\mu) \int_0^1 d\mu' \; D_n(\mu') P_n(\mu') \quad . \tag{18}$$

$\Sigma_k$ i $\Sigma_{s,j\to k}$ predstavljaju grupne konstante.

## 4. Zaključak

Predloženim postupkom eliminisan je tretman glomaznog sistema jednačina, kao i problem procene greške koja se iz koraka u korak nagomilava. Umesto toga potrebno je formirati matrice $\underline{\sigma}$ i $\underline{\tau}$ i izračunati $\underline{T}(\Delta x)$ i $\underline{R}(\Delta x)$ zadržavajući dovoljan broj članova reda u izrazima (11) i (12).

Metod je formiran tako da omogućava pre svega izračunavanje fluksa isticanja čestica, ne baveći se detaljno prostornom

raspodelom fluksa u samom telu zaštitnog materijala, što je i prvenstveni interes sa stanovišta odredjivanja bitnih karakteristika zaštite.

Omogućeno je ravnopravno tretiranje neutrona i γ-zračenja jer se fizički parametri zadatka iskazuju podacima za totalni presek i presek za rasejanje, koje je moguće slično pripremiti.

Praktičnost, brzina i tačnost metode, mogu se analizirati uporedjivanjem rezultata dobijenih njenom primenom /4/ i rezultata Monte Carlo metode za isti problem /7/.

Resume: An efficient combination of invariant imbedding and transfer matrix methods was performed in this paper. Simple formulas for reflection and transmition matrices were obtained for a slab of arbitrary thickness. This method is especially appropriate for calculating leakage fluxes of particles and radiation shielding parameters.

Literatura

/1/ BELLMAN R, WING G.M. An Introduction to Invariant Imbedding, 1975, John Wiley & Sons, New York.

/2/ PFEIFFER W, SHAPIRO J.L. NSE 38, 253, 1969.

/3/ ÖZTUNALI O.I, ARONSON R. NSE 57, 196, 1975.

/4/ MARKOVIĆ S, SIMOVIĆ R. "Rezultati analize prolaza brzih neutrona kroz zaštitne slojeve teških materijala metodom invarijantnog ulaganja" IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 1977.

/5/ SHIMIZU A, MIZUTA H. Journal of Nuc.Sc.Tech. 3, 57, 1966.

/6/ ARONSON R. Transport Theory and Stat.Ph. 2, 181, 1972.

/7/ KOCIĆ A. "Rešavanje transportne jednačine Monte Carlo metodom i njena primena u zadacima proračuna biološkog štita" IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 1977.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI. 1977.

S. Marković, R. Simović

Laboratorija za zaštitu od zračenja
Laboratorija za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

# REZULTATI ANALIZE PROLAZA BRZIH NEUTRONA KROZ ZAŠTITNE SLOJEVE TEŠKIH MATERIJALA METODOM INVARIJANTNOG ULAGANJA

Sadržaj: Obavljeno je više proračuna prolaza brzih neutrona kroz zaštitne ploče od gvoždja i olova. Testirana je efikasnost kombinovane metode invarijantnog ulaganja i transfernih matrica. U slučajevima upadnih neutrona sa izmenjenim fisionom spektrom, kao i za monoenergetski izotropni ravni izvor jediničnog intenziteta, dobijeni su transmitovani i reflektovani fluksevi neutrona pri različitim debljinama zaštite.

Poredjenje rezultata sa podacima iz literature pokazuje zadovoljavajuću tačnost primenjene metode i mali utrošak vremena na računaru, čak i za veće dimenzije zaštite.

## 1. Uvod

U prethodnom radu /1/ prikazane su osnovne jednačine modifikovane metode invarijantnog ulaganja, koja je izuzetno pogodna za primenu u zadacima zaštite od zračenja. Metoda se zasniva na formulisanju i izračunavanju transmisione i refleksione matrice analiziranog transportnog problema /2/ i omogućava, pre svega, dobijanje izlaznih i reflektovanih flukseva neutrona.

Razmatrane su zaštitne sredine ravne geometrije, sa većim atomskim brojem, odnosno teški zaštitni materijali Fe i Pb. Oni se obično koriste u prvim slojevima zaštite nuklearnih reaktora jer su dobri apsorberi γ-zračenja. U literaturi se zapaža nedostatak sistematskih eksperimentalnih rezultata za ugaono-ener-

getsku raspodelu izlaznih flukseva brzih neutrona, kao i preciznih podataka za funkciju slabljenja fluksa brzih neutrona po različitim energetskim grupama. U ovom radu izvršena izračunavanja biće uporedjena sa rezultatima monografije /3/.

Kao izvor podataka za neutronske preseke korišćen je sistem višegrupnih konstanti /4/. Izabrana je šestogrupna aproksimacija fluksa po energiji i D3 aproksimacija po uglu. Ovim izborom definisane su dimenzije korišćenih matrica: transmisione i refleksione matrice su kvadratnog tipa 24X24, dok su svi fluksevi (upadni, transmitovani i reflektovani) matrice kolone sa 24 elementa. Na osnovu ovoga za računar CDC-3600 napisan je program "MIN", koji traje manje od 5 min, jer su metodom predvidjene samo matrične multiplikacije i jedna inverzija matrice po ciklusu računanja.

## 2. Poredjenje i analiza rezultata

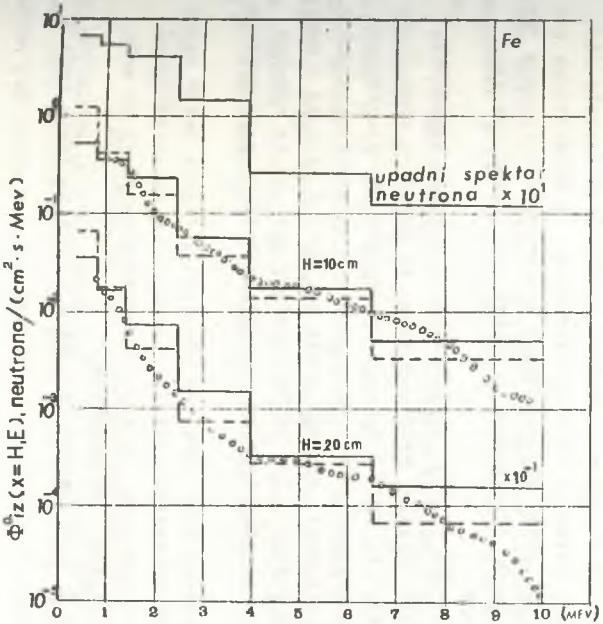
U nameri da rezultate sistematski uporedimo sa onima u monografiji /3/, izabran je isti oblik upadnog fluksa neutrona, sa tačnošću koju je dozvoljavalo očitavanje sa dijagrama. Podaci o računatim spektrima dati su u TAB.br.1.

TAB.br.1.

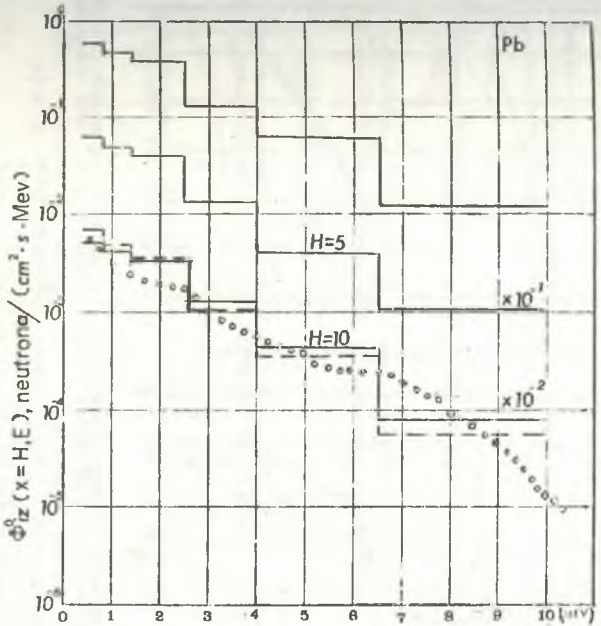
Spektri upadnih i izlaznih flukseva neutrona za materijale Fe i Pb različitih debljina

| redn. broj grup. | upadni* fluks neutrona | Fe | | Pb | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\Phi^0_{iz}(10,E)$ | $\Phi^0_{iz}(20,E)$ | $\Phi^0_{iz}(5,E)$ | $\Phi^0_{iz}(10,E)$ |
| 1. | 0,012350 | 0,0063288 | 0,0017616 | 0,011305 | 0,0086972 |
| 2. | 0,046416 | 0,018402 | 0,0032292 | 0,042250 | 0,032620 |
| 3. | 0,14678 | 0,071423 | 0,017145 | 0,14040 | 0,11515 |
| 4. | 0,42170 | 0,25682 | 0,091341 | 0,39990 | 0,32804 |
| 5. | 0,57324 | 0,36110 | 0,17611 | 0,53135 | 0,42600 |
| 6. | 0,66834 | 0,48854 | 0,30232 | 0,61019 | 0,49062 |

*Svi spektri mereni su u jedinicama 1/ $cm^2$s Mev




sl. 1



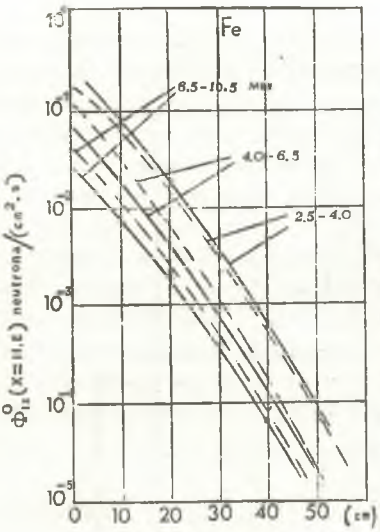

sl. 2

sl. 1.12. *Prostorno-energetska raspodela izlaznog fluksa brzih neutrona za materijale Fe (sl. 1) i Pb (sl. 2)*

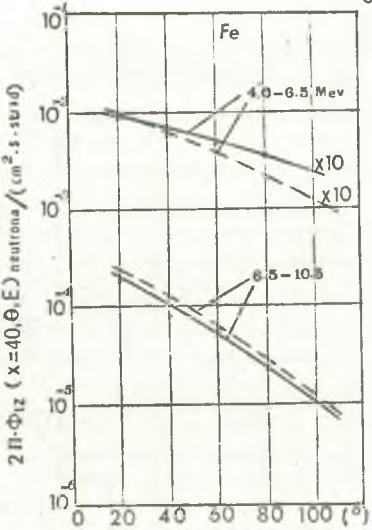
—— *primenjena metoda*

— — *proračun po /4/*

o *eksperimentalni rezultati*




SL.3 *Zavisnost izlaznog fluksa od debljine gvozdene zaštite za tri najviše grupe*



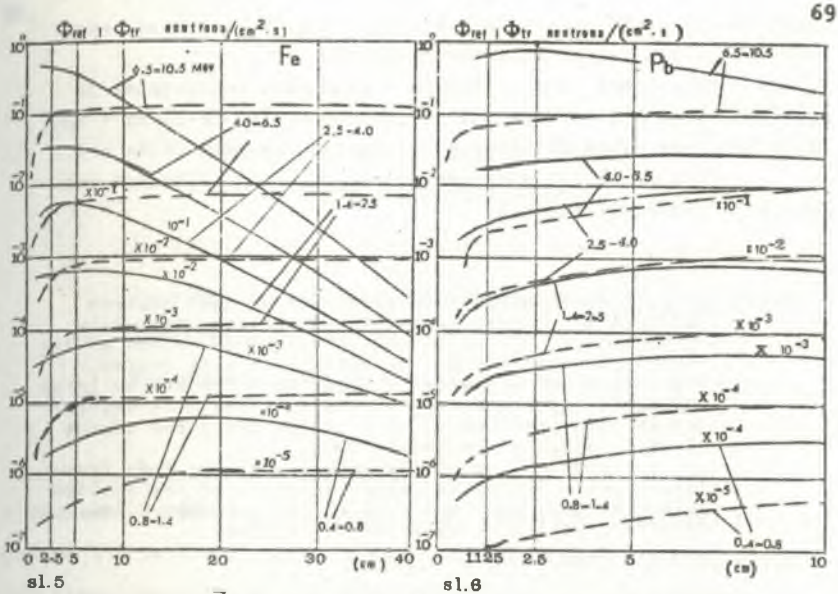

SL.4 *Ugaona raspodela izlaznog fluksa prve i treće energetske grupe za gvozdenu zaštitu debljine 40cm*

Koristeći Abagjanove tablice podataka za preseke /4/, usvojili smo model rasejana koji je izotropan, sa korekcijama anizotropije. U monografiji /3/ rezultati su dobijeni programom "ROZ" koji pretpostavlja D7 aproksimaciju fluksa i P7 aproksimaciju funkcije rasejanja.

Na slikama 1. i 2. prikazane su prostorno-energetske raspodele izlaznih flukseva brzih neutrona za zaštitne materijale Fe (x=10 i 20 cm) i Pb (x=5 i 10 cm), uporedjene sa rezultatima eksperimenta i proračuna u /3/. Mada su slaganja u celini zadovoljavajuća, ipak u slučaju gvoždja nešto su slabija, što se i moglo očekivati jer su podaci u /3/ za Fe udešeni tako da na poseban način uračunavaju efekte rezonantnog samozaklanjanja neelastičnog rasejanja.

Eksponencijalni karakter slabljenja fluksa brzih neutrona u zavisnosti od debljine sloja, prikazan je na slici 3, za tri najviše grupe neutrona. Za sve tri grupe slabljenje se može približno opisati jednim eksponentom.

Slika 4. daje ugaonu raspodelu fluksa neutrona prve i




sl.5 sl.6

sl.5.i 6. Zavisnost refleksionog i transmisionog fluksa brzih neutrona od debljine zaštite za Fe(sl.5) i Pb(sl 6) i jedinični monoenergetski,izotropni izvor
—— transmisioni fluks
– – refleksioni fluks

treće energetske grupe iza ploče od gvoždja debljine 40cm. Ugaona raspodela je sa izrazitijom anizotropijom za višu energetsku grupu.

Na slikama 5. i 6. nacrtane su Greenove, transmisiona i refleksiona,funkcije ravne zaštite od gvoždja i olova.,Pretpostavljeno je da ploču obasjava ravanski izotropan izvor neutrona najviše energetske grupe i jediničnog inteziteta. Promena refleksione i transmisione funkcije u zavisnosti od debljine zaštite, a sa ovakvim izvorom, dobro ilustruje i slabljenje zračenja pri prolazu kroz materijal i promene u oblicima izlaznih spektara.

## 3. Zaključak

Usavršena metoda invarijantnog ulaganja pokazala se veoma efikasnom za tretiranje klasičnih problema zaštite, jer ne zahteva komplikovana teorijska predznanja o metodi, omogućava jednostavno dobijanje matrica sa kojima se operiše i dozvoljava lako

sastavljanje brzih računskih programa. Po ovim osobinama preporučljiva je pre svega eksperimentatorima.

Obavljena uporedjivanja u ovom radu pokazuju da je usavršena metoda invarijantnog ulaganja dovoljno precizna i kod većih debljina ravne zaštite, a pri tom je još uvek dosta brza.

Bez naročitih problema moguće je istim postupkom razmatrati i prolaz γ-zračenja.

Resume: In this paper calculations of fast neutron penetration through Fe and Pb as shilding materials is performed. The efficiency of combined method of the invariant imbedding and transfer matrix is treted. Transmited and reflected fluxes for different shilding thicknesses for the case of the neutrons with distorted fission spectrum as well as for the plane source of unit intezity are obtained.

Comparation of the result with the data from literature shows satisfactory accuracy of the applied method as well as shortering of the computer time, even for the larger shilding thicknesse.

## Literatura

1. R.Simović

"Analiza transporta brzih neutrona u zaštitnim materijalima metodom invarijantnog ulaganja" IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 1977.

2. R.Bellman, G.M.Wing

An Introduction to Invariant Imbedding, John Wiley & Sons, New York, 1975.

3. Т.А.Гермогенова и др.

Перенос быстрых нейтронов в плоских защитах Москва, Атомиздат, 1971.

4. Л.П.Абагян и др.

Групповые константы для расчета ядерных реакторов Москва, Атомиздат, 1964.

# PROCENA NEUTRONSKOG FLUKSA NASTALOG U BETATRONSKOM OZRAČIVANJU

D. Cvijetičanin, Đ. Krmpotić, A. Kukoč, V. Vujnić

Institut "Boris Kidrič" - Vinča, Prirodno-matematički fakultet - Beograd,

Radiološki Institut Medicinskog fakulteta - Beograd

Radi procene neutronskog fluksa koji se javlja pri betatronskim ozračivanjima izložili smo jednu polietilensku bocu sa jednim litrom 0,5 M rastvora Na Cl u vodi fluksu zakočnog zračenja terapijskog betatrona Radiološkog Instituta. Ozračivanje je trajalo 9 minuta i procenjena apsorbovana doza fotona iznosila je 700 - 800 rad-a odnosno 7 - 8 Gy. Neutronski fluks je određivan na osnovu aktivacija natrijuma, tj. merenjem aktivnosti obrazovanog $^{24}$Na pomoću karakterističnog gama prelaza od 1368 keV koji sledi raspad tog izotopa.

Merenje intenziteta gama prelaza od 1368 keV vršeno je pomoću germanijumskog poluprovodničkog spektrometra za koji je efikasnost detekcije za navedeni prelaz u datoj geometriji merenja eksperimentalno određena i iznosila $\varepsilon = 2{,}70 \pm 0{,}03 \; 10^{-4}$. Pošto nam je energija neutrona nepoznata a time i odgovarajući efikasni preseci za aktivaciju natrijuma to za neutronski fluks dobijamo

$$\Phi = \frac{1}{\sigma\,(\mathrm{barn})} \; 1{,}21 \pm 0{,}08 \; 10^{5} \; \mathrm{n} \; \mathrm{cm}^{-2} \; \mathrm{s}^{-1}$$

Uzevši dve dosta udaljene vrednosti za preseke jednu za neutrone

od 14 MeV koja iznosi $\sigma$ (14 MeV) = 0,33 ± 0,3[1] mb i drugu za termalne neutrone $\sigma$ = 534 ± 7[2] mb dobijamo odgovarajuće vrednosti za fluksove neutrone

$$(\text{termalni}) = 2{,}3 \pm 0{,}3\ 10^5\ n\ cm^{-2}\ s^{-1}$$
$$(\ 14\ \text{MeV}\ ) = 3{,}7 \pm 0{,}4\ 10^8\ n\ cm^{-2}\ s^{-1}$$

Izvor ovih neutrona može da bude reakcija $^{16}O$( gama, n)$^{15}O$ iz kiseonika vodenog rastvora ali isto tako oni mogu da nastanu i u samom betatronu i kolimatorskom sistemu u (gama, n) reakcijama na železu, aluminijumu, bakru i sl.. Na osnovu grube procene termalizacije neutrona u vodi smatramo da je fluks bliži vrednosti za brze neutrone.

Kod procenjivanja dopunske doze u tkivu usled neutrona trebalo bi za neutrone iz (gama, n) reakcija na kiseoniku uzeti u obzir i delovanje uzmačnih jezgara $^{15}O$ koji odnose 1/15 energije neutrona. Takođe treba imati na umu da je spektar primarnih neutrona neprekidan ali da je energija uzmačnih jezgara kiseonika već pri minimalnim energijama neutrona dovoljna da raskine hemijske veze.

1) Alijev A.J. et al. "Jadernofizičeskie konstanti dlja neitronov aktivacionovo analiza", Sprovočnik, "Atom izdat", Moskva 1969.

2) Gillespie A.S.Jr., Hill W.W., Nucleonics 19, 170 (1961).

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JAJCE 31 V do 3 VI 1977

Slobodan Ignjatović
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović "

MODEL GLAVE U ULOZI FANTOMA ZA ODREDJIVANJE APSORBOVANE DOZE U MOŽDANOJ REGLJI PRI GRAFIJI ZUBA.

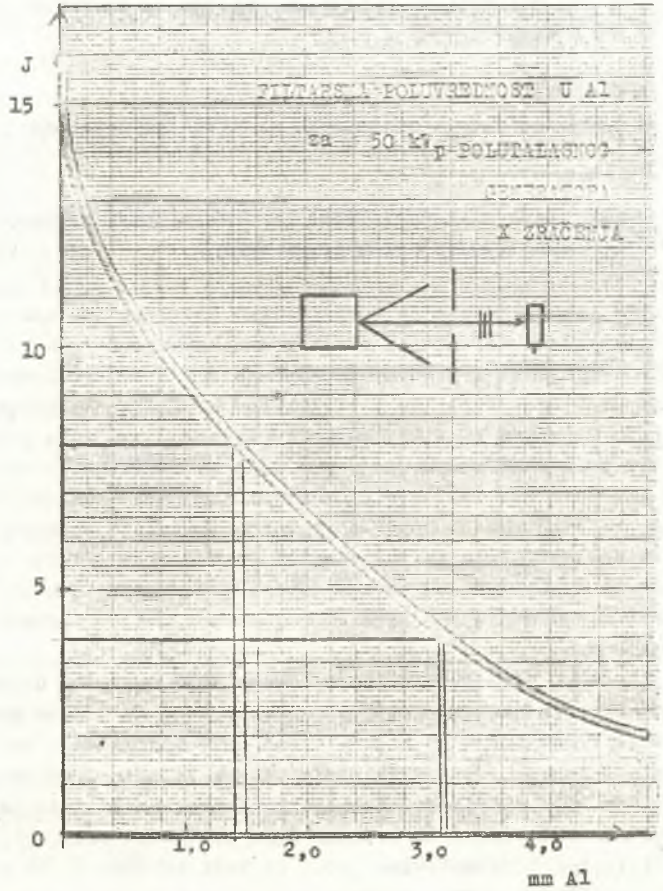
Cilj eksperimenta je dozimetriska upotreba fantoma u obliku ljudske glave napravljen od prirodne lobanje čoveka.Masa od voska i parafina u procentnom sastavu 20% : 500 poslužila je za ispunjavanje šupljine i formiranje oblika glave.Eksperimentalno je utvrdjen kvalitet snopa rendgenovog zračenja preko filtarske poluvrednosti,koji je poslužio za definisanje masenog apsorpcionog koeficijenta.Proverom literarnih podataka pokazalo se da ovaj fantom može zadovoljiti imitaciju moždane strukture u dozimetriskim istraživanjima.Fantom može primiti i istovremeno 15 kugličnih dozimetara prečnika 8 mm.Ovaj fantom ima prednost nad vodenim fantomom zbog geometrije i prisustva koštane strukture.

Klasična odredjivanja apsorbovane doze najvećim delom su se odvijala primenom vodenog fantoma.Po ugledu na fantom koji isporučuje firma Amershem,nabavili smo prirodnu lobanju čovečijeg tela i ispunili je konpozicijom vosak-parafin u odnosu 1:5.Dobili smo masu specifične težine oko 1.Obzirom da moždana masa sadrži oko 80% vode i da ostatak čine mineralne soli,ugljeni hidrati,lipidi i belančevine ,koji su teži od vode to se uzima da je specifična težina moždane mase jedinica (Ro =1).Za dozimetrisku ulogu valjalo je odrediti maseni koeficijent apsorpcije pripremljne kompozicije parafina i voska i definisati kvalitet snopa zračenja.

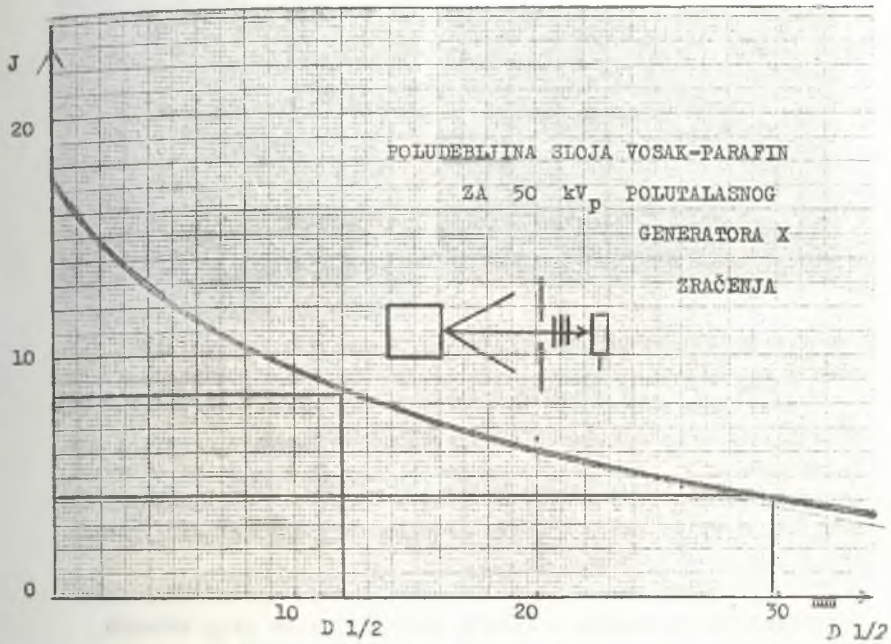
Eksperimentalni rad.

Generator X zračenja,polutalasne emisije podešen je na anodni napon od 50 $kV_p$ a zatim aktiviran.Snop zračenja je

filtriran aluminijumskim folijama.Na taj način je utvrdjena filtarska poluvrednost $D_{1/2}$ = 0,14 cm.Ovaj podatak nam je potvrdio efektivnu vrednost energije snopa koji po literarnim podacima (1) ima vrednost 23 keV-a.




Ovako definisan kvalitet zračenja usmeren je u istoj geometriji na ploče voštane mase.Iz kostrisane krive odredili smo $D_{1/2}$ da ima vrednost 1,66 cm.




Linearni koeficijent apsorpcije sledi po jednačini:

$$\mu = \frac{2,3}{x} \cdot \log \frac{D_o}{D_x}$$

za vrednosti: x = 1 cm, $D_o$ =17,5 R , $D_x$ = 9,5 R dobijamo za $\mu$ $\mu$ = 0,61/cm

Kad primenimo za maseni koeficijent apsorpcije vrednost koja se u literaturi navidi (2) za vodu i energiju zračenja od 0,o2 MeV koji iznosi $\mu_m$ = 0,516 $cm^2$/gr dobićemo da je specifična težina voštane kompozicije ravna:

$$\rho = \frac{\mu_1}{\mu_m} = \frac{0,61}{0,516} = 1,13 \text{ gr/cm}^3$$

Zaključili smo da smo u prvoj aproksimaciji došli do kompozici je koja je veoma bliska gustini moždane mase.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK. Proverili smo specifičnu te žinu i gravimetriskom metodom i dobili smo takodje vrednost 1,1 gr/cm$^3$, Ovo potvrdjuje naše uverenje da odredjivanje gustine materije metodom filtarske poludebljine za poznatu energiju zra čenja može biti prihvatljivo rešenje kada se sumnja da bi gravi metriska metoda bila nesigurna zbog mogućnosti nehomogenosti ma terijala i prisustva vazdušnih mehurova tj. nekomaktnosti kompo-zicije.

Prvi eksperimenti za odredjivanje apsorbovane doze potvrdjuju pretpostavku o dobrim rezultatima sa ovom metodom rada.

Summary

Author is presenting phantom for measurement of dose absorbed by brain region of human head. Phantom is constru cted from natural skull fulfilled with and paraffin. By this mix ture a specific weight of 1,1 g/cm$^3$ is achived. This value is evaluated by the method of filter half-thickness.

First experimental measurements gave satisfactory results which will be published later.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. - 3.VI.1977.

Petrović B., Knežević M., Draganović B., Gačević M.

Katedra za radiologiju , Veterinarski fakultet, Beograd

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu , Zemun

# RADIJACIONO POLJE ZA OZRAČIVANJE MALIH ŽIVOTINJA

- Kratak sadržaj -

U eksperimentalnom radu na izučavanju bioloških efekata jonizujućih zračenja, pri ozračivanju domaćih životinja X-zracima javlja se niz problema vezanih za odredjene specifičnosti ; jedan od ovih problema je i pitanje načina ozračivanja u funkciji vremena .

U ovom saopštenju je izneto sopstveno tehničko rešenje za rotacioni sistem(kavez) za ozračivanje manjih domaćih životinja -svinja- a dati su i podaci o prednostima koje ovaj sistem za ozračivanje ima (dobra fiksacija životinja, nije potrebna narkoza i sl.) . Takodje su prikazani rezultati merenja ekspozicione doze pomoću jonizacione komore i TLD, a dat je i prikaz distribucije ekspozicijske doze u rotacionom polju .

U eksperimentalnom radu na izučavanju bioloških promena kod domaćih životinja ozračivanih X-zracima, iskrsava niz problema vezanih za odredjene specifičnosti. Jedan od ovih problema je i pitanje načina ozračivanja u funkciji vremena .

Dosadašnja ispitivanja pokazala su da unilateralno, bilateralno, kao i ozračivanje životinja sa 4 ugla, ne zadovoljavaju u potpunosti . Ovo, pre svega, sa stanovišta raspodele doze u radijacionom polju, kao i u pogledu postignutih radiobioloških efekata .

Stoga smo postavili zadatak da ispitamo : 1) Mogućnost primene rotacionog sistema za ozračivanje manjih domaćih životinja (svinja,ovca,koza) tvrdim X-zracima ; -2) Ponašanje životinja u funkciji vremena ozračivanja (podnošljivost rotacije, a bez primene sredstava za umirenje životinja) ; - 3) Homogenost radijacionog polja primenjenog rotacionog sistema .

TEHNIČKI PODACI

Uredjaj za fiksiranje životinja bio je oblika rešetkastog valjka, dužine 120 cm i prečnika 43 cm , postavljenog u vodoravni položaj . Ovaj rešetkasti kavez bio je izradjen od drvenih gredica profila 4 x 4 cm, odnosno 5 x 3 cm i obloženih sundjerastom gumom , presvučenom polivinilskom folijom . Kavez je bio postavljen na pokretno postolje od šupljih metalnih cevi profila 2 x 4 cm ; lako horizontalno pokretanje postolja u svim pravcima omogućavala su 4 gumena točka .

Rotacija celog sistema obavljana je pomoću sinhronog motora, a brzina rotacija sistema je bila 6 obrtaja u minuti . Da bi bila omogućena ravnomernost pri rotiranju, kavez je bio fiksiran za vertikalno postavljenu okruglu ploču prečnika 80 cm.

Uvodjenje ogledniih životinja u rotacioni sistem za ozračivanje ostvarivano je na taj način što se rešetkasti valjak otvarao po sredini i po unošenju životinje kavez se zatvara i fiksira širokom gurtnom od kudelje . Životinja se u kavezu postavlja tako da ekstremiteti prodju izmedju gredica, pa nikakvo fiksiranje životinja u kavezu nije potrebno .

Ogledne životinje (svinje težine 50-70 kg), koje smo ozračivali u ovom rotacionom sistemu , vrlo dobro su podnosile režim rotiranja, što je u toku ozračivanja praćeno na internom televizijskom sistemu .

## KARAKTERISTIKE RADIJACIONOG POLJA

Položaj kaveza za fiksaciju i ozračivanje životinja u odnosu na izvor X-zraka, prikazan je na slici 1. Sa ovog šematskog prikaza vidi se da je kavez skoro celom svojom dužinom bio u snopu X-zračenja, a samo je po 10 cm na krajevima kaveza povremeno ispadalo iz snopa X-zračenja (šrafirano polje).

Snop X-zraka bio je usmeren olovnim tubusom oblika piramide, sa kvadratnom osnovom, tako da je zahvatni ugao snopa po vertikalnom i horizontalnom preseku iznosio oko $30^{o}$ ($4\alpha$) .

Obzirom na prethodno iznete podatke, bilo je potrebno da se proveri homogenost radijacionog polja u zapremini celog kaveza i to po njegovom longitudinalnom i transverzalnom preseku .

Raspodela ekspozicijske doze u radijacionom polju merena je TL dozimetrima izradjenim od $CaF_2$:Mn , proizvedenim u Institutu "Jožef Stefan" u Ljubljani , a očitavanje dozimetara vršeno je na čitaču tipa MTLD-08 istog proizvodjača .

Dozimetri su postavljani u posebne nosače (sl.2), bili su uloženi u 3 različita kućišta (Pb; Pb+Al; Pb+Cu) , kako bi mogla istovremeno da se odredi raspodela energija i intenzitet X-zračenja u prostoru radijacionog polja kaveza za ozračivanje životinja .

Merenja ekspozicijske doze vršena su u tačkama B, C i D rotacionog sistema (sl.3) . Pri svim ovim merenjima TLD su bili postavljani tako da su svi dozimetri sa istim kućištem bili na istoj transverzalnoj ravni . Duž nosača bilo je postavljeno 13 grupa TL dozimetara sa po 3 različita kućišta , a na ukupnoj dužini od 120 cm . Centralna razdaljina izmedju dva susedna dozimetra iznosila je oko 3 cm . Kućišta su bila fiksirana , a trake-nosači dozimetara bile su postavljene uvek u istom smeru ( pravac : glava - rep) .

Posle ozračivanja dozimetara vodilo se strogo računa da pri ponovnom postavljanju dozimetara u nosače, TLD budu uvek na istom mestu, kako bi greška merenja bila što manja.

Za merenja je korišćeno oko 200 TL dozimetara, koji su bili tako izabrani da je standardna devijacija iznosila oko 6% , što je omogućavalo da sigurna greška pri merenju ne prelazi 20% .

## REZULTATI MERENJA

Rezultati postignuti u ispitivanju raspodele intenziteta X-zračenja , posmatrani u longitudinalnoj ravni , prikazani su u tabeli 1 .

Tabela 1

| Vrsta kućišta | Tačka merenja | | |
|---|---|---|---|
| | B | C | D |
| Al | 160 | 142 | 156 |
| Cu | 140 | 130 | 139 |
| Pb | 184 | 174 | 180 |

LEGENDA :

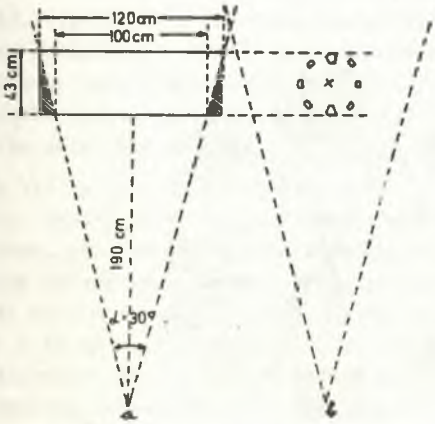
B = položaj TLD od centra je bio 8,5 cm
C = položaj TLD od centra je bio 11 cm
D = položaj TLD od centra je bio 17 cm

Iz date tabele se vidi da izmerene vrednosti leže u granicama eksperimentalne greške (tj do 20%) , a da je radijaciono polje uglavnom homogeno .

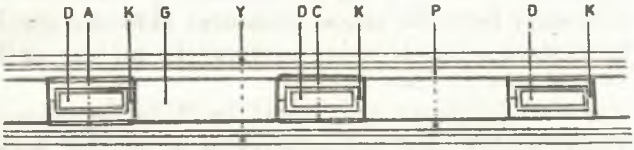
## S u m m a r y

In experimental investigation of biological effects of ionizing radiation, during irradiation of domestic animlas with x-rays many problems arise, connected with certain specific cirkucstances . One of these problems is the way of irradiation as a function of time .

In this paper an original technical solution for the rotational system-cage for irradiation of smaller animals (pigs) is reported, together with data that prove adventages offered by this irradiation system (good fixation of the animal, no narcosis necessary etc.) . Also results of measurements of exposure dose with a ionization chember and TLD are presented, together with the exposure dose distribution in the radiation field .

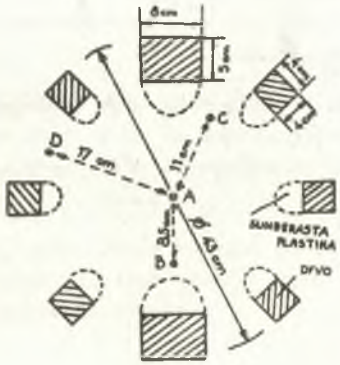




Sl. 1 - Šematski prikaz rotaciono sistema za ozračivanje domaćih životinja




Sl. 2 - Šematski prikaz nosača TL dozimetara sa tri vrste kućišta

A = Al pločice
C = Cu pločice
D = Tl dozimetri
K = Pb kućište
G = gumena traka
P = platno sa sundjerastom gumom
Y = juvidur cev




Sl. 3 - Poprečni presek rotacionog sistema za ozračivanje domaćih životinja

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja.
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Vojvodić Vlaho

Vojnotehnički institut-Beograd

# ENERGETSKI HOD DOZIMETRA S OBZIROM NA AKUTNE SOMATSKE EFEKTE GAMA-ZRAČENJA

Procena borbene i radne sposobnosti ozračene žive sile u uslovima nuklearnog rata, bazira se na akutnim somatskim efektima jonizujućeg zračenja. Akutni somatski efekti γ-zračenja zavise od energije E zbog čega je uveden pojam somatskog faktora $\eta_s(E)$, kojeg definiše odnos $LD_{50}$ za E = 1,25 MeV prema $LD_{50}$ za E. Energetski hod "somatskog" dozimetra $\eta_D(E)$ treba da zadovoljava uslov $\eta_D(E) \equiv \eta_s(E)$.

## 1. Uvod

Postradijacioni (zakasneli) efekti jonizujućeg zračenja (leukemija, katarakta itd.) javljaju se nekoliko meseci ili godina posle ozračenja, a akutni radijacioni efekti (akutna radijaciona bolest i radijacioni mortalitet) skoro istog dana. Saglasno tome, u uslovima nuklearnog rata svaka procena i prognoza borbene i radne sposobnosti ozračene žive sile mora biti bazirana na akutnim radijacionim efektima.

Poznato je (1) da srednja letalna doza ($LD_{50}$), a to znači i svi somatski efekti, zavisi od energije γ-zračenja E i veća je što je E manja. Prema tome, za procenu borbene i radne sposobnosti ozračene žive sile s obzirom na somatske efekte, treba raspolagati dozimetrom koji će pokazivati stepen somatskih radijacionih oštećenja žive sile ("somatski" rem) a ne akumuliranu energiju po jedinici mase (rad). Ovaj zahtev je izuzetno važan na radioaktivnom KonZ-u, jer se na njemu energetski spektar γ-zračenja drastično menja u zavisnosti od položaja kojeg zauzima živa sila. Tako napr. na visini od 1m iznad KonZ-a energetski spektar γ-zračenja ima srednju energiju oko 0,7 MeV i 2-3% γ-zračenja ispod 0,1 MeV, a u rovu (ispod površine zemlje u istim uslovima) srednja energija je 0,125 MeV i preko 40% γ-zraka ima

energiju manju od 0,1 MeV (2). Prema tome, ista fizička doza koju izmeri energetski nezavisan dozimetar (obzirom na apsorbovanu energiju), u oba slučaja neće predstavljati isti podatak o stepenu somatskih oštećenja jer će, pri konstantnoj fizičkoj dozi, znatno veća somatska oštećenja pretrpeti živa sila na otvorenom terenu nego u rovu.

U ovom radu pokušaćemo da izvedemo jednačinu energetskog hoda "somatskog" dozimetra na bazi raspoloživih podataka o energetskoj zavisnosti $LD_{50}$ za γ-zračenje.

## 2. Ekvivalentna doza

Ekvivalentna doza (DE) (izražena u rem-ima) odredjuje se po formuli (3)

$$(DE) = D \cdot (QF) \cdot (DF) \cdot \cdot \cdot \qquad (1)$$

gde su

D - fizička doza (rad)
(QF) - quality factor
(DF) - distribution factor
. . . - svi ostali "modifikujući" faktori.

Oko formule (1) vodi se široka polemika (4-8) zbog niza principijelno nerešenih problema. Naš cilj nije da se priključimo toj polemici, već da damo argumente zbog kojih se ona u vojnoj dozimetriji ne može koristiti. Najvažniji su:

a) - (QF) se odredjuje preko LET što znači da se (QF) menja duž putanje naelektrisane čestice na isti način kao i LET; prema tome i (DE) se menja na isti način jer je D makroskopska veličina koja je vezana za odredjenu tačku u tkivu.

b) - (QF) nije vezana ni za jedan biološki efekat (kao što je nekada bila RBE), pa se shodno tome, ne može koristiti za procenu bioloških efekata kao što su napr. akutna somatska oštećenja.

c) - Obzirom da je (QF) funkcionalno zavisno od LET to znači da se (QF) odredjuje isključivo po teoriji mete, a ne uzimaju se u obzir argumenti teorije zatrovanja. Medjutim, postoje neoborivi dokazi (9) da jonizujuće zračenje u organizmu, preko sekundarnih biohemijskih reakcija, stvara toksine koji se prenose po celom organizmu trujući ga manje-više svuda. Prema tome, radijaciona oštećenja treba posmatrati integralno, preko celog ozračenog organizma a ne lo-

kalno preko LET-a.

Iz ovih argumenata sledi da se (DE) ne može koristiti za procenu akutnih radijacionih oštećenja žive sile, već da ovom problemu treba prići sa druge strane, tj. integralno.

## 3. Somatska doza γ-zračenja

Pojam "somatska" doza definišemo relacijom

$$D_s = \eta_s(E) \cdot D \qquad (2)$$

gde je $\eta_s(E)$ "somatski" faktor koji zavisi od energije γ-zračenja E.

Za razliku od (QF), $\eta_s(E)$ može da se odredi iz podataka o somatskim efektima γ-zračenja, medju kojima se najpreciznije meri $LD_{50}$. Prve podatke o zavisnosti $LD_{50}$ od E objavio je Alpen 1959.godine(1). Kasnije je ove podatke dopunio Akoev (10) uglavnom ekstrapolacijom sa sisara. Na osnovu tih podataka na sl.1 nacrtan je dijagram $LD_{50}$ u zavisnosti od E.

Zavisnost $\eta_s(E)$ obzirom na $LD_{50}$, definirana je izrazom

$$\eta_s(E) = \frac{LD_{50}(1,25)}{LD_{50}(E)} = \frac{450}{LD_{50}(E)} \qquad (3)$$

gde su

$LD_{50}(1,25) = 450$ = srednja letalna doza (rad) za γ-zračenje $^{60}Co$.

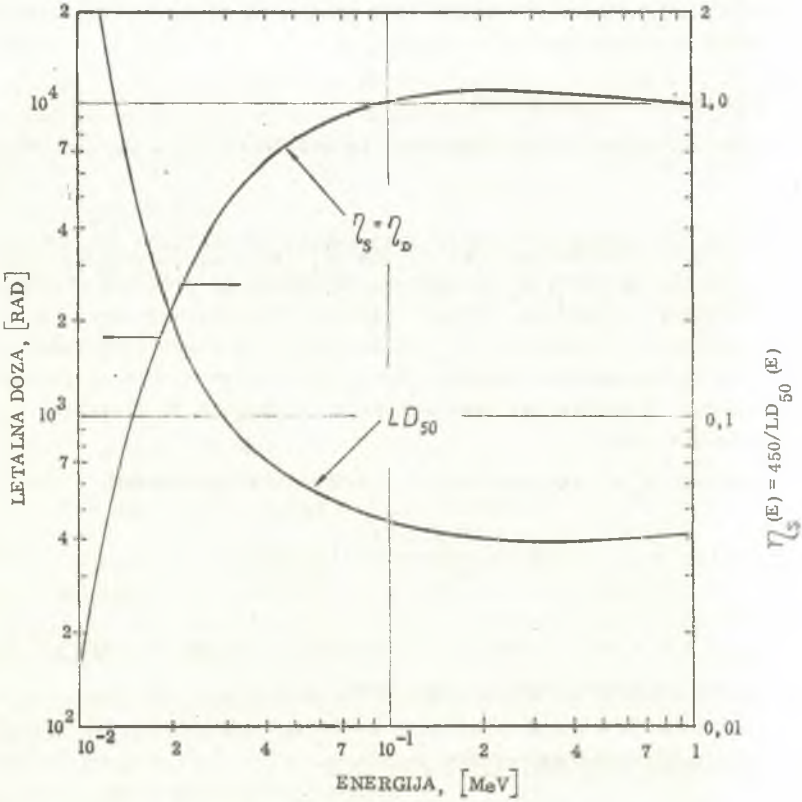
$LD_{50}(E)$ = srednja letalna doza (rad) za E.

## 4. Energetski hod "somatskog" dozimetra

Iz relacije (2) sledi da "somatski" dozimetar mora imati energetski hod $\eta_D(E)$ identičan sa energetskim hodom $\eta_s(E)$. Dakle, "idealan somatski" dozimetar zadovoljava uslov

$$\eta_D(E) \equiv \eta_s(E) \qquad (4)$$

Ovaj uslov približno može da se realizuje filtrima od različitog materijala i različitom gustinom perforacija.




Sl. 1. Zavisnost $LD_{50}$ i $\eta_s$ od energije gama-zračenja

Abstract

Evaluation of the incapacity of irradiated personnel in nuclear warfare are based on the acute somatic effects of ionizing radiations. The acute somatic effects of γ-radiation depend on its energy (E); therefore, the quantity "somatic factor" $\eta_s(E)$ is introduced, which can be defined as the ratio of $LD_{50}$ for $E_o$ = 1,25 MeV to $LD_{50}$ for E. The spectral sensitivity $\eta_D(E)$ a "somatic dosimeter" should satisfy the condition

$$\eta_D(E) \equiv \eta_s(E)$$

Literatura

1. ALPEN E.L., u knjizi: Biological and enviromental effects of nuclear, Hearings before the special subcommittee on atomic energy, June 1959, USGPO, Washington D.C. 1959.
2. FRANK A.L., Health Physics, vol. 12, p.1715 (1966).
3. VIDMAR M., u knjizi: Radiation dosimeter, vol.1, Proceedings of the international summar school on radiation protection, Cavtat 21-30 Sept. 1970.
4. DUNSTEN H.J., Health Physics, vol.20, p.529 (1971).
5. PATTERSON H.W. et al., Health Physics, vol.20, p.529 (1971).
6. NEUFELD J., Health Physics, vol.20, p.530 (1971).
7. PATTERSON H.W. et al., Health Physics, vol.20, p.517 (1971).
8. DENNIS J.A., Dose eqvivalent index and related concepts, Presented to S.R.P.Meeting on "External Radiation Dose Control", Harwell, 19th October 1976.
9. MORGAN K.Z. and TURNER J.E., Principles of radiation protection, John Wiley, New York, 1967.
10. AKOEV i dr., Lučevoe poraženie mlekopitajuščih i statističkoe modelirovanie, Atomizdat, Moskva 1972.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

Danilo Hajduković

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS "Dr.Drag. Karajović" u Beogradu

# OZRAČIVANJE RESPIRATORNOG SISTEMA USLED INHALACIJE RADONA 222 I POTOMAKA U RUDNICIMA METALIČNIH RUDA

## Rezime

Dat je prikaz obračuna absorbovanih doza na respiratornom sistemu radnika izloženih inhalaciji radona 222 i potomaka u slučaju njihove depozicije na rastvorljivim i nerastvorljivim česticama prašine ,posebno absorbovanih doza koje potiču od alfa i od beta zračenja ,za referentne koncentracije radona i potomaka po 100 pCi/l . Korišćeni su stepeni depozicije prašine na plućima $d_p$ i bronhijama $d_b$ kao i vremena biološke eliminacije u slučaju rastvorljivih čestica i nerastvorljivih prema TGLD. Ovako dobijeni opšti izrazi za absorbovane doze u m rem/h mogu se primeniti na stvarnim izmerenim koncentracijama radona i potomaka na odgovarajućim radnim mestima u raznim rudnicima metaličnih ruda sa radioaktivnim pojavama.

## UVOD

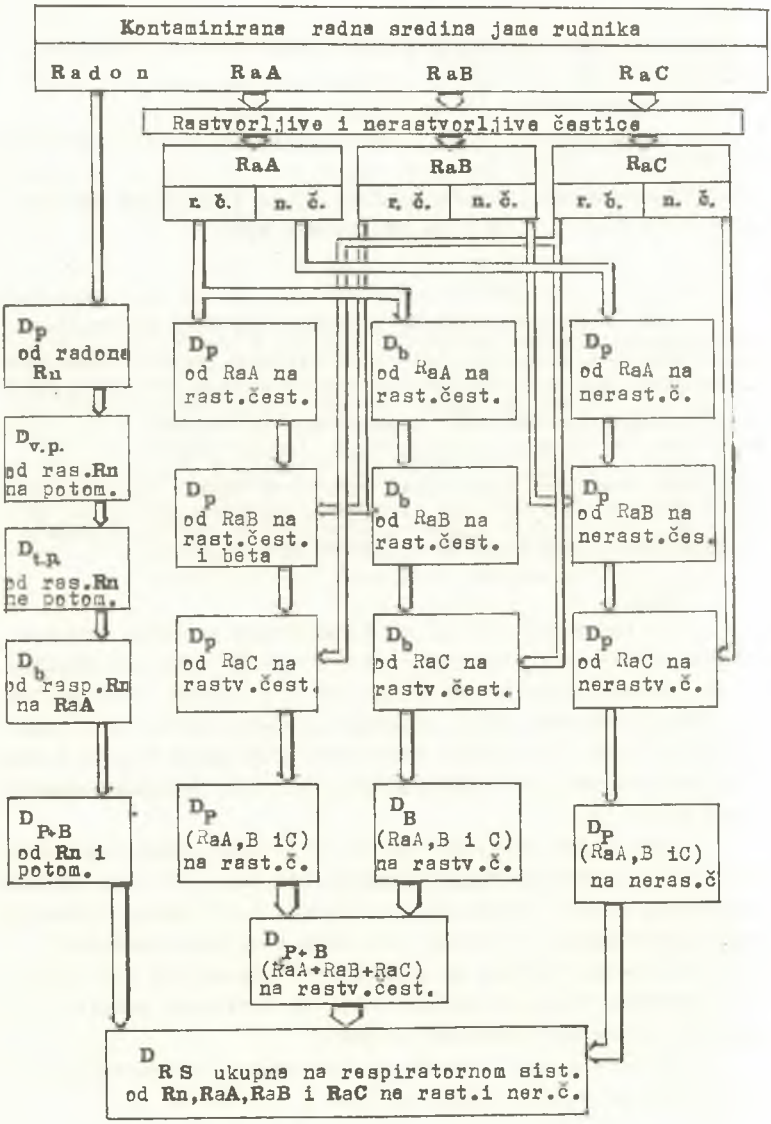
U literaturi u kojoj su diskutovani problemi procene absorbovanih doza na respiratornom sistemu radnika u rudnicima koji su izloženi inhalaciji radona 222 i potomaka ,postoje još uvek neusaglašenosti kako u pristupu procene ,načinu obračunavanja doza ,tako i u pogledu odabiranja kritičnog organa u respiratornom sistemu kao i izotopa koji najviše doprinosi absorbovanoj dozi (1).

Ovim radom nastojalo se da se postavi jedan sopstveni model postupka obračunavanja absorbovanih doza (2) koji obuhvata ozračenja pluća i bronhija i od radona i od svakog radonovog potomka pojedinačno,ozračenje i od alfa i od beta zračenja i slučaj depozicije čestica na plućima ili bronhijama bilo da se radi o rastvorljivim ili nerastvorljivim česticama prašine na kojima su deponovani radonovi potomci.

Na šemi 1 dat je model za postupak obračunavanja absorbovanih doza na respiratornom sistemu .

Sema 1

**Model** za postupak obračunavanja absorbovanih doza na respiratornom sistemu od inhalacije Rn i potomaka



1. Ozračenje respiratornog sistema inhalacijom radona 222

Ukupna absorbovana doza od udahnutog radona na respiratornom sistemu sastoji se od dela koji potiče od udisanja samog radona ($D_{Rn}$) koji se nalazi u radnoj atmosferi ,zatim od absorbovane doze u vazdušnom delu pluća od raspada udahnutog radona napotomke ($D_{pot.vz.p.}$) , na isti način u tkivu pluća ($D_{pot.t.}$) i u bronhijama od raspada radona na RaA u momentu udisanja.

U obračun se uvodi referentna koncentracija od 100 pCi/ po litru vazduha radona 222,koji raspadajući se daje $1,77 \times 10^6$ atoma. Energija radona je $E_\alpha = 5,48$ MeV. Težina pluća zdravog čoveka je We=1000 g , srednji sadržaj vazduha u plućima $V = 1250\ cm^3$ U obračun se uvode poznati odnosi 1 erg=$6,24 \times 10^5$ MeV ; 1 rep 93 erg/g mase i 1 rad 100 erg/g mase.

Raspad radona u plućima koncentracije 100 pCi/l daje za 1 čas $1,332 \times 10^4$ atoma RaA ,koji oslobadja potencijalnu alfa energiju raspadajući se do Pb 210 od 13,68 MeV .Srednja energija beta 0,89 MeV. Nastao RaA u bronhijalnom delu od udahnutog radona učestvuje trenutno u ozračenju bronhijalnog tkiva energijom $E_o = 6$ MeV , zapremine 130 $cm^3$( površina bronhija $2,19 \times 10^4 cm^2$ x dubina prodiranja alfa čestica $60 \times 10^{-4}$ cm ).

TAB. 1

Absorbovane doze na pojedinim organima respiratornog sistema od inhalacije radona koncentracija 100 pCi/l

| Mesto ozračenja u resp. sistemu | Vrsta zračenja | rad/h $\times 10^{-3}$ | rem/h $\times 10^{-3}$ | Procentualno učešće u ukupnoj dozi |
|---|---|---|---|---|
| PLUĆA (radon) | alfa | 0,001529 | 0,01529 | 11,95 % |
| Vazd.deo PLUĆA ,ras. radona-pot. | alfa<br>beta | 0,000627<br>0,000041<br>0,000668 | 0,006273<br>0,000041<br>0,006314 | 4,25 % |
| Tkivo PLUĆA ras.Rn-pot. | alfa<br>beta | 0,000893<br>0,000058<br>0,000951 | 0,008932<br>0,000058<br>0,008990 | 7,00 % |
| BRONHIJE ras.Rn-RaA | alfa | 0,009840 | 0,098400 | 76,80 % |
| | UKUPNO | 0,012988 | 0,128993 | 100,00 % |

2. Ozračenje respiratornog sistema inhalacijom radonovih potomaka RaA, RaB i RaC (RaC′)

Izraz za absorbovane doze na plućima od alfa i beta zračenja i na bronhijama od alfa zračenja u zavisnosti od dijametra čestica prašine na kojima su deponovani radonovi potomci bio bi u opštem obliku:

$$D = (A' \times A'') \times B \quad (rem/h)$$

U delu A′ nalaze se konstatne veličine i faktori zajednički za sve potomke , u delu A′′ promenljive veličine koje su svojstvene odgovarajućem potomku i veličina B koja se odnosi na stepen depozicije čestice prašine u zavisnosti od njenog dijametra za pluća $d_p$ i bronhije $d_b$ .

2.1. Slučaj rastvorljivih čestica prašine

a) Doza na plućima od potomaka radona , udeo od alfa zračenja

$$D_{p\alpha} = \left[\left(\frac{3{,}7\times10^{10}\times3{,}6\times10^{3}\times1{,}6\times10^{-6}\times RBE_{\alpha}\times1{,}25}{V\times\eta\times100}\right)\times\left(E\times\frac{Ai}{\lambda_i+\lambda_b}\right)\right]\times d_p \qquad / \text{rem /h} /$$

gde je : $3{,}7\times10^{10}$ (dez/s) ; $1{,}6\times10^{-6}$(erg/MeV) ; $3{,}6\times10^{3}$(s/h)

$RBE_{\alpha}=10$ , $RBE_{\beta}=1$ ; masa pluća $V=1000\ cm^3$ ; gustina tkiva pluća $\eta=(g/cm^3=1)$ ; 100 g/rad/erg ; E ukupna energija (MeV) potencijalna za RaA=13,68 : RaB=7,68 i RaC = 7,68 ; Ai koncentracija potomka u vazduhu u ($Ci/m^3$ ) : 1,25 $m^3/h$ (10$m^3$ udahnutog vazduha za 8 h) $\lambda i$ ($h^{-1}$) konst.rad.raspada potomaka ; $\lambda 2$ za RaA je 13,6417 $h^{-1}$ , $\lambda 3$ za RaB je 1,5514 , $\lambda 4$ za RaC je 2,1109 $h^{-1}$ , biološko vreme eliminacije je 30 minuta za pluća (3) $\lambda_b = 0{,}693/30' = 1{,}386\ h^{-1}$ .

b) Doza na plućima od potomaka radona ,udeo beta zrač.

$Dp_{\beta}$ slično kao $Dp_{\alpha}$ s tim što se u gornji izraz uvodi $RBE_{\beta}=1$ , $A_{\beta}$ koncentracija RaB i $E_{\beta}$ srednja energija beta zračenja 0,89 MeV .

Ovako obračunate absorbovane doze od svakog radonovog potomka na plućima za referentnu koncentraciju potomaka 100 pCi odn. $1000 \times 10^{-10}$ $Ci/m^3$ date su u TAB. 2

TAB. 2

Absorbovane doze na plućima

| Potomak Koncentracija Vrsta zračenja | Abs. doza ( rem/h) | Procentualni udeo u $D_P$ |
|---|---|---|
| RaA (100 pCi/l)alfa | $(2,2944 \times 10^{-3}) \times (d_p)$ | 15,10 % |
| RaB (100 pCi/l)alfa | $(6,9663 \times 10^{-3}) \times (d_p)$ | 45,86 % |
| RaC (100 pCi/l)alfa | $(5,8472 \times 10^{-3}) \times (d_p)$ | 38,50 % |
| RaB -beta zračenje | $(0,0807 \times 10^{-3}) \times (d_p)$ | 0,54 % |
| $D_P$ ukupna | $(15,1886 \times 10^{-3}) \times (d_p)$ | 100,00 % |

c) Doza na bronhijama od potomaka radona

Na bronhijama postoji ozračenje samo alfa zračenjem.

Obračunavanje absorbovanih doza je slično kao u slučaju ozračenja pluća alfa zračenjem . U obračun se uvodi $V_b$ zapremina ozračenja epitela bronhija 130 $cm^3$ , konstanta vremena biološke eliminacije je 10 minuta (3) tj. $\lambda_b = 0,693/10' = 4,1596\ h^{-1}$ i stepen depozicije čestica prašine na bronhijama zavisan od dijametra čestice $d_b$ . Ovako obračunate abs. doze na bronhijama od svakog radonovog potomka koncentracija po 100 pCi/l odn. $1000 \times 10^{-10} Ci/m^3$ u funkciji $d_b$ date su u TAB. 3.

TAB. 3

Absorbovane doze na bronhijama

| Potomak Koncentracija Vrsta zračenja | Abs. doza (rem/h) | Procentualni udeo u $D_B$ |
|---|---|---|
| RaA (100 pCi/l) alfa | $(15,7720 \times 10^{-3}) \times (d_b)$ | 23,00 % |
| RaB (100 pCi/l) alfa | $(27,5678 \times 10^{-3}) \times (d_b)$ | 40,30% |
| RaC (100 pCi/l) alfa | $(25,1085 \times 10^{-3}) \times (d_b)$ | 36,70 % |
| $D_B$ ukupna | $(68,4483 \times 10^{-3}) \times (d_b)$ | 100,00 % |

2.2. Slučaj nerastvorljivih čestica prašine

Absorbovane doze u ovom slučaju obračunavaju se samo za pluća budući da je biološka eliminacija nerastvorljivih čestica ista kao i za rastvorljive čestice 10 minuta (3). Eliminacija nerastvorljivih čestica iz pluća u limfni sistem je 1 godina dana (8640 časova) i to 15% ,takodje u krv 5% kao i u GIT(gastrointestinalni trakt) 40% ; što prestavlja za godinu dana ukupno 60% a preostalih 40% eliminiše se iz pluća u GIT

za 24 časa (3) . Na ovaj način obračunate absorbovane doze na plućima u opštem obliku za referentne koncentracije od 100 pCi/ po litru vazduha odn. $1000 \times 10^{-10}$ Ci/m$^3$ , date su u TAB. 4.

TAB.4

Absorbovane doze na plućima u slučaju nerastvorljivih čestica prašine na kojima su deponovani potomci

| $D_p = D_i \times d_p$ ( $\times 10^{-3}$ rem/h) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Potomci konc.100 pCi/l | Rastv. čestice T=0,5 h | Za nerastvorljive čestice | | |
| | | T=24 h | T= 8640h | T= 2880 h |
| RaA | 2,2944 | 2,6224 | 2,6294 | 2,6294 |
| RaB | 6,9663 | 12,9466 | 13,1956 | 13,1874 |
| RaC | 5,8472 | 9,5558 | 9,7145 | 9,6995 |
| beta | 0,0807 | 0,1498 | 0,1527 | 0,1526 |
| Ukupno | 15,1886 | 25,2746 | 25,6922 | 25,6689 |

Iz ovoda proizilazi da potomci deponovani na nerastvorljivim česticama prašine doprinose dozi na plućima oko 1,7 puta većoj dozi od potomaka deponovanih na rastvorljivim česticama prašine i da se obračun može pojednostaviti uvodjenjem uprošćenja da se sve nerastvorljive čestice eliminišu iz pluća za 120 dana odn. 2880 časova.

Kada se u opšte izraze za absorbovane doze od radona i potomaka umesto referentnih koncentracija od 100 pCi/l uvedu u obračun stvarne izmerene koncentracije u rudnicima i vrednosti za $d_p$ i $d_b$ dobijaju se odgovarajuće absorbovane doze.

Summary

IRRADIATION OF RESPIRATORY SYSTEM DUE TO INHALATION OF RADON 222 AND ITS DECAY PRODUCTS IN METALIC ORE MINES

There is presented the final settlement of absorbed doses in Resp.Systems of workers exposed to inhalation of Rn and its D.P. in the case on their deposition on soluble and insoluble particles of dust,particularly abs.doses originated by $\alpha$ and $\beta$ radiations,for referent conc.of Rn and its D.P.being 100 pCi/l.Degree of dust deposition in the lungs($d_p$)and bronchi $d_b$) are used as well as times of biologic elimination in the case of (in)soluble particles according to TGLD(ICRP).The gained general expressions for abs.doses may be applied with really measured conc.of Rn and its. D.P. for corresponding metallic ore mines with radioactive occurances,expresed in m rem/h.

(1) HAJDUKOVIĆ D.-Zbornik radova VI simp.Jug.dr.z.z.Ohrid(1972)

(2) HAJDUKOVIĆ D.-Doktorska disertacija,Rud.Fak.Univ.Bgd(1976)

(3) TGLD(ICRP),Health Physics,Vol.12:173-207(1966)

IX SIMPOZIJUM JUGOSLAVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V-3.VI. 1977.

Ing. M. Vrtar i Dr. I. Voskresensky

Zavod za kliničku onkologiju i radioterapiju Medicinskog fakulteta u Zagrebu.

# INTERSTICIJALNA RADIOTERAPIJA PERMANENTNIH IMPLANTANATA LINEARNIH RADIOAKTIVNIH $Ir^{192}$ IZVORA KOD TUMORA MOZGA I DOPRINOS DOZE NA OKO

Sažetak. Pri interstacijalnoj radioterapiji tumora mozga sa linearnim radioaktivnim $Ir^{192}$ u obliku Ir/Pt žice promjera 0,3 mm i aktiviteta od približno 3,5 mCi/cm razvijena je dozimetrija u slučaju permanentnih implantanata.Rezultati su matematički obradjeni primjenom teorije linearnog radioaktivnog izvora i eksperimentalno verificirani na fantomskom modelu glave vremenski konačnom iradijacijom L i F kristalnih dozimetara. Pokazuje se da je doprinos doze na oko ovisan o položaju linearnog izvora dužine reda veličine cm i da ne prelazi maksimalno dopuštenu dozu na leću oka.

Na Zavodu za kliničku onkologiju i radioterapiju,a u suradnji sa Neurokirurškom klinikom u Zagrebu, nakon fizikalnih proračuna doza zračenja na oko,kao i na susjedne regije mozga, došlo se do zaključka da se $Ir^{192}$ može primijeniti pri terapiji pojedinih tumora CNS-a.Nakon toga pristupilo se implantaciji tog izotopa metodom stereotaksije.

Neki tumori mozga koji su radiosenzitivni,a nemaju izraženi infiltrativni rast u okolinu, pogodni su za tretman radioaktivnim $Ir^{192}$ izvorom, koji se u obliku linearnog izvora forme tanke

žice implantira u tumor i time omogućava apsorbiranje odredjene doze u vremenskom intervalu. Za razliku od drugih mjesta primjene u ljudskom tijelu, u slučaju zračenja mozga specijalnu poteškoću čine vremenski definirana implantacija kod koje izvor nakon izvjesnog vremena već u ovisnosti o odredjenoj dozi, treba izvaditi. Upravo ti argumenti navode na pomisao o izvodjenju permanentne implantacije odredjenog aktiviteta $Ir^{192}$ , s time da ukupna doza ne smije prekoračiti onu kritičnu, koja je ograničena maksimalnom tolerantnošću pojedinih organa u blizini izvora kao na pr. oka.

Pri proračunu doze uzeli smo pretpostavku da je zbog malenog promjera izvora ( 0,3 mm) i udaljenosti na kojoj računamo dozu ( dakle približno reda veličine 10 cm ) auto-apsorpcija može biti zanemarena. U slučaju kad bi i te efekte uzeli u obzir ukupna bi se doza smanjila, dakle proračun je izvršen za eventualne najnepovoljnije uvjete.

Doza nakon beskonačno dugog vremena koja se apsorbirala ( u praksi to znači nakon približno 6,6 vremena poluraspada kada se apsorbira gotovo 99% doze ), može se proračunati slijedećim izrazom

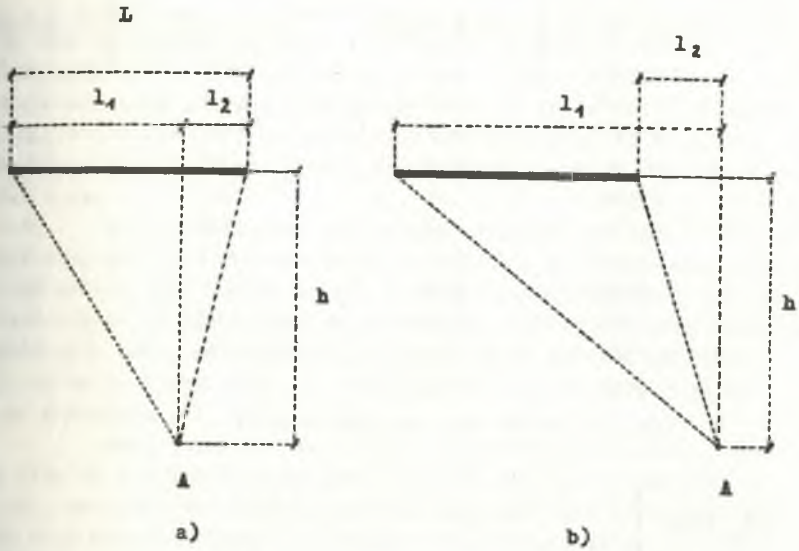
$$D_\infty = \frac{C\ A\ T_{ef}}{L\ h} \left( \operatorname{arc\,tg} \frac{l_1}{h} \pm \operatorname{arc\,tg} \frac{l_2}{h} \right)$$

Ovdje se veličine $l_1$ , $l_2$ , L , h , koje definiraju koordinate točke A u kojoj se računa doza, mogu vidjeti iz grafikona 1a i b, već prema položaju točke A, što je vidljivo iz a) ili b) slučaja, uzima se u gornjoj relaciji + ili - predznak. Ostale veličine su

C = 4.59 ( rad $cm^2$/ mCi sat ) ——— specifična gama konstanta $Ir^{192}$ u vodi

A ( mCi ) ——— aktivitet u početku implantacije

$T_{ef}$ = T/ln 2 = 107.337 · 24 (sat) ——— Efektivno vrijeme raspada za $Ir^{192}$




Grafikon 1 a) i b)

Apsorbirana doza $D_\infty$ ovisi bitno o udaljenosti h tj. maksimalna je u smjeru okomitom na linearni izvor. Pokazuje se da doze u onim položajima točke A koje su definirane u grafikonu 1 b) uvijek imadu manju vrijednost u odnosu na položaje u grafikonu 1 a) za istu udaljenost h. To znači da je dovoljno odrediti $D_\infty$ u slučaju $l_1 = l_2$ u točkama koje leže na pravcu okomitom na smjer izvora (1).

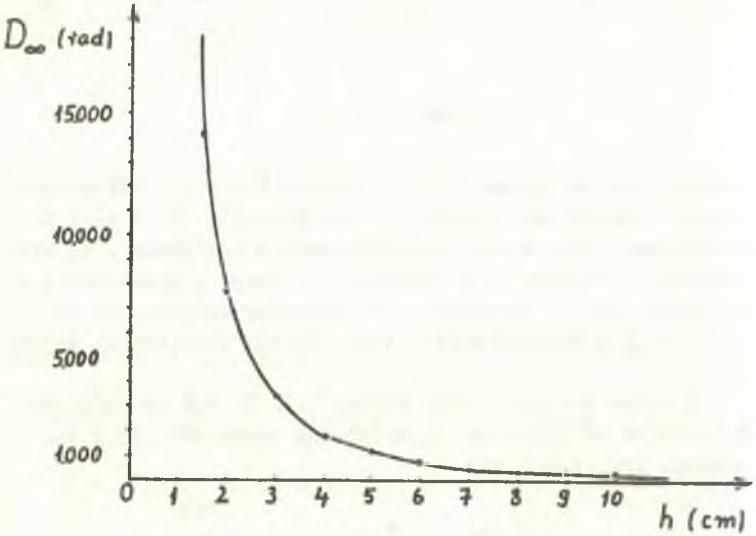
U našem slučaju dužina izvora bila je 0,8 cm sa ukupnim aktivitetom od 2.752 mCi pa primjenom spomenute jednadžbe na konkretan slučaj slijedi

$$D_\infty = 8.135042 \cdot 10^4 \frac{l}{h} \text{ arc tg } \frac{0.4}{h}$$

Dobiva se slijedeća tabela ovisnosti doze o udaljenosti

| D ( rad ) | h ( cm ) | D ( rad ) | h ( cm ) |
|---|---|---|---|
| 109780 | 0.5 | 2027 | 4.0 |
| 79724 | 0.6 | 1603 | 4.5 |
| 60333 | 0.7 | 1299 | 5.0 |
| 47147 | 0.8 | 903 | 6.0 |
| 37803 | 0.9 | 663 | 7.0 |
| 30954 | 1.0 | 508 | 8.0 |
| 14133 | 1.5 | 401 | 9.0 |
| 8029 | 2.0 | 325 | 10.0 |
| 5163 | 2.5 | 269 | 11.0 |
| 3594 | 3.0 | 226 | 12.0 |
| 2645 | 3.5 | | |

Grafički se to vidi na grafikonu 2.




Grafikon 2

Naravno apsorbirana doza u neposrednoj blizini izvora vrlo je visoka, a u udaljenosti od približno 2 cm iznosi oko 8000 rada, što je sigurno dovoljno i za tumore promjera 3-4 cm ( 1, 2 ). Istovremeno doza u udaljenosti od 10 cm iznosi 325 rada tj. u udaljenosti gdje se otprilike nalazi oko. To se dešava u najnepovoljnijem slučaju kada je izvor tako postavljen da je to upravo maksimalna doza na leću. U svim drugim slučajevima $D_\infty$ je manja od te doze.

Na taj način postaje jasno da unatoč osnovnoj svrsi radioterapije koja je prvenstveno ciljana na ležište tumora gdje se implantira iridijumski izvor, izvjesno ograničenje totalne doze uvjetovano je isključivo tolerantnošću osjetljivih struktura oka odnosno leće. Ta restrikcija odnosi se na početni aktivitet koji ne smije prekoračiti one vrijednosti koje bi dale dozu veću od dopustive ( 3, 4 ).

Naši bolesnici su implantaciju dobro podnijeli, a nakon više od 3 godine iza aplikacije, nije se pojavila katarakta na oku. Smatramo ovu metodu liječenja korisnom kod onih slučajeva kada nije moguća radikalna operacija zbog lokalizacije procesa ili njegove opsežnosti.

## S U M M A R Y

The dosimetry for permanental interstitial radiotherapy of Brain tumour with $Ir^{192}$ linear source was established, by use of a mathematich model which describes the radiation field. The $\gamma$-ray source is not extracted after the implantation and the absorbed dose after enough long time ( it means in infinity time ) is sufficient to treat the tumour not more than 3 cm extended. The treatment is justified because the eventually risk of radioinduced damages of eye lens for example, can be neglected with respect to the clinical situation.

# L I T E R A T U R A

1. DEIZANNO, L., REDAELLI, G. B. i TOSI, G.: Mathematical Models and Analogic Dosimetry on Phantom in the Interstitial Radiotherapy of Brain Tumours with "Gamma-Med". Acta Neurochirurgica, Suppl. 21, 253. 1974.
2. TUBIANA, M., DUTREIX, J., DUTREIX, A. i JOCKEY, P.: Bases physiques de la radiotherapie et de la radiobiologie. Izdavač: Masson et Cie ( Paris ). 1963.
3. MUNDINGER, F. : Erfahrungen mit der interstitiellen Brachytherapie mit $Ir^{192}$ "Gamma Med" bei infiltrierenden Hirntumoren. Kongress der Deutschen Röntgengesellschaft, 6. bis 8. Juni 1968, Hamburg. Fortschr. Röntgenstr. 110, 244. 1969.
4. MUNDINGER, F. i METZEL, E.: Interstitial radioisotope therapy of intractable diencephalic tumours by the stereotaxic permanent implantation of $Iridium^{192}$, including bioptic control. Confin. Neurol. 32, 195, 1970.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.VI 1977.

Ž. Ubović, I. Mirić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, Beograd
OOUR Laboratorija za medicinsku zaštitu,
OOUR Laboratorija za zaštitu od zračenja

# ANALIZA INDUKOVANE AKTIVNOSTI KRVI OZRAČENIH OSOBA U NUKLEARNOM AKCIDENTU

## REZIME

Merenje radioaktivnosti $^{24}$Na u krvi predstavlja jednu od metoda za odredjivanje apsorbovane doze neutrona akcidentalno ozračenih osoba.

U radu je teorijski odredjen doprinos pojedinih radioizotopa na ukupnu aktivnost krvi i konstatovano je da Br-80, Cl-38 i K-42 mogu da utiču na izmerenu vrednost aktivnosti Na-24. Eksperimentalno je odredjen uticaj ovih radioizotopa na aktivnost krvi i konstatovano da kratkoživeći radioizotopi imaju osetan uticaj na izmerenu aktivnost Na-24 u periodu 5-6h posle ozračivanja. Uticaj K-42 je manji od 5%, ako se radioaktivnost krvi odredjuje merenjem gama aktivnosti sa pragom detekcije iznad 0.5 MeV.

## U V O D

Jedna od najčešće primenjivanih metoda za procenu apsorbovane doze neutrona u toku akcidenta na nuklearnim postrojenjima zasniva se na merenju indukovane aktivnosti $^{24}$Na u telu ozračene osobe [1,2,3]. Metoda polazi od činjenice da je natrijum relativno ravnomerno rasporedjen u telu, da cirkulacijom krv dolazi do njegovog potpunog mešanja u toku kratkog vremenskog perioda i da čovečje telo termalizuje i apsorbuje neutrone u širokom energetskom opsegu. Odredjivanje aktivnosti $^{24}$Na vrši se merenjem njegove aktivnosti pomoću uredjaja za merenje radioaktivnosti celog tela, "whole body counter"-a [4,5] ili merenjem aktivnosti krvi [6,7].

Humana krv predstavlja složeni sistem koji sadrži veći broj hemijskih elemenata. Zbog toga je za precizno odredjivanje indukovane aktivnosti $^{24}$Na potrebno poznavati uticaj pra-

tećih aktivnosti u ozračenoj krvi, koje nastaju reakcijama sa termalnim i intermedijarnim neutronima.

U ovom radu je za standardnog čoveka teorijski odredjen doprinos pojedinih radioizotopa na ukupnu aktivnost krvi. Dobijeni rezultati su eksperimentalno provereni aktivacionom metodom.

Aktivacija krvi standardnog čoveka

Za teorijsko odredjivanje doprinosa pojedinih radioizotopa u ozračenoj humanoj krvi korišćeni su podaci koji se odnose na standardnog čoveka. Prema ICRP [8] krv se sastoji od 48 hemijskih elemenata. Za sve elemente su analizirane moguće aktivacije sa termalnim i intermedijarnim neutronima i odredjen je doprinos pojedinih radioizotopa na ukupnu aktivnost krvi [9]. Pri tome se pošlo od pretpostavke, uobičajene u akcidentalnoj dozimetriji, da je došlo do relativno kratkotrajnog ozračivanja, te da se aktivnost pojedinih radioizotopa može odrediti pomoću jednačine

$$A_i = N_i \sigma_i \lambda_i \phi \quad \text{odnosno} \quad A_i = N_i R I \lambda_i \Theta$$

gde je $A_i$ - aktivnost datog elementa (raspad.$s^{-1}$.$g^{-1}$); $N_i$ - broj atoma datog elementa (atom.$g^{-1}$); $\sigma_i$ - efekasni presek za reakciju sa termalnim neutronima ($cm^2$); $\lambda_i$ - radioaktivna konstanta nastalog radioelementa ($s^{-1}$); $\phi$ - protok termalnih neutrona (n.$cm^{-2}$);

Tabela 1 - Radioizotopi nastali aktivnošću krvi

| Nuklid | Izotop | T1/2 h | $A^{+}_{1}$th % | $A^{++}_{2}$th % | $A^{+}_{1}$int % | $A^{++}_{2}$int % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{27}Al$ | $^{28}Al$ | 0,038 | 0,48 | - | 0,65 | - |
| $^{23}Na$ | $^{24}Na$ | 14,96 | 17,32 | 89,79 | 18,90 | 84,24 |
| $^{55}Mn$ | $^{56}Mn$ | 2,58 | - | - | 0,03 | 0,04 |
| $^{79}Br$ | $^{80}Br$ | 0,293 | 5,35 | - | 14,67 | - |
| $^{81}Br$ | $^{82}Br$ | 35,34 | - | - | 0,48 | 0,24 |
| $^{37}Cl$ | $^{38}Cl$ | 0,621 | 74,94 | 1,87 | 59,39 | 1,19 |
| $^{63}Cu$ | $^{64}Cu$ | 12,80 | 0,02 | 0,12 | 0,05 | 0,21 |
| $^{26}Mg$ | $^{27}Mg$ | 0,158 | 0,19 | - | 0,39 | - |
| $^{41}K$ | $^{42}K$ | 12,36 | 1,67 | 8,22 | 3,31 | 14,08 |
| $^{87}Rb$ | $^{88}Rb$ | 0,297 | - | - | 0,74 | - |
| $^{80}Se$ | $^{81}Se$ | 0,310 | - | - | 0,06 | - |
| $^{50}Ti$ | $^{51}Ti$ | 0,096 | - | - | 0,02 | - |
| $^{127}J$ | $^{128}J$ | 0,416 | 0,03 | - | 1,31 | - |

RI - rezonantni integral za intermedijarne neutrone ($cm^2$)θ - protok intermedijarnih neutrona po jedinici letargije ($n.cm^{-2}$).

U Tabeli 1 su prikazani rezultati dobijeni za one elemente kod kojih je indukovana aktivnost nastalih radioizotopa veća od 0.01% od ukupne aktivnosti ozračene humane krvi. $Ath^+$ i $Aint^+$ označavaju relativnu aktivnost nastalu termalnim (th), odnosno intermedijarnim (int) neutronima u nultom vremenu od ozračivanja. $Ath^{++}$i $Aint^{++}$ označavaju odgovarajuće aktivnosti 5 časova posle ozračivanja. Kao što se iz tabele 1 vidi, neposredno posle ozračivanja glavni deo aktivnosti će poticati od $^{38}Cl$ nastalog $^{37}Cl(n,\gamma)$ reakcijom, a osetan uticaj treba da imaju $^{24}Na$, $^{80}Br$ i $^{42}K$ nastali $^{23}Na(n,\gamma)$, $^{79}Br(n,\gamma)$ odnosno $^{41}K(n,\gamma)$ reakcijama sa termalnim i intermedijarnim neutronima.

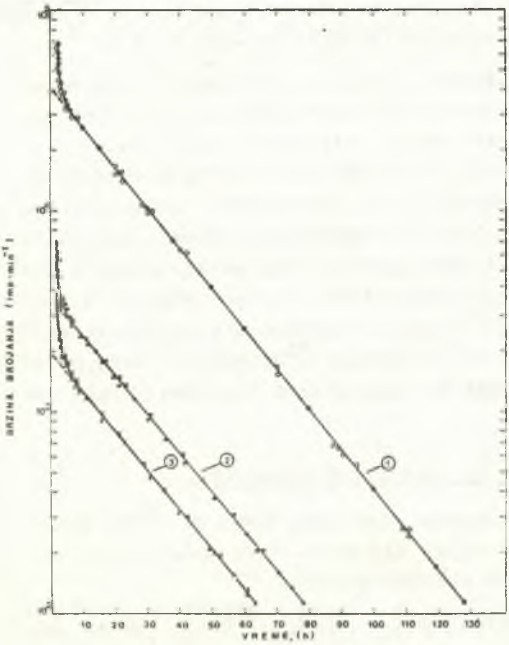
Uticaj $^{38}Ci$ i $^{42}K$ na ukupnu aktivnost krvi

$^{38}Cl$ i $^{80}Br$ imaju znatno kraći poluživot od $^{24}Na$, tako da se njihov doprinos na ukupnu aktivnost krvi može eliminisati odležavanjem uzorka pre početka merenja.

Eksperimentalno odredjivanje uticaja $^{38}Cl$ i $^{80}Br$ na ukupnu aktivnost humane krvi izvršeno je aktivacionom metodom. Uzorci krvi su preparirani litijum heparinom radi sprečavanja koagulacije (7) i ozračeni poznatim fluksom termalnih odnosno intermedijarnih neutrona koji se dobijaju na termalnoj koloni i na izlazu iz kanala VK-5 reaktora RA u Vinči.

Krive brzine brojanja gama zračenja u funkciji vremena za krv ozračenu termalnim, intermedijarnim i smešom termalnih i intermedijarnih neutrona (slika 1) pokazuju da je u periodu 5-6 h od ozračivanja uticaj $^{38}Cl$ i $^{80}Br$ značajan, a da posle toga glavni deo gama aktivnosti potiče od izotopa sa $T_{1/2} \approx 15$ h. Ovaj podatak je u saglasnosti sa pretpostavkom da će u tom periodu glavni deo gama aktivnosti humane krvi poticati od $^{24}Na$, ali se unapred ne može isključiti izvesan uticaj $^{42}K$.

Odredjivanje aktivnosti $^{42}K$ u prisustvu $^{24}Na$ nije lako realizovati ako se merenje aktivnosti uzoraka vrši NaI(Tl) kristalom, (Ge-Li ima malu efikasnost za ovu namenu); $^{42}K$ emituje gama zračenje energije 1.524 MeV i ima poluživot 12.36 h, dok su odgovarajuće vrednosti za $^{24}Na$ 1.369 MeV i 14.96 h. Zbog




Sl.1. Radioaktivni raspad krvi ozračene neutronima 1 - termalnim + intermed, 2 - - termalnim, 3 - intermed.

toga je za odredjivanje doprinosa $^{42}K$ na ukupnu aktivnost krvi razvijena metoda koja se zasniva na razlici maksimalnih beta energija ova dva izotopa.

$^{42}K$ i $^{24}Na$ emituju beta zračenje maksimalnih energija 3.52 MeV(82%) odnosno 1.389 NeV(100%). Apsorpcione krive za beskonačno debele uzorke krvi kontaminirane navedenim izotopima se znatno razlikuju i imaju oblik prikazan na slici 2 (podaci se odnose na uzorke merene u geometriji odredjenog prostornog ugla pomoću zvonastog GM brojača). Ako se aktivnost uzorka ozračene humane krvi izmeri ispod Al - filtara različitih debljina, izmereni broj impulsa $N_i$(imp/min) može da se izrazi jednačinom

$$N_i = a_i N_{Na} + b_i N_K; \quad i = 1,2,3 \ldots (2)$$

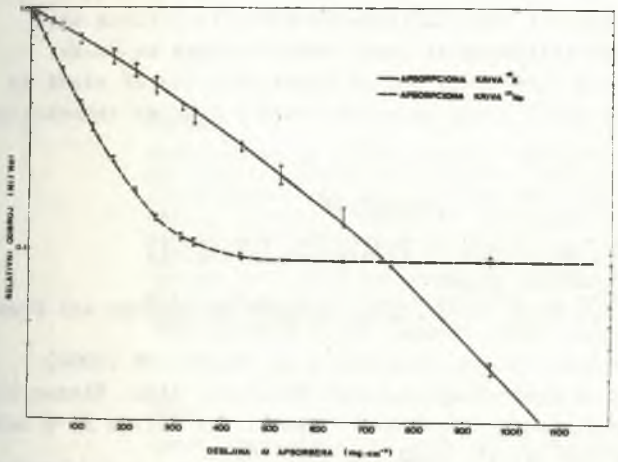
$N_{Na}$(imp/min) i $N_K$(imp/min) su doprinosi $^{24}Na$ odnosno $^{42}K$ ukupnoj beta aktivnosti humane krvi izmerene bez Al-apsorbera; $a_i$ i $b_i$ su faktori koji definišu apsorpciju beta zračenja $^{24}Na$ odnosno $^{42}K$ u korišćenom Al-filtru. Njihove brojne vrednosti su date na slici 2.

Iz jednačine 2 sledi da se $N_{Na}$ i $N_K$ vrednosti mogu odrediti merenjem uzoraka humane krvi ispod dva Al-filtra različite debljine. Odgovarajuće aktivnosti u dez/sek po ml krvi se dobijaju baždarenjem brojača referentnim izvorima.

Opisana metoda je primenjena za eksperimentalno odredjivanje doprinosa $^{42}K$ u humanoj krvi ozračenoj termalnim i

intermedijarnim neutronima. Za ova ispitivanja korišćeno je 60 uzoraka od po 3 ml krvi prethodno prepariranih litijum heparinom. Prilikom merenja aktivnosti, krv se nalazila u čančićima prečnika 20 mm, formirajući beskonačno debele uzorke.

Na termalnoj koloni reaktora ozračeno je 50 uzoraka krvi. Rezultati merenja su pokazali da je $N_k = 0,25N_{Na}$ imp/min odnosno $A_k = 0,13A_{Na}$ dez/sek po ml krvi. Zbog uslova ozračivanja iznad kanala VK-5 reaktora RA fluksom intermedijarnih neutrona ozračen je mali broj uzoraka krvi (10 uzoraka).



Sl.2 Apsorpcione krive za $^{42}K$ i $^{24}Na$

Uslovi ozračivanja i mala statistika su prouzrokovali da se u ovom slučaju dobijeni znatno nepreciziniji rezultati, ali su ukazali na postojenje sledećih relacija

$N_K \sim 0.46N_{Na}$ imp/min odnosno $A_K \sim 0.24\ A_{Na}$ dez/sek po ml krvi

Analiza rezultata dobijenih ozračivanjem uzoraka krvi termalnim neutronima je pokazala da koeficijent varijacije za izmerene aktivnosti $A_{Na}$ iznasi 5%, a za izmerene aktivnosti $A_K$ 11%.

S obzirom da $^{42}K$ emituje gama zračenje energije $E_\gamma$ =1.524 MeV sa prinosom 18%, može se zaključiti da gama aktivnost $^{42}K$ iznosi 2.3% ili 4.3% od aktivnosti $^{24}Na$, zavisno od toga da li je do aktivacije došlo termalnim ili intermedijarnim neutronima.

## ZAKLJUČAK

Rezultati ovog rada su pokazali da je uticaj pratećih radioizotopa na izmerenu aktivnost $^{24}$Na manji od 5%, ako se merenje gama aktivnosti humane krvi vrši pomoću kristala NaI(Tl), 5-6 h posle ozračivanja.


BLOOD ACTIVITY ANALYSIS FOR PERSONS IRRADIATED IN NUCLEAR ACCIDENTS -

- Blood activation with thermal and intermediate energy neutrons was analysed. It has been shown that Cl-38, Br-80 and K-42 can influence Na-24 activity measurements.

Experimental verifications of the calculations have shown that the influence of other radioisotopes on Na-24 measurements is lower than 5%, if gamma activity of blood is measured with NaI(Tl) crystals, at least 6 h after irradiation.


## REFERENCE


1. Hurst G.S., et al Health Physics 5, 179 (1961)
2. Smith J.W. AERE - R3697
3. Dennis J.A., Proc. Conf. Biol. Effects on Neutron and Proton Irradiations, IAEA, Vienna, Vol.I.(1964), 167
4. Ballinger E.R., et al. Nucleonics 20, No.10, 76 (1962)
5. Directory on Whole-Body Radioact Monitors, IAEA, Vienna,1970
6. The Vinča Dosimetry Experiment, Techn. Rep.Series No 6 IAEA(1962)
7. Delafield H.J. et al. AERE - R7486 (1973)
8. ICRP Publication 23, Pergamon Press, London, 1974, 290
9. Ubović Ž., et al. Metrologija 2-3, 11 (1976)

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce,31.V.-3.VI.1977.

# OPTIMIZACIJA MEŠANIH KRITERIJUMA KOD PRIPREMA BARITNIH MALTERA ZA EFIKASNU ZAŠTITU OD X - ZRAČENJA ISPOD 400 keV

JOKSIMOVIĆ R.V.
INSTITUT ZAŠTITE NA RADU-NIŠ

Rezime

Optimiziran je metod zaštite mešanim kriterijumi ma specifično orijentisanim na zaštitu od X- zra čenja ispod 400 keV baritnim malterom.Ispitan je uticaj gradacije agregata i proporcija mešanja na gustinu baritnog maltera kao i odnosa cement/ agregat sa odgovarajućim vodocementnim faktorom. Opisat je način pripremanja uzoraka i spravlja nja efikasnih baritnih maltera za zaštitu od X - zračenja ispod 400 keV.

## UVOD

Osnov projektovanja zaštite od X-zračenja leži u pravilnom izboru materijala od kojih se gradi zaštita. Pri iz boru, glavni kriterijum je fizički proces slabljenja X-zračenja kao i drugi parametri vezani za projektovanje. Fizički proces slabljenja radijacije je osnovni kriterijum i kod izbora barit nog maltera, dok su ostali kriterijumi znatno blaži, jer malter nije nosač.

Prema pomenutim kriterijumima materijal za zašti tu od X-zračenja mora da sadrži teške agregate. Baritni malter je odličan zaštitni materijal na energijama ispod 400 keV zbog toga što se u njemu lako mogu ugraditi teški agregati i na taj način dobiti potrebna gustina kao i što mu se sastav može lako menjati i tako se zadovoljiti različiti zahtevi.

Primarni cilj kontrolisanja parametara mešanim kriterijumima jeste da se dobije maksimalna gustina. Količina

vode koja se meša da se malter učini obradivim uvek se javlja u višku nego što je potrebno za hidraciju cementa. Taj višak vode potiskuje teške agregate i na taj način značajno smanjuje gustinu baritnog maltera. Pravilnim proporcionisanjem i kontrolisanom gradacijom količina vode koja se dodaje može se zadržati na minimum i na taj način povećati gustina. Količina vode koja je u našem slučaju bila potrebna da se malter učini obradivim, delimično se kontrolisala količinom cementa, a delimično finoćom gradacije agregata. Ukoliko je smeša posnija, potrebno je manje vode za njeno stanje obradivosti; grublja gradacija zahteva manju količinu vode. Ova dva aksioma se ne slažu. Posnija mešavina zahteva finiju gradaciju da se održi obradivost. Idealna mešavina za maksimalnu gustinu je ona koja sadrži manje cementa, a gradacija agregata je gruba do te mere da omogućava normalnu obradivost.

Numerička analiza /1/ kojom se procenjuje gradacija stavlja glavni akcenat na raspodelu veličine agregata. Mako dve gradacije sa istim modulusom finoće zahtevaju približno istu količinu vode. Maksimalno dozvoljeni modulus finoće je funkcija maksimalne veličine agregata.

## EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Baritna ruda dobijena je iz rudnika "Bosna-Barit" iz V.Kladuše. Sastojala se od "belog" i "žutog" barita. Za vezivo je korišćen cement PC-350.

Agregati su prvo zdrobljeni, a zatim električnim vibratorom klasifikovani kroz sita: o,1; o,2; o,3; o,4; o,75; o,8; 1,o; 2,o; 3,o; 4,o; 10,o; 20,o i 30,o mm tako da ih je naknadno bilo moguće kombinovati u odgovarajućim proporcijama. Agregat je sušen u suvoj atmosferi što je omogućilo da se prilikom vibriranja oslobodi prašine.

Uzorci su pripremljeni u tri grupe. Prva grupa spravljena je u četiri serije i to od agregata iste veličine po seriji ali različitih težinskih procenata $BaSO_4$ agregata.

Primarni cilj bio je ne da se meri slabljenje X-zračenja na uzorcima prve grupe, već da se utvrdi rasejavanje X-zračenja, zavisno od gradacije agregata kao i od procenta težine $BaSO_4$, odnosno gustine. Granulacija po serijama ove grupe bila je o,75; 1,oo i 3,oo mm, a težinski procenat $BaSO_4$ kretao

se od 10 do 70 % $BaSO_4$ s razlikom od 10.

Na uzorcima ove grupe nije se moglo ustanoviti kako veličina agregata i procenat $BaSO_4$ utiču na rasejavanje X-zračenja. Zbog toga je napravljeno još 40 uzoraka čija se veličina zrna kretala od 25 do 350 mikrona, s ciljem da se preciznijim merenjima utvrdi uticaj veličine agregata na rasejavanje X-zračenja i stvaranje fluorescentne radijacije. Rezultati merenja dati su u /2/.

Uzorci II i III grupe napravljeni su prema sledećim proporcijama:

| II grupa | | | | III grupa | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % | 40 | od 4,0 | mm | % | 50 | od 10,0 | mm |
| % | 30 | " 3,0 | " | % | 20 | " 4,0 | " |
| % | 15 | " 2,0 | " | % | 15 | " 3,0 | " |
| % | 5 | " 0,8 | " | % | 10 | " 2,0 | " |
| % | 5 | " 0,4 | " | % | 5 | " 1,0 | " |
| % | 5 | " 0,2 | " | | | | |

Pošto je gustina baritnog maltera od primarne važnosti za zaštitu od X-zračenja, to pravilno proporcionisanje i gradiranje agregata zahteva posebnu pažnju. Oslobadjanjem agregata od prašine i pravilnim proporcionisanjem kod uzoraka grupe III postignuta je visoka gustina baritnog maltera.

Tabela 1 prikazuje težinski % $BaSO_4$, gustinu, granulaciju i površinu uzoraka II i III grupe.

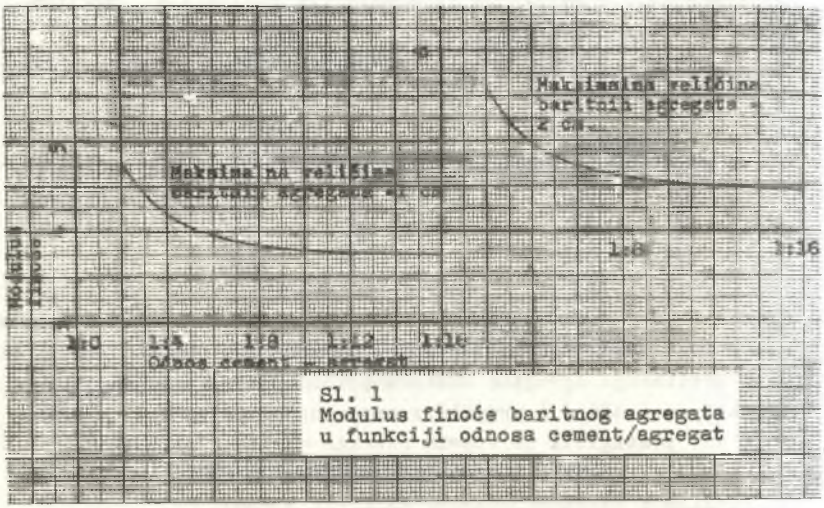
Tabela br. 1

| % $BaSO_4$ težins. | Kom. | Granulacija (mm) | Gustina ($g/cm^3$) | Površina ($cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| | | Grupa II | | |
| % 50 | 15 | 0,2 - 4,0 | 2,760 | 400 |
| % 60 | 15 | 0,2 - 4,0 | 2,943 | 400 |
| % 70 | 15 | 0,2 - 4,0 | 3,236 | 400 |
| | | Grupa III | | |
| % 60 | 15 | 1,0 -10,0 | 4,047 | 2500 |

Specifična gravitacija $BaSO_4$ agregata iznosila je 4,72. Dobijene gustine su korigovane zbog vazdušnih šuplji na koje su procenjene u malteru na 3%, dok na osnovu ranije uspostavljenih težinskih odnosa, izračunati sadržaj vode prehidracije iznosio je 9,56%. Količina hidratisane vode posle 35 dana iznosila je 12,5% težine cementa. Konačne gustine uzoraka

II i III grupe date su sa procenom sadržaja vode od 11,2%.Greš ke merenja procenjene su na ± 6,7%.

Rezultati proučavanja uticaja gradacije dati su u Sl. 1 koja prikazuje maksimalni modulus finoće baritnih agre gata u funkciji zapremine odnosa cement/agregat.



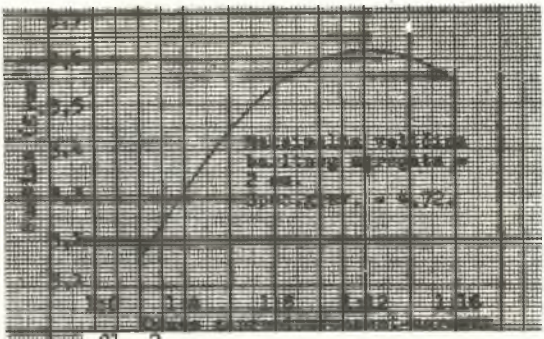

Sl. 1
Modulus finoće baritnog agregata
u funkciji odnosa cement/agregat

Sl. 2 prikazuje gustinu baritnog maltera u funk ciji odnosa cement/agregat.Veličina agregata iznosila je 2 cm. Sa ovog dijagrama se vidi da se maksimalna gustina baritnog maltera dobija od 3,62 g/cm$^3$ za veličinu agregata od 2 cm i od nosa cement/agregat od 1:12. Dalje se zapaža da ukoliko se od nos cement/agregat povećava, gustina počinje da opada.

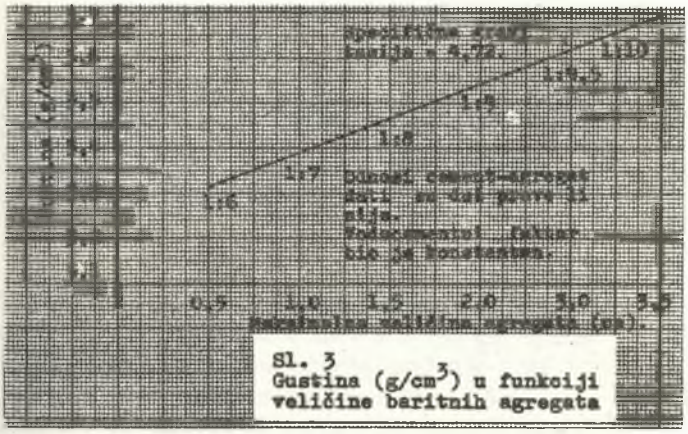
Efekat maksimalne veličine baritnog agregata na gustinu maltera prikazat je u Sl. 3, odakle proizilazi da se gustina znatno povećava kad se povećava veličina ugradjenih ba ritnih agregata.

Maksimalna veličina agregata koja je upotreblje na eksperimentalno iznosila je 3,5 cm.

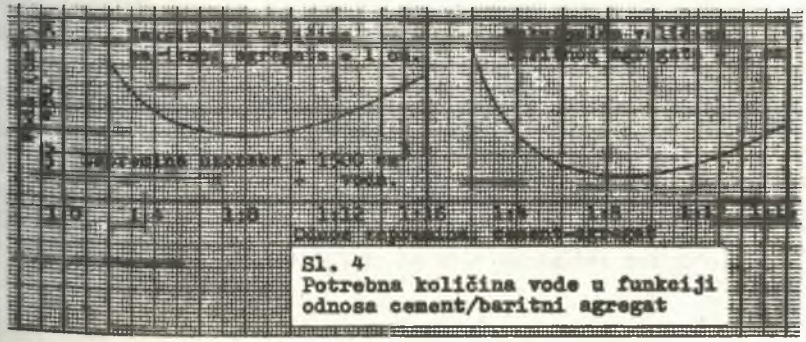
Iz Sl. 2 se zaključuje da se maksimalna gustina u funkciji odnosa cement/agregat može dobiti od 3,6 g/cm$^3$ za agregate maksimalne veličine od 2 cm, dok iz Sl. 3 maksimalna gustina se dobija od 3,7 g/cm$^3$ za agregate veličine 3,5 cm.



Sl. 2
Gustina baritnog maltera u funkciji odnosa cement/baritni agregat



Sl. 3
Gustina ($g/cm^3$) u funkciji veličine baritnih agregata



Sl. 4
Potrebna količina vode u funkciji odnosa cement/baritni agregat

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA
ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.god.

Križanović D., Panov D.

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

# PACIJENTNA DOZA PRI RENDGENOGRAFSKIM PREGLEDIMA

## Rezime

U radu se iznose rezultati merenja ekspozicije pacijenata pri rendgenografskoj dijagnostici na dva tipa aparata "Selenos-4" i "Moravi".

Ispitivanja su pokazala da se pacijentna doza pri snimanju na "Selenos-u" kreće od 10 do 730 mR a pri snimanju na "Moravi" od 180 do 5.200 mR.

## Uvod

Naučni komitet Ujedinjenih nacija objavio je izveštaj 1956 godine (1) da je medicinska upotreba rendgen aparata najmasovniji veštački izvor jonizujućih zračenja i da 80 do 90 % celokupne doze ozračenja stanovništva dolazi od primene X zračenja u dijagnostičke svrhe (2). Broj dijagnostičkih rendgen-aparata u medicini se iz godine u godinu sve više povećava, te Komitet stručnjaka za zaštitu od zračenja (3) procenjuje da godišnji porast rendgen dijagnostičkih pregleda iznosi 10-15 % u razvijenim zemljama. Na povećanje ovih pregleda utiče više faktora od kojih su najvažniji, poboljšanje ekonomskih prilika zemlje, razvoj zdravstvene službe i saznanje vrednosti upotrebe izvora jonizujućih zračenja u dijagnostici i terapiji.

Danas se savremena medicina ne može zamisliti bez pri-

mene jonizujućih zračenja u cilju dijagnostike ili lečenja. Pri ovakvim ispitivanjima pacijent je izložen dejstvu jonizujućih zračenja a samim tim i riziku od nepovoljnog efekta ovog zračenja.

Na osnovu rezultata brojnih istraživača (4,5,6) utvrdjeno je da jonizujuća zračenja predstavljaju značajan faktor u nastajanju somatsko-genetskih promena na živim bićima. Jedan od bitnih zaključaka ovih istraživanja jeste da svaka doza jonizujućih zračenja, može da izazove mutacije u nivou genetskog materijala.Ispitivanja su pokazala (3) da doza zračenja koja udvojava negativne mutacije iznad učestalosti spontanih mutacija iznosi od 10-100 rada (7). Iz ovih razloga danas se smatra da je gonadna značajna doza za stanovništvo 5 rema za 30 godina (8).

## Metod i materijal

Ispitivanja su izvršena na dva tipa rendgen aparata "Selenos-4" i "Morava" pri različitim vrstama rendgenskih pregleda. Merenja su vršena Victoreen jonizacionim komorama. Na "Selenos-u 4" obuhvaćeno je 27 vrsta pregleda a na "Moravi" 13.

## Rezultati i diskusija

Rezultati ovih merenja dati su na tabelama 1 i 2. Oni pokazuju da je pacijentna doza pri rendgenografskim ispitivanjima na "Selenos-u 4" od 10 (skočni zglob) do 730 mR (lumbosakralni deo kičme-profil), nasuprot tome ove vrednosti pri snimanju na "Moravi" iznose od 180 mR (pluća) do 5.200 mR (karlične kosti sa strane).

Rezultati ovih merenja ukazuju da je pacijentna doza pri istim vrstama radiografskih ispitivanja na rendgen aparatu "Morava" 7 do 20 puta veća u odnosu na snimanja izvršena na "Selenos-u 4" a da su u celini ekspozicione doze znatno manje u odnosu na one koje su objavili drugi autori (9).

## ZAKLJUČAK

Ispitivanja ekspozicije pacijenata pri rendgenografskim pregledima na rendgen aparatima "Selenos-4", i "Moravi" pokazuju da je ozračenje pacijenata pri radu sa polutalasnim aparatima 7-20 puta veće nego sa četvoroventilnim rendgen aparatima. Rezultati ovih ispitivanja su pokazali da je najmanja ekspozicija pri radiografskim pregledima na "Selenos-u 4" bila 10 mR (skočni zglob) a najveća 730 mR pri snimanju lumbosakralne kičme, a pri snimanju na "Moravi" 180 mR (pluća) do 5.2oo mR (karlične kosti).

## LITERATURA


1. Report of the United Nations Scientific Commitetee on the Effects of Atomic Radiation (1958), Gen. Assembly official Records, 13th Segs. Suppl. No 17 (A) 3838, New York

2. Public Health Responsibilities in Radiation Protection (1963) WAO Technical Report Series No 254, Geneve

3. Public Health and the Medical Use of Jonizing Radiation (1965) WHO, Technical Report Series No 306, Geneve.

4. GRAJEVSKIJ E., ŠAPIRO N.
Sovremeni voprosi radiologii
Akademia Nauk SSSR, Moskva (1957)

5. MERICLE L.W., MERICLE R.P.
Health physics, 11:16o7-162o (1965)

6. Effect of Hadioactivity on Human Heredity WHO,Geneve (1957)

7. STAR J.:
Genetic Effects of Radiation
Med. Clin. N.Am. 53(1969) 965

8. Efect of Radioactivity on Human Heredity
WHO, Geneve (1957)

9. NOVAK J.
Zaštita pacijenata kod radiografije
Simpozijum rendgen tehničara SFRJ, Ohrid (1974)

TAB. 1

Ekspozicione doze pri snimanju na rendgen-aparatu "Selenos-4"

| Organ | mAs | K.V | mR |
|---|---|---|---|
| 1. Graniogram PA | 8o | 67 | 215 |
| 2. Kraniogram (profil) | 8o | 63 | 175 |
| 3. PA pluća | 5o | 6o-75 | 7o |
| 4. Profil pluća | 8o | 85-9o | 170 |
| 5. Cerv. kičma AP | 8o | 65-7o | 210 |
| 6. Cerv.kičma(profil) | 8o | 65-7o | 80 |
| 7. Th kičma | 1oo | 75 | 380 |
| 8. Th kičma(profil) | 6o | 75-8o | 200 |
| 9. LS kičma | 16o | 75-8o | 730 |
| 1o. L.S kičma (profil) | 120 | 85-9o | 690 |
| 11. Hemitorax | 8o | 65-7o | 260 |
| 12. Karlica | 120 | 7o-8o | 59o |
| 13. Rame | 5o | 6o-65 | 120 |
| 14. Humerus | 5o | 6o | 100 |
| 15. Lakat | 16 | 50 | 15 |
| 16. Podlaktica | 16 | 47 | 15 |
| 17. Ručni zglob | 12 | 47 | 10 |
| 18. Šaka | 8 | 50 | 10 |
| 19. Femur | 100 | 65 | 240 |
| 2o. Koleno | 50 | 6o-65 | 120 |
| 21. Podkolenica | 20 | 5o-53 | 30 |
| 22. Skočni zglob | 16 | 46 | 10 |
| 23. Stopalo | 12 | 5o-52 | 10 |
| 24. Sternum | 60 | 7o-75 | 240 |
| 25. Nos | 16 | 55 | 20 |
| 26. Tomogram pluća | 16 | 55-6o | 160 |
| 27. Dečja pluća | 30 | 55-60 | 20 |

Film: Sanix

Razvijanje: mašinski

TAB.2

Ekspozicione doze pri snimanju na rendgen-aparatu "Morava"

| Organ | mAs | KV | mR |
|---|---|---|---|
| 1. Zglavak stopala | 35 | 58 | 370 |
| 2. Koleno | 60 | 58 | 630 |
| 3. Butna kost | 100 | 58 | 900 |
| 4. Lakat | 26 | 58 | 140 |
| 5. Rame | 60 | 68 | 850 |
| 6. Vratni deo kičme | 100 | 68 | 1200 |
| 7. Lobanja | 220 | 75 | 3300 |
| 8. Lobanja sa strane | 170 | 70 | 2150 |
| 9. Karlične kosti | 170 | 84 | 3450 |
| 10. Karlične kosti sa strane | 300 | 88 | 5200 |
| 11. Kičma sa strane | 300 | 88 | 4900 |
| 12. Bubrezi | 170 | 70 | 1800 |
| 13. Pluća | 35 | 69 | 180 |

Film: Sanix

Razvijanje: ručno

# EXPOSURE DOSE OF PATIENT DURING X-RAY DIAGNOSTIC

Križanović D., Panov D.

Institut of Occupational and Radiological Health
Beograd, Deligradska 29

Summary

In the paper there are presented the measurements results of patient exposure having used two types of X-Ray apparatus "Selenos 4" and "Morava" for X-Ray diagnostic.

The investigations showed that having used "Selenos 4" for X-Ray the exposure doses of patient was found to be from 10 do 730 mR and in the case of X-Ray by "Morava" it was found to be from 180 to 5200 mR.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Zoran Kalendarov

Republički zavod za zdravstvena zaštita Skopje

# RAZVOJNA ZASTAPENOST NA MEDICINSKI IZVORI NA ZRAČENJE VO SR MAKEDONIJA ZA PERIOD 1966-1976 god.

Rezime

Dadena e razvojnata zastapenost na medicinskite diagnostički izvori na zračenje za period 1966-1976 god vo SR Makedonija.Zastapenosta e prikažana prema tipot na izvorite na zračenje vo podelni zdravstveni ustanovi.

Site izvori što go ozračuvaat čovečanstvoto možat da se podelat vo dve osnovni grupi.Prvata grupa go činat takanarečenite izvori na opšto ozračuvanje a vtorata grupa go činat izvorite na parcijalno ozračuvanje.Od prvata grupa na zračenje čovečanstvoto e izloženo postojano vremenski i prostorno, a pak vo vtorata grupa se opfateni site onie izvori na zračenje na koe čovečanstvoto e izloženo delimično vremenski i prostorno.

Prvata grupa e činat prirodnite radioizotopi,veštačkite proizvedeni radioaktivni materii koi dospevaat vo slobodniot prostor,kako rezultat na nuklearni eksplozii,rabota na nuklearno-energetski instalacii i dr.

Vtorata grupa e činat tri osnovni podgrupi: medicinsko ozračuvanje,profesionalno ozračuvanje i site ostanati izvori na ozračuvanje so ograničeno dejstvo.Vo podgrupata medicinsko ozračuvanje spagjaat site vidovi koi se javuvaat vo medicinskata i dentalna radiologija,radioizotopna diagnostika,radijaciona terapija i vo forma na profesionalno medicinsko ozračuvanje. Poradi seto ova izneseno pogore prisaten e našiot interes da se prikaže razvojnata

zastapenost na medicinskite diagnostički izvori na zračenje vo SR Makedonija.Koristena e arhivskata dokumentacija na grupata za kontrola i dozimetrija pri oddelenieto za radiološka zaštita na ovoj zavod. Sprema tipovite na zdravstveni ustanovi vo SRM dadeni se početni i krajni podatoci t.e. za 1966 i 1976 god.

Vo 1966 godina vo vkupniot broj na medicinski diagnostički izvori na zračenje-bolnici,kliniki učestvuvaat so -44,AT dispanzeri -15,zdravstveni domovi i stanici -34,zdravstveni stanici vo rabotni organizacii -_8.Dodeka vo 1976 god. situacijata e sledna: Bolnici,kliniki-38,Medicinski centri-58,Zdravstveni domovi i stanici-52 i zdravstveni stanici vo rabot.organ.-6.

Upoređuvajki gi podatocite od 1966 i 1976 se gleda deka brojot na medicinskite diagnostički izvori na zračenje e zgolemen za skoro 5o%, a sprema tipot na zdravstveni ustanovi se zaključuva deka so formiranje na medicinski centri se gubat AT Dispanzerite i bolnicite koi sega pretstavuvaat zaedno so zdravstvenite domovi integralna celina. Po odnos na svojata organizaciona struktura tie se dolžni da formiraat specijalistički službi i da obezbedat soovetna oprema.

So koncentriranje na medicinskata diagnostička radiologija i sovnanijata da prednost imaat grafiite pa duri i fluorografiite pred skopiite,Medicinskite centri a i site drugi zdravstveni ustanovi osobeno klinikite nabavuvaat moderni rentgen aparati / četvoroventilni,šestoro pa duri i dvanaestoventilni i so TV/

Sprema tipovi na rentgen aparati prikažuvajki ja pak situacijata vo 1966 i vo 1976 god. taa izgleda ovaka:

Za 1966 godina se ima - GRAFOSKOP -6,MORAVA-48,MORAVICA -2,NERETVA-2,FLUORGRAF-2,HIPOS-1,SIEMENS-5,OSTANALI-4,DENT-28,OS-Tanali-3,VKUPNO -101.

Za 1976 godina se ima - GRAFOSKOP-28,ODELCA-5,SUPERIX-7,

MORAVA-31,MORAVICA-1,NERETVA-2,FLUORGRAF-10,HIPOS-3,RENTGEN SO TV-11,SIEMENS-6,PHILIPS-4,OSTANALI-7,DENT-37,Ostanali-2,VKUPNO-154. Analizirajki gi gorenavedenite podatoci može da se konstatira dodeka vo 1966 g. najveke e zastapena polutalsnata MORAVA vo odnos na četvoroventilniot GRAFOSKOP vo 1976 g. ima sosema druga situacija,odnosot MORAVA-GRAFOSKOP e rečisi izednačen,no isto taka e zgolemen brojot na novite modrni rentgen aparati so TV monitor,SUPERIX,brojot na fluorografite,GRAFOSKOP so ODELCA.

Vakviot soodnos na rentgen aparatite proizleguva od faktorot da so formiranje na medicinski-te centri i specijalistički službi se javuva potreba od voveduvanje na novi sovremeni rentgen aparati,koi sosema odgovaraat na novite zahtevi na diagnostikata.Se razbira bolnicite,klinikite se opremeni so najkvalitetni i najmoderni rentgen aparati-tuka i stručnosta na licata e najkvalitetna.

Zaključok:

1. Rentgen aparatite MORAVA se povekje se povlekuvaat od upotreba i zamenuvaat so GRAFOSKOP-SELINOS.

2. Najgolem broj od rentgenaparatite se navogjaat po kliniki,medicinski centri kade se i najkvalitetni.

3. Dodeka vo 1966 godina plutalasnata MORAVA se koristeše isključivo za diagnostika,vo 1976 godina taa se koristi povekje za vršenje grafii na ekstremiteti i vo AT službite na medicinskite centri.

4. Brojot na DENT zabarskite rentgen aparati e neznatno zgolemenk.

5. Brojot na fluorografite vo odnos na 1966 godina e pet pati zgolemen.

6. Vo AT službite pri Medicinskite centri MORAVA aparati se zamenuvaat so GRAFOSKOP-ODELCA i FLUOROGRAF.

7. Odnosot megju diagnostičkite i zabarskite rentgen aparati e 4:1

8. Dodeka vo 1966 godina nepostoeše nieden rentgen aparat so TV monitor vo 1976 godina gi ima vekje 11.

9. Vo zdravstvenite ustanovi vo SRM vo 1966 g. postoeja 7o diagnostički i 31 zabarski veke vo 1976 godina toj odnos e 115 prema 39.

10. Brojot na medicinskite diagnostički rentgen aparati vo odnos na 1966 gdina vo 1976 e zgolemen za skoro 50%.

## S U M M A R Y

In the paper there is presented the developing of the total number of the medical diagnostics source of radiation in the health institutions of Macedonia to period 1966-1976. Especialy there is presented the prevelance of particular types of the diagnostics X-ray apparatuses in the health institutions.

BIBLIOGRAFIJA

1. Dr.P.Marković, Dr.M.Ninković-Kriterijumi, parametri i norme za ozračivanje stanovništva IBK-1126, Beograd, 1972.

2. Zbornik materijala sa simpozijuma radiološke zaštite/III-VIII/

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Zoran Kalendarov

Republički zavod za zdravstvena zaštita Skopje

# RASPROSTRANETOST NA NEMEDICINSKI IZVORI NA ZRAČENJE VO SR MAKEDONIJA

## R E Z I M E

Rasprostranetosta na nemedicinski izvori na zračenje vo SR Makedonija.Dozite na zračenje na koi se izloženi licata pri poodelnite vrsti na zračenje.Zaključoci za izloženost na naselenieto pri denešna upotreba na nemedicinski izvori na zračenje vo SRM.

Početocite na upotrebata na nemedicinski izvori na zračenje datira od krajot na pedesetite godini na ovoj vek.Na raspolaganje se bile tolku veštački radioaktivni materii da korisnicite možele da upotrebuvaat so najrazlični karakteristiki koi gi postavuvala sootvetnata aplikacija.Koristejki gi podatocite od grupata za dozimetrija i kontrola na zračenje možat da se konstatiraat izvesni pokazateli.

Nekade 1960 god. vo Makedonija postojat samo dve rabotni organizacii koi koristat zatvoreni izvori na zračenje:"Rudnici i železara-Skopje i "11 Oktomvri"-Kumanovo,i toa rentgen aparat so napon do 250 kV i Co-60 so aktivnost do $74 \times 10^{10}$ Bq/20 Ci/. Nekade 1966 god. se javuva Centarot za primena na radioizotopi vo

stopanstvoto - Skopje so rentgen od 200 kV i Co-6o, Ir-192 so vkupna aktivnost od $37x10^{10}$Bq/10 Ci/.Vo taa godina se pojavuvaat prvite izotopski brojači so aktivnost od 37 MBq/10 mCi/ brojno 5. Vo toj period se postaveni prvite radioaktivni gromobrani vo "Teteks"-Tetovo so aktivnost od 740 MBq /200 mCi/ 3 izvora i "Makedonka"-Štip 6 izvora so ista aktivnost.Brojot na nemedicinski izvori na zračenje postepeno raste i nekade vo 1970 god. se pojavuvaat prvite javuvači na požari so Am-241 vo "Žito Makedonija"-Skopje so aktivnost od $266,4x10^4$Bq/72 $\mu$Ci/.Meračite na debelina gi ima vo toj period okolu 5 so Sr-90 i aktivnost od 37 M Bq/10mCi/ okolu 1973 god. se pojavuvaat i prvite nivometri vo železari,cementari,livnici so Co-60 i aktivnost od 17,5-37MBq/5-1omci/ Nekade 1974 god. se pojavuvaat i prvite rentgen spektrometri od 60 kV i viskozimetri so Cs-137 od 175o-11100 MBq/5o-3oo mCi/.

Sledejki go ovoj hronološki razvoj na nemedicinski izvori na zračenje vo SRM konečno vo 1976 god. taa rasprostranetost izgleda ovaka: Industriski rentgen aparati-9,Izotopni laboratorii-3,Nivometri-45,RAG-12o,Merači na debelina-12,Merači na viskozitet-2,Izotopski brojači-5,Rentgen spektrometri-2 i Javuvači na požari-4000.

Dozite na koi se izloženi licata pri rabota so nemedicinski izvori na zračenje vo prosek godišno iznesuva $0,15x10^{-4}$Gy /15 mrad/.Dodeka prekoračuvanjeto na dozvolenata mesečna doza vo poslednite nekolku godini voopšto ne e zabeležano.

Što se odnesuva do izloženosta na naselenieto na nemedicinski izvori na zračenje e značajno za diskusija samo za vrabotenite vo industriskite objekti kade se postaveni,taa izloženost iznesuva okolu 20 $\mu$r/h.Diskusija po ovoj problem ke bide iznesena vo posebna studija.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Prim.Dr.G.Teodosievski, Z.Kalendarov
Republički zavod za zdravstvena zaštita Skopje

# ASPEKTI DOZIMETRIJE ZRAČENJA I KONTROLE U MEDICINSKOJ I DENTISTIČKOJ RADIOLOGIJI

Rezime

Iznosi se rezultati grupe za dozimetriju zračenja i kontrolu rentgen kabineta i ličnih doza profesionalno izloženog osoblja za period 1964-1976.

Početkom 1964 godine Republički zavod za zdravstvena zaštita Skopje,formira otsek za zaštitu od jonizujućih zračenja u oddelenju za medicinu rada.Budući da je Institut za medicinu rada SRS formirao ranije svoj otsek za kontrolu izvora zračenja i ličnu dozimetriju oni su to vršili i u SR Makedoniji sve do 1964 godine, kad je uz njihovu svesrdnu pomoć zajednički vršena kontrola izvora zračenja tokom 1964 godine.

U početku svoga rada ovaj otsek imao je jednog fizičara i jednog sanitarnog tehničara.Prenesena iskustva od strane grupe za kontrolu i dozimetriju zračenja Instituta za medicinu rada SRS bila su solidna baza za početak rada formiranog otseka za zaštitu od jonizirajućih zračenja.Početkom 1965 godine u saradnju sa Republičkim sanitarnim inspektoratom ustanovljen je broj izvora zračenja,tipovi izvora kao i broj lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima.Poslat je bio cirkular-uputstvo do svih korisnika izvora zračenja sa ciljem obaveštenja o formiranju otseka za zaštitu od jonizujućih zračenja i njegov delokrug rada.

Nakon izvršenih dozimetriskih merenja i kontrole, konstatiran je broj izvora zračenja tako da je krajem 1965 godine Makedonija imala lol rentgen aparat oko 185 lica profesionalno izloženih zračenju, 5 ustanove odnosno radne organizacije koje koriste radoizotope. Uz korisne i veoma detaljne predloge od strane grupe za dozimetriju Instituta za medicinu rada SRS a posebno druga Sl.Ignjatovića izradjen je dugogodišnji plan razvoja koji obuhvata kontrolu ličnih doza,kontrolu zaštitnih uredjaja i formiranje laboratorije za baždarenje mernih instrumenata.

Za kontrolu ličnih doza fizičar odlazi na stručno usavršavanje u Institut za medicinu rada SRS,konkretno o film dozimetriji. Formirana je laboratorija snabdevena odgovarajućom opremom i počinje sa radom 1966 godine.Lica koja su primila odredjene doze pod našom film dozimetriskom kontrolom podeljena su u dve grupe one koji rade na medicinskoj i dentističkoj radiologiji i one koji rade na radijacionoj terapiji.

Broj kontrolisanih lica u toku 1966-1976 godine postupno i se uvečavalo,tako da krajem 1976 godine iznosi 49o lica,od kojih radiolozi 62,ftiziolozi 34,ortpedi 3,hirurzi 3,internisti 3,stomatolozi 21,ostali lekari 28,rentgen tehničari 152,pručeni tehničari 29 i tehničari bez stručne spreme 151.

U početku ovog perioda film dozimetriske kontrole lica profesionalno izloženih zračenju nametalo se pitanje o zastarelosti,neadekvatnosti metode film dozimetrije.Pogotovu je to pitanje poticalo od lekara radiologa koja su najstručna,u radu sa rentgen aparatima.Budući da su u početnom periodu našeg rada bili većinom starija generacija radiologa koja u svom usavršavanju stručnosti nije imala mogućnosti da se upozna sa metodom film dozimetrije. Tvrdili su da se mesto nošenja film dozimetra nalazi ispod zaštitne pregače a ne na onim delovima tela koja nisu zaštićena pregačama, kao što su glava,vrat,ramena.Kasnije generacije lekara radiologa

imajući u svom usavršavanju i obuku iz dozimetrije zračenja uopšte prihvatili su metodu film dozimetrije kao najednostavniju i najevidentniju metodu sa unapred poznatom tačnošću od ± 20%.

Tokom ovog perioda film dozimetriske kontrole više faktora uticala su na visinu primljene doze lica profesionalno izloženih zračenju. Česta su bila u početnom periodu testiranja-provokativnih o tačnosti pročitanih ličnih doza. Kada su sva ta pitanja razjašnjena može se reći da je metoda film dozimetrije prihvaćena kao takva.

Budući da se radilo i se radi sa najrazličitim tipovima rentgen aparata od polutalasnih do dvanaesto-ventilnih i sa TV-monitorima, stim u vezi i primljene doze su različite. Sve dok se ne uvede u medicinskoj službi rad samo sa TV monitorima služba zaštite će biti sigurna u odredjivanju minule doze zračenja profesionalno izloženog lica.

- Kontrola zaštitnog uredjaja kod rentgen aparata počela je na osnovu stečenog iskustva sa grupom za dozimetriju i kontrolu Instituta za medicinu rada SRS.

Koristeći njihovu šemu koja obuhvata doze u sledećim kotama:

- tok doze na 3o cm od rentgen cevi pri naponu od 75 kV i struje 2 mA.
- doze na koži čela, šake, gonada lekara i rentgen tehničara za vreme ekspozicije.
- doze na ledja pacijenata za vreme trajanja ekpozicije
- doze u kabinama za svlačenje
- doze na vanjskoj strani ulaznih vrata
- doze na površini zidova sa vanjske strane kabineta.

U toku celog ovog perioda 1964-1976 god. nije menjan i ovaj obrazac za uzimanje doznih podataka.

Dobiveni podatci ovim načinom rada poslužili su da se vrši uporedjivanje doza iz godine u godinu i uporedjivanje kod

raznih marki rentgen aparata.Tokom ovog perioda broj i tip rentgen aparata se menjao u početku su bili većinom polutalasni a već 1976 god.odnos izmedju polutalasnih i savremenih je 1:4 s tim u vezi za 1976 g. ima se sledeća situacija: Ei MORAVA 31,Ei GRAFOSKOP 33, Ei SUPERIX 7,SIEMENS 16,PHILIPS 9,OSTALI 19.

Postoje problemi u vezi kontrole Rõuredjaja i to su većinom stručno-materijalni.Sastoje se u tome što ne raspolažemo instrumentom koji meri doze emitovanje u vremenu 1/1oo sec.a treba da registruje doze od nekoliko mr.Merenja se vrše jonizacionom komorom NUCLEAR CHICAGO i VICTOREEN 44o,sa tačnošću od ± 10%. U najskorije vreme biće rešen i ovaj problem nabavkom preciznih dozimetara.

Organizacionih problema ne postoje već dugi niz godina otprilike zadnjih osam godina.Budući da je grupa za kontrolu i dozimetriju ovlašćena kao republičke sanitarne inspektore za radiološku zaštitu s tim u vezi ne postoje pravne i druge probleme kod racionalizacije i efikasnosti u rešavanju.

Formirana je laboratorija za baždarenje mernih instrumenata koristeći Ra-226,Co-6o,Cs-137,Sr-9o i X-generator,kada se koristi za tekuće potrebe.

Problemi:

Još u samom početku rada grupe za dozimetriju i kontrolu bila je prihvaćena veoma rado od strane svih zdravstvenih radnika.Budući da se svaka godina vrši kontrola rentgen aparata. Kontakti sa licima profesionalno izloženih zračenju bila su uvek korisna obostrano.Medjutim problem u vezi benificije pojavio se pri tumačenju uredbe koja je to regulirala,kao takav i dalje postoji.Drugi problem je u vezi korišćenja rentgen aparata konkretno o obaveznoj kontroli za izgradnju novih rentgen kabineta.Iako ne postoje pozitivni propisi ovaj se problem rešava postepeno ali si-

gurno,tako da već sada može se reći da više nije problem.

Druge delatnosti:

Sa podnošenjem redovnih izveštaja u vezi korišćenja rentgen kabineta,pred visokim skupovima i na odredjenim simpozijumima je referisano sa skromnim temama.

Kroz odelenje za radiološku zaštitu u okviru nastavne delatnosti izvode se vežbe i kratke diskusije za studente medicinare,obavezni staž lekara - pripravnika,provode specijalistički turnus u vremenu od 5o dana svi lekari koji specijalizuju medicinu rada i higijenu.

Saradnja sa Republičkim sanitarnim inspektoratom je takva da grupa za kontrolu i dozimetriju u svom sastavu ima fizičara i lekara-specijalistu ovlašćene republičke sanitarne inspektore iz radiološke zaštite,te je uspostavljena najtešnja saradnja i svi nastali problemi u vezi kontrole izvora zračenja rešavaju se efikasno na dobrobit korisnika usluga radiološke zaštite i sprovodjenja za to odredjenih zakonskih propisa koji regulišu ovu materiju.

Zaključak:

Kada bi se osvrnuli na ovaj celi period od 1964-1976 g. može se konstatovati:

1. Zdravstvene ustanove koje koriste rentgen kabinete u dijagnostičke svrhe imaju potrebu da konsultuju stručnu službu pri projektu rentgen kabineta i nabavku odgovarajućeg rentgen aparata.

2. Ličnom dozimetrijom nad licima profesionalno izloženih X-zračenju došlo se do podatak da ne prelazi propisom dozvoljenu dozu od 5 rema godišnje.

3. Film dozimetriska kontrola u medicinskoj i dentističkoj radiologiji je za sada najpreciznija i najekonomičnija metoda.

4. Tokom čitavog ovog perioda grupa za kontrolu i dozi-

metriju poznaje mnoge specifičnosti pojedinih ustanova i u svakom momentu ima konkretnu situaciju.

5. Raspolaže sa arhivom podataka o radijacionim poljima i ličnim dozama za 154 rentgen kabineta i 49o lica profesionalno izloženih zračenju od početka 1960 god.

6. Grupa je aktivan ölan sekcija-radiologa,preventivne medicine,medicina rada Makedonskog lekarskog društva.


S U M M A R Y

THE REASONS FOR THE ESTABILISHEMENT OF THE LABORATORY FOR CONTROL OF RADIATION SOURCES ARE PRESENTED IN THE PAPER. BESIDES,THERE IS PRESENTED A DIAGRAM SHOWING INDIVIDUAL DOSES IN MEDICAL INSTITUTIONS AS WALL AS SPECIALITIES OF THE PERSONS SUBJECTED TO THE CONTROL IN THE PERIOD FROM 1964-1976.


BIBLIOGRAFIJA


1. Arhivsku dokumentaciju otseka za dozimetriju zračenja.
2. Zbornik materijala sa simpozijuma za radiološku zaštitu /III-VIII/

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

ČREMOŠNIK-PAJIĆ P.

INSTITUT ZA ZDRAVSTVENU ZAŠTITU -
ZAVOD ZA MEDICINU RADA - NOVI SAD

# MERE ZAŠTITE NA RADU ZA LICA PROFESIONALNO IZLOŽENA UTICAJU JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U ZDRAVSTVU

U radu se tretira problematika odredjivanja i primene potrebnih mera zaštite za lica koja su profesionalno izložena malim dozama jonizujućeg zračenja, prvenstveno u zdravstvu. Ističe se potreba usaglašavanja primene pojmova "maksimalno dozvoljena koncentracija" i "maksimalno dopuštena doza" i potreba izrade normi i kriterijuma za odredjivanje mera zaštite u vidu skraćivanja vremena ekspozicije, skraćivanje punog radnog vremena, korišćenje produženog godišnjeg odmora i drugih beneficija.

Nastojanja da se preventivnim merama zaštite očuva zdravlje zaposlenih datiraju iz 17 veka (1665 godine) kada su usvojena prva pravila rada i mere zaštite pri radu sa živom i njenim jedinjenima (1). Cilj ovih napora koji se povećavaju iz dana u dan je da se stvore povoljni uslovi rada i primene efikasne mere zaštite kako bi svi zaposleni mogli bez štete po zdravlje da odrade prihvaćenu dužinu radnog veka.

Brzi razvoj industrije, primena novih tehnologija i materijala radja nove uslove, nove štetne faktore i traži nove mere zaštite.

U mere zaštite spadaju mere tehničke zaštite sa primenom ličnih zaštitnih sredstava, stručnim osposobljavanjem i upoznavanjem zaposlenih sa merama zaštite i mere zdravstvene zaštite. Najefikasnije pa stoga i najvažnije su mere tehničke zaštite.

U mere zdravstvene zaštite spadaju prethodni pregledi zdravstvenog stanja pre zapošljavanja na konkretnom radnom mestu, u cilju profesionalne selekcije; periodični pregledi zdravstvenog stanja zaposlenih sa preduzimanjem odgovarajućih daljih mera u zavisnosti od nadjenog stanja, ciljani pregledi i drugo.

U mere zaštite spada i skraćivanje ekspozicije odredjenoj noksi, skraćivanje punog radnog vremena kao i korišćenje produženog godišnjeg odmora, beneficiranje radnog staža, pa i povećana materijalna davanja. Ove mere zaštite koriste se zavisno od intenzieta štetne nokse i dužine eksponiranosti.

Rad u zoni jonizujućeg zračenja smatra se kao rad sa posebnim uslovima rada i podeljen je u kategorije. Kategorije se medju sobom razlikuju po veličini doze zračenja u uslovima u kojima jačina jonizujućeg zračenja pored primene tehničkih mera zaštite prelazi maksimalno dozvoljene doze.

Mere zaštite od jonizujućih zračenja regulisane su zakonskim propisima, a odnose se na promet i korišćenje radioaktivnih materija; na smeštanje i korišćenje rendgen aparata, primenu zaštitnih sredstava kako za profesionalno izložene tako i za pacijente; na stručnu spremu kadrova koji rade u tim uslovima; na zdravstvenu zaštitu zaposlenih u pogledu prethodnih i periodičnih pregleda. Propisane su i maksimalno dozvoljene doze zračenja koje mogu primiti profesionalno izložena lica.

Mere zaštite regulisane Pravilnicima, čije važenje je prestalo sa stupanjem na snagu novog Zakona o zaštiti od jonizujućeg zračenja (2) mogu sa izradom novih Pravilnika da budu samo još preciznije, konkretnije i rigoroznije.

## Mere zaštite za kategoriju radnika profesionalno izloženih malim dozama jonizujućih zračenja u zdravstvu

Mere zaštite regulisane zakonskim propisima odnose se i na zdravstvo gde je primena jonizujućih zračenja svakim danom sve veća i raznovrsnija. Povećanu upotrebu jonizujućih zračenja prati i primena mera tehničke zaštite, koje su sve efikasnije.

Savremeni aparati sa ugradjenom maksimalno mogućom tehničkom zaštitom od zračenja zamenjuju zastarele i dotrajale aparate. Uvodjenje savremenih aparata sa mogućnošću pojačavanja slike, prenošenja slike na daljinu i sličnih tehničkih inovacija poboljšavaju tehničku zaštitu na radu profesionalno izloženih lica u zdravstvu do te mere da

je izloženost jonizujućim zračenjima pri radu minimalna i ne spada ni u jednu od kategorija za koje je predvidjena primena dopunskih mera zaštite u vidu skraćivanja punog radnog vremena i sličnih beneficija.

Odredjivanje dužine radnog vremena licima koja su profesionalno izložena uticaju jonizujućih zračenja u zdravstvu je otežano. Jedan od razloga je što postoji tradicija da se u zoni jonizujućeg zračenja radilo skraćeno radno vreme. Zatim, što za primenu mera zaštite u vidu skraćivanja radnog vremena kod izloženosti malim dozama jonizujućih zračenja nisu propisani kriterijumi prema kojima bi se odredjivala dužina radnog vremena na tim mestima u smislu zakonskog propisa koji kaže: "radno vreme radnika, koji radi na poslovima gde je izložen jonizujućim zračenjima skraćuje se razmerno dozi jonizujućeg zračenja koju prima na svom radnom mestu" (3). Neusaglašena je i primena značenja pojmova "maksimalno dozvoljene koncentracije" i maksimalno dopuštena doza zračenja. Pojam "maksimalno dozvoljena koncentracija" znači "maksimalno dopuštena koncentracija škodljivih gasova, para i aerosola u vazduhu radnih mesta koje ne prouzrokuju oštećenja zdravlja pri svakodnevnom osmočasovnom radu (pri normalnim klimatskim uslovima i neforsiranom disanju) (4). Analogno tome i pojam (MDD) "maksimalno dopuštena doza zračenja" znači isto, pa dilema o potrebi skraćivanja punog radnog vremena zaposlenih na radnim mestima gde su izloženi malim dozama jonizujućih zračenja koje ne prelaze maksimalno dozvoljene takoreći ne postoji. No, u praksi nije tako što je potvrdila i analiza ove problematike na teritoriji Vojvodine (5).

Analiza ispitivanja izloženosti uticaju jonizujućih zračenja profesionalno eksponiranih u zdravstvu na teritoriji SAP Vojvodine pokazala je da postoje veoma velike razlike u opremi i smeštajnim mogućnostima, u veličini izloženosti zdravstvenih radnika tim uticajima u zdravstvenim radnim organizacijama u raznim mestima na teritoriji SAPV; da postoje razlike u veličini izloženosti unutar iste radne organizacije izmedju različitih profila stručnjaka. Razlike izloženosti se kreću od dnevne frekvencije manje od 15 ekspozicija, pa do broja većeg od 100, dok su se pogodnosti u smislu dužine rad-

nog vremena koristile približno jednako na svim tim mestima.

Praćenjem primljenih doza zračenja koje su registrovane filmdozimetrima uočeno je da su primljene doze zračenja na svim mestima gde je analiza vršena manje od dozvoljenih, kao i da se one smanjuju.

Konstatovana je činjenica, da se druge mere zaštite, naročito mere zaštite u vidu upotrebe ličnih zaštitnih sredstava ne upotrebljavaju striktno, kao i da se pojedini radnici izlažu uticaju jonizujućeg zračenja i van redovnog radnog vremena. Isto tako je konstatovano da se mere zaštite namenjene zaštiti pacijenata nedovoljno primenjuju.

Dodatne mere zaštite za ovu kategoriju eksponiranih lica su i u svetu regulisane veoma različito. U zapadnim zemljama, gde se zdravstvena zaštita obavlja pretežno u privatnim ordinacijama lekara je rizik izlaganja jonizujućim zračenjima uračunat u cenu usluga, pa se beneficije kao što je skraćivanje punog radnog vremena i produženi godišnji odmor ne mogu videti. A u državnim ustanovama se te beneficije ne primenjuju, odnosno tamo gde se primenjuju je to u vidu produženog godišnjeg odmora već prema dogovoru sa poslodavcem. U socijalističkim zemljama su te beneficije ozakonjene, ali ih i tu različite ustanove različito primenjuju.

Mada profesionalno eksponirana lica u zdravstvu ne spadaju u one kategorije zaposlenih koji su izloženi dozama jonizujućih zračenja koje prelaze maksimalno dozvoljene oni su ipak izloženi dodatnom uticaju jonizujućeg zračenja. Oni ne primaju doze koje prelaze maksimalno dozvoljene ali primaju veće doze nego stanovništvo. Znači, izloženi su dopunskom riziku, čija veličina varira od mesta do mesta, od uslova do uslova, zavisno od primene mera tehničke zaštite, od smeštajnih uslova i primene drugih mera zaštite, od vrste i broja usluga koje se pružaju i za koje organe (skopije, grafije, primene radioizotopa, kao i od primene ostalih mera tehničke zaštite, obučenosti kadrova i slično).

Obzirom na te činjenice i činjenicu da se mere zaštite odredjuju prema prisutnim štetnim faktorima u radnoj sredini, njihovoj veličini, koncentraciji i dužini izloženosti radnika tim faktorima na

konkretnom radnom mestu, u konkretnim uslovima i sa konkretnom opterećenošću, kao i da stručno mišljenje o potrebi odredjenih mera zaštite za te uslove rada daju ovlašćene radne organizacije širom Jugoslavije, neophodno je da postoji jedinstvena metodologija i kriterijumi za odredjivanje mera zaštite i u ovoj oblasti.

## Z A K L J U Č A K

U cilju ostvarivanja adekvatnih mera zaštite za lica zaposlena na radnim mestima sa posebnim uslovima rada, potrebno je da se primeni mera zaštite posveti puna pažnja.

Veoma je važno da se obezbede mere tehničke zaštite takvog stepena koje će omogućiti zadovoljavajuću zaštitu kako profesionalno izloženim licima tako i pacijentima.

Da se stvore uslovi rada sa najvećom mogućom sigurnošću po zdravlje zaposlenih kako druge mere zaštite, naročito one u vidu beneficiranog radnog staža uopšte ne bi bile potrebne, kao ni mere zaštite u vidu skraćivanja punog radnog vremena.

Kod rada sa jonizujućim zračenjima potrebno je ujednačiti primenu pojmova "maksimalno dozvoljena koncentracija" i "maksimalno dopuštena doza zračenja" izraditi jedinstvene kriterijume za primenu dodatnih mera zaštite shodno usvojenim definicijama i zakonskim propisima kako bi se mere zaštite primenjivale u duhu principa medicine rada.

## S u m m a r y

The author communicates problems of determination and application of necessary protective measures for people professionally exposed to small dosages of ionizing radiation, first of all in public health. In this paper, a special emphasis is laid upon the necessity of the coordination of application of notions "maximum permissible concentration" and "maximum permissible dose", as well as necessity of creation of standards and criteria for determination of protective measures in the form of reducing the time of exposition and full working time, utilization of the prolonged

annual vacation and other benefits.

In order to protect the health of workers exposed to ionizing radiation, great efforts are exerted to improve working conditions and to apply protective measures that will make possible for all employed people to work off safely the whole length of their service.

1. Ristić V. Karajović D. Potkonjak V.:

   Trovanje živom i njenim jedinjenjima, Medicina rada, Med.knjiga Beograd - Zagreb

2. Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja (Sl.list SFRJ broj 54/76)

3. Pravilnik o pogodnostima radnika koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja (čl.4) Sl.list SFRJ broj 26/64

4. Maksimalno dopuštene koncentracije škodljivih gasova, para i aerosola u atmosferi radnih prostorija i radilišta - JUS Z.BO.001 (Sl.list SFRJ broj 35/71)

5. Čremošnik-Pajić P.: Zaštita na radu profesionalno izloženih radnika i zaštita pacijenata kod primene jonizujućih zračenja u medicinske svrhe (Rad u štampi).

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. do 3.VI. 1977

Mr. Tomašević Miroslav, dipl. fiz.
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr. D. Karajović" - Beograd

# ZASTUPLJENOST DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA NA PODRUČJU SRS I PROMENE NASTALE OD 1971. GODINE

Rezime

Procena broja rendgen aparata koji se koriste na području SRS obavljena je tokom 1971. godine. Tada je sem broja aparata dat i prikaz njihovog smeštaja. Tokom godina došlo je do znatne promene ne samo u broju aparata koji se na ovom području koriste već takođe i u njihovom kvalitetu i boljim uslovima smeštaja.

U radu su upoređeni podaci iz 1971. godine sa rezultatima koji su dobijeni na osnovu procene koja je izvršena tokom 1976. godine.

Radna sredina i kvalitet instrumenata sa kojima se rukuje bitni su faktori koji utiču na stimulans i radni učinak.

Lica koja rade sa rendgen aparatima, lekari radiolozi, ftiziolozi i drugi obavljaju svoj posao pod posebno otežanim radnim uslovima. Oni rade izloženi jonizujućem zračenju, često puta u prostorijama bez ventilacije u kojima je vazduh ili topliji ili hladniji no što je poželjno, zagušljiv i pun isparenja od znoja. Jednom rečju opšta mikroklimatska situacija u ovakvim prostorijama može biti nepovoljna što je naročito izraženo u slučajevima kada su prostorije rendgen kabineta nedovoljne površine.

Tokom 1970 - 1971. godine izvršen je obilazak skoro svih rendgen kabineta na užem području SRS i AP Vojvodine. Tom

prilikom merene su ekspozicione doze zračenja na radnom mestu osoblja i vršena procena pogodnosti rendgen kabineta za rad. Bitan elemenat u ovoj proceni bila je površina rendgen kabineta a shodno čl.21 Pravilnika o korišćenju rendgen aparata i o merama zaštite od rendgenskih zraka /Sl. list SFRJ br. 31 od 1965./.

Nakon pet godina izvršena je ponovna procena broja rendgen aparata koji se koriste na ovom području kao i uslova njihovog smeštaja. Rezultate ovih procena dali smo na sledećoj tabeli.

TABELA br. 1
Broj rendgen aparata i zračnika na užem području SRS i AP Vojvodine od 1971. do 1976. godine

| | 1970 - 1971 | | 1975 - 1976 | |
|---|---|---|---|---|
| Aparat | ukupno aparata | nezadovoljava | ukupno zračnika | nezadovoljava |
| Morava | 284 | 46 | 182 | 23 |
| Selenos 4 | 56 | 3 | 176 | 2 |
| Grafoskop Selenos 4 | 45 | 3 | 138 | 1 |
| Superix prosvetljavanje | - | - | 40 | 1 |
| Superix snimanje | - | - | 37 | 1 |
| Moravica | 97 | 74 | 22 | 6 |
| Dent | 127 | 47 | 170 | 22 |
| Ostali | 117 | 25 | 270 | 1 |
| Svega | 726 | 198 | 1035 | 57 |

Ili izraženo u procentima, od ukupnog broja aparata u toku 1971. godine kod 27,27% nisu bili zadovoljeni smeštajni

i drugi uslovi. Prošle godine ovaj procenat iznosio je samo 5,51%.

Zaključak

Na osnovu izvršenih pregleda dijagnostičkih rendgen aparata u periodu od 1970 do 1976. godine data je procena broja rendgen aparata koji se koriste na užem području SRS i AP Vojvodine. Dobijeni podaci izneti su na Tabeli br. 1.

U periodu 1970 - 1971. na posmatranom području dominirao je brojem rendgen aparat Morava domaće proizvodnje EI iz Niša. Polutalasni aparati tipa Moravica bili su takođe zastupljeni u velikom broju. Prema iznetim podacima zapaža se da su smeštajni i drugi uslovi kod ovih aparata bili u velikom broju slučajeva loši. U tom periodu uglavnom se koriste polutalasni aparati domaće proizvodnje i vrlo stari aparati stranih proizvođača.Vrlo retko su se sretali četvoro ili šestopulsni aparati a aparati sa pojačivačem slike bili su prava retkost.

Nakon tih godina iz upotrebe se polako povlači prvo polutalasni aparat Moravica a zatim u nešto manjoj meri i aparati tipa Morava. Broj ovih aparata se smanjuje na račun boljih i savremenijih četvoropulsnih ili šestopulsnih aparata domaće ali i strane proizvodnje. Od domaćih treba pomenuti aparat tipa Selenos 4 i aparat tipa Superix. Ne samo da se u ovom periodu menja broj i kvalitet aparata već takođe i njihovi smeštajni uslovi. Novi aparati sem malog broja izuzetaka postavljaju se u nove i znatno veće i bolje opremljene prostorije. Tako da danas loše radne uslove imamo u oko 5,51% slučajeva za razliku od 1970. godine kada je ovaj iznosio oko 27%.

Ukupan broj aparata međutim nije se znatno promenio. Pre pet godina imali smo oko 726 rendgen aparata na posmatranom području a danas taj broj iznosi oko 860 aparata ili 1035 zračnih cevi. Ova se pojava može objasniti time da su ustanove napuštanjem više starih aparata nabavljale manji broj savremenijih aparata sa više zračnih cevi.

U narednom periodu možemo očekivati da se aparati tipa Morava sasvim povuku iz upotrebe i da će se broj aparata posebno domaće.proizvodnje povećavati.

Što se tiče aparata za snimanje zuba njihov broj se nije znatno promenio ali su se promenili uslovi njihovog korišćenja a i zaštitna sredstva koriste se u većoj meri no pre pet godina.

Summary

THE NUMBER OF X-RAY MACHINES ON SRS TERRITORY AND ARISING OF CHANGES SINCE 1971 UP TO NOW

The approximate number of existing X-Ray machines used on the SRS territory was got by gathering data during 1971. We gave the number and the survey of their placement. Actually, during the year there come to a considerable change not only with with the machine number but their quality and placement, as well.

The paper shows the comparative data from 1971 together with the results of investigations that were done during this 1976 year.

Literatura

1. TOMAŠEVIĆ M. : Površina prostorija rendgen kabineta u SRS /1970-1971/.
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu - Beograd

2. Službeni podaci Grupe za dozimetriju izvora zračenja Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu - Beograd /1970 - 1976. godina/.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI. 1977.

Mr. Tomašević Miroslav, dipl. fiz.

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr. D. Karajović" - Beograd

# PROCENA IZLOŽENOSTI ZRAČENJU OSOBLJA KOJE VRŠI KONTROLU DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA

Rezime

U radu su izneti rezultati procene izloženosti jonizujućem zračenju osoblja koje vrši kontrolu dijagnostičkih rendgen aparata. Procena je obavljena na osnovu izveštaja o izmerenim vrednostima ekspozicionih doza zračenjakod pregledanih aparata.

Procenjeno je da se lice koje vrši kontrolu, mereći ekspozicione doze zračenja samo na tačno određenim mestima, izlaže vrednosti od oko 36,5 mR po jednom aparatu.Na osnovutoga, mišljenja smo da se broj aparata koje u toku jedne godine pregleda jedno lice mora ograničiti i ne sme biti veći od 140 aparata. Ovo pogotovu ako se ima u vidu i činjenica da izvestan broj aparata koji se predleda može biti i neispravan.

Za vreme rada rendgen aparata zračenju je izloženo osoblje /lekar, tehničar, pomoćno osoblje/ a takođe i pacijenti. Zračenju se izlaže i jedna manja grupa stručnjaka koja se bavi periodičnom kontrolom dijagnostičkih rendgen aparata. Njihovo izlaganje u izvesnim prilikama može biti i više od dozvoljenog a zavisi od ispravnosti uređaja, primene i mogućnosti primene zaštitnih sredstava a pre svega od broja aparata koje u toku jedne godine pregleda.

Na osnovu podataka sa kojima raspolažemo, pokušaćemo da izvršimo grubu procenu izloženosti ov ih lica u nameri da dođemo do podataka na osnovu kojih bi mogli da odredimo i maks-

imalni broj aparata koje bi ova lica mogla da pregledaju u toku jedne godine.

Procenu smo izvršili na taj način što smo iz većeg broja izveštaja o pregledanim aparatima odabrali nasumce jedan koji se odnosio na aparat Grafoskop - Selenos 4. Odabrani aparat imao je dve zračne cevi br. 1725 i br. 1624 sa kojima se vršilo snimanje i prosvetljavanje pacijenata. Kako kod svih aparata kontrolu obavljamo na skoro isti način to se izabrani izveštaj u pogledu broja mesta na kojima se merenje vršilo ne razlikuje od ostalih. U proseku kod svakog rendgen aparata sa kojim se vrši prosvetljavanje pacijenata merenje ekspozicionih doza zračenja obavi se na 30 mesta. Za vreme merenja dešava se da se od 5 do 10 merenja ponovi ili zbog toga što nije odabran korektan merni opseg na instrumentu ili zbog provere izmerene vrednosti. Kako za dobijanje punog odklona na instrumentu treba oko 15 sekundi to na osnovu ovog vremena, izmerenih vrednosti i broja mernih mesta možemo da procenimo kolika je bila izloženost lica koje je vršilo merenje.

Prema odabranom izveštaju lice koje je vršilo kontrolu rendgen aparata Selenos 4 obavilo je 10 merenja oko ekrana na aparatu u trajanju od oko 150 sekundi, zatim 10 merenja u samom rendgen kabinetu u trajanju od oko 150 sekundi i oko 5 merenja u trajanju od oko 75 sekundi bilo je ponovljeno. Nakon ovih merenja aparat je postavljen u horizontalan položaj i merenja su nastavljena. Ponovo je bilo izvršeno oko 10 merenja oko ekrana u trajanju od oko 150 sekundi, nekoliko merenja oko aparata i jedno merenje na mestu pacijenta. Za ova poslednja trebalo je oko 105 sekundi.

Rezultate do kojih smo došli prikazali smo na tabeli 1. Prema tome lice koje vrši kontrolu dijagnostičkih rendgen aparata koji su namenjeni za prosvetljavanje pacijenata /želudac sa radnim naponom od 90KV i strujom prosvetljavanja između 2,5 i 3 mili ampera/ pri svakoj kontroli u zoni zračenja provede oko 600 sekundi pri čemu se izloži vrednosti od oko 36,5 mR.

Na ovom mestu moramo podvući da se ova procena odnosi na stručnjake Grupe za dozimetriju izvora zračenja Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu iz Beograda jer druge službe verovatno da kontrolu obavljaju na drugi način.

TABELA br. 1

Procena izloženosti osoblja koje vrši kontrolu dijagnostičkih rendgen aparata

| mesto merenja | ukupna izmerena vrednost mR/h | vreme merenja sec | izlaganje mR |
|---|---|---|---|
| oko ekrana | 550 | 150 | 22,92 |
| izg ekrana | 5 | 30 | 0,04 |
| u prostoriji | 13 | 150 | 0,54 |
| ponovljena merenja | 48 | 75 | 1,00 |
| oboren sto | 220 | 195 | 12,00 |
| svega | | 600 | 36,50 |

Zaključak

Na osnovu grube procene izlaganja osoblja koje vrši kontrolu dijagnostičkih rendgen aparata došli smo do podatka da ono iznosi oko 36,5 mR pri kontroli jednog standardnog aparata koji se koristi za prosvetljavanje pacijenata. Prilikom procene uzeli smo u obzir samo ona merenja koja ulaze u izveštaj o kontroli a ne i merenja koja se obavljaju na zahtev osoblja. Ovo smo učinili zato što merenja koja se vrše na zahtev osoblja često puta se obavljaju na mestima na kojima je izlaganje znatno veće.

Mišljenja smo da osoblje za vreme kontrole mora da koristi zaštitna sredstva ukoliko je to moguće a da broj aparata koje pregleda u toku dana i godine mora biti ograničen.Prema iznetim vrednostima broj aparata koje pregleda jedno lice u toku godine ne sme biti veći od 140 aparata. Prilikom ove procene nismo uzeli u obzir i druge poslove koje ovo osoblje obavlja u

zoni zračenja.

Ne želimo da se upuštamo u rasmatranje koliko je izlaganje drugih zdravstvenih radnika ali navodimo podatak da bi rendgen tehničar u posmatranom rendgen kabinetu morao napraviti 4148 snimaka kičme da bi se izložio istoj vrednosti kao i lice koje vrši kontrolu aparata /pod uslovom da je izmerena vrednost iza paravana 10mR/h i vreme snimanja 3,2 sec/.

Summary

AN ESTIMATION TO X-RAY EXPOSURE OF STAFFS PERFORMING DIAGNOSTIC X-RAY APPARATUS CONTROL

The paper give the results of an estimation to X-Ray exposure of staffs performing diagnostic X-Ray machines control. The surway is done on the basis of a report giving measured values of radiation doze rates concerned the controled machines. It was established that a person performing a machine control /by measuring doze rates of only one machine/ in advanced fixed spots is exposed to a 36,5 mR.

We consider that the number of machines undergoing of one person control, during a year time of work, must be limited. The number must not exceed 140 machines.

It is so especially when knowing that many or anyhow some of these machines might be unsufficiently safe and secure from stand point of radiation. Besides, it is known that the same persons very often cover some other jobs and duties in the radiation field.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JAJCE, 31.V. do 3.VI.1977.

NINKOVIĆ ŽIVAN I BABIĆ RADOMIR
INSTITUT ZA MEDICINU RADA, MEDICINSKI FAKULTET, NIŠ

# NEKE VREDNOSTI DODATNIH DOZA OZRAČIVANJA STANOVNIŠTVA PRI RENDGENSKIM PREGLEDIMA I MERE NJIHOVOG SMANJENJA

Da se prikaže stepen "dodatne"ozračenosti stanovništva pri medicinskim pregledima rendgen-aparatima, autori su različitim mernim uredjajima merili doze jonizacije pri korišćenju različitih tipova rendgen-aparata, pri pregledu različitih organa i delova tela, uz primenu različitih tehnika pregleda. Uz komentar, prikazane su izmerene vrednosti jonizacije pri skopiji grafiji za pojedine pregledane organe, aparate i tehnike pregleda.
Doze su direktno zavisne od izbora aparata, tehnike pregleda, pretraživanog organa, indiciranosti pregleda i primene zaštitnih mera. Najbitnije pri tome je, pored materijalnih mogućnosti,dobra izobrazba kadrova koji indiciraju rendgenski pregled i onih koji profesionalno rade sa izvorima jonizacije

Svakodnevno rastuća ozračenost stanovništva jonizujućim agensima u nas i u svetu, postaje ozbiljan problem kako sa somatskog, tako i sa genetskog aspekta ozračenog.[2,3,4,7] Stalno prisutnoj prirodnoj radijaciji pridružuju se i sve brojniji tzv. "civilizacijski" izvori zraženja[3]. Medju njima su najbrojniji rendgenski aparati. Korist koju nam pruža rendgen-dijagnostika najčešći je razlog da je danas svaki detaljni lekarski pregled propraćen i rendgenskim pregledom. To je i bio razlog da smo merili vrednosti nekih dodatnih doza ozračivanja stanovništva pri rendgenskim pregledima.

C i lj r a d a nam je da se ukaže na ozračenost stanovništva pri rendgenskim pregledima u zavisnosti od vrste pregleda, vrste rendgen aparata i primenjene tehnike pregleda. U tu svrhu izvršeno je merenje doza pri korišćenju nekoliko različitih tipova rendgen aparata koji su u pogonima u izvesnim zdravstvenih ustanovama Niša.

Merenja su vršena instrumentima proizvodjača: Victorieen,USA; "Boris Kidrič", Vinča; "Jožef Štefan",Ljubljana, stim, što je

merna sonda bila postavljena normalno na tok X-zraka. Vrednosti doze date su kao prosečne vrednosti iz više merenja pomenute instrumentacije.

R e z u l t a t i  m e r e n j a

Prikazujemo rezultate učinjenih merenja:

Tab.1.

| red br. | aparat | organ | mesto merenja | otvor blende | R/h doza |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Selenos 4 | pluća | izmedju pacijenta i ekrana | pun | 1 |
| 2. | " | " | u nivou glave rendgenologa | pun | 0 |
| 3. | " | želudac | izmedju pacijenta i ekrana | 1/2 | 0,5 |
| 4. | " | " | pored pacijenta | 1/2 | 0,3 |
| 5. | " | " | ruka rendgenologa | 1/2 | 0,16 |

Vrednosti pri radioskopiji

Navedenom tabelom prikazuju se registrovane doze pri rendgenoskopiji različitim vrstama rendgen-aparata najčešće skopiranih organa. Evidentno je da je ozračenost u funkciji kondicija aparata i umešnosti rendgenologa, sobzirom da je vreme trajanja pregleda proporcionalno ekspozicionoj dozi. Pri pregledu težih bolesnika i tamo gde je neophodno pridržavati pacijenta (red.br.4)i pomoćno osoblje je eksponirano znatnoj ozračenosti.

Tab. 2.

| R.b | aparat | organ | mesto merenja | kV | mAs | FFcm | mR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Selenos 4 | želudac | izmedju pacijenta i ekrana | 80 | 80 | 80 | 500 |
| 2. | " | pluća | nad desnim ramenom | 120 | 16 | 200 | 10 |
| 3. | " | " | nad desnim ramenom | 75 | 3o | 15o | 22 |
| 4. | Philips | " | nad desnim ramenom | 7o | 3o | 15o | 23 |
| 5. | Morava | " | nad desnim ramenom | 7o | 3o | 15o | 25 |

Vrednosti pri radiografiji

Iz tabele 2.evidentno je da su doze pri radiografiji želuca znatno veće nego pri radiografiji transparentnijih pluća, a doza pri radiografiji pluća uglavnom zavisi od izabranih kondicija

rendgen-aparata, odnosno izabrane tehnike pregleda i vrste aparata.

Tab.3.

| R.b. | aparat | organ | mesto merenja | $k^V$ | $m^As$ | $FF_{cm}$ | $m^R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Seleno-4 | pluća | ulazna kožna doza | 78 | 12o | 12o | 45o |
| 2. | " | " | bočno 1oo cm., u nivou pacijenta | 78 | 12o | 12o | 45 |

Vrednosti pri tomografiji po jednom tomogramu*

*Tomografija činjena pri zračnom polju 24x3o cm., brzini 2, i uglu 40°.

Iz tabele 3. vidi se da su doze pri tomografiji relativno visoke i da se one multipliciraju onoliko puta koliko se pri jednom pregledu čini tomograma.

Takodje se vidi da je i pomoćno osoblje ako se nalazi pored pacijenta u toku takvog pregleda, izloženo znatnoj ozračenosti. Ako se još napomene, što je čest slučaj, da ako se pacijent u toku godine zbog prirode bolesti ili iz kojih drugih razloga, pregleda u istoj ili raznim zdravstvenim ustanovama više puta ovom metodom, dobiće"ogromne" doze X-zraka.

D i s k u s i j a

Sopstvena merenja i podaci drugih autora ukazuju nam da je od svih vrsta rendgenskih pregleda pluća[1], najmanja doza ozračivanja pacijenta tzv.tvrdozračnom tehnikom (tab.2). Rezultati naših merenja ne odstupaju od rezultata drugih autora[1,2,3,4] kada se radi o pregledu pluća skopijom i tomografijom, gde su izmerene doze u odnosu na klasičnu grafiju i grafiju tzv.tvrdom tehnikom[2], već za više puta.

Pri pregledu manje transparentnih organa kao na pr. želuca, doze ozračenosti su ozbiljno riskantne, posebno kada se ovi pregledi ponavljaju i kada se radi o osobama mladjeg uzrasta, odnosno o osobama reproduktivne dobi, što se takodje slaže sa ispitivanjima drugih autora.[3,7] Pri ovakvim rendgenskim pregledima kako kožne, tako i integralne i gonadne doze su znatnih vrednosti.

Z a k lj u č a k

Na bazi napred iznetog slobodni smo da zaključimo sledeće:

-Ozračenost stanovništva pri rendgenskom pregledu u zavisno-

sti je od vrste korišćenog rendgen aparata,[3,4] od pregledanog organa, kao i od izabrane i primenjene metodologije i tehnike pregleda. Savremeni rendgen-aparati omogućavaju slobodan izbor kondicija, izbor metodologije i tehnike pregleda i imaju bolju zaštitu. Nažalost, u mnogim našim zdravstvenim ustanovama još uvek su u pogonu polutalasni rendgen-aparati, koji ne nose atribut savremenosti.

- U izboru metodologije i tehnike pregleda, sopstvenim znanjem i iskustvom radiolog i rendgen-tehničar, treba uvek da primenjuju metode i tehnike pri kojima je pacijent i jonizaciji profesionalno eksponirano osoblje izloženo najmanjim dozama ozračivanja.

- Pri rendgenskim pregledima neophodno je da se koriste sva raspoloživa sredstva zaštite: suženje primarnog snopa zrakova na neophodne granice, skraćenje vremena trajanja pregleda na neophodno korišćenje paravana, zaštitne kecelje, rukavica, sredstva zaštite gonada i drugog.

- Pri indiciranju rendgenskog pregleda neophodna je razumna ljudska i medicinska kritičnost.

- Da bi se sve napred rečeno i drugo u vezi stim sprovelo u praksi, neophodna je dosledna primena Zakona.

S u m m a r y

SOME VALUES OF ADDITIONAL DOSES OF RADIATION OF THE POPULATION DURING X-RAY EXAMINATIONS AND MEASURES FOR THEIR REDUCTION

The authors give a parallel revian of radiation during X-ray examinations with special retrospection to the type of the used X-ray apparatus and the technique of examination.

It has been drought aut decidely: the types of the used X-ray apparatus, the conditions of the examinations (kV, mA s) the time of exposure, the distance of the tube focus, the location of the measurements and the measurd values of the ionization.

In the discussion the authors compare the results of their measurements to the registerd values of the others authors during adequate examinations, giving their own comments.

Thanks to this study the following conclusions have been obtained: the values of radiation of the population by X-ray examinations are of great importance although the measured radiation can have only corelative value.

Finally it should point aut the importance of the protection,

the importance of the education of the law prescriptions which regulate the matter of sources of ionization the persons engaged professionally in this work and the persons submitted to this examinations.

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

1.ANDJELIĆ,B.: Medicinski pregled, XIII,6-7, 453,196o.
2.BABIĆ,R. et al.: Zbornik radova I Intersekcijskog sastanka radicloških sekcija, Sarajevo, 9,1972.
3.NINKOVIĆ,Ž. i BABIĆ,R.: Zbornik radova VII Intersekcijskog sastanka radiologa, Dojran, 275, 1975.
4.KELER,A. et al.: Acta medica Medianae, Niš, VIII, 3,17,1969.
5.STERLE,M.: Radiologia Jugoslavica, 6,1o9,1972.
6.PAPE,R.,ZAKOWSKY,J.: Fortschrt.Röntgenstr. sept.,326,1965.
7.PANIĆ,I.: Zbornik radova VII Intersekcijskog sastanka radiologa Dojran, 327,1975.

IX simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Hebrang A., Zubac Z., Petrovčić F., Kubelka D, Brala Z.

Centar za bolesti krvnih žila Kirurške službe i Zavod za radiologiju Kliničke bolnice "Dr O.Novosel" u Zagrebu i Institut za medicinska istraživanja, Zagreb

# ZAŠTITA BOLESNIKA OD RENDGENSKOG ZRAČENJA KOD ANGIOGRAFSKIH PRETRAGA

Angiografske dijagnostičke metode sve se češće primjenjuju u našim medicinskim ustanovama.Bolesnik je kod angiografije izložen većoj količini zračenja nego od drugih rendgenskih metoda. Razlog tome je dulje trajanje dijaskopije i veliki broj serijskih rendgenskih snimaka. Na temelju mjerenja doze u visini gonada bolesnika pokazujemo o čemu ta izloženost ovisi. Iznosimo mogućnosti smanjenja izloženosti bolesnika kod angiografije. To je u prvom redu postavljanje stroge indikacije za ovu pretragu, a zatim provođenje praktičnih mjera zaštite pri izvođenju.

## U V O D

Angiografija je rendgenska metoda prikazivanja krvnih žila različitih organa pomoću kontrastnog sredstva. Angiografska pretraga sastoji se od dva dijela, a u svakom od njih bolesnik i radiološko osoblje izloženi su djelovanju rendgenskih zraka. Prvi dio pretrage je uvođenje katetera u odabranu krvnu žilu pod kontrolom dijaskopije. U drugom dijelu kroz ovako uvedeni kateter injicira se kontrastno sredstvo. Protok tog kontrasta kroz arte-

rije i vene rendgenski se snima pomoću brzih izmjenjivača filmova (seriomat) brzinom od 1-6 snimaka u sekundi. Budući da je problem zaštite od zračenja osoblja koje pretragu izvodi obrađen u drugom referatu, ovdje ćemo se ograničiti na zaštitu bolesnika.

U većini naših medicinskih centara angiografska dijagnostika se je tek počela uvađati, a u bližoj budućnosti očekujemo njezinu sve češću primjenu. Kod ovih pretraga bolesnik je izložen opasnostima mogućih nuzpojava izazvanih kontrastom ili samim manipuliranjem kateterom, ali i velikim dozama radijacije i zato smatramo da o tome treba opširnije govoriti. U radu prikazujemo kolika je izloženost angiografiranih bolesnika, a zatim ukazujemo na važnost provođenja mjera prevencije i zaštite.

## M E T O D E  N A Š I H  M J E R E N J A

Mjerili smo doze rendgenskog zračenja kojima su izložene gonade bolesnika za vrijeme dijaskopije i posebno za vrijeme serijskog snimanja kod angiografskih pretraga. Mjerenja su vršena kod tri načešće lokalizacije rendgenskog snopa, ovisno o dijelu tijela u kojemu se nalaze angiografirani organi. Zato smo posebno mjerili zračenje u visini gonada bolesnika u slučaju kada je dijaskopirano a zatim snimano područje trbuha (abdomena), grudnog koša te glave i vrata. U svakoj od ove tri grupe angiografskih pretraga mjereno je po pet muških i pet ženskih bolesnika, a u rezultatima su iznijete srednje vrijednosti tih mjerenja. Pri određivanju površine rendgenskog snopa uzeli smo tri različite vrijednosti kod dijaskopije (35 x 35 cm, 20 x 20 cm i 10 x 10 cm) i dvije kod snimanja ( za snimke formata 35 x 35 cm i 24 x 30 cm).

Mjerenja su vršena mjernim instrumentom koji radi na prin-

cipu ionizacione komore (Eberline RO-1, serija 775).

## R E Z U L T A T I

DIJASKOPIJA. Reguliranje prodornosti i intenziteta rendgenskog snopa vrši se kod dijaskopije na našem aparatu (Triplex angiomatic, Siemens) automatski, a kreće se između 80 i 100 KV i 2,5 do 3 mA. Doze na gonadama bolesnika pokazuje tablica 1.

TAB. 1

| DIJASKOPIRANO PODRUČJE | POLJE 35 x 35 cm | POLJE 20 x 20 cm | POLJE 10 x 10 cm |
|---|---|---|---|
| trbuh | 14,0 | 6,5 | 1,6 |
| grudni koš | 6,8 | 2,8 | 0,8 |
| glava i vrat | 3,9 | 1,8 | 0,4 |

Izmjerene doze u visini gonada bolesnika (srednje vrijednosti 10 mjerenja za svaku veličinu polja) u mR/min

Srednja vrijednost dužine trajanja dijaskopije ovih angiografija iznosi na području trbuha 6,3 min, na grudnom košu 5,8 min a na glavi i vratu 8,4 min. Na temelju ovih mjerenja u tablici 2 prikazana je izloženost gonada bolesnika za cijelo vrijeme trajanja dijaskopije, prema ispitivanom području i pri različitim površinama primarnog rendgenskog snopa (u mR).

TAB. 2

| DIJASKOPIRANO PODRUČJE | POLJE 35 x 35 cm | POLJE 20 x 20 cm | POLJE 10 x 10 cm |
|---|---|---|---|
| trbuh | 88,2 | 41,0 | 10,0 |
| grudni koš | 39,4 | 16,2 | 4,6 |
| glava i vrat | 32,7 | 15,1 | 3,4 |

SNIMANJE. Mjerenja kod snimanja vršena su kod jedne ekspozicije iz serije. Posebno je mjerena izloženost gonada bolesnika kod angiografskog snimanja područja trbuha, grudnog koša te glave i vrata. Kvaliteta rendgenskog snopa određena je sa 80-110 KV, 400 mA i 0,08 sek (tablica 3).

TAB. 3

| SNIMANO PODRUČJE | POLJE 35 x 35 cm | POLJE 24 x 30 cm |
|---|---|---|
| trbuh | 2,6 | 0,9 |
| grudni koš | 0,6 | 0,2 |
| glava i vrat | 0,2 | 0,1 |

Doze kod jedne snimke iz serije (mR)

Srednja vrijednost broja snimaka u jednoj seriji na pojedinom području kao i ukupna doza na gonade bolesnika kod jedne serije snimaka prikazana je u tablici 4.

TAB. 4

| SNIMANO PODRUČJE | BROJ SNIMAKA | POLJE 35 x 35 cm | POLJE 24 x 30 cm |
|---|---|---|---|
| trbuh | 21 | 54,6 | 18,9 |
| grudni koš | 14 | 8,4 | 2,8 |
| glava i vrat | 18 | 3,6 | 1,8 |

Ukupne doze na gonade pri seriji snimaka jedne angiografije (mR)

Rezultati pokazuju kolika je važnost sužavanja površine rendgenskog snopa pri dijaskopiji i snimanju. Količina zračenja na gonade bolesnika pri dijaskopiji područja trbuha poljem 10x10

cm trostruko je manja nego pri dijaskopiji vrata i glave ali poljem 35 x 35 cm. Kod snimanja vrlo je važan broj snimaka u seriji. Ukupnu izloženost gonada bolesnika (zbroj doza kod cijele dijaskopije i pri cijeloj seriji snimaka) pokazuje tablica 5.

TAB.5

| ANGIOGRAFIJA PODRUČJA | DIJASKOPIJA | SNIMANJE | UKUPNO |
|---|---|---|---|
| trbuh | 41,0 | 18,9 | 59,9 |
| grudni koš | 16,2 | 2,8 | 19,0 |
| glava i vrat | 15,1 | 1,8 | 16,9 |

Ukupna doza na gonade bolesnika (mR) kod jedne angiografije. Površina polja kod dijaskopije 35 x 35 cm, a kod snimanja 24 x 30 cm

Ukupna izloženost gonada kod angiografije je velika, a ovisi o dužini trajanja dijaskopije, programiranom broju snimaka u seriji, površini snopa i kvaliteti rendgenskih zraka. Izloženost bolesnika kod većine drugih rendgenskih metoda je manja, što vidimo u podacima iz literature (1,2,3). Glavni uzroci tome su dulje trajanje dijaskopije i veći broj snimaka (4). Ovdje treba dodati i smanjenu mogućnost primjene sredstava za zaštitu bolesnika od zračenja.

## P R E V A N C I J A I Z A Š T I T N A S R E D S T V A

Prevencija je najvažnija u sprečavanju neželjenih posljedica zračenja. Zato za svaku angiografiju mora postojati medicinsko opravdanje (indikacija). U postavljanju indikacija mora se voditi računa o granicama dijagnostičkih mogućnosti angiografija.

Za vrijeme izvođenja angiografije potrebno je koristiti

sredstva za zaštitu bolesnika. Njihova upotreba je otežana, jer se cijela pretraga izvodi u sterilnim uvjetima. Ipak je moguća primjena zaštitne školjke ili žlice za testise (5), uz uvjet da je umotana u sterilnu navlaku. Na isti način treba koristiti i štitnik za jajnike. Kod snimanja zdjeličnih arterija žene ovakav štitnik je nepodesan jer bi prekrio dijagnostički važno područje. Pregače i ploče od olovne gume, kojima se prekriva donji dio trupa bolesnika, mogu se kod angiografije rijetko primijeniti. Ova zaštitna sredstva ometala bi punktiranje arterije koje se najčešće vrši u preponi, a isto tako bilo bi nemoguće rukovanje kateterom koji se na tom mjestu uvodi u arteriju. Upravo ova ograničenja u upotrebi sredstava za zaštitu bolesnika od zračenja još više ističu važnost strogih indikacija i ispravne tehnike dijaskopiranja i snimanja za vrijeme angiografije.

## Z A K L J U Č A K

Angiografska pretraga spada među moderne rendgenske metode, sve se češće primjenjuje, a bolesnika kao i radiološko osoblje izlaže velikim količinama radijacije. Kako smo ovdje prikazali, uz pravilnu indikaciju najvažnije mjere zaštite bolesnika su ispravna tehnika izvođenja dijaskopije i snimanja, te upotreba zaštitnih sredstava.

## L I T E R A T U R A

1. LARSSON,L.E.: Acta Radiol. 46:680, 1956
2. PETROVČIĆ,F.: Radiol.Iugosl. 7:275, 1973
3. MARGULIS,A.R.: Amer.J.Roentgen. 67:741, 1973
4. KONDE,J. et al.: Acta Radiol. 15:454, 1974
5. PETROVČIĆ,F.: Lij.vjes. god.82:233, 1960

## S U M M A R Y

The dosses of radiation wera determined on gonads of patients during angiographic procedures. The level of patient exposure is higher than in other radiological methods. We indicate some ways to diminish the exposure of patients.

IX simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Zubac Z., Hebrang A., Petrovčić F., Brala Z., Kubelka D., Rukavina A.

Zavod za radiologiju i Centar za bolesti krvnih žila Kirurške službe Kliničke bolnice "Dr O. Novosel", Zagreb, i Institut za medicinska istraživanja, Zagreb

# ZAŠTITA PROFESIONALNOG OSOBLJA KOD IZVOĐENJA ANGIOGRAFSKIH PRETRAGA

Sve češća primjena angiografske rendgenske dijagnostičke metode povećava izloženost zračenju bolesnika i radiološkog osoblja. Kod gotovo svih uređaja za angiografska snimanja rendgenska cijev je iznad ležećeg bolesnika, u neposrednoj blizini radiologa i drugog osoblja. Zbog toga je osoblje izloženo ne samo zračenju koje propušta oklop rendgeske cijevi, već velikim dijelom i rasapnom zračenju iz tijela bolesnika. To su razlozi zbog kojih treba više paziti na zaštitu od zračenja kod ovih pretraga. Prikazujemo izloženost radiološkog osoblja zračenju prilikom izvođenja angiografije, kao i mjere kojima se ta izloženost mora smanjiti.

## U V O D

Pri izvođenju angiografsih metoda uz radiologa sudjeluju viši radiološki tehničari, medicinske sestre, a ponekad i liječnici specijalisti drugih struka. U prvom dijelu pretrage, u kojem se rendgenskom dijaskopskom kontrolom uvodi kateter u pojedine krvne žile, osoblje stoji neposredno uz bolesnika. U drugoj fazi angiografske pretrage kroz taj se kateter injicira kontrast i vrši serijsko snimanje. Za razliku od većine drugih rendgenskih

dijagnostičkih postupaka, radiološko osoblje često mora ostati uz bolesnika i za vrijeme snimanja. To znatno povećava njihovu izloženost zračenju za vrijeme rada,

Posebno treba naglasiti, da se angiografska pretraga izvodi u ležećem položaju bolesnika, pa je osoblje izloženo ne samo zračenju koje propušta oklop rendgenske cijevi (a koje po propisu ne smije prelaziti 0,1 R u jednome satu na udaljenosti od 1 metra), već i velikoj količini raspršenog zračenja iz tijela bolesnika i ostalih predmeta kroz koje prolazi primarno zračenje. Konstrukcija većine seriografskih aparata je takva, da je rendgenska cijev smještena u neposrednoj blizini osoblja. Od radiologa koji pretragu izvodi udaljena je samo oko 30 cm.

Iznosimo rezultate mjerenja izloženosti profesionalnog osoblja pri angiografijama i razmatramo mogućnosti mjera zaštite od zračenja.

## M E T O D A  M J E R E N J A

Mjerili smo dozu rendgenskog zračenja u visini gonada i u visini čela radiologa koji pretragu izvodi. Svaki rezultat je srednja vrijednost mjerenja kod 10 angiografija. Posebno smo mjerili izloženost pri dijaskopiji, a zatim pri snimanju uz upotrebu različito velikih površina rendgenskog snopa. Karakteristike rendgenskog snopa kod dijaskopije određene su sa 90-100 KV i 2,5 do 3 mA. Snimanja su vršena sa 80-110 KV, 400 mA i 0,08 sek. Sva mjerenja su vršena mjernim instrumentom koji radi na principu ionozacione komore (Eberline RO-1, serije 775). Upotrebljena veličina polja kod dijaskopije bila je 35 x 35 cm, 20 x 20 cm i 10 x 10 cm. Za snimanja ispitivanli smo dozu zračenja kod polja površine 35x35

cm i 24 x 30 cm.

## R E Z U L T A T I

Rezultati mjerenja kod dijaskopije (tablica 1) pokazuje da doza naglo opada sa smanjivanjem površine snopa.

TAB.1

| VELIČINA POLJA (cm) | GONADE | ČELO |
|---|---|---|
| 35 x 35 | 20,0 | 16,2 |
| 20 x 20 | 6,7 | 8,0 |
| 10 x 10 | 1,1 | 2,4 |

Rezultati mjerenja pri dijaskopiji (bez pregače) u mR/min

Izloženost pregledavača u visini gonada i čela pri snimanju pokazuje tablica 2.

TAB.2

| VELIČINA POLJA (cm) | GONADE | ČELO |
|---|---|---|
| 35 x 35 | 1,7 | 0,6 |
| 24 x 30 | 1,5 | 0,5 |

Rezultati mjerenja po jednoj snimci iz serije (mR)

U tablici 3 pokazujemo prosječnu izloženost zračenju po jednoj angiografskoj pretrazi. Dužina trajanja dijaskopije i broj snimaka u seriji su srednje vrijednosti mjerenja kod trideset uzastopnih angiografija u predjelu abdomena. Kao prosječna veličina polja dijaskopije uzeto je polje 20 x 20 cm, a polje snimanja 35 x 35 cm.

TAB. 3

| REGIJA | DIJASKOPIJA TRAJANJE (min) | mR/min | UKUPNO (mR) | SNIMANJE BROJ | mR/snimci | UKUPNO (mR) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GONADE | 6,3 | 6,7 | 42,2 | 21 | 1,7 | 35,7 |
| ČELO | 6,3 | 8,0 | 50,4 | 21 | 1,5 | 31,5 |

Prema tome, pregledavač je izložen kod jedne angiografije djelovanju radijacije od 77,9 mR na predio gonada, i 81,9 mR u predjelu čela.(zbroj doza kod dijaskopije i snimanja).

## DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Sva ranija mjerenja (1,2), pa i ova naša, ukazuju na veliku izloženost profesionalnog osoblja u toku angiografskog zahvata. U uvodu je spomenuto da su uzroci tome ležeći položaj bolesnika i položaj rendgenske cijevi iznad stola za izvođenje angiografija. Osim toga, veći dio osoblja povremeno ostaje uz bolesnika i za vrijeme snimanja. Prema tome su neobično važne sve mjere zaštite od zračenja kojima se može smanjiti izloženost radijaciji. Mjere kojima se smanjuje izloženost bolesnika, o kojima raspravljamo u drugome članku, ujedno su i zaštita profesionalnog osoblja od neposrednog izlaganja.

Dobrom izobrazbom profesionalnog osoblja treba kod njega razviti "zdravi respekt" od svakog nepotrebnog izlaganja zračenju. Provjera indikacije za izvođenje svih radioloških pretraga mora biti svakodnevna praksa radiologa, napose za izvođenje ove vecma opasne metode. Pri izvođenju pretrage kakva je angiografija mora se strogo voditi računa o više elemenata.

1. Kod izvođenja treba primijeniti uski rendgenski snop, jer primljena doza u velikoj mjeri ovisi o tome.
2. Dijaskopiju i snimanje treba raditi sa optimalnim naponom, jer svako nepotrebno povećanje KV povećava rasap, a s time i izloženost osoblja.Istovremeno se smanjuje i oštrina slike.
3. Treba primijeniti minimalne mA struje rendgeske cijevi da bi se smanjio intenzitet radijacije. Zbog toga je neobično važno da se dijaskopija provodi sa uređajem za televizijski prenos slike.
4. Pri snimanju treba odrediti točne ekspozicije (mAs) uz ispravnu standardnu fotografsku obradu rendgenograma.
5. Profesionalno osoblje zbog velike izloženosti kod angiografije ne smije vršiti preveliki broj pretraga u toku radnoga tjedna. Zbog prevelikog broja pretraga trpiti će ne samo kvaliteta pretrage , a osim toga osoblje je suviše izloženo djelovanju radijacije. Dobro bi bilo da u ustanovama gdje se vrši ova pretraga postoji više ekipa koje će se mijenjati.
6. Sve profesionalno osoblje koje u toku izvođenja angiografija ostaje u blizini bolesnika mora nositi zaštitnu pregaču i zaštitne rukavice. Kod ove pretrage svakako dolazi u obzir i zaštita gonada posebnim sredstvima (3).
7. Sve osobe koje ne moraju prisustvovati svim fazama pretrage treba udaljiti iz prostorije.
8. Treba opskrbiti angiografske uređaje sa dodatnim zaštitnim pregačama od olovne gume, olova uloženog u drvo ili slično. Te pregrade moraju biti na stropnim ili podnim stativima. Moraju imati otvor koji omogućava injiciranje kontrasta i manipuliranje kateterom.
9. Štrcaljke kojima se injicira kontrast moraju također biti iza

ovakve pregrade, tj. izvan područja djelovanja primarnog i raspršenog zračenja. Nsophodno je potrebna primjena automatskih visokotlačnih aparata za injiciranje kontrastnog sredstva. Ipak, njihova upotreba je ograničena na samo neke angiografske zahvate, dok se kod ostalih injiciranje vrši rukom.

## L I T E R A T U R A


1. OJDANIĆ,Z.: Radiol. Iugosl. 4:307, 1974
2. LANGHLIN,S.J. and al.: Amer. J. Roentgen. 78:961, 1957
3. PETROVČIĆ,F.: Arh. hig. rada 17:317, 1966


## S U M M A R Y


The doses of exposure were determined in proffesional persons during angiographic procedures. The results indicated the doses near li,its of permissible doses. We indicate some ways to diminishe the exposure during the angiographic study.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce,31.V. do 3.VI.1977.

Hadjibegović Reuf,Puvačić Zlatko,Bušatlija Asim,Puvačić Bahrija

Dom zdravlja Bugojno

# PREVENCIJA RADIOLOŠKE EKSPOZICIJE U TRUDNOĆI

Trudnoća predstavlja fiziološko stanje kod koga je primjena svakog jonizirajućeg zračenja rizična.Radiološki zraci či ne odredjenu fenomenologiju na razvoj fetusa.Postoje rezultati ispitivanja koji ukazuju na pojavu leukemije kod djece koja su bila ozračena u utrobi majke.Prema tome svako ozračenje trudnice kao medicinske intervencije može biti biološki rizik.Praćen je ishod trudnoće kod 32 trudnice koje su bile izložene medicinskoj ekspoziciji rendgenoloških pregleda.Normalan ishod trudnoće imale su 28 ili 87,5%,a ni kod jednog rodjenog djeteta za sada nisu se mogle utvrditi organske ni psihičke nepravilnosti razvoja.

## Uvod

Radiolozi ističu da ne postoji tako malena radiaciona doza koja ne bi ugrožavala čovjeka,bilo genetski,bilo somatski. Posebno se ističe štetan utjecaj zračenja na pravilan razvoj fetusa.Učestalost leukemija je mnogo veća kod djece koja su kao fetusi u utrobi majke bili ozračena,nego kod djece koja nisu imala ovaj izvor zračenja. (1)

Opšte je zabrinjavajuća činjenica porasta tendencije upotrebe dijagnostike medicinskih rendgen aparata.Komitet eksperata SZO ističe da je taj porast svake godine 10 - 15 procenata. (2)

## Rizik jonizirajučih zračenja za vrijeme trudnoće

Trudnoća je fiziološko stanje organizma koje je posebno rizično izlaganju jonizirajućeg zračenja.Svako izlaganje trudnica jonizirajučem zračenju prije svega izaziva i nosi biološki rizik.Taj biološki rizik zračenja je potenciran,a odražava se somatskim i genetskim posljedicama zračenja.Posebno kod izlaganja trudnica radioizotopskim pretragama taj rizik je još naglašeniji.Činjenica da jonizirajuće zračenje može da utiče

na genetsku mutaciju,još više ističe ovaj problem javne zdravstvene službe.(3) Ovaj problem postaje još značajniji,kada se imaju u vidu prirodni izvori zračenja,a prema kojima ne postoji nikakva mogućnost zaštite trudnica. (5)
Još uz to da se navede i zračenje koja imaju razni vještački izvori zračenja,medju kojima se trudnica aktivno kreće,ovaj problem postaje još veći.
Sve su to navodi koje treba da istakne javna zdravstvena služba kao veoma ugrožavajući faktori sredine koji imaju i te kako značenje i utjecaj u pravilan razvoj ploda.

Collins (1969) iznosi zapažene rezultate pračenja rizika zračenja na pravilan psihički i fizički razvoj ploda u utrobi.Po njegovim ispitivanjima incidenca genetskih defekata u kontrolnoj populaciji koja nije bila povrgnuta utjecaju vještačkih izvora zračenja bila je 15 na milion rodjene djece, dok u grupi koja je primila zračenje bila je 20 na milion živorodjene djece. (3)

Naš komentar ovim rezultatima bio bi da su svi navodi samo trenutačni odnosi,a da bi rezultati dužeg praćenja tek istakli pravu pojavu i odnose utjecaja jonizirajučeg zračenja na razvoj ploda.
Sve su to razlozi pred kojima se često sa puno rizika nalazi zdravstvena služba,posebno u samom početku trudnoće,kada često ni žena-trudnica nije sigurna da je trudna,odredjuje radiološke pretrage ili intervencije.

Praćenje ishoda trudnoće kod trudnica koje su bile izložene jonizirajučem zračenju

Od 1973 do kraja 1976 godine praćene su 32 trudnice koje su u prva tri mjeseca trudnoće bile izložene medicinskoj dijagnostičkoj ekspoziciji rendgenoloških pregleda.Kod 19 ili 59,37% bila je trudnoća prvog mjeseca,kod 9 ili 28,12% drugog mjeseca i kod 4 ili 12,5% trečeg mjeseca.Kod svih trudnica je bila izvršena rendgenološka pretraga prsa,srca i pluća. Navedena dijagnostička pretraga bila je sprovedena ne iz vitalne potrebe,a ni jedna trudnica nije ukazala ljekaru koji je vršio preglede na stanje trudnoće.Sve žene su bile pod nadzorom zdravstvene službe,kako bi se utvrdio ishod trudnoće,

poroda,pravilnost,odnosno nepravilnost razvoja ploda.
Spontani prekid trudnoće su imale 2 ili 6,25% posmatranih trudnica.Prevremeni porod živorodjene djece su imale 3 ili 9,37% trudnica.Kod svih ostalih posmatranih trudnica ishod trudnoće je bio normalan.Ukupno 28 ili 87,5% su nakon punog nošenja rodile živorodjenu djecu,pravilnog fizičkog i psihičkog razvoja.
Do sada ni kod jednog djeteta nije se ustanovio nepravilnost razvoja,kao ni oboljenje za koje bi uzročno moglo povezati rendgenološku dijagnostičku pretragu.

Diskusija i zaključak

Najopasniji i najglavniji izvor zračenja su danas rendgen aparati.Česti rendgenski pregledi nisu bezopasni.Posebno rendgenska zračenja u terapeutske svrhe predstavljaju smišljeni rizik,gdje se "pacijent izlaže jednoj opasnosti u svrhu smanjenja druge". (6)

U pogledu ozračivanja germinativnih tkiva,ona su kumulativna.Danas je poznato da gonade savremenog čovjeka u prvih trideset godina života,a u periodu koji je značajan za reprodukciju primaju prosječno 3ooo mr. do 4ooo mr,iz prirodnih i vještačkih izvora.
Prihvaćeno je,iako teoretski nema minimalne doze da doza od 1o ooo mr. u tom vremenskom intervalu predstavlja granicu ispod koje alternacija genetskog nasledja nije patološka. (7)

Medjutim kod trudnica teško je odrediti toleranciju na radijaciju,jer ne postoji odredjen način da se utvrdi efekat radijacije na razvoj fetusa.

Prema tome u prevenciji radiološke ekspozicije žena trudnica treba da učestvuju svi profili ljekara koji rade na zdravstvenoj zaštiti žena fertilne dobi.

Prevention of Exposure to Radiology in Pregnancy

Pregnancy poses a special risik if ionising radiation is to be applied.Any exposure presents a biological risik,somatic

or genetic.The fetus is particularly sensitive to radiation. The occurrence of leukemia resulting from intra-uterine irradiation is The outcome of pregnancy was studied in 32 women had been exposed to diagnostic radiations during the examination of the breast,heart and lungs.Normal outcome of pregnancy was found in 28,or in 87,5% of the total number of respondents and in no case any physical or psychic impairments of their infants were detected.

Literatura

1. MORGANG,Z.,Amer.Ind.Hyg.Ass.J.,36,358,1975.
2. Exspert Committee on Radiation,N 306,4.
3. COLINS,J.,Health Hasards of Ionizing Radiations and Radioactive supstances; Newyork,1969.
4. MOELLER,D. et al.,Public Reports,68,57,1953.
5. ĆERKEZ,F.,Radovi X ped.dana,1970,155.
6. ŽARKOVIĆ,G.,Udžbenik higijene,260,Sarajevo,1970.
7. PAJIĆ,D.,POPOVIĆ,L.,RAŠIĆ,B.,Scripta medica,1-4,1975.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja.
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Puvačić Zlatko,Bugarčić Rade,Puvačić Bahrija,Hadžimujić Izet,
Čatić Djemila.
Medicinski centar Travnik

PROCJENA RIZIKA RADIOGRAFIJE KARLICE KOD DOJENČADI

Tokom 1976.godine pod nadzorom savjetovališta za zdravu djecu bilo je 308 djece,kod koje se posebna pažnja posvetila uočavanju urodjenog iščašenja kuka.Djeca do četiri mjeseca starosti sa pozitivnim kliničkim nalazima urodjenog iščašenja kuka nisu podvrgavana radiografiji karlice.Od 71 dijete starosti do četiri mjeseca života kod 21 ili 29% su utvrdjeni pozitivni klinički nalazi urodjenog iščašenja kuka.Od 237 djece starosti od 4 do 12 mjeseci života kod 102 ili 43% su utvrdjeni pozitivni klinički znaci iščašenja kuka.Radiografija karlice radjena je kod svih,a pozitivan radiološki nalaz je bio kod 41 ili 40%.U radu je dat osvrt na radijaciju karlice djeteta kroz osvrt na savremene tekovine medicine.

Uvod

Prekretnica u prevenciji luksacije anomalije kuka nastaje 1937.godine,kada je Marino Ortolani uspjeo da ubjedi medicinsku javnost da suština sprečavanja razvoja " kuka " koji se razvija u pravcu dislokacije" leži u što ranijim sistematskom otkrivanju i liječenju u neposrednom postneonatalnom periodu.Displazija kuka predstavlja jednu od najčešćih kongenitalnih anomalija,a aktuelan je medicinski problem koji zaokuplja pažnju i pedijatra,ortopeda,rendgenologa i akušera. (1)

U Švedskoj se 96% dijagnoza kongenitalnih anomalija postavlja u novorodjenačkom periodu. (2) Problem luksacije kukova nameće društvu veliku obavezu obzirom na prisutan invaliditet,materijalni aspekt liječenja,da bi pregled kukova kod novorodjenčadi trebao biti obavezan,kao i vakcinacija. (3) Luksantna anomalija kuka je varijabilnost,pa se prva frekvencija potencijalnih luksantnih anomalija neće ni saznati.(4) Funkcionalno usavršavanje bedrenog zgloba traje sve do dvadesete godine,a njegovo funkcionalno modeliranje naročito je

izraženo u prve dvije godine života. (5)

Radijacija i radiološka zaštita

U prva četiri mjeseca života vrijednost kliničkih znakova luksantne anomalije je veća od radioloških nalaza,koji tek u četvrtom mjesecu života postaju neophodni za dijagnostiku.(6) Radiolozi sve više ukazuju da ne postoji tako mala doza zračenja koja ne bi ugrožavala čovjeka,bilo genetski ili somatski. (7) Utvrdjene su doze primljene radijacije pri dijagnostičkoj radiografiji karlice novorodjenčadi.Ako se snimanje vrši šestovalentnim,odnosno polutalasnim rentgenom doze zračenja su: ovarijalne 3,5 i 5,8 mr,testikularne bez štita 1o,o i 14,7 mr., testikularne bez štita 0,o mr. i kožne 11,5 i 16,o mr. (8)

Medjutim i pored toga što radiografisanje karlice izaziva malu,praktično bezštetnu radijaciju,zbog kumulativnih odnosa radijaciju treba svesti na minimum.

Klisić (1975) ističe da u svim slučajevima kada se rano otkriju klinički znaci urodjenog iščašenja kuka treba do navršenog četvrtog mjeseca života započeti liječenje bez radiološke kontrole,sem " ukoliko je ista neophodna iz diferencijalno-dijagnostičkih razloga." (8)

Radiografiju u prva četiri mjeseca života,kao potvrdu kliničke dijagnoze ne preporučuje se.Dokazano je da se varijabilnost kosine krova acetabuluma u kukova prisutne u prvim mjesecima života može kasnije normalizovati.(9) To je još jedan dokaz pored štetnosti radijacije i nepouzdanost patoloških radioloških znakova u prvim mjesecima života.

Zaštita od zračenja se vrši maksimalnim redukovanjima ekspozicionih doza,smanjivanjem veličine tubusa i upotreba zaštitnih štitova na X zrake.Testikularna doza radijacije je posebno izražena u odnosu na ovarijalnu,pa je zaštita testisa olovnom gumom imperativ.

Etiološki faktori urodjenih anomalija kuka nisu još poznati.Razlika u kliničkim nalazima,posljedica je najvjerovatnije varijabilne simptomatike,koju pokazuju zglobovi u prvim mjesecima postnatalne evolucije.Prisutnost kako repozicionog tako i luksacionog fenomena preskakanja su znak nestabilnosti zgloba.

Već u prvim danima života,na osnovu Ortolinijevog i Palmenovog testa mogu se kod novorodjenčadi utvrditi: normalni kuk, luksabilan,luksiran,kao i teratološku luksaciju. (10)

Upravo dobro izvršen klinički pregled novorodjenčadi predstavlja prvu prevenciju radiološkog zračenja novorodjenčeta.

Rezultati rada u savjetovalištu za zdravu djecu

U toku 1976.godine pod nadzorom zdravstvene službe,a preko savjetovališta za zdravu djecu Medicinskog centra Travnik obuhvaćeno je 308 novorodjenčadi kod koje je praćen razvoj kuka.Kod 123 djece utvrdjen je pozitivan klinički nalaz urodjenog iščašenja kuka ili 39,93%. (tabela 1)

TAB.1

Klinička i radiološka dijagnoza urodjenog iščašenja kuka

| Starost u mjesecima | Broj djece | Pozitivan klinički nalaz | % | Radiografija karlice | + nalaz | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 - 4 | 71 | 21 | 29,57 | 0 | 0 | 0 |
| 4 - 12 | 237 | 102 | 43,o3 | 102 | 41 | 40,19 |
| UKUPNO: | 308 | 123 | 39,93 | 102 | 41, | 40,19 |

Medju djecom starosti do 4 mjeseca života pozitivni klinički znaci urodjenog iščašenja kuka su bili u 29,57%,a kod svih je sprovedeno liječenje bez radiološke dijagnostike.

U grupi djece starosti od 4 - 12 mjeseci života sa pozitivnim kliničkim znacima urodjenog iščašenja kuka su podvrgnuta radiografiji.Pozitivni radiološki znaci su bili kod 41 ili 40,19%.

## Zaključak

U prva četiri mjeseca vrijednost kliničkih znakova luksantne anomalije kuka nesrazmerno je veća od radioloških nalaza.Kasnije uz navedene mjere zaštite,radiološka dijagnostika postaje neophodna.Definitivna radiološka evaluacija stanja zgloba kuka moguća je nakon navršenih 12 mjeseci života.

## Assessment of Risks Associated with the Pelvis Radiography in Infants

In the course of 1976, 308 infants were under the supervision of the well-baby clinic,especially to determine the number of those among them with inborn hip luxation.For 123 infants clinical findings proved to be positive,and the infants of up to four months of age were treated without radiographic proof.Out of the 1o2 babies of more than four months of age,with positive clinical findings,radiography confirmed the diagnosis of inborn hip luxation in 41.Radiography within the first four months of life is not recommended.

## Literatura

1. HADJIĆ,I.,Scripta medica, 1-4,41,1975.
2. ROSEN,S.,Journ.of Bone and Joint Surgery,43,3,492,1962.
3. NAJDANOVIĆ,R.,Scripta medica, 1-4,1975.
4. VELISAVLJEV,M.,BANIĆ,M.,Scripta medica, 1-4,1975.
5. HADJISELIMOVIĆ,H.,Scripta medica, 1-4,1975.
6. PAJIĆ,D.,POPOVIĆ,L.,RAŠIĆ,B.,Scripta medica, 1-4,1975.
7. MORGAN,Z.,Amer.Ind.Hyg.Ass.J.,358,1975.
8. KLISIĆ,P.,PAJIĆ,D.,Suzbijanje urodjenog iščašenja kuka,10-79, 1975,Srbija,Beograd.
9. RYDER,T.,MELIN,C.,Clinical orthop.,22,7,1962.
10. BRECELJ,B.,Scripta medica, 1-4,1975.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.god.

Višnjić V., Jeremić M., Panov D.

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

# KAPILAROGRAFSKO ISPITIVANJE LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

## Rezime

U radu se opisuju promene koje nastaju na kapilarima prstiju usled izlaganja jonizujućim zračenjima. Kapilaroskopska i kapilarografska ispitivanja mogu doprineti u proceni eventualnih oštećenja u lica koja su profesionalno izložena dejstvu jonizujućih zračenja.

## Uvod

Ispitivanje perifernog vaskulnog sistema metodom kapilarne mikroskopije nije novijeg datuma. Još 1823. godine češki fiziolog P u r k i n j e izneo je svoja zapažanja o mikroskopskom ispitivanju krvnih sudova kože (1), dok je S. L o m b a r-d 1911. godine prvi uspeo da vidi kapilare na ležištu nokta čoveka (2). M i l e r (O. Müller) (3) i njegovi učenici su izmedju 1916. i 1922. godine detaljno razradili metod kapilaroskopskog ispitivanja i on je, primenjen u kliničkim uslovima, privukao pažnju širokog kruga kliničara i fiziologa. Otada je kapilaroskopija uvedena kao cenjen dopunski metod ispitivanja mnogih kardiovaskularnih, nervnih, kožnih, infektivnih, krvnih i endokrinih oboljenja.

Uvodjenje kapilarne mikroskopije kao metoda ispitivanja radijacionih oštećenja kože potiče od N i e k a u-a (1920), a naročito su je razvili D a v i d i G a b r i e l (4) (1923-1924). Na osnovu ispitivanja kože osoba koje su bile izložene

direktnom dejstvu X zraka, David podvlači činjenicu da je kapilarna reakcija posle ozračenja kože konstantna i da nastaje rano. Dosadašnja zapažanja drugih stranih i naših autora (5, 6,7,8), kao i naša lična zapažanja pokazala su da u lica čija je koža izložena direktnom hroničnom dejstvu jonizujućih zračenja nastupaju funkcionalni cirkulatorni poremećaji koji se mogu otkriti metodom kapilarne mikroskopije i da ovaj metod, uz ostale vrste ispitivanja, može da nam posluži kao dobar dopunski test pri proceni eventualnih oštećenja u lica koja su profesionalno izložena dejstvu jonizujućih zračenja.

Histofiziološke napomene

Predmet našeg istraživanja su kapilari kože kao dela sudovnog sistema. Anatomska gradja tog sistema je različita u raznim delovima, shodno funkciji i položaju u krvotoku. Razlike u gradji su važne za normalnu i patološku fiziologiju hemodinamike.

Kapilari su relativno proste gradje, prilagodjeni za što lakšu razmenu materijala izmedju krvi i okolnog tkiva. Debljina njihovog zida iznosi oko 1 mikron, a sastoji se iz endotela, osnovne opne i peritela. Dijametar kapilara je različit i iznosi 5 do 20 mikrona, a dužina 400 do 700 mikrona (9).

Protok krvi kroz kapilare direktno utiče na njihov izgled, a zavisi od različitih faktora u organizmu. Nezavisno od različitih patofizioloških i patoloških poremećaja kapilarni krvotok trpi značajne promene, zavisno od tonusa mišićnog zida arteriola i prekapilarnih sfinktera. Prekapilarni sfinkteri ritmički se kontrahuju i relaksiraju u intervalima 5 do 10 sekundi. Kod trajnije kontrakcije može doći do prekida krvotoka u kapilarima, i obrnuto, kod trajnije opuštenosti ovih mišićnih vlakana dolazi do velikog priliva krvi u kapilare, što izaziva njihovu prepunjenost, proširenje, a ako to duže potraje, i promenu propustljivosti njihovih zidova (10). Sve izneto ima veliki značaj, jer se kapilaroskopom ne vide kapilari, već stub krvi u njima.

Topografija krvnih sudova kože za kapilaroskopiju ima poseban značaj. Sama koža sastoji se od dva glavna sloja:

pokožice (epidermis) i krzna (corium). Donja granica pokožice je talasastog izgleda i leži na krznu. Talasasta gradja potiče od mnogobrojnih kupastih uzvišenja, papila. Papile krzna ulaze u odgovarajuća udubljenja pokožice i obrnuto. Osnovna gradja papila krzna je vezivno tkivo, u kome se nalaze krvni sudovi, KAPILARI, (sudovne papile) i nervni korpuskuli (korpuskulne papile).

U papilama krzna nalaze se kapilarne petlje, slične ukosnici, s venskim krakom nešto širim od arterijskog. Arterijski kraci kapilarnih petlji potiču od razgranjavanja arteriola, a ove pristižu iz dubljih slojeva. Arteriole su prema površini upravljene skoro pod pravim uglom. Venski kraci kapilara utiču u sabirne vene, a ove teku prema gornjem venskom pleksusu, smeštenom odmah ispod papila. Ovaj subpapilarni venski pleksus pripada još uvek površinskoj zoni krzna(stratum papilare), dok se u donjoj zoni(stratum reticulare), nalaze venski pleksusi drugog i trećeg reda.(11)

Kapilaroskopija i kapilarografija

U kliničkoj kapilaroskopiji obavezan je mikroskop sa bočnim osvetljenjem. Najveća uveličanja mogu da se upotrebe samo u slučaju visoke providnosti mesta posmatranja i mirnoće samog mesta. Pod najboljim uslovima uveličanje ide od 6o do 80 puta. U tom slučaju polje posmatranja treba da je postavljeno na tvrdu podlogu. Ova uveličanja moguća su na conjunctiva bulbi oculi i na prstu. Za kliničke potrebe dovoljna su uveličanja od 14 do 40 puta, pogotovu ako se raspolaže sa stereomikroskopom. Stereomikroskop ipak nije pogodan za kapilarografiju. Na tržištu ne postoji kombinacija stereo- i plan-mikroskopa, te ga dobro za fotografiju moramo da koristimo plan-mikroskop, čak i onda ako raspolažemo stereo-mikroskopom.

Uobičajeno je da se pri pomenu kapilaroskopije misli na region ležišta nokta, odnosno epenihijuma. Iako je ovo mesto naročito pogodno, nije dovoljno u svim slučajevima. Budući da epiderm ovde čini nabor, kapilarne petlje leže skoro u istoj ravni, za nas veoma važno, kapilarne petlje leže skoro u optičkoj ravni objektiva mirkoskopa. Pored povoljne topografije kapilara, ovo mesto je pogodno, jer koža ima najpovoljnija

optička svojstva, a pogodan je i položaj pacijenta za vreme posmatranja, mada je smetnja što su ovi delovi često izloženi mehaničkim i drugim optećenjima, koja treba imati u vidu pri oceni specifičnog dejstva jonizujućeg zračenja.

Za posmatranje kapilara potrebno je da se koža premaže imerzionim ili parafinskim uljem. Uz dovoljno jako bočno svetlo u vidnom polju mikroskopa kapilari se vide kao petlje jednake veličine koje su poredjane u paralelnim nizovima. Dobra slika kapilara zavisi od toga koliko svetla pada na njih, a to zavisi od jačine izvora svetla, kondenzora, debljine kože (epidermisa), količine pigmenta u koži i od samih kapilara. Na rezultat kapilaroskopskog pregleda utiču mnogobrojni egzogeni i endogeni činioci, koji izazivaju vazodilataciju ili vazokonstrukciju, a kao važnije, čiji uticaj treba ukloniti su: temperatura, pušenje, emotivni činioci, alkohol, hrana,rad.

Pored uslova za skopiju kapilara za fotografisanje je potreban ugradjen "elektronblic", "blic-lampa" čije je paljenje sinhronizovano sa otvaranjem blende fotografske kamere. Razvijanje crno-belih ili kolor filmova vrši se standardnim fotografskim postupkom. U našem radu praktikujemo izradu fotografija veličine 6 x 9 cm, jer nam ovaj format, s obzirom na uveličanja mikroskopa i kamere, obezbedjuje sliku niza kapilara dužine 1, odnosno 2 mm, zavisno od objektiva 10, odnosno 5x. Na taj način objektivizira se nalaz, na primer, broja kapilara na jedinicu dužine, a ne mora da se govori koliko kapilara ima "u vidnom polju", što je dosta nedefinisano. Za posmatranje detalja na fotografiji preporučuje se upotreba lupe. Fotografiju kapilara smatramo važnom kao objektivan dokaz kriterijuma koji je istraživač primenio u oceni stanja, i kao trajan dokumenat u "kapilaroteci", koji najbolje služi za upoređivanje sa stanjem kapilara prilikom ponovnih pregleda.Time se izbegava jači uticaj lične note koja je uvek prisutna u verbalnim opisima skopije kapilara. Ali i pored sve svoje objektivnosti, kapilarografija ne rešava sve. Naše je iskustvo da veliki broj opažanja, čak veoma značajnih, ne može da se registruje kapilarografski, te ovaj metod ni u kom slučaju ne isključuje kapilaroskopiju.

Kapilarografski-kapilaroskopski nalaz

Naša iskustva nisu dovoljna da bismo mogli govoriti o tome šta treba da sadrži takav nalaz kod lica profesionalno izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja. Slika je veoma promenljiva od slučaja do slučaja, a u našem radu posmatrali smo niz detalja koji svi zajedno, i ocenjeni u svetlu rezultata drugih ispitivanja, kliničkih i laboratorijskih, mogu korisno da posluže u dijagnostici radijacionih oštećenja. Pregledom treba obuhvatiti sve prste gornjih ekstremiteta, a karakteristična mesta slikati.

Smatramo za korisno da iznesemo kojim se parametrima najčešće služimo u oceni stanja kapilarnog sistema izloženih lica. Prokrvljenost podloge ocenjuje se na osnovu boje, a zavisi od stanja samih kapilara i sabirnih vena, odnosno venskog pleksusa prvog reda. Broj kapilarnih petlji je važan podatak; on može biti u fiziološkim granicama, smanjen, usled nestanka jednog dela kapilara, ili povećan, usled patološkog bujanja novoformiranih kapilara, ili kao izraz regeneratornih sposobnosti organizma da nadoknadi deo propalih petlji. Posmatra se raspored petlji, koji može biti skoro paralelan, ili se petlje prostiru pod različitim uglovima. Dužina petlji može biti povećana ili smanjena. Krakovi petlje mogu biti razmaknuti, a s tim u vezi posmatra se poluprečnik krivine savijutka petlje. Obavezno je oceniti konture petlje, granicu prema okolnom tkivu, jer se iz toga može zaključivati o stanju propustljivosti kapilarnih zidova. Deformacije petlji mogu biti veoma raznovrsne, počev od promene kalibra koje se ogleda u suženju ili proširenju, na celoj dužini krakova ili lokalno. Lokalna, anevrizmatična proširenja najčešća su na savijutku petlje. Odnos kalibra krakova treba oceniti prema fiziološkom stanju. Razlike u kalibru krakova mogu biti posledica promena samo na jednom kraku, ili na oba istovremeno. Od jednog broja pacijenata dobro se vidi krvotok i može oceniti njegova brzina. U slučaju trombozovanja kapilara dolazi do zastoja, a u nekim slučajevimakapilaroskopom se može registrovati rekanalizacija tromba. Kao posledica trajne zapreke u krvotoku dolazi do obrazovanja

anastomazirajućih ogranaka. Ove anastomoze nekad su mnogobrojne i veoma nežne gradje, a nekad dolazi do razrastanja krupnijih ogranaka, kada se govori o arborizaciji kapilara. Uopšte uzev, pojavi novoformiranih kapilara treba posvetiti redovnu pažnju. U posmatranju morfologije kapilara obavezno je zapaziti da li su kraci pravi, odnosno blago povijeni, ili su izvijugani u manjem ili većem stepenu, što ima uticaja na brzinu krvotoka. Poseban značaj ima nalaz ekstravazata, plazmatskih i eritrocitnih, a ocenjuje se njihova starost i oblik.. U slučaju izrazito trošne gradje kapilara zapaža se njihovo kidanje, koje nije praćeno kapilarnim krvarenjem.

Diferencijalno dijagnostički dolaze u obzir mnogobrojni egzogeni i endogeni faktori. Sa starošću, na primer, menja se dužina petlji; one postaju duže, izvijugane, protok se smanjuje. U petoj deceniji te promene su praćene tendencijom ka stazi i segementaciji toka. Pored ovog, na kapilaroskopski nalaz značajno utiču srčana dekompenzacija, hipertenzija, arterioskleroza, menstruacija, menopauza, neki lekovi, bakterijski i drugi toksini, metabolični poremećaji, endokrini poremećaji, alergijska stanja, obolenja nervnog sistema kao i razičiita stanja kože izazvana drugim faktorima, biološke, hemijske ili fizičke prirode.(12).

ZAKLJUČAK

Kapilaroskopska i kapilarografska ispitivanja u lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima mogu poslužiti kao dopunski test u proceni eventualnih oštećenja izazvanih dejstvom jonizzjućih zračenja.

LITERATURA

1. VALČIĆ I.: Srpski arhiv, 9-10, 1147, 1970.

2. RUDNEV I.: Boljšaja medicinskaja enciklopedija, 12, 175, 1959, Moskva

3. MULLER O.; Die feinsten Blutgefässe des Menchen in gesunden und kranken Tagen, 1, 55, 1937-1939, Studgart; citirano iz: Boljšaja medicinskaja encikl. 12,175,1959, Moskva

4. DAVID O. und GABRIEL G.: Strahlenther., 15, 372,1923; 16, 372, 1924; citirano iz: LACASAGNE A. et GRICOUROFF G., Actions des radiations ionisantes sur l'organisme, 157, 1956, Masson et C^ie, Paris

5. GUSKOVA A. i BAISOGOLOV G.: Lučevaja bolezn čeloveka, 166, 1971, Medicina, Moskva

6. BRAGINA V i KIRSANOVA G.: Gigiena truda i prof. zabolevanija, 1, 43, 1968.

7. VASKOV Lj.: Rentgenologija i radiologija, 54,1965.

8. ALEKSIĆ B.: lično saopštenje

9. KOSTIĆ A.: Osnovi normalne histologije, Med.knjiga, Beograd-Zagreb, 1963.

10. GUYTON A., C.: Medicinska fiziologija, III izd., Med.knjiga, Bgd.-Zgb, 1969.

11. ILLIG, L. und CONRATS, H.: Mikroskopische Lebendaufnahmen vom Kapillarbett des Tieres und Menschen. Normale und patologischie Bilder von den kleinsten Blutgefasson der Haut. C.H. Boehringer Sohn, Ingelheim am Rhein, 1959.

12. SODEMAN, W.,A.: PATOLOŠKA FIZIOLOGIJA, Med.knjiga, Beograd-Zagreb, 1959.

# CAPILLAROGRAPHIC EXAMINATION OF PERSONS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO THE EFFECT OF IONIZING RADIATIONS

Višnjić V., Jeremić M., Panov D.
Institut of Occupational and Radiological Helath, Beograd, Deligradska 29

Summary

Changes occured in capillaries of the fingers due to ionizing radiation exposure have been described in this paper. Capillaroscopic and capillarographic investigations may contribute to evaluation of possible damages in persons occupationally exposed to the effect of ionizing radiations.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA
ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.god.

Panov D., Novak Lj.

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

# SADRŽAJ POLONIJUMA 210 U PARENHIMATOZNIM ORGANIMA ČOVEKA (pluća, jetra, bubrezi)

## Rezime

Ispitivan je sadržaj polonijuma 210 u parenhimatoznim organima čoveka (plućima, jetri i bubrezima). Ukupno je analizirano 49 uzoraka (15 pluća, 20 jetre i 14 bubrega) U uzorcima pluća nadjene su vrednosti od 10,7+3,0; jetri 22,6+12,7 i bubrezima 24,2+11,6 pCi/kg. Rezultati ispitivanja pokazuju da se statistički značajno veće koncentracije nalaze u jetri ($t = 3,54$, $P < 0,005$) i bubrezima ($t = 4,36$; $P < 0,001$) u odnosu na koncentracije u plućima.

## UVOD

Poslednjih 40 godina veliki broj radova posvećen je izučavanju metabolizma, depozicije i bioloških efekata polonijuma 210. Ispitivanja Casaretta (1948, 1952, 1964) i Cowdena (1952) su pokazala da polonijum 210 ima jako nefrosklerotično dejstvo, sa progresivnom redukcijom kortikalne krvne cirkulacije. Ispitivanja su pokazala da renalne lezije mogu nastati i pri koncentraciji od 5 μCi polonijuma 210 na kilogram telesne težine, a da se promene karakterišu arteriosklerotičkim procesima u vaskularnom sistemu bubrega. Ove promene su najverovatnije rezultat uticaja alfa zračenja na endotel krvnih sudova u bubrezima. Rezultati ispitivanja Panova (1970) i Novak i Panov(1972, 1975) pokazali su da se polonijum 210

unosi u znatnim koncentracijama putem pušenja, i da se statistički značajno veće koncentracije polonijuma 21o nalaze u plućima i bubrezima pušača. U toku 1976. godine nastavljeno je ispitivanje polonijuma 21o u parenhimatoznim organima (pluća, jetra, bubrezi) čoveka.

## Metodologija rada

U saradnji sa Institutom za sudsku medicinu Medicinskog fakulteta u Beogradu, materijal smo uzimali pri obdukciji unesrećenih.

Posle pripreme, materijal je liofiliziran a zatim tretiran po metodi Black-a (1956), a polonijum 21o posle deponovanja na srebrnoj foliji meren na alfa brojaču sa niskom spontanom aktivnošću.

## Rezultati i diskusija

Rezultati ispitivanja dati su na tabelama 1 i 2. Oni pokazuju da se polonijum 21o deponuje najviše u bubrezima (24,2±11,6 pCi/kg) zatim jetri (22,6±12,7 pCi/kg) i plućima (1o,7±3,o pCi/kg). Statistički značajne razlike postoje izmedju sadržaja u jetri i plućima ($t=3,54$ $P<0,005$) i bubrezima i plućima ($t= 4,36$ $P<0,001$).

Sobzirom da sva dosadašnja ispitivanja na eksperimentalnim životinjama a naročito istraživanja Casarett-a (1964) ukazuju na jako nefrotoksično delovanje polonijuma 21o rezultati ovih istraživanja mogla bi doprineti razjašnjavanja etiopatogeneze nekih arteriosklerotičnih i hipertenzivnih stanja kod ljudi posle četrdesete godine starosti osobito kod onih koji puše više od 2o cigareta dnevno.

Tab. br. 1

Sadržaj Polonijuma 21o u plućima, jetri i bubrezima

| Uzorak | Polonijum pCi/kg | | |
|---|---|---|---|
| | pluća | jetra | bubrezi |
| 1 | 1o,3 | 32,4 | 31,3 |
| 2 | 1o,3 | 2o,3 | 16,7 |
| 3 | 11,4 | 22,o | 38,3 |
| 4 | 17,9 | 18,9 | 18,9 |
| 5 | 9,8 | 23,9 | 38,7 |
| 6 | 9,5 | 28,1 | 31,o |
| 7 | 13,3 | 49,2 | 38,1 |
| 8 | 6,6 | 19,3 | 1o,8 |
| 9 | 1o,2 | 11,2 | 39,1 |
| 1o | 1o,1 | 14,6 | 26,1 |
| 11 | 7,7 | 47,1 | 15,3 |
| 12 | 8,6 | 6,3 | 11,3 |
| 13 | 15,9 | 16,2 | 10,9 |
| 14 | 11,7 | 22,1 | 12,8 |
| 15 | 8,2 | 24,3 | - |
| 16 | - | 22,4 | - |
| 17 | - | 47,o | - |
| 18 | - | 16,2 | - |
| 19 | - | 6,7 | - |
| 20 | - | 7,7 | - |
| Srednja vrednost | 1o,7±3,o | 22,6±12,7 | 24,2±11,6 |

Tab. br. 2

Ispitivanje statističke značajnosti srednjih vrednosti koncentracija polonijuma 210 u plućima, bubrezima i jetri

| Organ | Broj ispitivanih slučajeva (n) | Srednje vrednosti ± stand.devij. ( |
|---|---|---|
| Pluća | 15 | 10,7 ± 3,0 |
| Jetra | 20 | 22,6 ± 12,7 |
| Bubrezi | 14 | 24,2 ± 11,6 |
| t= test | pluća:jetra | = 3,54; P< 0,005 |
| | pluća: bubrezi | T= 4,36; P< 0,001 |
| P | jetra: bubrezi | T= 0,37; NS |

NS - razlika u srednjim vrednostima nije na nivou statističke signifikantnosti

Literatura:

1. BLACK S.S.
The University of Rochester Atomic-Energy Project
UR-403, New York (1956)

2. CASARETT W.G.
The university of Rochester Atomic Energy Project
UR-42 (1948)

3. CASARETT W.G.
The university of Rochester Atomic Energy Project
UR-2o1 (1952)

4. CASARETT J.L.
Radiation Research Suplement, 5, 187 (1964)

5. COWDEN N.R.
Mound Laboratory Report, MLM 76 (1952)

6. PANOV D.
Doktorska disertacija, Medicinski fakultet, Beograd (197o)
st.99

7. NOVAK Lj. PANOV D.
VI simpozijum Jugoslovenskog društva za radiološku zaštitu 2-28 april 1972. Ohrid.

8. NOVAK Lj. PANOV D.
VIII Jugoslovenski simpozijum zaštita od zračenja
2o-23 maj 1975. Herceg Novi

# POLONIUM 210 CONTENT IN PARENCHYMATOUS ORGANS OF MAN /LUNGS, LIVER, KIDNEYS/

Panov D., Novak Lj.

Institut of Occupational and Radiological Health, Beograd, Deligradska 29

Samary

The concentration of Polonium 210 have beene determined in the group of 49 samples (lung, livers, kidneys) taken from autopsy material.

The investigations indicated to the statistically significant higher levels of polonium 210 in the kidneys and livers.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA
ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.god.

Višnjić V.,Kilibarda M.,Panov D.

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

# UDRUŽENO DEJSTVO POLONIJUMA 210 I PRAŠINE RUDE URANA NA PLUĆA I BUBREGE PACOVA

## Rezime

Na grupi od 100 albino pacova soja "Wistar" ispitivano je udruženo dejstvo polonijuma 210 i prašine rude urana posle intratrahealne aplikacije 2 uCi/po životinji polonijumom 210 i 50 mg prašine rude urana.

Rezultati ispitivanja su pokazali da pri udruženoj aplikaciji nastaju u većini slučajeva promene u alveolarnim, intersticijalnim, bronhijalnim i sudovnim strukturama pluća pacova, dok je u 30% slučajeva nadjena maligna alteracija. U bubrezima nadjene su tubularne lezije a u jednom delu glomerula sklerotične promene.

## Uvod

Odavno je poznato da su radnici u rudnicima urana izloženi znatno većem riziku po zdravlje u odnosu na radnike zaposlene u drugim rudnicima metala (bakar,olovo,cink i dr.). Na ovom mestu ne ulazimo u razmatranje različitih uzroka koji mogu biti u vezi sa ovim stanjem. Naša pažnja praktično je usmerena na opštu zaprašenost u atmosferi radilišta, koncentraciju radona 222 i sadržaja polonijuma-210.

Veliki broj radova 1-10 posvećen je ispitivanju metabolizma i patogenih efekata pojedinih noksi sadržanih u inhaliranom vazduhu. Uticaj urana i njegovih jedinjenja na organizam čoveka i eksperimentalnih životinja pominje se u literaturi iz kraja prošlog veka. Pored velike šarolikosti podataka u vezi sa

toksikologijom različitih soli urana, svi se autori slažu da se uran javlja kao izraziti toksin za bubrege. Rn-222 i Po-210, kao izraziti alfa emiteri, pri internoj kontaminaciji izazivaju različite biohemijske, patofiziološke i patomorfološke promene u tkivnim organima.

Naša ispitivanja su imala za cilj da utvrdimo u kojoj meri alfa zračenje utiče na razvoj pneumokoniotičnih lezija izazvanih slobodnim silicijumdioksidom i prašinom rude urana, a isto tako i lezija na bubregu, kao važnom ekskretornom organu.

Višnjić i sar. ispitivali su dejstvo prašine rude urana i radona sa produktima njegovog raspada na pluća pacova (12). Posle šestomesečne ekspozicije ova je prašina izazvala pneumokoniozu nekolagenske prirode. U plućima pacova zaprašenih pod istim uslovima, a izloženih inhalaciji radona ($10^{-7}$Ci/l) u toku 6 meseci (468 sati efektivno) nadjene su identične promene, što znači da radon pod datim eksperimentalnim uslovima nema uticaja na pneumokoniozu izazvanu prašinom rude urana.

Panov i sar. ispitivali su udruženo dejstvo Po-210 i kvarcne prašine na respiratorni i renalni sistem pacova (13). Nadjeno je da udruženo delovanje izaziva učestanu pojavu malignih alteracija u plućima i značajno oštećenje glomerulo-tubularnog aprata bubrega.

Ovim radom želeli smo da ispitamo patomorfološke promene u plućima i bubregu eksperimentalnih životinja intrapulmonalno kontaminiranih prašinom uranove rude i polonijuma-210.

## Materijal i metodi rada

100 albino pacova soja "Wistar", ženskog pola, starosti 2,5 meseca, prosečne telesne težine 200 gr. podeljeno je u 4 grupe i to: 1. grupa izložena polonijumu-210, (30 pacova),2. grupa izložena uranovoj rudi (2o pacova), 3 grupa izložena polonijumu i uranovoj rudi zajedno (3o pacova) i 4. grupa kao kontrola (20 pacova).

Aplikacija kontaminanata izvršena je u pluća intratrahealnim putem. Po-210 uzet je u vidu rastvora u $HNO_3$, neposredno pre upotrebe rastvor je neutralisan sa NaOH i fiziološkim

rastvorom razblažen do specifične aktivnosti 4 $\mu$Ci. Od ovog rastvora svakom pacovu aplicirano je intratrahealno 0,5 ml, t.j. 2 $\mu$Ci Po-210/po životinji. Uzorak uranove rude (3.400 gr. urana/tona) je samleven i frakcija čestica dijametra manjeg od 3 mikrona aplicirana je u pluća u vidu suspenzije u fiziološkom rastvoru. U kombinovanoj ekspoziciji rastvor polonijuma dodat je suspenziji prašine 50 mgr/po životinji) i apliciran istovremeno.

Efekti udruženog dejstva polonijuma i prašine rude urana posmatrani su u toku 6 meseci. Životinje koje su preživele eksperimentalni period žrtvovane su iskrvarenjem u etarskoj narkozi. Za histopatomorfološko ispitivanje pluća i bubreg fiksirani su u formalinu, kalupljeni u parafinu i bojeni hematoksilin-eozinom.

Rezultati ispitivanja

Mortalitet. U toku 6 meseci uginuo je veliki broj životinja iz grupe izložene udruženom dejstvu uranove prašine i polonijuma: od 30 životinja uginulo 23, ili 76,6%. Iz grupe od 30 pacova izloženih samo polonijumu uginulo je 7 životinja, ili 23,3 %, iz kontrole (20 pacova) i one izložene uranovoj rudi (20 pacova) uginula su po dva pacova iz svake grupe.

Razmatranje ovih podataka ukazuje na toksičnost date aktivnosti polonijuma 210, dok ista aktivnost polonijuma uneta u pluća zajedno sa prašinom rude urana izaziva teške promene u organizmu pacova, koje dovode do smrti većeg broja životinja.

Obdukcijom leševa uginulih životinja nadjene su patološke promene u plućima, crevima i bubregu. Makroskopskim pregledom nisu nadjene neoplazije.

Karakteristično je za uginule životinje teško kahektično stanje. Njihova telesna težina iznosi 105 do 150 grama, što je znatno niže u odnosu na težine pacova koji su preživeli 6-mesečni eksperimentalni period, čija je težina 205 do 250 grama. Važno je ovde napomenuti da su pacovi u početku eksperimenta imali po 200 gr. u proseku, što znači da su uslovi ekspozicije polonijumu i polonijumu sa uranom uticali na gubitak telesnih težina.

Rezultati patohistoloških ispitivanja.

1. grupa "polonijum 210". Najveći deo parenhima je očuvan - nisu nadjene značajne promene histoloških struktura. Patološke promene zahvataju samo manje partije. One su u vidu bronhopneumoničnih ognjišta gnojnog karaktera, uz naglašenu reakciju intersticijuma koja se otkriva kao intersticijalna pneumonija indurativnog tipa. Zidovi krvnih sudova su nabubreli, perivaskularni prostori prošireni usled veće količine pretežno serozne tečnosti u kojoj ima mnogo limfocita i eozinofilnih polimorfonukleara. Kod većine pacova ove grupe bronhijalni epitel je hiperplastičan usled proliferacije nediferenciranih epitelnih ćelija. Proliferat u nekim slučajevima ispunjava ceo lumen bronha. Metaplaziranje alveolnog epitela u kockast je česta pojava, što daje sliku edenoidne transformacije plućnog parenhima.

U bubrezima pacova ove grupe nadjena su znatna oštećenja tubularnog aparata. Epitelne ćelije podležu nekrozi, a regeneracija često izostaje,ili se manifestuje u pojavi pločastog epitela, višeslojnih hiper-regenerata, uz očuvanu bazalnu membranu. Čest je nalaz pojedinih džinovskih monojedarnih ćelija. Jedra ovih ćelija su okruglasto-mehurastog ili monstruoznog tipa, a citoplazma je često hijalinisana. Iako su histološke strukture glomerula dosta dobro očuvane, zapaža se velika razlika u veličini glomerula. Jedni su uvećani, a drugi su znatno smanjeni. Bowman-ovi prostori su često prošireni, kapsule u manjoj meri zadebljane, a krvni sudovi petlje glomerula su mestimično u stanju mutnog bubrenja. Manji broj glomerula je atrofičnog izgleda i sklerozovan. U intersticijumu nadjena su sklerozovana područja fokalne rasprostranjenosti.

2. grupa "uran". U plućima grupe pacove izložene prašini rude urana nadjene su pneumokoniotične lezije koje odgovaraju pneumokoniozi nekolagenske prirode. U bubrezima ovih pacova rutinskim patohistološkim pregledom ne otkrivaju se morfološke promene značajno različite u odnosu na kontrolnu grupu.

3. grupa "polonijum-uran". U grupi pacova eksponovanih udruženom dejstvu polonijuma-210 i uranove rude pneumokonio-

tične lezije su nekolagenske prirode, isto kao u grupi sa uranovom rudom, bez polonijuma. U fibrokoniotičnim čvorićima ove grupe zapaža se blago povećanje vezivno-tkivnih vlakana. Nasuprot ovim neznatnim razlikama u lezijama pneumokoniotičke prirode, oštećenja alveolarnih, intersticijalnih, bronhijalnih struktura i krvnih sudova izražena su u većem stepenu nego u grupi "polonijum-210". U patohistološkoj slici dominira pojava hiperplazije, metaplazije bronho-alveolarnih epitela kao i maligne alteracije u vidu epidermoidnog i anaplastičnog karcinoma. U bubregu pacova ove grupe patohistološke promene su slične kao u grupi "polonijum", ali se češće nalazi sklerozžiranje glomerula. Takodje su česta cistična proširenja tubula i hijalini cilindri.

## Z A K L J U Č A K

1. Polonijum 210 intrapulmonalno apliciran pacovima u dozi 2 uCi na jednog pacova izaziva u plućima intersticijalnu fibrozu, oštećenje intrapulmonalnih krvnih sudova, hiperplaziju, metaplaziju bronho-alveolarnih epitela. U manjem broju slučajeva vezivnotkivni proliferat i metaplazirani epiteli imaju svojstva sumnjiva na maligni karakter. U bubrezima ovih pacova nadjena su znatna oštećenja, na prvom mestu tubularnog aparata, a u manjoj meri oštećeni su i glomeruli. Fokalna skleroza intersticijuma bubrega verovatno je prateća pojava tubulskih lezija. Posledice radiotoksičnog delovanja iste doze polonijuma 210 ogleda se i u povećanoj učestanosti smrtnosti životinja.

2. Ruda urana intrapulmonalno aplicirana pacovima u dozi 5o mg prašine na jednog pacova izaziva u plućima pneumokoniotične lezije nekolagenske prirode. U bubrezima ovih pacova ne otkrivaju se patomorfološke promene značajno različite u odnosu na kontrolu. Pod istim uslovima ruda urana ne izaziva povećanu smrtnost životinja.

3. Udruženo dejstvo polonijuma 210 i rude urana zajedno apliciranih u pluća pacova izaziva u plućima patomorfološke promene alveolarnih, intersticijalnih, bronhijalnih i sudovnih

struktura u većem stepenu. Patohistološke promene po tipu odgovaraju onima koje su izazvane dejstvom samog polonijuma dok su pneumokoniotične lezije zadržale isti karakter kao u slučaju uranove rude. Posebno je interesantno da je usled udruženog dejstva u plućima češća pojava malignih neoplazija. Histološki je verificirano 3o% slučajeva, a veliki broj slučajeva sa sumnjom na maligne procese. U bubrezima ovih pacova tubulske lezije izražene su u većem stepenu, a jedan deo glomerula podleže skleroziranju. Mortalitet životinja u ovoj grupi je naročito visok (76,6%).

LITERATURA

1. TELEKY L.
Occupational Cancer of the Lung. J. Ind. Hyg. Toxic.19:73 (1937)

2. PELLER S.
Biologic, 11, 13o (1939)

3. EVANS R.D. and GOODMAN C.
Determination of the Rhoron Content of Air and its bearing Lung Cancer hazards in industry
J.Ind. Hyg. Toxicol., 22:89-99 (194o)

4. LORENZ F.
Radioactivity and Lung Cancer:
A critical Review of Lung Cancer in the Miners of Schneeberg and Joachimsthal
J.Nat. Cancer, Inst., 5:1 (1944)

5. CASARETT W.G.
Pathology of single Intravenous Doses of Polonium
Radiation Research Supplement 5, 246-321 (1964)

6. CASARETT W.G.
Pathology of Multiple Intravenous Doses of Polonium
Radiation Research supplement 5, 322-346 (1964)

7. YUILE C., BERKE H, and HULL T.
Lung Cancer Following Polonium 21o Inhalation in Rats
Radiation Research 31, 76o-774 (1967)

8. RADFORD P.E., and HUNT R.V.
Polonium 21o a volatile radioelement in Cigar
Science, 143,247-249 (1964)

9. RAJEWSKI B. and STAHLHOFEN W.
Polonium 21o activity in the Lungs of Cigarette Smokers
Nature 2o9, 1312-1313 (1966)

1o. LORANT M.
Is polonium 21o the Cancer inducing Factor in excessive Cigarette Consumption
Med. klin. (Munich) 59, 11o6-11o7 (1964)

11. JOHN B. LITTLE and WILLIAM F. O'TOOLE
Respiratory Tract Tumors in Hamsters Induced by Benzo (a) pyrene and 21o Po -Radiation
Cancer research 34, 3o26-3o39, November(1974)

12. VIŠNJIĆ V., PANOV D., NOVAK Lj.
Dejstvo prašine rude urana, radona i produkata raspada na pluća pacova
Zbornik radova VIII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, 2o-23 maj (1975)
Herceg Novi, st. 191.

13. Radiobiological Effects of Joint Action of alpha Radiation (Po 21o) and quartz dust in the rats respiratory and renal system.
IRPA IV$^{th}$ internationa. Congress Paris, 24-3o avril (1977)

# JOINT EFFECT OF POLONIUM 210 AND URANIUM ORE DUST ON RATS LUNGS AND KIDNEYS

Višnjić V., Kilibarda M., Panov D.

Institut of Occupational and Radiological Health, Beograd, Deligradska 29

Summary

In a group of 100 albino rats of "Wistar" race joint effect of polonium 21o and uranium ore dust have been examined after intratracheal application of 2 uCi/per animal of of polonium 21o and 50 mg of uranium ore dust.

Results of investigations showed that at joint application changes in alveolar, interstitial, bronchial and vessel lung structures of rats have been occured in majority of cases, but in 3o% of cases a malignant alteration was found in the kidneys. Tubular lesions were found and in one part of glomerule sclerotic changes too.

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

*Berislav Momčilović*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, M. Pijade 158,
41000 ZAGREB, Jugoslavija

# *UTJECAJ KONCENTRACIJE CINKA U MLIJEKU NA APSORPCIJU $^{65}Zn$ U NEONATALNOJ DOBI*

Šest dana stari mladunci bijeloga štakora nahranjeni su sa 0.4 ml mlijeka ili mlijeka obogaćenog sa cinkom (72.75 µg Zn/ml) označenog sa 65-Zn. Nakon četiri dana retencija 65-Zn bila je veća u tijelu (bez probavnog trakta) i femuru životinja hranjenih mlijekom sa visokim sadržajem cinka. Rezultati ukazuju da je homeostatska regulacija apsorpcije i ekskrecije visokih doza cinka u neonatalnoj dobi manjkava i da je rizik prema 65-Zn radioaktivnoj noksi povećan.

## Uvod

Radioaktivni cink-65 nastaje neutronskom aktivacijom stabilnog cinka u nuklearnim reakcijama i predstavlja radijacionu noksu za organizam (1). Pokusi na odraslim životinjama pokazali su da dijeta sa visokim sadržajem cinka izaziva slom homeostatske kontrole metabolizma cinka (2). Svrha je ovoga pokusa bila da se ispita ovisnost apsorpcije i retencije radioaktivnog cinka-65 o koncentraciji stabilnog cinka dodanog mlijeku u neonatalnoj dobi.

## Materijal i metode

Pokus je izveden na dvije grupe šest dnevnih mladunaca bijeloga štakora. U prvoj grupi mladi su primili ukapavanjem per os 0.4 ml mlijeka (Alpsko mleko, Ljubljana) koje sadrži 3 µg Zn/ml označenog sa 2.5 µCi $^{65}Zn$ (The Radiochemical Center, Amershem, England), a u drugoj istu količinu označenog mlijeka obogaćenog sa cinkom (72.75 µg Zn/ml iz $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$). Nakon četiri dana životinje su ubijene, a radioaktivnost cinka-65 u karkasu i femuru odredjena je u scintila-

cijskom brojaču (Tobor, Nuclear Chicago, USA). Rezultati su izraženi u postotku retinirane doze $^{65}Zn$ kao aritmetička sredina sa standardnom devijacijom a značajnost razlika ispitana je t-testom.

## Rezultati i diskusija

Retencija radioaktivnog cinka-65 bila je značajno viša u karkasu (43.34 ± 4.95) i femuru (0.615 ± 0.114) mladih životinja koje su primile mlijeko sa visokim sadržajem cinka za razliku od retencije $^{65}Zn$ u karkasu (37.98 ± 5.96) i femuru (0.395 ± 0.080) mladih hranjenih normalnim mlijekom ($P<0.01$ za oba parametra).

Rezultati ukazuju da je homeostatska regilacija apsorpcije i ekskrecije visokih doza cinka, koju odrasli organizam može još uvijek uspješno kontrolirati, u neonatalnom razdoblju manjkava, i da je rizik prema $^{65}Zn$ radioaktivnoj noksi povećan.


## Abstract

Six day old baby rats were fed 0.4 ml of milk or milk enriched with zinc (72.75 µg/Zn/ml) marked with 65-Zn. After four days 65-Zn retention was higher in the whole body (GI tract excluded) and in the femurs of rats fed high zinc levels. This indicated a break-down of zinc homeostatic mechanism and therefore a higher radiation hazard to newborn rats from doses of stable zinc homeostatically controllable by adult animals.


## Literatura


1. RICHMOND C.R. et al., Health Phys., 8, 481, 1962.

2. ANSARI M.S. et al., Proc. Soc. Exptl. Biol. Med., 152, 192, 1976.

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Ivan RABAR i Krista KOSTIAL

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
M. Pijade 158, 41000 ZAGREB, Jugoslavija

# *UTJECAJ PREHRAMBENIH FAKTORA NA APSORPCIJU $^{203}Hg$ IZ PROBAVNOG TRAKTA ŠTAKORA*

Šest tjedne ženke bijelog štakora, podijeljene u dvije grupe po deset, hranjene su običnim kravljim mlijekom odnosno kravljim mlijekom obogaćenim sa 115 ppm Fe, dva dana prije i šest dana poslije jednokratne oralne primjene $^{203}Hg$. Šestog dana nakon primjene radioaktivnost cijelog tijela i karkasa životinja bila je statistički značajno niža u životinja hranjenih željezom obogaćenim mlijekom. Rezultati ukazuju da deficit željeza u mlijeku povisuje apsorpciju $^{203}Hg$ iz probavnog trakta.

Poznato je da je u novorodjenih sisavaca apsorpcija niza radionuklida iz probavnog trakta vrlo visoka. U našim ranijim istraživanjima dokazali smo da je i u odraslih štakora hranjenih mlijekom povišena apsorpcija $^{203}Pb$ (1), $^{203}Hg$ (2), $^{54}Mn$ (3) i $^{115m}Cd$ (4). Medjutim mlijeko je hrana izrazito siromašna željezom, te se postavlja pitanje u kojoj je mjeri povišenje apsorpcije posljedica vrlo niske koncentracije tog esencijalnog elementa u mlijeku. Stoga smo htjeli ispitati utjecaj dodatka željeza mlijeku na apsorpciju $^{203}Hg$.

Pokus smo izveli sa 20 ženki bijelog štakora starih 6 tjedana koje smo podijelili u dvije eksperimentalne skupine po deset. Životinje su dobivale 2 dana prije i 6 dana poslije primjene $^{203}Hg$ obično kravlje mlijeko odnosno kravlje mlijeko obogaćeno sa 115 ppm Fe u obliku sulfata. Životinjama je oralno primjenjen izotop žive, $^{203}Hg$ visoke specifične aktivnosti u obliku klorida, jednokratno putem že-

lučane sonde. Svaka životinja primila je oko 3,5 μCi izotopa. Nakon 6 dana životinjama je u eterskoj anesteziji izmjerena aktivnost cijelog tijela, izvadjeno im je probavilo te su ponovno izmjerene bez probavila (karkas). Mjerenja su vršena u dvokristalnom scintilacijskom detektoru za cijelo tijelo tipa Tobor (Nuclear Chicago) koji je spojen na jednokanalni analizator. Aktivnost cijelog tijela i karkasa izražena je u postotku primljene doze.

Rezultati su pokazali da se u cijelom tijelu životinja hranjenih običnim mlijekom nalazi 9,5% doze, dok je obogaćenje mlijeka željezom smanjilo aktivnost cijelog tijela na 1,3%. Aktivnost u karkasu iznosila je 1,3% odnosno 0,7% doze. Razlike su u oba slučaja bile statistički značajne ($P < 0,05$).

Obogaćenje mlijeka željezom značajno snizuje apsorpciju radioaktivne žive iz probavnog trakta štakora. Radioaktivnost cijelog tijela u tih je životinja gotovo jednaka aktivnosti cijelog tijela u životinja hranjenih standardnom štakorskom hranom (2). Stoga možemo zaključiti da je upravo deficit željeza u mlijeku onaj prehrambeni faktor koji najviše doprinosi povišenju apsorpcije $^{203}Hg$ iz probavnog trakta životinja hranjenih običnim kravljim mlijekom.

Six week old female albino rats, divided in two groups of ten, were fed either cow´s milk or cow´s milk supplemented with 115 ppm Fe, two days before and six days after administration of a single oral dose of $^{203}Hg$. On the sixth day after administration the radioactivity of the whole body and carcass showed statistically significant lower values in animals fed iron supplemented milk. The results indicate that iron deficiency in milk is responsible for a higher $^{203}Hg$ absorption from the gut.

1. KELLO D., KOSTIAL K., Environm. Res., 6, 355, 1973.
2. JUGO S., Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 1975.
3. RABAR I., Magisterski rad, Sveučilište u Zagrebu, 1976.
4. KELLO D., KOSTIAL K., Toxicol. Appl. Pharmacol., 40, 1977, u štampi.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLAVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

KELLO D., FAJDETIĆ T. i KOSTIAL K.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
M. Pijade 158, 41000 ZAGREB, Jugoslavija

# *MEHANIZAM APSORPCIJE RADIOAKTIVNOG OLOVA-203 IZ PROBAVNOG TRAKTA ŠTAKORA*

Četiri mjeseca stari mužjaci bijelog štakora hranjeni kravljim mlijekom apsorbirali su značajno više oralno primjenjenog olova-203 od životinja na štakorskoj hrani (P<0,001), iako je brzina egzogene fekalne ekskrecije i apsorpcije olova iz probavnog trakta bila slična u obje grupe životinja. Glavnina apsorbiranog olova-203 ušla je u organizam portalnim krvotokom, jer je sakupljena limfa iz probavnog trakta (kaniliranjem ductus thoracicus-a) sadržavala svega 0,07% od ukupno apsorbirane količine olova.

Sve većom primjenom nuklearne energije raste i koncentracija različitih radionuklida u životnoj sredini čovjeka, medju kojima znatan dio čine radionuklidi teških metala. Iako gastrointestinalni trakt predstavlja važan put ulaska radionuklida u organizam, sam mehanizam apsorpcije je danas još nedovoljno razjašnjen (1, 2). Zbog opće važnosti ovog problema, našim smo istraživanjima pokušali rasvijetliti na modelu radioaktivnog olova $^{203}Pb$ mehanizam apsorpcije teških metala iz probavnog trakta.

Pokuse smo izveli na dvije grupe četiri mjeseca starih mužjaka bijelog štakora koji su za cijelo vrijeme pokusa dobivali standardnu štakorsku hranu, odnosno samo kravlje mlijeko. Sve su životinje primile treći dan po početku pokusa jednokratno oralno pomoću son-

de radioaktivnu otopinu $^{203}Pb$. U odredjenim vremenskim intervalima, t.j. drugog, četvrtog, šestog i osmog dana nakon primjene radioizotopa žrtvovano je po šest životinja iz svake grupe štakora i izmjerena im je u dvokristalnom scintilacionom brojaču za gama-zračenja radioaktivnost u cijelom tijelu i probavnom traktu. U šest životinja hranjenih kravljim mlijekom kaniliran je ductus thoracicus i sakupljana je limfa kroz 48 sati nakon oralne primjene olova-203 i odredjena je njezina radioaktivnost. Istodobno su životinje žrtvovane i izmjerena je radioaktivnost u cijelom tijelu prije i nakon vadjenja probavnog trakta.

Izmjerene vrijednosti retencije olova-203 u cijelom tijelu štakora potvrdile su rezultate naših ranijih istraživanja prema kojima životinje hranjene samo kravljim mlijekom apsorbiraju znatno više olova iz probavnog trakta ($P<0,001$) od kontrolne grupe štakora (1). Medjutim, neovisno o načinu ishrane, egzogena fekalna ekskrecija, kao i apsorpcija olova iz probavnog trakta, završava najvećim dijelom u prva četiri dana nakon oralne primjene $^{203}Pb$. Kako se u limfi štakora hranjenih samo mlijekom našlo svega oko 0,07% od ukupno apsorbirane količine olova, može se zaključiti da glavnina oralno unesenog olova ulazi u organizam portalnim krvotokom, najvjerojatnije u obliku niskomolekularnih kompleksa.

Na temelju dobivenih rezultata, kao i nalaza naših ranijih istraživanja (1, 2, 3), može se zaključiti da apsorpcija olova ili nekog drugog teškog metala ovisi, kako o sudbini molekula nastalih tokom probave hrane na kojima su ti metali vezani, tako i o sudbini molekularnih kompleksa metala nastalih u samoj sluznici probavnog trakta.

Four month old albino rats fed cow´s milk absorbed a much higher fraction of the orally applied lead-203 than control animals ($P<0,001$), although the rate of the exogenous fecal excretion and intestinal absorption of lead was similar in both groups of animals. Most of the absorbed lead-203 entered into the body by portal circulation since only 0,07% of the absorbed dose was found in the lymph collected from the thoracic duct.

1. KELLO D. and KOSTIAL K., Environm. Res., 6, 355 (1973).
2. KELLO D. and KOSTIAL K., Tox. Appl. Pharm., 40/2 (1977).
3. KELLO D. i KOSTIAL K., VIII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, 199 (1975).

IX SIMPOZIJUM JUGOSLAVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JAJCE, 31.V. do 3.VI.1977.

Nevenka GRUDEN i Mirka BUBEN
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada,
Zagreb

# *METABOLIZAM RADIOKALCIJA U SITIH I GLADNIH ŠTAKORA TRETIRANIH OLOVOM*

Metabolizam radiokalcija ispitivan je u 5 tjedana starih, sitih ili gladnih, ženki bijeloga štakora tretiranih prethodno olovnim acetatom. Radioaktivnost je odredjivana u cijelom tijelu, karkasu, urinu i fecesu tri dana nakon peroralne aplikacije kalcija-47.

Apsorpcija radiokalcija uvijek je bila veća, a fekalna ekskrecija manja u gladnih nego u sitih životinja. Prethodno tretiranje olovom povećavalo je apsorpciju kalcija-47 u svih životinja, sitih i gladnih, bez obzira da li su radiokalcij primile zajedno ili odvojeno od olova.

Svrha je ovih pokusa bila da se objasni razlika u metabolizmu radiokalcija koja proizlazi iz rezultata in vitro i in vivo pokusa sa životinjama tretiranih olovom (1, 2).

Ženke bijelog štakora, 5 tjedana stare i 80-100 g teške primale su želučanom sondom dnevno, tijekom tjedan dana po 20 mg olovnog acetata. Kontrolne su životinje u isto vrijeme i na jednak način dobivale 1 ml destilirane vode. Sedmog dana pokusa sve su životinje primile, takodjer sondom, 1 µCi kalcija-47: kontrola i pola eksperimentalne grupe u destiliranoj vodi, dok je druga polovica eksperimentalnih životinja primila radiokalcij zajedno s olovom. Osim toga, jednom djelu kontrolnih i eksperimentalnih životinja oduzeta je hrana 24 sata prije aplikacije radiokalcija. Tri dana poslije primitka izotopa životinje su žrtvovane, i radioaktivnost cijelog tijela, karkasa, urina i fecesa je odredjena pomoću scintilacijskog uredjaja Tobor, firme Nuclear Chicago.

Rezultati pokazuju da je apsorpcija radiokalcija, bez obzira da li je apliciran odvojeno ili zajedno s olovom, uvijek veća iz probavnog trakta životinja tretiranih olovom, nego li u kontrolnih. Prethodno gladovanje stimuliralo je apsorpciju radiokalcija u kontrolnih i eksperimentalnih životinja.

Do razlike u rezultatima dobivenim na izoliranom crijevnom segmentu i cijelim životinjama najvjerojatnije dolazi uslijed toga što u prvom slučaju kalcij prolazi kroz č i t a v u s t i j e n k u jednog relativno kratkog dijela probavnog trakta, dok u drugom ima na raspolaganju za apsorpciju čitavu dužinu crijeva i ide samo od mukoze do krvnih žila u n u t a r crijeva.

The metabolism of radiocalcium was studied in 5-week old, fed or fasted female albino rats previously treated with lead acetate. Radioactivity was determined in the whole body, carcass, urine and feaces by means of Tobor Twin crystal assembly (Nuclear Chicago).

The absorption of radiocalcium was always higher and its fecal excretion lower in the fasted than in the fed animals. Previous lead treatment increased calcium-47 absorption in all, fed and fasted animals, irrespective of whether the radiocalcium was applied separately or together with lead acetate.

1. GRUDEN, N., STANTIĆ, M., BUBEN, M., Environmental Research, 8, 203 (1974).

2. GRUDEN, N., BUBEN, M., Bull. Environ. Contam. Toxicol. (u štampi).

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

R. Mitrović, M. Gačević, J. Gligorijević, Jevrosima Begović i Slobodanka Stanković

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu, Beograd - Zemun, Baranjska 15

# PERORALNA KONTAMINACIJA OZRAČENIH FAZANA SMEŠOM IZOTOPA Cs-137 i Sr-85,89

Peroralna kontaminacija izučavana je kod neozračenih i ozračenih fazana, a izvršena je smešom izotopa Cs-137 i Sr-85,89, gde je odnos u smeši iznosio Cs:Sr=3:2. Ukupna doza koja je davana per os iznosila je 50 µCi/kg telesne težine. Formirane su četiri grupe životinja: grupa A je neozračena i kontaminirana smešom izotopa i služi kao kontrola; grupa B ozračena je jednokratno i totalno dozom od 900 r X-zraka a 24 časa posle toga kontaminirana smešom izotopa; grupa C ozračena je jednokratno i totalno dozom od 900 r X-zraka a kontaminirana smešom izotopa posle 20 dana; grupa D ozračena je dvokratno i totalno /prvi put sa 900 r X-zraka a posle 20 dana istom dozom, tako da je primila ukupnu dozu 1.800 r X-zraka/ a kontaminirana posle 24 časa smešom izotopa. Posle kontaminacije životinje su žrtvovane u različitim vremenskim intervalima: 3 časa, 2., 7. i 14. dana. Radiometrijska merenja vršena su u: krvi, jecesu, grudnoj i butnoj muskulaturi, pri čemu je praćena resorpcija, distribucija i eliminacija smeše izotopa i analizirana sličnost i razlike izmedju pojedinih grupa kao i radijaciono-higijenska procena mesa za ljudsku ishranu.

## Uvod

Fenomeni peroralne kontaminacije i efekti zračenja na domaćim životinjama i lovnoj divljači predmet su ispitivanja zadnjih godina. Ranija ispitivanja /1 i 2/ ukazala su na razlike kod pojedinih izotopa u dinamici kontaminacije kod neozračenih i ozračenih životinja. Da bi se imao uvid o mehanizmu kontaminacije kod divljih životinja pokušali smo da kod arteficijelne kontaminacije fazana u strogo kontrolisanim uslovima i poznatim najvažnijim produktima fisije ustanovimo dinamiku resorpcije i eliminacije ovih radionuklida pri različitim uslovima. Interesovalo nas je da li postoje razlike u dinamici kontaminacije ovih fisionih produkata u neozračenih i ozračenih fazana. Posebno je interesantno pitanje upotrebljivosti mesa za ljudsku ishranu od kontaminiranih životinja s obzirom na propisane norme o maksimalno dozvoljenim

koncentracijama /MDK/ za pojedine radionuklide.

## Materijal i metoda rada

Eksperimenti su obavljeni na polno zrelim fazanima /Phasanus celchicus/ oba pola, starosti oko 6 meseci. Prosečna težina ženki iznosila je 900 g, a mužjaka 1.200 g. Životinje su u toku sedmodnevnog adaptacionog perioda i kasnije u toku ogleda držane u žičanim kavezima, po tri jedinke zajedno, a hranjene su posebnim koncentratom za ovu vrstu životinja. Životinje su grupisane u četiri grupe: grupa A je neozračena i kontaminirana smešom izotopa i služi kao kontrola; grupa B ozračena je jednokratno i totalno dozom od 900 r X-zraka a 24 časa posle toga kontaminirana smešom izotopa; grupa C ozračena je jednokratno i totalno dozom od 900 r X-zraka a kontaminirana smešom izotopa posle 20 dana; grupa D ozračena je dvokratno i totalno /prvi put sa 900 r X-zraka a posle 20 dana istom dozom, tako da je primila ukupnu dozu 1.800 r X-zraka/ a kontaminirana posle 24 časa smešom izotopa. Sve grupe životinja kontaminirane su istom dozom, a kao kontaminant poslužila je smeša dva, biološki važnija, produkta fisije Cs-137 i Sr-85,89 u odnosu 3:2. Neke od osobina fisione smeše prikazane su na sledećoj tabeli:

TAB. br.1.

Karakteristike fisione smeše

| Izotop | Hemijski oblik | Aktivnost u $\mu$Ci/ml | Energija u MeV beta | gama |
|---|---|---|---|---|
| $^{137}Cs$ | $^{137}CsCl$ | 30 | 0,52 | 0,66 |
| $^{85,89}Sr$ | $^{85,89}Sr/NO_3/_2$ | 20 | 1,46 | 0,150-0,330-0,513 |

Od ove smeše dato je svakoj životinji per os /sondom/ po 50 $\mu$Ci/kg telesne težine. Posle kontaminacije životinje su žrtvovane u različitim vremenskim periodima /3 časa, 2., 7. i 14. dana/. Pošto se radi o kontaminaciji sa smešom koja emituje i beta i gama zračenje opredelili smo se u ovom radu za ukupnu beta-radioaktivnost koju smo pratili metodom debelog uzorka na mernom uredjaju LARA-10 u uzorcima fecesa, grudne i butne muskulature.

## Rezultati i diskusija

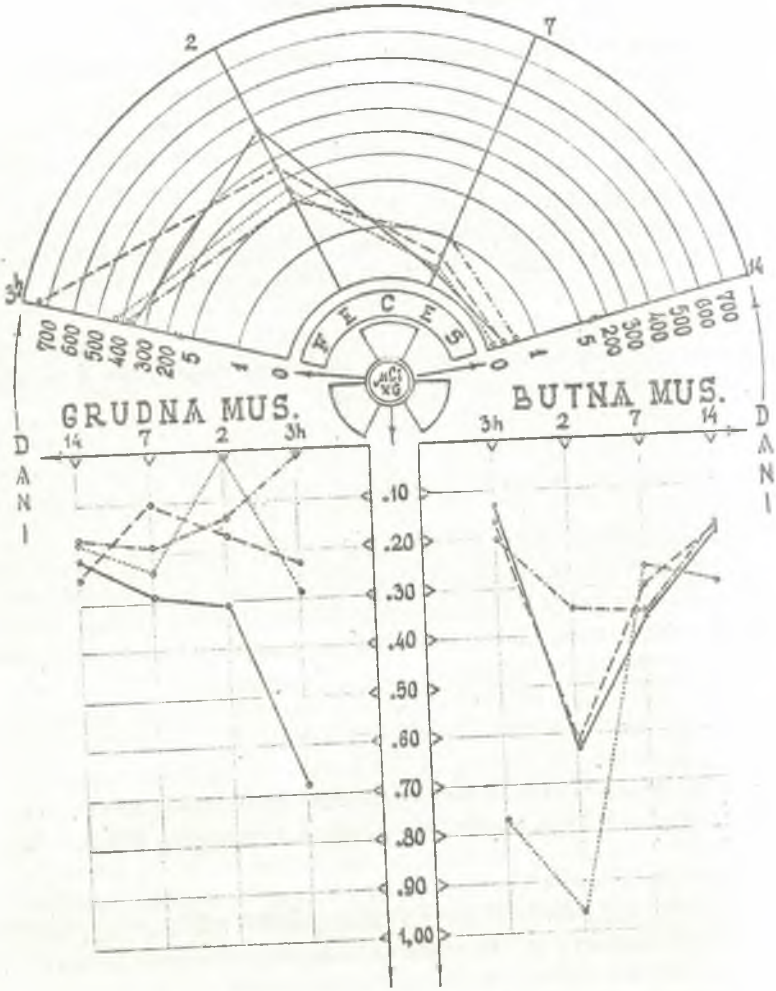
Na grafikonu 1 prikazani su rezultati ukupne beta-radioaktivnosti iz kojih se vidi da je resorpcija ovih radionuklida vrlo brza posle kontaminacije jer se radioaktivnost vrlo brzo pojavljuje u mišićima u prvim satima posle kontaminacije, kada dostiže maksimum. U grudnom mišiću ukupna beta-radioaktivnost dostiže maksimum posle 3. časa, dok kod butnog mišića posle 48. časa. Pojava maksimuma kod ova dva mišića u različitom vremenu verovatno je rezultat različite strukture mišića /odnos količine mišićnih i vezivno tkivnih vlakana/ kao i stepena i obima vaskularizacije mišića. Kasnije radioaktivnost se postepeno smanjuje u oba mišića stim što je nivo radioaktivnosti u butnoj muskulaturi u obe grupe /kontrolna i ozračena/ znatno veći nego u grudnoj muskulaturi.

Kod grudnog mišića ukupna beta-radioaktivnost znatno je veća u kontrolnoj grupi dok u ostale tri ozračene grupe postoje izvesne varijacije što je verovatno posledica poremećenog metabolizma usled zračenja.

Ukupna beta-radioaktivnost u butnom mišiću znatno je veća u ozračenoj grupi B dok se aktivnost kontrolne grupe A poklapa sa aktivnošću ozračene grupe D. Objašnjenje kretanja nivoa ukupne beta-radioaktivnosti verovatno treba tražiti u metabolizmu koji se odvija pod novonastalim uslovima.

Analizom rezultata radioaktivnosti u fecesu /graf.1/ zapaženo je da se veliki deo date radioaktivnosti vrlo brzo izlučuje iz organizma putem mokraće i fecesa. U ozračene grupe najveća ukupna beta-radioaktivnost u fecesu dostignuta je već 3.časa posle aplikacije izotopa, dok je u kontrolnoj grupi A maksimalna radioaktivnost dostignuta tek posle 48 časova. Ova činjenica očito govori u prilog pretpostavci da usled zračenja dolazi do ubrzane peristaltike digestivnog trakta i oštećenja sluzokože što ima za posledicu pojavu dijaree što se odražava na smanjenje resorpcije datih izotopa i njihove brže eliminacije iz organizma.

Prema normama za MDK od strane Medjunarodne komisije za zaštitu od zračenja /ICRP/, a koje su prihvaćene u celom svetu, MDK za Sr-89=$1,2 \times 10^{-2}$ /uCi/kg a za Cs-137=$1,5 \times 10^{-2}$/uCi/kg /3/. Uporedjujući dobijene rezultate sa ovim normama vidi se da je meso od ovih fazana u toku 14. dana posle kontaminacije znatno radioaktivnije od propisanih normi. Tako u prvim satima posle kontaminacije nivo




LEGENDA: A ——, B ....., C —.—.—, D - - - -

Grafikon 1. - Ukupna beta-radioaktivnost fecesa, grudne i butne muskulature / /uCi/kg/

radioaktivnosti prelazi 50-100 puta MDK, a 14. dana za oko 20-50 puta. Prema tome, meso fazana koji su predhodno bili kontaminirani navedenom smešom izotopa u dozi od 50 μCi/kg tel.težine ne može se koristiti za ljudsku ishranu u toku od 14 dana posle aplikacije izotopa.

## Zaključak

Na osnovu izvršenih ispitivanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. U neozračenih i ozračenih fazana kontaminiranih per os smešom izotopa Cs-137 i Sr-85,89 vrši se brza resorpcija ovih radionuklida iz digestivnog trakta, što ima za posledicu vrlo brzo deponovanje ovih radionuklida u svim organima i tkivima.

2. Rezultati merenja ukupne beta-radioaktivnosti pokazuju kod svih grupa životinja da je radioaktivnost veća u butnoj nego u grudnoj muskulaturi i da je veća u kontrolne nego u ozračenim grupama. Izuzetak čini grupa B čiji je nivo radioaktivnosti znatno veći neposredno posle kontaminacije.

3. Merenjem radioaktivnosti u fecesu vidi se da je brža eliminacija ovih radioizotopa u ozračenih životinja i to naročito u prvih nekoliko dana posle kontaminacije.

4. Na osnovu medjunarodnih normi za MDK može se zaključiti da meso kontaminiranih fazana per os smešom izotopa Cs-137 i Sr-85,89 u dozi od 50 μCi/kg tel.težine ne može biti upotrebljeno za ljudsku ishranu u toku 14 dana posle aplikacije izotopa, pošto nivo kontaminacije višestruko prelazi dozvoljene norme.

## PERORAL CONTAMINATION OF IRRADIATED PHEASANTS WITH ISOTOPE MIXTURE Cs-137 AND Sr-85,89

## SUMMARY

Peroral contamination with isotope mixture Cs-137 and Sr-85,89 in a ratio of Cs:Sr=3:2 was followed in irradiated and non-irradiated pheasants. Total dose administered per os was 50 μCi/kg body weight. Four groups of animals were formed: group A was irradiated and contaminated with isotope mixture and served as control; group B had been singly and totally irradiated with 900 r X-ray and 24 hours later it was contaminated with isotope mixture; group C had been singly and totally irradiated with 900 r X-ray and after 20 days it was contaminated with isotope mixture; group

D had been doubly and totally irradiated /first with 900 r X-ray and 20 days later with the same dose so that the total dose amounted to 1.800 r X-ray/ and after 24 hours it was contaminated with isotope mixture. After the contamination the animals were sacrificed at various time intervals, 3 hours, 2, 7 and 14 days. Radiometric measurings were carried out in: blood, faeces, chest and femur musculature and the resorption, distribution and elimination of isotope mixture was followad. The similarity and differences were analyzed among the groups as well as the radiation and hygienic evaluation of meat for communal feeding /ili human nutrition/.

## Literatura

1. Radijaciono-higijenska istraživanja životinja i namirnica animalnog porekla. Izveštaj INEP-a, 1974.

2. Radijaciono-higijenska istraživanja životinja i namirnica animalnog porekla. Fazani izveštaj INEP-a, 1975.

3. VOKEN, G.G. - Veterinarnaja radiologija. "Kolos" Leningrad, 1973.

4. DRAGANOVIC B., GAĆEVIC M., STANKOVIC S., - VII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja. Herceg Novi 207 1975.

5. GLIGORIJEVIC i saradnici - VII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja. Kaštel Stari, 335 1973.

6. DABURON F, and al. - Biol. Gastroenterol., Vol.8, pp.321 1975.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31 maj - 3 juni 1977 god.

M.Trajković[+], D.Veljković[+], N.Barjaktarević[*], V.Kostić[*],
S.Brkić[*], B.Pendić[*]
[+]Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča
[*]Klinička bolnica grada Beograda

# PROFESIONALNA EKSPOZICIJA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA: VREDNOST NEKIH HEMATOLOŠKIH, CITOMORFOLOŠKIH I IMUNOLOŠKIH TESTOVA

## REZIME

U radu se prikazuju rezultati nekih hematoloških, citomorfoloških i imunoloških testova u osoba profesionalno eksponiranih izvorima jonizujućih zračenja.

Dobijeni rezultati pokazuju da nema statistički značajnih razlika izmedju kontrolne i eksponirane grupe u ukupnom broju leukocita, neutrofilnih granulocita i limfocita.

Zapažen je porast broja dvojedarnih limfocita kao i hromozomskih aberacija. U odnosu na kontrolnu grupu porast hromozomskih aberacija je statistički značajan.

Kod jednog broja osoba sa dužim ekspozicionim stažom registrovan je diskretan pad imunog odgovora limfocita primenom testa limfoblastne transformacije limfocita u prisustvu PHA.

## U V O D

U proceni zdravstvenog stanja osoba za rad sa izvorima jonizujućih zračenja danas se koriste veoma različiti dijagnostički testovi. Praktična vrednost istih varira u širokim granicama, naročito ako se postavlja zahtev otkrivanja ranih oštećenja organizma. Novija istraživanja kao i stečena iskustva već danas pružaju mogućnost praktične primene osetljivijih testova kojima se otkrivaju promene u organizmu u predkliničkoj fazi hroničnog radijacionog sindroma. Ovo je od posebnog interesa u praćenju zdravstenog stanja osoba profesionalno eksponiranih izvorima zračenja.

U ovom radu prikazana je grupa lica koja je pod dozimetrijskom i zdravstvenom kontrolom Instituta "Boris Kidrič", Vinča. U okviru medicinskog pregleda, pored standardnih hematoloških analiza, vršena su i odredjena citomorfološka i imunološka ispitivanja. Dobijeni rezultati prikazani su u ovom radu.

Metod rada

U radu je prikazana grupa od 23 radnika starosne dobi od 29 do 66 godina sa ekspozicionim stažom od 3 do 30 godina. Od toga je 16 muškog, a 7 ženskog pola. Grupu čine osobe koje rade na proizvodnji radioaktivnih izotopa (3), pogonu reaktora (6) i rentgen aparatima (14). Sve osobe su u toku rada bile pretežno izlagane spoljnjem X i/ili gama zračenju.

Dozimetrijski podaci o ukupnim ekspozicionim dozama mogu se dati samo za radnike Instituta "Boris Kidrič" i one se kreću od 1 do 30 rem-a. Za ostale dozimetrijski podaci postoje samo za period od kada se nalaze pod dozimetrijskom kontrolom našeg Instituta i kreću se od 1 do 16.5 rem-a. Za prethodno vreme koje iznosi 6 do 20 godina moguća je samo aproksimacija doza. Iz tih razloga analiza hematoloških i drugih parametara izvršena je prema dužini ekspozicionog staža izvorima zračenja. Tako su dobijene dve grupe: grupa I sa radnim stažom do 10 godina i grupa II sa radnim stažom većim od 10 godina. Ovakvom podelom srednji ekspozicioni staž za grupu I iznosi 4.7 godina (srednji URS je 11.6 god.), a za grupu II iznosi 17.8 godina (srednji URS je 19.7 god.).

Broj leukocita predstavlja srednju vrednost iz dva istovremeno uzeta uzorka krvi brojana standardnom metodom. Ovakav postupak, koji predstavlja dugogodišnju praksu naše Laboratorije, obezbedjuje znatno veću pouzdanost dobijenih rezultata, naročito kada se radi o graničnim vrednostima.

Analiza dvojedarnih limfocita (u daljem tekstu BNL) radjena je na preparatima periferne krvi bojenim po Pappenheim-u. Pravljeno je po 5-6 razmaza kako bi se dobio dovoljan broj ćelija. Preparati su pregledani pod imerzijom, a broj BNL odredjivan je na 10.000 limfocita.

Analiza hromozomskih promena vršena je modifikovanom mikrometodom prema Edwards-u[1] i Frøland-u[2] iz kulture limfocita periferne krvi. Promene su ispitivane i računate na 50 dobro raspršenih metafaza u svake osobe. Analizirane su numeričke i strukturne promene, a klasifikacija je učinjena pod Buckton i Evans-u[3].

U okviru imunološkog ispitivanja radjen je test limfoblastne transformacije limfocita (dalje TLT) u prisustvu fithemaglutinina po modifikovanoj Hirchhorn-ovoj metodi kulture tkiva[4].

Rezultati i diskusija

Na tabeli 1. prikazane su dobijene vrednosti za leukocite periferne krvi. Uočava se da nema statistički značajnih razlika u ukupnom broju leukocita, neutrofilnih granulocita i limfocita izmedju kontrolne i grupa I i II.

Tabela 1.*

| (br.osoba) | Leukociti br/cmm | Neutrofilni leukociti | | Limfociti | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | br/cmm | % | br/cmm | % |
| Kontrola (40) | 6335±1221 | 3867±1189 | 59±6.5 | 2159±349 | 35±6.9 |
| Grupa I (8) | 5475±1538 | 2681± 544 | 50±3.8 | 2242±929 | 40±4.7 |
| Grupa II (15) | 6769±2007 | 3815±1376 | 55±7.6 | 2417±731 | 36±7.6 |

* Sve vrednosti predstavljaju M±SD

Odsustvo statističkih razlika izmedju eksponiranih i kontrolne grupe samo dokazuje i potvrdjuje, već poznate činjenice, o ponašanju leukocita u toku razvoja hroničnog radijacionog sindroma. Naime, poznato je da pojava povećanog kolebanja u broju leukocita, odnosno nestabilnost nastalih promena, spada medju prve uočljive reakcije organizma u fazi formiranja kliničke slike hroničnog radijacionog sindroma. Glavna teškoća u praktičnoj primeni spomenutog vezana je za velika numerička kolebanja leukocita pod normalnim - fiziološkim uslovima.

Imajući u vidu spomenute fiziološke varijacije u broju leukocita proizilazi da je korektna procena dobijenih hematoloških vrednosti moguća jedino na osnovu uvida o kretanju istih u toku dužeg vremena i to za svaku osobu posebno. Ovakav način uvida omogućava da se dobije realnija slika o hematološkim vrednostima koje su tipične za datu osobu. Proizilazi da isti broj leukocita za jednu osobu predstavlja sniženu vrednost, dok za drugu to je normalna vrednost.

Dobijene vrednosti za BNL prikazane su na tabeli 2. Kao što se vidi postoji porast BNL u grupama I i II u poredjenju sa kontrolom. Isto tako zapaža se visoka SD u grupama I i II, a što

je posledica znatnih pojedinačnih varijacija u nadjenom broju BNL. U grupi I nadjeni broj varirao je od 0 do 3, a u grupi II od 0 do 5.22. Ovakav nalaz uslovljava da porast BNL u grupi I, u odnosu na kontrolu, nije statistički značajan ($P>0.1$), a u grupi II, u odnosu na kontrolu, dobijeno je $0.02<P<0.05$.

Tabela 2.*

| (br.osoba) | Broj BNL na 10 000 limfocita |
|---|---|
| Kontrola (11) | 0.79 ± 0.53 |
| Grupa I (8) | 1.31 ± 1.06 |
| Grupa II (12) | 2.15 ± 1.81 |

*Sve vrednosti su M±SD

Sadašnja znanja o limfocitima i limfnom sistemu izuzetno su obimna u poredjenju na znanja od pre 3 decenije kada je prvi put opisana pojava BNL u osoba koje su radile na ciklotronu[5]. Medjutim, još uvek su podeljena mišljenja o tome koliko su BNL specifična pojava za efekte jonizujućeg zračenja, kao i o mehanizmu njihovog nastanka. Poznato je da se mogu naći u povećanom broju kod izvesnih oboljenja kao i pri terapiji kortizonom ili antibioticima.

Bez obzira na to da li je pojava BNL specifična za efekte zračenja ili ne, sigurno je da se oni javljaju i usled dejstva zračenja. Njihov broj se povećava već pri ekspoziciji dozama koje se smatraju dozvoljenim za profesionalnu ekspoziciju, te se kao takvi mogu koristiti kao test za otkrivanje ranih bioloških promena u organizmu[6,7].

Analiza slučajeva za koje smo raspolagali sa potpunim podacima o ukupnim ekspozicionim dozama ne ukazuje na prisustvo jasne korelacije izmedju ukupne ekspozicione doze i porasta broja BNL. To je potpuno razumljivo uzimajući u obzir distribuciju limfocita u organizmu i neuniformnost ozračivanja organizma u uslovima profesionalne ekspozicije.

Na tabeli 3 prikazani su rezultati analize kariotipa. dobijene razlike u broju aberacija izmedju eksponiranih grupa I i II i kontrolne grupe su statistički značajne, a što se iz navedenih P vrednosti vidi:

| | | |
|---|---|---|
| Grupa I : | Kontrola | $0.001 < P < 0.02$ |
| Grupa II : | Kontrola | $P < 0.001$ |
| Grupa II : | Grupa I | $0.01 < P < 0.02$ |

Najčešće registrovane strukturne aberacije u grupi I i II su terminalni prekidi većih hromozoma (18 u grupi I; 37 u grupi II) i acentrični fragmenti (6 u grupi I; 19 u grupi II). U grupi I registrovana su i dva dicentrična hromozoma, dok "ring" hromozomi nisu nadjeni. U grupi II registrovano je 9 dicentričnih i 3 "ring" hromozoma.

Od numeričkih promena nešto više od polovine čine ćelije sa hipodiploidnim brojem hromozoma (7 u grupi I; 33 u grupi II). Do smanjenog broja hromozoma moguće je u nekim slučajevima da dodje i usled primenjene tehnike, odnosno zbog gubitka hromozoma prilikom rasprskavanja jedarne opne.

Tabela 3

| (br.osoba) | Broj analiziranih ćelija | Numeričke promene | | Strukturne promene | | Ukupno promena | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Broj | % | Broj | % | Broj | % |
| Kontrola (20) | 1000 | 17 | 1.7 | 11 | 1.1 | 28 | 2.8 |
| Grupa I (8) | 400 | 10 | 2.5 | 28 | 7.0 | 38 | 9.5 |
| Grupa II (15) | 850 | 57 | 6.7 | 90 | 10.6 | 147 | 17.3 |

Zapažena pojava povećanog broja hromozomskih aberacija na našem materijalu odgovara sličnim nalazima drugih autora[8-11]. Dvostruko veći procenat aberacija u grupi II od procenta u grupi I indirektno ukazuje na postojanje relacije izmedju ukupne ekspozicione doze i broja aberacija, o čemu postoji znatan broj radova[12-14].

U grupi I imuni odgovor limfocita, primenom TLT, dao je vrednosti koje su se kretale u granicama od 50 do 67% (kontrolna grupa 58±10%). U dva slučaja dobijene su znatno niže vrednosti (30%).

Medjutim, za iste se są velikom verovatnoćom može tvrditi, imajući u vidu dužinu ekspozicionog staža i ukupne ekspozicione doze, da uzrok ne treba pripisivati dejstvu zračenja.

U grupi II vrednosti za TLT kretale su se od 35 do 52%. Nešto više od 1/3 rezultata ove grupe pokazuje vrednosti na donjoj granici normale ili pokazuje znake lako sniženog imunog odgovora limfocita (35 - 46%). Spomenute vrednosti nadjene su u osoba sa ekspozicionim stažom većim od 16 godina, osim jedne, sve rade u pogonu reaktora ili proizvodnji izotopa. Najmanja ukupna ekspoziciona doza iznosila je 13 630 mrem.

Poznato je da se pod dejstvom zračenja smanjuje imunološka reaktivnost organizma. Isto je zapaženo i u hroničnom radijacionom sindromu[15,16]. Medjutim, odgovarajući klinički simptomi insuficijencije odbrambenih mehanizama organizma javljaju se dosta pozno.

Primena novih metoda treba da omogući registrovanje promena i u imunološkom odgovoru organizma još u predkliničkoj fazi. Tome u prilog govore dosadašnji radovi [17] kao i izloženi rezultati.

## Zaključak

Na osnovu izloženih rezultata može se zaključiti sledeće:

1. Vrednosti broja leukocita, neutrofilnih granulocita i limfocita ne pokazuju statistički značajne razlike izmedju eksponiranih i odgovarajućih kontrolnih grupa.

2. Zapaža se statistički značajan porast broja dvojedarnih limfocita, naročito u grupi II. Odsustvo dvojedarnih limfocita ili vrednosti koje se sreću u kontrolnoj grupi ne isključuju prisustvo drugih oblika bioloških promena.

3. Kod svih osoba grupe I i II zapažen je statistički značajan porast hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi.

4. Kod jednog broja osoba sa dužim ekspozicionim stažom iz grupe II zapažen je diskretan pad celularnog imuniteta.

Iz izloženog proizilazi da je moguće opserviranje ranih bioloških promena u organizmu osoba eksponiranih dozama koje ne prelaze maksimalno dozvoljene nivoe.

Imajući u vidu moguće pozne somatske i genetske efekte, postavlja se praktično pitanje šta su granične vrednosti navedenih i sličnih promena posle kojih jedna osoba ne bi smela da bude dalje izlagana dejstvu zračenja.

PROFESSIONAL EXPOSURE TO IONIZING RADIATION: SOME HEMATOLOGICAL, CYTOMORPHOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL TESTS - The paper represents results of some hematological, cytomorphological and immunological tests for persons professionally exposed to ionizing radiations.

Number of leucocytes, neutrophil granulocytes and lymphocytes do not show statistically significant differences between the exposed and control groups.

An increase of binucleated lymphocytes and chromosome abberations is registered, the second being statistically significant in comparison to the control group.

A small depression in cellular immunity is observed for several persons working with ionizing radiation for a longer period.

## Reference

1. Edwards J.H., Jung R.B., Lancet 2 , 48 (1961)
2. Frøland A., Lancet 2, 1291 (1961)
3. Buckton K.E., Evans H.J., World Health Organization,Geneva 1973
4. Hirchhorn K. and al. Science 142, 1185 (1963)
5. Ingram M., Barnes W., Phys.Rev. 75, 1765 (1949)
6. Pendić B. et al., Radiologia Yugoslavica,1,49 (1965)
7. Pendić B., Tomin V., Proceedings of the International Congress of Radiation Protection , Vol, Pergamon Press, New York, 1968 p.517
8. Boyd J.T. et al. Brit.Med.J., 1, 377 (1966)
9. Pendič B., Proceedings of the First International Congress of Radiation Protection, Vol. 1, Pergamon Press, New York, 1968 p.47
10. Aleksić B. et al., Advance in Physical and Biological Radiation Detectors, IAEA, Vienna, 1971, p.687
11. Bauchinger M. et al. Advances in Physical and Biological Radiation Detectors, IAEA, Vienna, 1971 p.377

11a. Marković B. et al. VII simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Kaštel Stari, 22-26 oktobar, 1973, str.459

12. Bender M.A., Gooch P.C., Proc. Nat. Acad. Sci. 48, 522 (1962)

13. Dolphin G.W., Purrott R.J., Advances in Physical and Biological Radiation Detectors, IAEA, Vienna, 1971, p.677

14. Le Go R., Radiation Dosimetry Vol.I., Proc. Summer School, Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Beograd,1971 p.298

15. Leone, C.A., Ionizing Radiation and Immune Processes, Gordon and Breach, New York, 1962

16. Guskova A.K., Knjiga profesionalnie bolezni pod redak. A.A. Letavet, Medicina, Moskva, 1973 p. 517

17. Pendić B., et al., Bilten transfuzije, br.26, str.31 (1970)

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU
OD ZRAČENJA

Jajce, 31.5. do 3.6.1977.

Grozdanović J., Savić V.,
Institut za medicinu rada Medicinskog fakulteta u Nišu
Institut za fiziologiju Medicinskog fakulteta u Nišu

# ELEKTROKARDIOGRAFSKE PROMENE KOD LICA IZLOŽENIH JONIZUJUĆEM ZRAČENJU

Naša ispitivanja se odnose na elektrokardiografske promene kod lica profesionalno eksponiranih rentgen zračenjima. Dvogodišnje ispitivanje EKG-a pokazalo je češću zastupljenost sprovodnih smetnji u desnoj grani Hiss-ovog snopa kod rentgen tehničara, a posebno rentgenologa. Sa dužinom specifičnog radnog staža raste i zastupljenost sprovodnih smetnji visoko signifikantno u odnosu na kontrolnu grupu. Ova pojava zahteva dalje ispitivanje.

## U V O D

Lica sa smetnjama u sprovođenju srčanih nadražaja svakim danom sve je više. Većina smetnji u sprovođenju se odnosi, u skoro 90% slučajeva, na blokove grana Hiss-ovog snopa, pri čemu su češće smetnje u desnoj grani.[1)]

Danas se zna da se sprovodne smetnje, posebno desne grane, mogu sresti kod zdravih lica, ali isto tako i kod raznih vrsta uzrokovanih srčanih bolesnika. Organski supstrat smetnji u sprovođenju predstavlja na prvom mestu hronično plućno srce. Hicke[2)] ga nalazi u 50%, a Fridberg[3)] u 30% slučajeva. Infarkt miokarda dolazi na drugo mesto po učestalosti (70% prema Fridberg-u[3)]). Hipertenzija po istom autoru je zastupljena sa 60%, a prema Hicke-u[2)] čak i do 72%. Od ostalih uzroka navode se stečene i urođene srčane mane aterosklerotični miokardit idr. Pored organskih uzroka, ne retko, sprovodne smetnje se mogu konstatovati i kod klinički potpuno zdravih osoba. Ispitivanja Hiss-a i

Lambe-a na letačkom osoblju, koje mora biti besprekorno zdravo potvrđuje ovo gledište.[4)]

U pogledu patogeneze, pored već klasičnog mišljenja da sprovodne smetnje nastaju ishemičnim uzrokom, poslednjih godina se tvrdi da je mehanički uzrok češći.[5)] Smatra se da mehanička destrukcija dovodi do zakašnjenja u depolarizaciji komora i to usled aberantnog sprovođenja nadražaja.

Uvek je bilo diskutabilno koliko je oštećenje sprovodnih vlakana uticalo da se elektrokardiogram promeni, koje su promene i što ih je uzrokovalo.

Cilj našeg ispitivanja je utvrđivanje učestalosti i vrste promena u sprovodnom sistemu putem elektrokardiografije kod lica profesionalno izloženih rentgen zračenju.

## METOD RADA

U toku dvogodišnjeg perioda posmatrano je 1o6 lica koji su izloženi jonizujućem zračenju (rentgenolozi i rentgen tehničari). Kod svih je ambulantno obavljena celokupna klinička i laboratorijska obrada kako bi se isključila organska geneza sprovodnih smetnji (hronično plućno srce, hipertenzija, infarkt).

Elektrokardiografsko snimanje vršeno je trokanalnim aparatom EKG 300 "EI" Niš, a elektrokardiogrami su upoređivani kako bi se tražila evolucija nađenih promena. Istovremeno je analizirana kontrolna grupa od 12o radnika vozača, kod kojih je sproveden isti postupak ispitivanja.

## REZULTATI

### Opšti podaci o ispitivanju

Analizom podataka je utvrđeno da prosečna starost lica izložene grupe iznosi 4o,6 ± 7,74 godina i 38,6 ± 7,18 za kontrolnu grupu. Obe grupe su homogene, što je testiranjem dokazano (t = 1,83). Distribucija po dobnim grupama je skoro identična, tako što je najzastupljenija na uzrastu od 36-4o godina. Prosečni radni

staž za eksponiranu grupu iznosi 15,4 ± 7,45 godina, a za kontrolnu 16,6±7,35 godina.

## Prikaz sprovodnih smetnji

Elektrokardiografske promene u smislu sprovodnih smetnji utvrđeno kod 52 izložena lica što iznosi 49% u odnosu na broj eksponiranih. Bliži podaci o vrsti sprovodnih smetnji dati su u tabeli 1.

Tabela 1.

| Red. br. | Smetnje u sprovođenju | Izražene smetnje | Diskretne smetnje | Sigma | Procenat |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | U sve tri derivacije | 4 | 4 | 8 | 15,38 |
| 2. | D III i AVF-tu | 8 | 9 | 17 | 32,69 |
| 3. | D III i $V_1$ | 1 | 1 | 2 | 3,85 |
| 4. | D III | 4 | 8 | 12 | 23,o8 |
| 5. | AVF-tu | - | 2 | 2 | 3,85 |
| 6. | $V_1$ i AVF-tu | 3 | 2 | 5 | 9,62 |
| 7. | $V_1$ | 4 | 1 | 5 | 9,62 |
| 8. | ES | - | 1 | 1 | 1,92 |
| | UKUPNO: | 24 | 48 | 52 | loo,o |

Iz tabele se konstatuje da su sprovodne smetnje najviše zastupljene u desnoj grani Hiss-ovog snopa, Smetnje u trećoj standardnoj derivaciji D III i AVF-tu sa 32,69%. Sa nešto manjim procentom (23,o8%) sprovodne smetnje su se manifestovale samo u trećoj standardnoj derivaciji, D III. Na trećem mestu po učestalosti konstatovali smo kod naših slučajeva promene u smislu otežanog sprovođanja u sve tri derivacije koje se odnose na desno srce (D III, AVF-tu, $V_1$).

Od nađenih smetnji u sprovođenju izražene promene nađene su u 46,2%, a u 53,8% te su promene diskretnije.

Od lo6 eksponiranih nađena je hipertenzija kod 12 osoba, od kojih 5 imaju smetnje u sprovođenju.

U kontrolnoj grupi smetnje u sprovođenju konstatovane su samo kod 5 radnika, što u procentu iznosi 4,1%.

Razlika između eksponiranih i kontrolnih, u pojavi sprovodnih smetnji je visoko signifikantna.

## D I S K U S I J A

Mehanizam nastanka defekta u sprovodnom sistemu je kompleksan i vrlo diskutabilan. Mi ćemo pokušati da u svetlosti literarnih podataka damo približno objašnjenje.

Teško je dati objašnjenje čestih sprovodnih smetnji u desnoj grani Hiss-ovog snopa kod lica izloženih jonizujućem zračenju. Ovo stoga, što se današnjim shvatanjima srce ubraja u relativno radio rezistentan organ. Stoji činjenica da je ceo sprovodni sistem histološki nezreo i da se od svog početka, pa sve do rođenja, pa i posle njega stalno histološki menja,[6] da je vrlo osetljiv na akutna stanja i to u prvom redu: asfiksiju, toksične materije, izmene jonskog sastava, promene PH sredine.[7,8,9]

Takođe se smatra da izmenjeni jonski odnosi mogu biti uzrok defekta u sprovođenju nadražaja.[10]

Imajući u vidu histološku nezrelost sprovodnog sistema, kao i promene jonskih odnosa koji se dešavaju u toku procesa jonizacije, skloni smo objasniti - pripisati nađene sprovodne smetnje kod rentgenologa i rentgen tehničara rentgenskom zračenju.

Naš rad ima karakter preliminarnog saopštenja i zahteva obimnija i precizniji ispitivanja.

## Z A K L J U Č A K

Analizama elektrokardiograma kod 106 lica eksponiranih rentgen zračenju (rentgenologa i rentgen tehničara), zaključuje se da je u velikom procentu došlo do poremećaja u sprovođenju impulsa razdraženja u desnoj grani Niss-ovog snopa.

Ove sprovodne smetnje su češće kod lica sa dužim specifičnim radnim stažom, tj. sa dužom ekspozicijom.

Smetnje su češće kod rentgenologa sa dužim radnim stažom.

Mišljenja smo da su, obzirom na veliku procentualnu zastupljenost sprovodnih smetnji, neophodna dalja ispitivanja.

## S U M M A R Y

Analis EKG hund and sir (106) persones with ant exhibitee X- radiation ( (radiologist and X-raytehnician)rauitep that in high percentage ocurs distu - brance in conducting impuls thlough the right blanch of Niss - bunolt.

These disturbance of conductin impuls alwrys ocurs in people whe are exi bised a long time wirh X-rays.

Disturbance are ofen ocurs in radiologist who along time exhibitee to X-rays thivicings that these disturbance of conducting impuls are impota- nt for examination.

# L I T E R A T U R A


1. ROSENBRAUN H.B.: Types of right bundle branche block and their clinical Significance. - J. Electrocardiology, 1 (2). 221, 232, 1968.

2. HICHEY N. and ALL.: A study of the aetiology of bundle brach block. Ir. J. Med. Sc. 1966., 491 : 518 - 524.

3. FRIEDBERG: Dieseasis of the Heart, 2 Ed. Phyladel. 1962. Arch. Int. Med. 86 : 196, 1950.

4. HISS R., LAMB L.; Electrocardiographic findings in 122043 individuals. Circulation, 25 : 947, 1962.

5. Lev M.;Conduction System in congenital heart disease. Amer. J. Cardiology, 21 : 619, 1968.

6. WALS E. W: The developtement of the specializid conduction tissue of the humen heart. - J. Amat. 81 : 93, 1947.

7. SODI - PALARES AND ALL.: Nuseveas Baces de la electrocardiografia, Mexico, 1949.

8. Lewis T.: The mehanism and graphic registration of the Heart Beat, London, 1935.

9. PETROVIĆ S.: Habilitacija iz sprovodnog sistema , Niš, 1971.

10. UNDELOV M.: The role of neerosis on the origine of elektrokardiogram alternans - Circulation, 25 : 5o, 1961.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja.
Jajce, 31.V. - 3.VI. 1977.

Olga Vraspir-Porenta, Radivoj Ozvald i Miran Porenta

Institut za histologiju i embriologiju Medicinskog fakulteta u Ljubljani, Zaloška 4. 61000 Ljubljana.
Klinični center Ljubljana, Klinika za nuklearnu medicinu, Zaloška 2. 61000 Ljubljana.

# DENZITOMETRIČKO ISPITIVANJE LEUKOCITA ČOVJEKA, NAKON TERAPIJE $^{131}J$

Kratak sadržaj

Autori su mjerili gustoću po Feulgenu obojenog kromatina u jedrima leukocita bolesnika kojima je bio zbog liječenja apliciran $^{131}J$. Gustoća jedra, koja je ekvivalentna koncentraciji dezoksiribonukleinske kiseline u stanici, bila je nakon zračenja signifikantno smanjena. Navedeni rezultati su preliminarni. Ukoliko bi slične rezultate postigli upotrebom nižih doza i drugih izvora zračenja mogla bi metoda postati novo pomagalo za direktnu detekciju radijacijskih oštećenja u živim stanicama.

Sadržaj

Učinak ionizirajućeg zračenja može biti ljekovit, mutagen, teratogen i onkogen. Glavni izvor za ekspoziciju čovjeka zracima su diagnostički i terapeutski zahvati (1), koji obuhvaćaju samo određjeni broj ljudi u populaciji.

Namjera naših istraživanja je bila, da ustanovimo što je moguće ranije promjene u zračenom organizmu, koje vjerovatno još ne znače veće ili nepopravljivo oštečenje za pojedinca i njegove potomke, a ipak već postoje.

Bolesnicima s diagnosticiranim toksičnim adenomom štitnjače oduzeli smo perifernu krv pred aplikacijom $^{131}J$ te treći i sedmi dan, nakon toga. $^{131}J$ smo aplicirali peroralno jednom u dozi od 2o mCi. Krvne razmaze smo bojili po Feulgenu. Denzitometrično smo odredjivali gustoću Feulgenove boje u jedrima leukocita, koja odgovara količini DNA. Vrijednosti DNA izmijerili smo scanning denzitometrom Vickers M 85, a izrazili smo ih u arbitrarnim jedinicama.

Na električnom računaru Hewlet Packard 2looS izradili smo program za izračun srednjih vrijednosti, standardne devijacije, standardne griješke, indeks spljoštenosti i indeks asimetričnosti. Srednje vrijednosti smo izračunali posebno za limfocite, štapićaste i režnjaste granulocite, te za monocite, kao i srednje vrijednosti za gustoću svih nabrojenih vrsta leukocita zajedno.

Nakon zračenja zabilježili smo kod svih ispitanika u bistvu jednake promjene. Prosječna gustoća jedara svih vrsta, kao i pojedinih vrsta leukocita, signifikantno se je smanjila tri dana nakon aplikacije $^{131}J$. Sedmog dana postale su vrijednosti za DNA još niže.

U nastavku istraživanja želimo utvrditi da li su navedene promjene posljedica kromosomskih aberacija, koje su za $^{131}J$ dokazane (2,3,4,5) i nastaju zbog leukotoksičnog učinka $^{131}J$, ili su na naše denzitometrične rezultate utjecali drugi faktori (autoliza leukocita (6), hipertiroksinemija (7), kao i tvari, koje se oslobadjaju u štitnjači, zbog radiacijske nekroze).

Nastavak istraživanja pokazati će, da li će biti moguće denzitometrično registrirati kako akutnu, tako i kroničnu izloženost zračenju.

Summary

The authors are examining a method for detection of biological damages caused by radiation. The density of nuclear substance is measured in leukocyts of patients to whom $^{131}J$ was applied for therapy of hyperthyreosis. Density of nuclear substance, which is equivalent to concentration of DNA in nucleus, was after radiation significantly lower than before. These results are only preliminar, if the same effect could be proved for lower doses of $^{131}J$ and for other sources of radiation also, this method could be a new help for direct detection of radiation damages in cell structures.

Literatura

1. Varl B., Nuklearna medicina v Jugoslaviji, Radiol.Iugoslav. 1o(1976) 65-67.

2. Tunkl M., I.Simonović, Analiza kromosoma čovjeka i ionizantno zračenje. Arh.hig.rada, 18(1967) 37.

3. Pendić B., Barjaktarović N., Perzistencija hromosomskih aberacija u pacijenata sa hipertireozom lečenih radioaktivnim jodom. Zbornik radova, VIII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja. Hercegnovi 1975. 173.

4. Macyntyre M.N., B.M. Dobyns, Anomalies in chromosomes of the circulating leucocytes in man following large doses of radioactive iodine. J.Clin.Endocr. a Met. 22(1962) 1171.

5. Nofal M.M., W.H. Beierwaltes, Persistent chromosomal aberrations following Radioiodine therapy. J.Nucl.Med. 5(196o) 84o.

6. Kasten F.H., Feulgen DNA changes during autolysis of mouse ascites cells. Exp.Cell.Res. 19(196o) 93.

7. Roels H., Cell activity and DNA content of the nuclei of the thyroid gland of the white rat. Nature 1974(1954) 514.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Dr. I. Voskresensky, Dr. V. Voskresensky, Dr. L. Grgić-Markulin i Dr. M. Seremet

Zavod za kliničku onkologiju i radioterapiju Medicinskog fakulteta i Klinika za očne bolesti Medicinskog fakulteta u Zagrebu

# APLIKACIJA KOLOIDALNOG RADIOAKTIVNOG KROM - FOSFATA KOD CISTIČNIH TUMORA MOZGA KAO I DOPRINOS DOZE ZRAČENJA NA ZDRAVO TKIVO MOZGA

Sažetak. Kod cističnih tumora mozga postoji mogućnost da se evakuacijom sadržaja ciste i aplikacijom radioaktivnog koloidalnog krom-fosfata u tu šupljinu, tumor zrači iz svog centra prema periferiji. Na taj način mogu se liječiti tumori koji su smješteni u centralnim partijama mozga, gdje radikalna operacija nije moguća. Rezultati takove palijativne terapije bolji su od dosadašnjih metoda liječenja ovih tumora. Zdravo tkivo mozga i oka na taj način pošteđeno je nepotrebnog zračenja, pošto beta emiter $P^{32}$ imade domet do 8 mm.

U zadnja dva decenija u terapiji malignih tumora mozga učinjen je znatan napredak. Ovo poboljšanje terapije zahvaljujemo boljim tehničkim mogućnostima i primjeni izotopa, koji nam omogućuju da efikasnije liječimo, teško pristupačne i operativno prognostički loše tumore mozga, zbog nemogućnosti radikalne operacije u centralnim partijama CNS. Kod samo nekih vrsta tumora mozga postoji mogućnost primjene izotopa $P^{32}$. Po Bailey-u samo 3% od svih tumora mozga su oni koji imadu cističnu šupljinu u centru tumora i kod samo takovih postoji mogućnost da se aplicira radioaktivni izotop u tu šupljinu. Ova radnja obrađuje ovu vrstu tumora.

Pionirski rad na pokušaju poboljšanja liječenja pripada kirurzima, među kojima je Leksell (1) već 1951. godine opisao pokušaj instiliranja izotopa u šupljinu tumora. Kasnije je on unaprijedio tu metodu liječenja, koja se zatim uspješno primijenjuje. Iza toga su ovu metodu liječenja razradili Mundinger (2,3,4,5,6), Riechert (7,8,9), Olivecrona (1o) i dr. Ovakovo zračenje iz centra tumora prema periferiji, dakle iz ciste samog tumora gdje se instilira radioaktivni izotop , danas je usavršeno i imade svoju vrijednost kao terapija kod cističnih craniopharyngeoma. Ovu metodu sa koloidalnim radioaktivnim krom-fosfatom ( $Cr\ P^{32}O_4$ ) primijenjuje se na našem Zavodu već 1o godina. Dobra strana ove metode zračenja je u tome što se tumor zrači iz šupljine procesa prema periferiji, dok se zdrave strukture mozga nepotrebno ne odzrače. Većina naših bolesnika kod kojih je primijenjena ova metoda zračenja, bila je u uznapredovalom stadiju bolesti. Kod nekih je bolesnika već prethodila neuspješna operacija gdje je izvršena djelomična redukcija tumora. Simptomi bolesti su se pogoršali tako da se moralo pristupiti ponovnom liječenju. Najčešći simptomi bolesti, kada smo se odlučili za primjenu radioaktivnog krom-fosfata, bile su smetnje vida uz glavobolju i endokrinološke smetnje.

Kako je simptomatologija sa strane organa vida zbog lokalizacije tumora u predjelu hipofize redovito prisutna, pratili smo razvoj očnih komplikacija oftalmološkom kontrolom u više navrata.

Najznačajnije smetnje koje smo ustanovili, a koje su i prema literaturi u takovim slučajevima javljaju u sklopu tzv. hijazma sindroma jesu :

- postepena redukcija vidne oštrine, u prvo vrijeme zbog edema, a u kasnijem razdoblju zbog postojeće atrofije vidnog živca.
- ispadi vidnog polja prema mjestu kompresije, od izoliranog defekta vidnog polja, sve do najtipičnije slike za ovu lokalizaciju,

pojave bitemporalne hemianopsije.

- razvoj atrofije vidnog živca u smislu primarne descendentne neinflamatorne atrofije nervi optici.

- pojava zastojne papile koja se prema većini autora javlja u vrlo visokom postotku od cca 6o do preko 8o% slučajeva. Tumačenje nastanka ove tipične i oftalmoskopski jasno vidljive promjene vrlo je kompleksno. Općenito sumirajući mišljenja može se reći, da je u razvoju zastojne papile primaran edem, koji nastaje uslijed mehaničko-fizikalnih poremećenja ravnoteže između tkivnog tlaka papile i intraokularnog tlaka staklovine odnosno intrakranijalnog tlaka likvora. Utjecaj imadu i toksične supstance koje se luče bilo uslijed poremećaja tlaka po Krückmannu (11), odnosno iz samog tkiva tumora direktno.

Od naših lo kontroliranih bolesnika našli smo slijedeće promjene:

- vidna oštrina; svega jedan pacijent imao je normalnu vidnu oštrinu i to samo na jednom oku, pošto je drugo oko zbog promjena na rožnici bilo nepristupačno pregledu, odnosno vidna oštrina s tim promjenama ekstremno reducirana. Jedna pacijentica je u toku bolesti konstantno gubila vid sve do amauroze obostrano. Svi ostali bolesnici imali su reduciranu vidnu oštrinu od 6/12-6/18 koja se u toku liječenja stacionirala odnosno kod nekih neznatno poboljšala.

- vidno polje; svega kod jednog bolesnika našli smo tipičnu bitemporalnu hemianopsiju, dok su svi ostali pokazivali više ili manje izražene defekte u smislu suspektnom na hijazmatski sindrom.

- atrofija vidnog živca; samo jedan pacijent (kod kojega su na jednom oku postojale mutnine na rožnici) pokazivao je na zdravom oku sliku normalnog fundusa. Svi ostali bolesnici imali su

manje ili više izraženu blijedoću papile nervi optici na oba oka, do izrazite kompletne atrofije papile kod bolesnice sa obostranom amaurozom.

- zastojna papila; bila je prisutna kod 8 bolesnika obostrano, kod jednog na samo jednom oku u određenoj fazi bolesti, a kod bolesnice koja je završila s obostranom amaurozom, i kasnije egzitusom, moglo se točno prema izgledu papile nervi optici odnosno prisutnog zastoja, pratiti recidiv bolesti u dva navrata.

## Lokalizacija tumora i aplikacija izotopa

Vrlo preciznom stereotaktičkom operacionom tehnikom, pomoću metalnog "Lekselovog okvira", u kom je učvršćena glava bolesnika, dolazi se preko gluhih frontalnih regija mozga do šupljine tumora. Lokalizaciju tumora učini se tako da se fiksirana glava u metalnom okviru snimi, te pomoću rentgenske snimke odredi mjesto tumora, na koji se zatim usmjeri sonda za aplikaciju izotopa (slika 1).

Kada je sonda došla do ciste tumora izvuče se sadržaj ciste, odredi njen volumen i kroz istu sondu aplicira izotop Cr $P^{32}O_4$ u količini koja daje energiju zračenja do cca 4o.ooo rada na 1 $cm^2$ unutrašnje površine ciste. Može se šupljina ciste ispuniti i kontrastnim sredstvom te pomoću rentgenske snimke u 2 smjera ustanoviti volumen šupljine (slika 2).

Zbog toga što je izotop vezan za velike molekule Kroma od 5o-3oo mili mikrona, ne može izaći kroz membranu stanice te ostaje na mjestu aplikacije. Ovako instiliran radioaktivni $P^{32}$ ostaje dulje vremena aktivan u šupljini tumora te djeluje ionizantno na tumor. Maksimalna energija elektrona Em=1,7 MeV, no pošto se kod beta raspada emitira jedan beta-neutrino, zbog nužnog sačuvanja spina, to nekad više a nekad manje energije otpada na

Slika 1

(Fiksirana glava bolesnika u metalnom okviru i uvođenje sonde kroz frontalnu regiju mozga do mjesta tumora)

Slika 2

(Šupljina ciste ispunjena kontrastnim sredstvom)

neutrino, stoga možemo po Tubiani (12) govoriti o energiji od 0-1,7 MeV. Srednja energija Es=0,7 MeV. Vrijeme poluraspada ovog izotopa je $T_{1/2}$=14,45 dana. Po Wachsmannu (13) je prosječni domet ovih elektrona 3-4 mm, dok elektroni maksimalne energije imadu domet do 8 mm. Kada se radi o beta raspadu uvijek imademo čitav spektar energija te se absorbcija u nekom mediju zbiva eksponencijalno (12).

Tim izotopom liječili smo 10 naših bolesnika sa manifestnim kliničkim simptomima bolesti. Vidjeli smo bolje rezultate nego samo sa kirurškom intervencijom. Nije nastupilo nepotrebno i štetno zračenje zdravih partija mozga i oka (14).

## S U M M A R Y

In cystic brain tumours there is the possibility to irradiate the tumour out from the center of it to the periphery after evacuation of the cyst and the application of the radioactive coloidal chromphosphate. The results of such palliative therapy are better from other treatment methods, and longer remissions could be achieved.

## L I T E R A T U R A

1. LEKSELL, L. i LINDEN, K.: Radio isotope techniques. Vol.1: Medical and Physiological Applications. H.M. Stationery office, London 1951.
2. MUNDINGER, F.: Münch. Med. Wschr. 98, 23. 1956.
3. MUNDINGER, F.: Anat. e Chir. 3,21. 1958.
4. MUNDINGER, F.: Strahlentherapie 116, 523. 1961.
5. MUNDINGER, F. i RIECHERT, T.: Hypophysentumoren, Hypophysektomie. Stuttgart: G. Thieme, 1967.
6. MUNDINGER, F.: Kerntechnik, Isotopentechnik und Chemie, 6,333. 1969.
7. RIECHERT, T. i MUNDINGER, F.: Acta neurochir. ( Wien) Suppl. III, 308. 1956.
8. RIECHERT, T. i MUNDINGER, F.: Einführung in die stereotaktischen Operationem mit einem Atlas des menschlichen Gehirns. Izdavač Schaltenbrand, G. i Bailey, P. Stuttgart: G. Thieme 437. 1959.
9. RIECHERT, T. i GISINGER, M. A. i MÖLBERT, E.: Neurochirurgia, (Stuttgart) 10, 106. 1967.
10. OLIVECRONA, H. In Handbuch der Neurochirurgie, IV/4. Springer, Heidelberg. 1966.
11. PAVISIĆ, Z.: Oftalmologija. Med. Knjiga Beograd-Zagreb, 505. 1971.
12. TUBIANA, M. et col.: Bases physiques de la radiotherapie et de la radiobiologie. Izdavač: Masson et Cie (Paris). 569. 1963.
13. WACHSMANN, F. i SCHUBERT, W.: Röentgen Bl. 12, 1. 1959.
14. VOSKRESENSKY, I.: Nove mogućnosti u terapiji Craniopharyngeoma pomoću koloidalnog radioaktivnog krom-fosfata, Disertacija. Zagreb. 1971.

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Mirko GAČEVIĆ

Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu, Beograd - Zemun, Baranjska 15

# UTICAJ X-ZRAKA NA BLASTIČNU TRANSFORMACIJU, MITOTSKU AKTIVNOST I HROMOZOME LIMFOCITA SVINJE *in vitro*

Puna heparinisana krv od svinja, starih 6-7 meseci, neposredno posle venske punkcije ozračivana je *in vitro* sa različitim dozama (od 100 do 425 rad-a) X-zraka. Posle kultivisanja ćelija u hranljivoj podlozi ispitivan je uticaj različitih doza na blastičnu transformaciu, mitozni indeks i pojavu odredjenog tipa (dicentričnih i prstenastih hromozoma) hromozomskih aberacija, i mogućnosti biološke dozimetrije zračenja na osnovu nekih od ovih parametara.

## Uvod

U poslednjih desetak godina objavljen je veliki broj radova koji se odnose na ispitivanje hromozomskih aberacija, izazvanih jonizujućim zračenjima *in vitro* i *in vivo* kod čoveka, eksperimentalnih i domaćih životinja (2, 3, 4, 5). U ovim radovima konstatovano je da postoji pozitivna korelacija, u većem ili manjem stepenu, izmedju primljenih doza zračenja i odredjenog tipa hromozomskih aberacija. Odnos doza-efekat je promenljiva veličina koja zavisi od vrste životinja, prirode, kvaliteta zračenja, uslova kultivisanja ćelija itd.

U ranijim našim ispitivanjima (1) pri ozračivanju svinja različitim dozama gama-zraka, ustanovili smo da postoji pozitivna korelaciona zavisnost izmedju hromozomskih aberacija i primenjene doze. Cilj ovih istraživanja bio je da izučimo uticaj X-zraka na blastičnu transformaciju, mitotsku aktivnost i hromozomske aberacije u limfocitima periferne krvi svinja, posle ozračivanja *in vitro*. Takodje smo uporedjivali efekat gama i X-zraka na hromozomima svinje, radi odredjivanja relativne biološke efikasnosti (RBE).

## Materijal i metode

Krv je uzimata od svinja, rase Švedski landras, oba pola, starosti 6-7 meseci, i prosečne težine oko 100 kg. Krv je uzimana pomoću sterilnih plastičnih špriceva, uz dodatak heparina, punkcijom vene jugularis ili v. auricularis magne. Puna krv je ozračivana na sobnoj temperaturi na rendgen aparatu za dubinsku terapiju "Philips" pod ovim uslovima: 200 kV, 15 mA, FOO 50 cm, filter 0,5 Cu + 1.0 Al. Brzina doze iznosila je oko 100 r/min. Posle ozračivanja vršeno je zasejavanje kultura prema ranije opisanoj tehnici (1), a inkubacija ćelija je vršena na 36,5°C. Blokiranje kultura vršeno je sa kolhicinom (0,08 ug/ml podloge) od 20-37 h (17 h).

Mitozni indeks i transformaciju ćelija odredjivali smo na 500 ćelija, a broj hromozomskih aberacija je odredjivan na 200 ćelija.

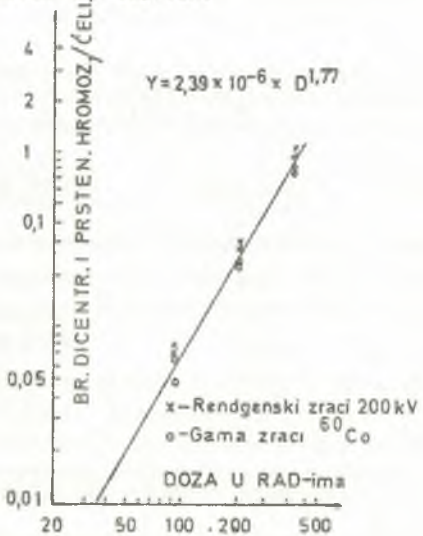
## Rezultati i diskusija

Dobijeni rezultati prikazani su na tab. 1. iz koje se vidi da doze X-zraka od 100-425 rada ne utiču bitno na blastičnu transformaciju limfocita svinje, jer je broj transformisanih ćelija i kod ozračenih kultura, kao i kod kontrole, približno jednak i kreće se oko 50% (od 35,4-61,2%). Iz iste tabele se vidi da nema veće razlike u procentu transformisanih ćelija kultivisanih u hranljivim podlogama sa različitim dodatkom proteina (fetalni teleći serum - FTS ili govedji albumin, frakcija V -GA).

TAB. br. 1,
Uticaj X-zraka (200 kV) na blastičnu transformaciju mitoznu aktivnost i hromozomske aberacije u limfocitima svinje *in vitro* (Podloga McCoy, inkubacija 37h, temperatura 36,5°C)

| Doza rad | Broj ćelija | % transfor. ćelija | Mitozni index | %Dicent.+ prstenast. hromozoma | Protein. dodatak |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 500 | 54,8 | 48 | 0,0 | GA |
| 100 | " | 51,2 | 38 | 8,0 | " |
| 100 | " | 56,6 | 34 | 8,5 | FTS |
| 210 | " | 53,2 | 20 | 30,5 | GA |
| 210 | " | 37,4 | 16 | 29,0 | FTS |
| 425 | " | 47,2 | 18 | 111,0 | GA |
| 425 | " | 61,2 | 30 | 108,5 | FTS |

Iz iste tabele se vidi da je broj ćelija u deobi na 1000 posmatranih ćelija (mitozni indeks) najveći u neozračenih kultura i iznosi 48. Kod kultura linfocita svinje koje su bili predhodno ozračene različitim dozama X-zraka broj ćelija u deobi se,u odnosu na kontrolu smanjuje, tako kod doze od 100 rad-a iznosi u proseku 36, a kod doze od 210 rada 18. Da li i u kojoj meri utiče sastav hranljive podloge na brzinu deobe ćelija, samo na osnovu ovih rezultata ne bi mogli da damo pozitivan odgovor.




Graf. 1. Uticaj X-zraka na hromozomske aberacije u limfocitima svinje <u>in vitro</u>

Kao najpouzdaniji parametar u proceni hromozomskih oštećenja-aberacija analizirali smo broj dicentričnih i prstenastih hromozoma u diploidnim ćelijama u prvoj deobi posle ozračivanja. Rezultati ovih ispitivanja prikazani su na tab. 1. i graf. 1. Iz ovih podataka se vidi da sa povećanjem primljene doze zračenja povećava se i broj hromozomskih aberacija u ćelijama. Prikazivanjem odnosa izmedju doze i hromozomskih aberacija u log-log. koordinantnom sistemu dobija se pozitivna pravolinijska zavisnost. Primenom eksponencijalne funkcije tipa $Y = K D^n$ ova zavisnost se može formulisati matematičkim izrazom

$Y = 2,39 \times 10^{-6} \times D^{1,77}$. (Y-broj hromozomskih aberacija po ćeliji; K-koeficijent aberacija; D-doza X-zraka u rad-ima i n-eksponent doze).

U sličnim, našim, ranijim ogledima (1) ustanovili smo da je kod istih doza zračenja efekat gama-zraka $^{60}Co$ bio nešto manji na hromozome limfocita svinje in vitro. Ovi podaci su u saglasnosti sa rezultatima dobijenim na limfocitima ljudi in vitro (3). Ovi autori su konstatovali da ukoliko je RBF zračenja veća, efekat na hromozomima je veći, a eksponent doze bliži vrednosti 1.

TAB. br. 2,

Uporedna ispitivanja efekta gama i X-zraka (200 kV) na hromozomske aberacije u limfocitima svinje in vitro

| Doza rad | Efekat X-zraci | D + P u % gama-zraci $^{60}Co$ | R.B.E. (efekat gama-zraka) / efekat X-zraka |
|---|---|---|---|
| 100 | 8,0 | 5,5 | 0,68 |
| 100 | 8,5 | 7,5 | 0,88 |
| 210 | 30,5 | 24,5 | 0,80 |
| 210 | 29,0 | 24,0 | 0,82 |
| 425 | 111,0 | 87,3 | 0,78 |
| 425 | 103,5 | 90,5 | 0,84 |

Prosečna vrednost BRE = 0,80

Na tab. 2 prikazani su rezultati ispitivanja efekta gama-zraka kobalta-60 i X-zraka od 200 kV na hromozomske aberacije u linfocitima svinje posle ozračivanja in vitro. Iz tabele se vidi da kod svih ispitivanih doza efekat gama-zraka je bio nešto manji, medjutim, statističkom obradom rezultata (t-test) nismo ustanovili statistički značajnu razliku. Ako uporedimo efekat gama zraka prema efektu X-zraka za sve ispitivane doze dolazimo do vrednosti 0,80 koja predstavlja RBE. Ovi rezultati su u saglasnosti sa drugim autorima (4) koji su uporedjujući efekat X-zraka (od 250 kV) i gama-zraka-kobalta-60 na humanim hromozomima ustanovili da je efekat ili RBE gama zraka u proseku 0,882 $\pm$ 0,03.

Imajući u vidu mogućnost vrlo preciznog odredjivanja efekta zračenja na hromozomima neki autori (5) predlažu da se naziv relativne biološke efikasnosti (RBE) zameni terminom relativna genetska efikasnost (RGE), što i mi smatramo opravdanim, pošto se izmedju doze i nastalih hromozomskih aberacija postoji odredjena matematička zavisnost. Ova istraživanja su pokazala da zračenje, u ovom opsegu, u manjoj meri utiče na blastičnu transformaciju ćelija, a u većem stepenu na deobu ćelija i nastanak u njima odredjenih hromozomskih promena koje mogu poslužiti u eventualnoj potrebi biološke dozimetrije.

## Zaključci:

1. X-zraci u dozi od 100-425 rad-a ne utiču bitno na blastičnu transformaciju ćelija limfocita svinje *in vitro*.

2. Ove doze X-zraka utiču u izvesnom smislu negativno na deobnu moć ćelija, što se odražava na smanjenje mitoznog indeksa u limfocitima svinja *in vitro*, medjutim ovo smanjenje nije u direktnoj vezi sa veličinom doze.

3. Ove doze izazivaju promene u hromozomima svinje u vidu tzv. hromozomskih aberacija, čiji se broj povećava sa povećanjem primljene doze. Izmedju doze i efekta na hromozomima postoji pozitivna korelacija koja se može izraziti matematičkim izrazom $Y = 2,368 \times 10^{-6} \times D^{1,77}$.

4. Relativna biološka efikasnost gama-zraka kobalta-60 na hromozome svinje *in vitro* u odnosu na efekat X-zraka (200 kV) iznosi 0,80.

---

Ovaj rad je realizovan uz tehničku pomoć Kralj Franja, tehničkom saradniku INEP-a na čemu mu se iskreno zahvaljujem.

THE EFFECT OF X-RAY ON BLASTOUS TRANSFORMATION, MITOTIC ACTIVITY AND LYMPHOCYTE CHROMOSOMES IN PIGS *IN VITRO*

SUMMARY

Total hepharinized blood of 6-7 month old pigs was irradiated

in vitro with different doses (100 to 425r) X-ray immediately after vein punction. Following cell cultivation in the medium the effect of different doses on blastous transformation, mitotic index and appearance of a deffinite type of chromosomel aberrations(dicentric and ring chromosomes)was examined, as well as the possibility of biological irradiation dosimetry on the basis of these parameters.

## Bibliografija


1. GAČEVIĆ, M.- Proučavanje hromozomskih aberacija na limfocitima svinja posle ozračivanja in vitro i in vivo gama-zracima $^{60}Co$, Doktorska disertacija, Beograd, 1974.
2. HEATHER, B.- Mutation Res. 7, pp. 453, 1969.
3. SASAKI, M.S.- Radiation-iduced chromosome aberrations in lymphocytes:possible biologikal dosimeter in mane. Tokyo, Igaku Shoin itd. 1971., pp. 81.
4. SCOTT, D.- and al.- Mutation Res., 9, pp. 225, 1970.
5. TODOROV, S.L.- I. Radiobiologičeskaja konferencija socijalističeskih stran. Čekoslovačka, 1974. pp. 334.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

S.Muždeka, D.Danilović, S.Kostić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# MONITORING ŽIVOTNE SREDINE

Rezime

U referatu se razmatraju ciljevi monitoringa radioaktivnih i klasičnih polutanata. Kroz analizu različitih programa za kontrolu životne sredine i značaja informacionog sistema, dati su kao tipični primeri programi za kontrolu okoline nuklearnih elektrana i granične vrednosti za detekciju i merenje radioaktivnih i klasičnih polutanata.

## U v o d

Za sve objekte koji ispuštaju znatne količine polutanata ili mogu svojim radom da utiču na okolinu treba obezbediti programe za monitoring i nadzor njihove okoline.

Vrste i količine radioaktivnih i klasičnih polutanata,čije praćenje je interesantno, treba da budu registrovane. Na početku se zahteva registracija nivoa različitih merenja pre puštanja objekata u rad. Potom se pravi program monitoringa za rutinski rad. Posebna razmatranja potrebna su za kontrolne sisteme u akcidentalnim uslovima.

## Ciljevi monitoringa

Cilj programa monitoringa životne sredine je razmatranje sistema kontrole efluenata u smislu adekvatne zaštite ljudi i okoline. U opštem slučaju, od programa se očekuje da daju potrebne informacije radi provere njihove usaglašenosti sa standardima vezanim za zaštutu životne sredine.

Zbog kompleksnosti prenosa radioaktivnih i klasičnih polutanata od izvora do krajnjih uticaja na životnu sredinu,parametri

sredine koji se najčešće koriste za merenje i uzimanje uzoraka za kontrolu su vazduh, voda i hrana. Učestanost sa kojom se uzorci analiziraju zavisi od prirode sredine i od karakteristika zagadjivača. Dinamički sistemi kao što su reke, vazduh, mleko i sl. se kontrolišu kontinualno ili češće nezavisno od intenziteta opadanja radionuklida. Sastav i odredjivanje kompozicije radionuklida u uzorcima u toku dužeg perioda vremena se često praktikuje za dugoživeće nuklide. Statički sistemi, kao što su voda u jezeru, tlo ili sedimenti, se redje uzorkuju, sem ako je od interesa praćenje kratkoživećih elemenata.

Na mestima gde objekti ili zagadjenja mogu da utiču na kvalitet voda obližnjih reka, vode se kontrolišu ispred i iza objekta na parametre kao što su temperatura, pH, provodnost, bakterijska zagadjenja, specifične hemikalije, DBO i slično.

Što se tiče kontrole kvaliteta vazduha postoje standardi za kontrolu vazduha kao na primer, za kontrolu oksida sumpora, oksida azota, čestica i dr. Cilj je ponovo da se razmotri uticaj polutanata na okolinu.

Zahtevi koji se postavljaju pred sisteme monitoringa mogu se podeliti na više klasa:

- monitoring za istraživačke svrhe u cilju proširenja saznanja;
- prinudni sistem monitoringa koji se zahteva na osnovu standarda kroz zakonske propise;
- sistem akcidentalnog monitoringa koji pruža informacije u slučajevima vanrednih uslova da bi se mogle doneti odgovarajuće zaštitne mere;
- informacioni sistemi koji daje podatke organima upravljanja za donošenje potrebnih odluka.

Program kontrole okoline nuklearnih objekata

Monitoring okoline nuklearnih reaktora kontroliše ispuštanje radionuklida u efluentima iz nuklearnog reaktora, kroz merenja u blizini reaktora u ispuštenim radioaktivnim elementima u vazduhu i vodi, njihovom taloženju na tlu i vegetaciji i praćenjem kroz hranu i životnu sredinu.

Na početku se zahteva registracija nivoa zračenja pre puštanja u rad objekta. Potom se pravi program monitoringa za rutinski rad. Detekcija i oslobadjanje radionuklida u efluentima iz elektra-

ne u akcidentalnim uslovima može se takodje razmatrati. Zbog toga se moraju posebno ispitivati vazduh i problemi taloženja, tlo i vegetacija, lanac ishrane na zemlji, površinske i podzemne vode i lanac ishrane u vodama.

Zbog niskog nivoa oslobadjanja radioaktivnosti u okolinu u normalnim uslovima, program monitoringa okoline ograničen je na bližu okolinu. Na većim rastojanjima bilo bi teško otkrivanje povećane radioaktivnosti. U slučaju akcidenta kontrola okoline postaje važna. Sigurnost okoline mora biti garantovana za vek reaktora od nekoliko desetina godina. Primarne kontrole stanovništva zasnivaju se na kontrolnim merenjima u samom reaktoru. Medjutim, program kontrole okoline dopunjava kontrolne sisteme u reaktoru i značajan je u slučaju akcidenta.

Glavni ciljevi programa monitoringa okoline nuklearnih elektrana su:

a) registracija nivoa radioaktivnosti pre puštanja u rad i obuka kadrova pre početka rada;

b) kontrola rutinskog rada nuklearne elektrane preko monitoringa okoline;

c) detekcija i procena akcidentalnog oslobadjanja radionuklida u okolinu.

Metode uzorkovanja i merenja u programu monitoringa okoline uključuju:

1. Kontinualno merenje gama zračenja u vazduhu (merna stanica).

2. Merenje gama zračenja u okolini (pokretna vozila).

3. Kontinualno sakupljanje uzoraka iz okoline i merenje u laboratoriji za merenje uzoraka.

4. Uzorkovanje i merenje uzoraka na terenu.

5. Dopunska merenja kao na primer:

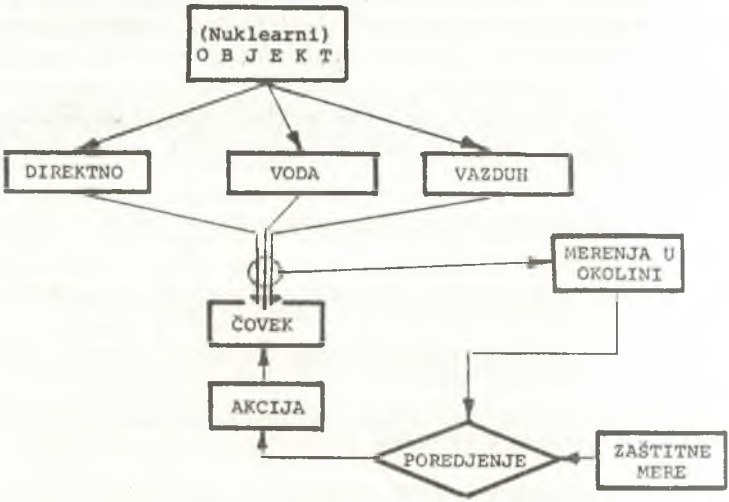
   - integralno merenje doze gama zračenja na terenu (poluprovodnički dozimetri);

   - kontinualno ili periodično merenje uzoraka na terenu u slučaju potrebe;

   - merenje posebnih uzoraka iz okoline.

Program merenja u slučaju akcidenata

Jedan od ciljeva monitoringa okoline je detekcija ispuštanja nedozvoljene količine polutanata. U slučaju akcidenta i ispuštanja radionuklida ili drugih polutanata u okolinu, ocena treba da je brza. Akcidentalni monitoring, prikazan na slici 1, zahteva brz odgovor sistema i povremenu probu pouzdanosti i ispravnosti sistema.




Sl.1. Šema akcidentalnog monitoringa

Funkcije akcidentalnog monitoringa su:

- da označi kritične putanje;
- da poredi merenja sa pravilima za zaštitne akcije;
- da se preduzmu akcije za sprovodjenje odredjenih mera (konfiskacija kontaminirane hrane, evakuacija stanovništva iz opasnih zona itd).

Dva stepena informacija se zahtevaju od akcidentalnog monitoringa:

- brzo upozorenje da se desio akcident;
- tokom celog perioda ocena opasnosti po okolinu.

Instrumentacija za vanredne uslove treba da ima širok opseg merenja sa donjom granicom osetljivosti uspod nivoa dozvoljenih

propisima. U opštem slučaju zahtevi za tačnošću mogu se ublažiti u odnosu na brzinu odgovora.

Najpovoljniji sistem u pogledu zahteva cena-efektivnost, bio bi onaj koji ima minimalne troškove održavanja pre akcidenta, a kao primarni uslov sposobnost što ranijeg upozorenja i sposobnost davanja potrebnih informacija posle upozorenja. U slučaju akcidenta takav sistem mora pouzdano i brzo da daje podatke potrebne za sprovodjenje akcija. Savremeni elektronski sistemi mogu u potpunosti da odgovore ovim zahtevima.

Donje granice mogućnosti detekcije za pojedine nuklide date su u tabeli br.1, a nivoi za upozorenja i alarm za neke od klasičnih polutanata u tabeli br.2.

Tabela br.1

Donje granice detekcije za aktivnosti

| Nuklid ili aktivnost | Voda (mBq/litar) | Vazduh (μBq/m$^3$) |
|---|---|---|
| Gama emiteri | 37 - 370 | 37 |
| Beta emiteri | 3,7 - 70 | 0,37 - 3,7 |
| H-3 | 550, 7200 | 3700 |
| Neptunijum, Plutonijum, Torijum (alfa) | 0.02 | 0.037 |
| Uran (prirodni) | 7.5 | 0.75 |
| Ukupno alfa | 7.5 | 7.5 |
| Ukupno beta | 37 | 20 |

Tabela br.2

Nivoi za upozorenje i alarm u vazduhu

| Polutant | Upozorenje | Alarm |
|---|---|---|
| $SO_2$ (24-časovni prosek) | 0.3 ppm | 0.6 ppm |
| Co (8-časovni prosek) | 15 ppm | 30 ppm |
| $O_x$ (1-časovni prosek) | 0.1 ppm | 0.4 ppm |
| $NO_2$ (1-časovni prosek) | 0.6 ppm | 1.2 ppm |
| (24-časovni prosek) | 0.15 ppm | 0.3 ppm |

Summary

The overall objectives of the environmental monitoring program with respect to radioactivity and nonradioactive pollutants from site operations are considered.

Typical environmental surveillance program for nuclear power plants, the detection limits in water and air, and air-pollution "alert" and "warning" tables are given as examples.

Literatura

1. ENVIRONMENTAL SURVEILLANCE AROUND NUCLEAR INSTALLATIONS Proceedings of a Symposium, Warsaw, IAEA, Vienna, 1974.

2. C.W.PETERS: Instrumentation and Environmental Radiation Assesment Systems, EPA, Washington .

3. S.MUŻDEKA: Environmental Monitoring, III International Summer School on Radiation Protection, Herceg Novi, 1976.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.VI 1977.

P.S.Bojović i S.Muždeka

# RADIJACIONI MONITORING SISTEM U SVETLU NAŠIH ZAKONA I POSTOJEĆIH MOGUĆNOSTI

REZIME

Izložena su ukratko savremena gledanja na Radijacioni Monitoring Sistem-RMS. Rasmatrane su potrebe, zakonske odredbe, naše mogućnosti i neki drugi elementi značajni za RMS. Predložen je i diskutovan jedan racionalni pristup za dalji razvoj radijacionog monitoring sistema u nas.

## SAVREMENA GLEDANJA NA RADIJACIONI MONITORING SISTEM

Osnovnu namenu ovoga sistema formulisala je Medjunarodna komisija za zaštitu od zračenja još 1965 i to na sledeći način:

a) procena aktuelnog ili potencijalnog izlaganja čoveka radioaktivnim materijalima ili zračenju prisutnom u njegovoj okolini, ili odredjivanju verovatnih gornjih granica takvog izlaganja,

b) naučno istraživanje, bilo za procene doza ili za druge namene,

c) unapredjivanje kontakta sa stanovništvom.

Od ovoga vremena pa do danas učinjen je vrlo značajan progres po ukupnoj problematici RMS: za razne namene ovoga sistema posvećene su posebne publikacije /2/, ili čitava poglavlja medjunarodnih simpozijuma /3/; rasmatrani su pristupi ovome sistemu /4/, programi monitoringa za odredjivanje populacionih doza /5/, adekvatna instrumentacija /6/, itd /7/. U nas su publikacije na temu RMS vrlo skromne, /8,9/, pa se zbog toga moraju učiniti napori da se ova materija dublje i svestranije obradi za naše potrebe.

Začeci današnjeg RMS datiraju iz vremena probnih nuklearnih eksplozija kada je bilo potrebno meriti aktivnost radioaktivnih padavina, koncentracije pojedinih izotopa i puteve njihovog kretanja u cilju izračunavanja i predvidjanja spoljnjeg i unutrašnjeg izlaganja stanovništva zračenju ovih padavina.

Sagledavanje šire potrebe, namene i značaja RMS vezuje se za nagli razvoj nuklearne tehnologije i saznanja da se izlaganje stanovništva zračenju mora stalno pratiti, a očekivana izlaganja

procenjivati za sve izvore zračenja koji postoje i koji se mogu javiti za mirnodopsku upotrebu nuklearne energije i zračenja, za akcidentalne slučajeve i vanredne situacije.

Današnji RMS koncipiraju se, razvijaju i realizuju na način da imaju vrlo različit spektar namene; od njih se traži da budu istovremeno kontrolni, alarmni, istraživački, da daju podatke potrebne za predvidjanje očekivanih doza, da predlažu norme za ispuštanje efluenata u okolinu saglasno dopustivom izlaganju stanovništva zračenju. Rezultati monitoringa treba da služe i za planiranje istraživačko-razvojnih programa u oblasti ekologije, instrumentacije, postupaka i mera zaštite, a takodje i za planiranje mnogih drugih programa, akcija i mera.

POTREBE I NEKI POSTOJEĆI ELEMENTI RMS U NAŠOJ ZEMLJI

Na potrebu RMS u našoj zemlji ukazuje čitav niz okolnosti od kojih citiramo sledeće:

a) upotreba izvora zračenja u medicini, nauci i privredi u našoj zemlji vrlo je raširena i ima tendenciju brzog porasta, zahvaljujući dobrim delom sopstvenoj proizvodnji radioaktivnih izotopa i postojećoj školi za obuku kadrova

b) gradnja nuklearne elektrane Krško i rasmatranje šireg nuklearnog programa u našoj zemlji

c) elementi narodne odbrane

d) razvoj nuklearne energije u susednim zemljama i geografski položaj Jugoslavije

e) radioaktivni izotopi koji se nalaze u nekim "nenuklearnim" proizvodima, na primer u uglju, u fosfatnim djubrivima, u nekim elementima gradjevinskog materijala itd.

Ovih nekoliko okolnosti dovoljni su za zaključak o potrebi da se u našoj zemlji pristupi solidnom i strpljivom razvoju RMS-a koji će biti na nivou sadašnjih i budućih zadataka u domenu mirnodopske primene nuklearne energije, u slučaju akcidentalnih i vanrednih situacija.

U našoj zemlji postoji veći broj elemenata koji su značajni za razvoj RMS-a i oni se mogu podeliti u dve sledeće kategorije: prvu čine zakonske odredbe i na osnovu njih angažovane institucije, a drugu kadrovi i potevcijali koji još nisu uk-

ljučeni u sprovodjenje odgovarajućih zakonskih odredbi.

Najznačajniji elemenat prve kategorije nesumnjivo je čl.30 Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja (Sl.list SFRJ,br.54/76) koji ovlašćuje Savezni komitet za zdravstno i socijalnu zaštitu da donese bliži propis

"o mestima, metodama i rokovima ispitivanja kontaminacije radioaktivnim materijama vazduha, zemljišta, reka, jezera i mora, čvrstih i tečnih padavima, vode za piće, ljudske i stočne hrane"

Po Čl. 6 ovoga Zakona ovaj propis se donosi "radi blagovremenog sprečavanja opasnosti od jonizujućih zračenja, a ispitivanja kontaminacije vrše zdravstvene i druge stručne i naučne organizacije udruženog rada odredjene propisom nadležnog republičkog, odnosno pokrajinskog organa; Ovim propisom nastavlja se kontinuitet ispitivanja i zamenjuje "Pravilnik o načinu ispitivanja kontaminacije radioaktivnim materijama vazduha, vode i zemljišta (Sl.List SFRJ br.31/68)

U elemente prve kategorije ubraja se i Čl.3 Zakona o vršenju hidrometeoroloških poslova od interesa za celu zemlju (Sl. list SFRJ, br.39/74) čiji stav 1.glasi:

"Hidrimeteorološki poslovi od interesa za celu zemlju su: 1) osmatranja i merenja meteoroloških, hidroloških i biometeoroloških elemenata i pojava u osnovnoj mreži stanica, kao i druga specijalna meteorološka merenja u oblasti zračenja, atmosferskog elektriciteta i radioaktivnosti padavina, vazduha i voda, koja su u skladu s potrebama zamlje"

Ova dva elementa uključuju kadrovske i materijalne potencijale kojima su ova ispitivanja i specijalna merenja bila do sada poverena, kao i publikacije /10/ i izveštaje sa rezultatima ovih merenja.

U drugu kategoriju elemenata spadaju nuklearni i drugi instituti čiji kadrovi (fizičari, hemičari, lekari, farmaceuti, meteorolozi, inženjeri raznih struka, matematičari, biolozi itd) u problematici RMS-a poseduju vrlo značajne reference, od kojih se mnoge kotiraju veoma visoko na medjunarodnom planu.

U drugu kategoriju elemenata spadaju i publikacije koje obradjuju probleme ozračivanja u SFRJ /11,12/, zatim nove metode i instrumenti za merenje zračenja u oblasti vrlo malih doza i niskih aktivnosti. Vrlo važan elemenat ove kategorije jeste ko-

mpjuter sa stručnjacima osposobljenim za razvoj modela i računskih programa pomoću kojih se iz podataka ispitivanja kontaminacije okoline i drugih informacija dobijaju rezultati o ozračivanju stanovništva, o očekivanim dozama i drugim veličinama potrebnim za radijacioni monitoring sistem.

RASMATRANJE JEDNOG RACIONALNOG PRISTUPA ZA DALJI RAZVOJ RMS U NAS

Razvoj i eksploatacija savremenog RMS-a na način i sa ciljevima kako je napred izneto, nije stvar dekreta, niti samo materijalnih sredstava, već predmet strpljivog i organizovanog rada uz angažovanje profesionalno adekvatnih institucija, čiji kadrovi imaju šire reference u ovoj problematici.

U našoj zemlji za sada nema ni na saveznom ni na republičkim nivoima nekog koordinacionog tela ili organa uprave zaduženog za integralne poslove zaštite od zračenja, /13/ a time za razvoj, održavanje i eksploataciju RMS-a. Zbog toga je potrebno da aktuelno resorni organi učine poseban napor i da u okviru zakonskih odredbi i mogućnosti koje pružaju samoupravni, medjuresorski i medjurepublički dogovori, iznadju alternative za dalji razvoj RMS-a.

Prvi, ali vrlo značajan korak može da se učini u republičkim i pokrajinskim Zakonima o sprovodjenju mera zaštite od jonizujućih zračenja. Ovim zakonima potrebno je za poslove sistematskog ispitivanja kontaminacije podjednako ovlastiti, a što je još daleko važnije, podjednako angažovati kadrovski osposobljene institucije; podjednako angažovanje znači aktiviranje našeg ukupnog dometa, što je imperativ u današnjim okolnostima, a što se ne može postići ako se osposobljene institucije ostave van ovoga angažovanja. Zakoni o sprovodjenju mera zaštite od jonizujućih zračanja, pored ostalog, daju mogućnost da se ravnomerno raspodele poslovi ispitivanja i da se na taj način u stalnoj funkciji održavaju institucije koje imaju osposovljene kadrove, rade na razvoju i koje su na taj način u stanju aktivnog učešća, što je daleko najbolja alternativa za održavanje potencijala koji se može upotrebiti za šire namene, za akcidentalne i vanredne situacije. Ovo je i najbolji način da se realizuje stalna interakcija, izmena ideja i iskustava koja proističu iz stalnog praćenja kontaminacije, istraživanja, razvoja i ostalih delatnosti u ovom domenu.

Dalji korak u razvoju RMS treba učiniti na osnovu odredbe Člana 6. Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja, koja kaže da se propis o ispitivanju kontaminacije donosi "radi blagovremenog sprečavanja opasnosti od jonizujućih zračenja". Po našem mešljenju da bi se opasnost blagovremeno sprečila, mora se imati podatak o nivou, širini i vremenskim funkcijama te opasnosti. Ovo najpre znači da se moraju ocenjivati doze izlaganja stanovništva zračenju svih vrsta izvora koji aktuelno postoje u našoj zemlji. Za ove procene postoje vrlo solidni podaci dugogodišnjih merenja radioaktivnosti okoline /10/, podaci lične dozimetrije, i mnoga druga merenja na ovu temu /11,12,14/. Uz rezultate ovih merenja, a kao ulazni podaci potrebne su i druge informacije o stanju okoline, koji se mogu dobiti od raznih resora. Svakako da će rad na ovim procenama ukazati na mnoge propuste, na nedostatak potrebnih podataka itd, a to je baš i cilj prve procene, jer se samo angažovanjem na poslu mogu sagledati svi njegovi aspekti. Prvi rad na proceni izlaganja stanovništva zračenju svih postojećih izvora jeste najbolji način da se sagledaju, dimenzionišu i planiraju svi elementi potrebni za dalje procene ove važne veličine.

Posao procene izlaganja stanovništva zračenju je vrlo obiman, delikatan i odgovoran posao koji zahteva adekvatno obrazovan kadar kako za poslove zaštite od zračenja, tako za poslove kompjuterskih modela, programiranja i ostalog što je potrebno u postupcima ove procene. Normalno je da se za ovaj posao angažuju po republikama oni instituti koji u okviru svojih delatnosti koriste kompjutere, a svakako da je daleko najpogodnije i najracionalnije da to budu instituti koji već imaju svoj kompjuter. Svakako da će republike i pokrajine ove poslove poveravati i institucijama izvan svoje teritorije ako se za takvo angažovanje ukaže potreba.

Za dalji razvoj RMS-a, koji bi se bazirao na dosadašnim rezultatima i stečenom iskustvu, a koji bi obuhvatio šire društvene potrebe na dugoročnom planu, mišljenja smo da bi trebalo sačiniti jednu studiju koja bi mogla da ima sledeći okvirni sadržaj:

1. Naše aktuelne i perspektivne potrebe za formiranje RMS-a zbog sadašnje i planirane primene nuklearne energije i zračenja na medjunarodnom i domaćem planu,

2. Savremena naučna i tehnička dostignuća i saznanja na kojima se baziraju RM sistemi, a koji se mogu kod nas akceptirati saglasno postojećem kadrovskom i materijalnim potencijalu

3. Domaća iskustva stečena dugogodišnjim radom u ovoj oblasti

4.Društvene potrebe na širem planu i u različitim okolnostima, a naročito potrebe narodne odbrana,

5. Postojeće zakonske odredbe koje daju osnove za izgradnju ovoga sistema,

6.Programi realizacije i funkcionisanja sa potrebnim tehno-ekonomskim analizama.

7.Mogućnosti i prednosti uključivanja merne i druge opreme domaće proizvodnje.

Smatramo da je u ovom trenutku jedna ovakva studija nužna, jer će se na osnovu nje moći da sagledaju svi faktori značajni za dalji razvoj RMS-a, i da se na odnovu ovih faktora zauznu odgovarajući stavovi i pravovremeno donose potrebne odluke.

ABSTRAKT

Recent views on the Radiation Monitoring System-RMS are represented. Needs, regulations, our possibilities and other elements relevant to RMS are considered. One rational approach for the development of the RMS is proposed and discussed.

LITERATURA

1. JCRP,Publication № 7, "Principales aŧ Environmental Monitoring related to the handling aŧ Radioactive materials Pergamon Pres, 1965".

2. Environmental Monitoring in Energency Situations, Safety Series № 18, International stomic Energy Agency, Beč,1966

3. Environmental surveillance around nuclear instalation, Proccedings aŧ a IAEA Symposium, Warsaw, 5-9, Novembar 1972

4. W.D.Rowe, Radiological environmental monitoring - the EPA approach Nucllear Science, Vol NS.21, № 1,(1974)

5. O.Ilari, C.Polvani, Nonitoring programs for the determination aŧ population doses

6. Charles W.Peters, Instrumentation and Environmental radiation arsessment systems,Nuclear Seience, Vol NS-21,N°1,(1971)

7. Aredrew P. Hull, Environmental radiation dose criteria and assessment - Pathway modeling and surveillance, Nuclear Seience, Vol NS-21,№,(1971)

8. S.D.Muždeka, Environmental Monitoring, Prociding, III International Summer School on Radiation Protection, Herceg-Novi, 1976, u pripremi za štampu.

9. P.S. Bojović, Stalna budnost nad rizicima zračenja, Čovek i životna sredina, 1976, № 2,sh.35

10. Savezni komitet za zdravstvo i socijalnu zaštitu, Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji, godišnje izdanje,

11. Jugoslavensko društvo za zaštitu od zračenja, Problemi ozračivanja SFRJ od stalnih (nemedicinskih) izvora zračenja u masovnoj upotrebi, zbornik radova sa savetovanja u Arandjelovcu, maja 1976

12. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Savetovanje o ozračivanju stanovništva u SFRJ, novembra 1972god, Sarajevo

13. P.S.Bojović i M. Vidmar, Prilog rasmatranju potreba i sadržaja rada jednog koordionacionog tela ili organa uprave zaduženog za poslove zaštite od zračenja, VII Simpozijum Jug. društva za zaštitu od zračenja, Kaštel Stari, 22-26 listopad 1973

14. Investigation of the Radioactivity at the Danube, Procced. of FAO(IAEA)WHO Seminar on Environmental Contanination by Radioactive materials, Vienna, March, 1979, Tasovac, Radosavljević.

IX Simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

S. Lulić
Centar za istraživanje mora, Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

# ISTRAŽIVANJE AKUMULACIJE ZAGADJIVAČA U SLATKOVODNIM ORGANIZMIMA METODOM KONCENTRACIONIH FAKTORA

Ispitivanje elementarnog sastava biote rijeke Save imalo su za cilj da se dobije bolji uvid u mogućnost akumulacije radionuklida u organizme. U tom smislu vršena su ispitivanja sadržaja većeg broja mikroelemenata u bioti rijeke Save. Dobiveni podaci se koriste za računanje koncentracionih faktora za ispitivanu biotu, kao i za pronalaženje indikatorskih organizama zagadjivanja rijeke Save. U devet uzoraka biote, sedimenta i sestona rijeke Save odredjivane su aktivacionom metodom koncentracije 18 elemenata, te koncentracioni faktori za odredjivane elemente. Vrijednost koncentracionih faktora kreću se od $10^1$-$10^6$.

## UVOD

Najveći problem zagadjivanja čovjekove okoline izgradnjom nuklearnih elektrana, biti će otpuštanje radioaktivnih efluenata u rijeku Savu. Iako će biti poduzete sve standardne mjere da se to otpuštanje vrši kontinuirano, potrebno je prije puštanja elektrane u pogon izvršiti opsežnija radiološka ispitivanja.

Radioaktivni materijal pri radu nuklearne elektrane nastaje kao produkt razbijanja jezgre, uhvate neutrona ili kao produkt raspadanja radioaktivnih izotopa. Osim korozovnih produkata u vodi reaktora nalaze se i produkti razbijanja jezgre.

## EKSPERIMENTALNI DIO

Uzorci biote (Tabela 1) su nakon sušenja na sobnoj temperaturi i na 110°C ampulirani u plastične ampule. Uzorak vode (pet litara) je otparen do suha na "rotavaporu" i ispareni ostatak ampuliran u plastičnu ampulu zajedno sa biotom i standardom su poslati u reaktor Instituta "Jožef Štefan". Uzorci vode, biote i standarda ozračivani su pod istim neutronskim fluksom od $1.8 \cdot 10^{12}$ neutrona/$cm^2$ u sekundi u vremenu od 48 sati. Kao standard služio nam je 250 mg NBS Standard Reference Materiol 1577, Bovine Liver.

TABELA 1

Uzorci za aktivacionu analizu

| Broj uzorka | Naziv uzorka |
|---|---|
| 1. | Voda |
| 2. | Seston |
| 3. | Bentos |
| 4. | Obraštaj |
| 5. | Sediment |
| 6. | GAMMARUS Fossarum Koch |
| 7. | HIRUDINEA Eprobodella (Octoculata (L.) |
| 8. | ALBURNUS (Keder) |
| 9. | RUTILUS pigus virgo (Herkel) (Platnica) |

Nakon ozračivanja uzorci su mjereni na 512 višekanalnom analizatoru "Nuclear Chicago" i 25 $cm^3$ Ge(Li) detektoru. Gama spektar ribe prikazan je na Slici 1.

Iz dobivenog gama spektra izračunata je količina elemenata koristeći jednadžbu:

$$g = \frac{A \times M}{6.023 \cdot 10^{23} \times \sigma \times \Phi \times S \times \theta}$$

gdje je:

g - količina elemenata u gramima

A - aktivnost u desintegracijama u sekundi

M - atomska težina određenog elementa

$\sigma$ - udarni presjek u barnima

$\Phi$ - fluks neutrona

S - faktor zasićenja

$\theta$ - prinos izotopa

Dobiveni rezultati prikazani su u Tabeli 2.

## ZAKLJUČAK I REZULTATI

U devet uzoraka biote, sedimenta, sestona i vode rijeke Save određivane su aktivacionom metodom koncentracije 18 elemenata. Na osnovu izračunatih koncentracija pojedinog elementa izračunali smo koncentracijske faktore (CF) za pojedini element. U Tabeli 3 dane su vrijednosti koncentracijskih faktora za određivani element. Vrijednosti koncentracijskih faktora kreću se od $10^1$-$10^6$. Koncentracijski faktor definiran je kao omjer koncentracije nekog elementa ili radionuklida u bioti prema koncentraciji istog elementa ili radionuklida u vodi. Znači, koncentracijski faktor (CF) možemo prikazati kao omjer:

$$CF = \frac{\text{konc. u g/g elementa u bioti}}{\text{konc. u g/ml elementa u vodi}}$$

Koncentracijski faktori koriste se za određivanje akumulacije pojedinih radionuklida ili elementa u vodene organizme. Na osnovu eksperimentalno određenih koncentracijskih faktora vrši se selekcija organizama koji će služiti kao bioindikatori za praćenje kontaminacije rijeke Save prilikom rada nuklearnih elektrana. Ujedno dobiveni podaci koristiti će se za računanje prehrambenih lanaca, te maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK) za pojedini element.


## SUMMARY

Elementary analysis investigations the biota of the Sava river were performed with the ultimate goal of obtaining a better knowledge of possible radionuclide accumulation in river organisms. For that reason, the content of numerous microelements in river's biota was analysed. Obtained results are utilized for concentration factor calculations for investigated Sava river population, as well as aplied toward a search for pollution indicator organisms. In nine samples of biota, sediments, and seston collected in Sava river, the concentration of 18 elements and concentration factors for several elements were determined by neutron activation analysis. Value of concentration factors varies between $10^1$-$10^6$.

TABELA 2

Rezultati aktivacione analize uzoraka rijeke Save
g/g mokre težine

| Element | Uzorak | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1* | 2* | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Na | 3.44(6) | 1.94(9) | 1.17(3) | 8.55(2) | 1.41(3) | 2.71(2) | 7.21(2) | 6.31(4) | 6.49(4) |
| K | 1.45(5) | 5.27(7) | 2.78(4) | 2.62(4) | 3.35(4) | 6.06(3) | 2.67(3) | 2.47(3) | 3.07(3) |
| Sc | 5.68(12) | 3.37(12) | 5.63(6) | 1.42(6) | 5.50(6) | 7.28(7) | - | - | 7.95(10) |
| Cr | 7.90(10) | 5.89(11) | 6.31(5) | 1.91(5) | 6.24(5) | 2.91(6) | - | - | - |
| Fe | 5.56(8) | 1.23(8) | 8.54(2) | 1.26(2) | 3.45(2) | 2.56(3) | 6.03(5) | 1.23(5) | 7.91(6) |
| Co | 5.13(11) | 1.77(12) | 7.61(6) | 2.17(6) | 4.57(6) | 3.98(7) | 6.85(8) | 4.65(9) | 6.51(9) |
| Zn | 3.07(8) | 3.52(10) | 8.24(4) | 1.85(4) | 6.18(4) | 3.60(5) | 1.49(5) | 3.06(5) | 2.71(5) |
| Se | 5.98(9) | 3.25(11) | 7.24(5) | 6.19(6) | 8.60(5) | - | 2.29(6) | 2.58(7) | 4.08(7) |
| Br | 8.01(9) | 3.94(9) | - | 1.29(6) | - | 2.03(5) | 2.07(6) | 1.29(6) | 1.76(6) |
| Sr | 2.19(7) | 2.41(10) | - | - | - | 1.50(4) | - | - | - |
| Rb | 1.20(9) | 3.40(11) | 5.19(5) | 1.67(5) | 5.18(5) | 4.79(6) | - | 2.17(6) | 2.38(6) |
| Ag | 7.38(11) | 3.31(12) | - | - | - | - | 3.17(8) | 8.31(9) | 8.55(9) |
| Sb | 4.97(10) | 2.55(12) | 6.81(6) | 1.15(6) | 3.17(6) | 2.58(7) | - | 5.34(8) | 6.16(8) |
| Ba | 5.43(9) | 1.77(10) | 7.12(4) | 2.07(4) | 7.39(4) | 5.54(5) | - | 6.09(6) | 1.11(6) |
| Cs | 6.22(11) | 2.68(12) | 5.16(6) | 1.49(6) | 6.04(6) | 9.26(7) | - | 1.46(8) | 1.24(8) |
| La | 9.35(10) | 6.66(10) | 2.92(6) | 3.18(6) | 3.23(6) | 8.73(7) | - | - | - |
| Eu | 1.02(12) | 2.50(13) | 4.29(7) | 1.36(7) | 4.02(7) | - | - | 7.54(10) | - |
| Th | 5.79(11) | 2.89(12) | 6.31(6) | 1.19(6) | 6.18(6) | 2.98(7) | - | - | - |

Napomena: $3.44(6) = 3.44 \cdot 10^{-6}$

---

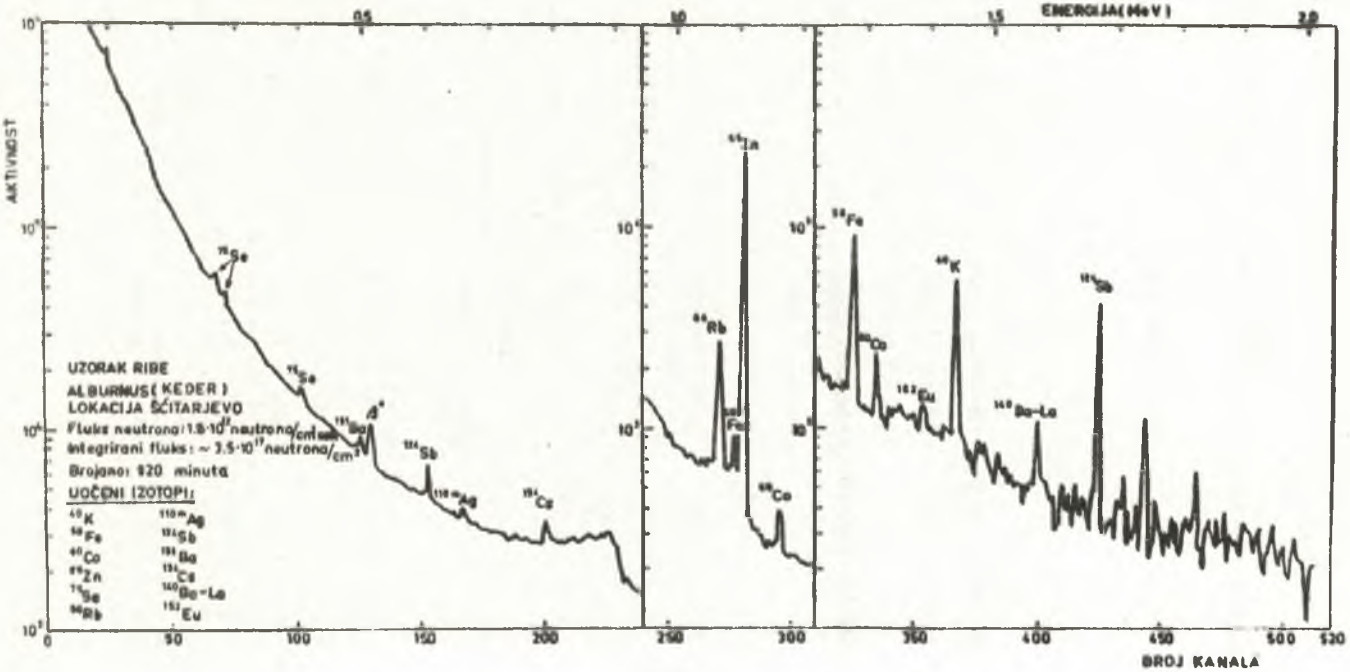
g/ml

TABELA 3

Koncentracioni faktori

| Element | Uzorak | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Na | 3.40(2) | 2.48(4) | 4.09(2) | 7.88(3) | 2.01(2) | 1.83(2) | 1.89(2) |
| K | 1.91(1) | 1.37(4) | 2.31(1) | 4.17(2) | 1.84(2) | 1.70(2) | 2.12(2) |
| Sc | 9.91(5) | 2.50(5) | 9.68(5) | 1.28(5) | - | - | 1.39(2) |
| Cr | 7.98(4) | 2.41(4) | 7.89(4) | 3.68(3) | - | - | - |
| Fe | 1.53(6) | 2.26(5) | 6.20(5) | 4.60(4) | 1.13(3) | 2.21(2) | 1.42(2) |
| Co | 1.48(5) | 4.23(4) | 8.91(4) | 7.76(3) | 1.33(3) | 9.06(1) | 1.27(2) |
| Zn | 2.74(4) | 6.02(3) | 2.01(4) | 1.17(3) | 4.85(3) | 9.97(2) | 8.83(2) |
| Se | 1.21(4) | 1.03(3) | 1.44(4) | - | 3.83(2) | 4.31(1) | 6.82(1) |
| Br | - | 1.61(2) | - | 2.53(3) | 2.58(2) | 1.61(2) | 2.19(2) |
| Sr | - | - | - | 6.84(2) | - | - | - |
| Rb | 4.32(4) | 1.39(4) | 4.32(4) | 3.99(3) | - | 1.81(3) | 1.98(3) |
| Ag | - | - | - | - | 4.29(2) | 1.13(2) | 1.16(2) |
| Sb | 1.37(4) | 2.31(3) | 3.63(3) | 5.19(2) | - | 1.07(2) | 1.24(2) |
| Ba | 1.31(5) | 3.81(4) | 1.36(5) | 1.02(4) | - | 1.12(3) | 2.04(2) |
| Cs | 8.29(4) | 2.39(4) | 9.71(4) | 1.49(4) | - | 2.35(2) | 1.99(2) |
| La | 3.12(3) | 3.40(3) | 3.45(3) | 8.95(2) | - | - | - |
| Eu | 4.20(5) | 1.33(5) | 3.94(5) | - | - | 7.39(2) | - |
| Th | 1.09(5) | 2.05(4) | 1.07(5) | 5.14(3) | - | - | - |

Napomena: $3.40(2) = 3.40 \cdot 10^2$


AKTIVNOST
ENERGIJA (MeV)
BROJ KANALA
UZORAK RIBE
ALBURNUS (KEDER)
LOKACIJA ŠĆITARJEVO
Fluks neutrona: 1.8·10^12 neutrona/cm²s
Integrirani fluks: ~ 3.5·10^17 neutrona/cm²
Brojano: 920 minuta
UOČENI IZOTOPI:
40K
56Fe
60Co
65Zn
75Se
86Rb
110mAg
122Sb
131Ba
134Cs
140Ba-La
152Eu
24Na
86Rb
56Fe
60Co
40K
122Sb
152Eu
140Ba-La

Slika 1

IX Simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

V. Kubelka, K. Kvastek, S. Lulić
Centar za istraživanje mora, Institut "Rudjer Bošković", Zagreb

# ODREDJIVANJE MJESTA ZA KONTROLU RADIOAKTIVNOG ZAGADJENJA PODZEMNE VODE U ALUVIJALNIM TERENIMA

Trasiranje podzemne vode jodom 131 i tricijom bilo je primjenjeno da bi se odredile zone vodonosnog sloja u kojima bi se kretali radioaktivni zagadjivači iz rijeke Save. Ispitivanja su vršena u aluvijalnim nanosima iz kojih se prihranjuje vodom crpilište Mala Mlaka

## UVOD

Vodosnabdjevanje pitkom vodom grada Zagreba vrši se najvećim dijelom iz aluvijalnih nanosa, koji su u vezi sa rijekom Savom. Budući da se nuklearna elektrana Krško nalazi uzvodno od vodoopskrbljivanja, bilo je potrebno ispitati kakav će utjecaj imati ispuštanje radioaktivnog otpada na kvalitet podzemne vode.

Ispitivanja su trebala dati uvid u kompleksnost uzimanja reprezentativnih uzoraka za odredjivanje koncentracija radionuklida, te ostalih parametara potrebnih za procjenu i praćenje radioaktivnog zagadjenja.

Da bi se odredile zone, unutar vodonosnog sloja, po kojima bi se kretali radioaktivni zagadjivači izvršeno je trasiranje podzemne vode pomoću joda-131 i tricija.

## EKSPERIMENTALNI DIO

Ispitivanje podzemne vode vršeno je u dijelu Savske depresije, iz koje se podzemnom vodom opskrbljuje crpilište Mala Mlaka. Ovo područje je sa južne i jugozapadne strane ograničeno rasjedom koje se pruža na potezu Kerestinac-Brezovica-Obrež. Ispunjeno je riječnim nanosom koji na relativno uskim vertikalnim i lateralnim razmacima može biti različitog granulometrijskog i litološkog sastava, što je od bitnog zna-

čenja za kretanje podzemne vode, a posebno radionukleida. Na osnovu strukturno-geoloških i hidroloških ispitivanja odredjena su uža područja na kojima je vršno trasiranje podzemne vode. Lokacije na kojima je vršeno ispitivanje označene su na slici 1.

Na svakoj lokaciji izveden je nalivni bunar zacjevljen plastičnim cijevima koje su bile perforirane duž vodnosnog sloja. Zatim je načinjeno 4 do 5 pojezometrijskih bušotina izbušenih u smjeru toka podzmene vode u koje su ugradjene plastične perforirane cijevi.

U nalivni bunar injektiran je jod-131 ili tricij, a opažanja su vršena na pijezometrijskim cijevima. Na području kod bunara IV i u selu Obrežu osmatranja su vršena u pijezometrima pomoću sonde s kristalnom NaJ (1 "x1") priključene na portabl scaler NEA Linberg A/s. Na ostalim lokacijama uzimani su uzorci vode sa različitih horizonata pomoću specijalne sonde. Analiza uzoraka vode sa jodom-131 vršena je na 400 kanalnom analizatoru sa kristalom NaJ (3 "x3") proizvodnje Nuclear Chicago. Aktivnost tricija mjereno je u TRI CARB liquid scintilacionom analizatoru. U staklene bočice za mjerenje pomiješano je 3 ccm vode od svakog uzorka sa 17 ccm scintilacione otopine. Scintilaciona otopina sastojala se od PPO, dimetil POPOP i naftalina otopljenog u čistom dioksanu.

Na osnovu rezultata mjerenja u pijezometrijskim cijevima konstruirani su grafovi ovisnosti aktivnosti o vremenu nakon ubacivanja na raznim dubinama vodonosnog sloja. Projekcija težišta ove krivulje uzeta je kao srednje vrijeme prolaza izotopa kroz osmatračku točku. Srednje brzine kretanja radionukleida dobivene su dijeljenjem predjenog puta sa srednjim vremenom prolaza izotopa.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Na užem području crpilišta Mala Mlaka kod bunara IV injektiran je u nalivni bunar jod-131 duž čitavog vodonosnog sloja i izmješan je. Izotop se pojavio u dvije cijevi za osmatranje samo na dubini od oko 13.60 m tj. na apsolutnoj visino od 99.699 m. Srednje brzina radionukleida bila je 30 m/dan. Najveći dio radionukleida tekao je unutar sloja od 10 cm. Ispitivanje je ponovljeno s razlikom da je izotop injektiran u nalivni bunar samo do relativne dubine od 10 metara. Radioizotop je ponovno detektiran na istoj dubini, s tom razlikom da je srednje vrijeme prolaza bilo veće za pola sata. Na ovoj lokaciji izračunat je koeficijent filtrocije na osnovu granulometrijskog sastava na dubini od 12 m do dubine od 14.60 m i iznosio je $4x10^{-2}$ m/sek. Prema tome voda u tom cijelom intervalu teče približno istom brzinom. Medjutim naša istraživanja pokazuju da se

najveći dio izotopa kretao samo u zoni od 10 cm. U toj zoni je i najveća brzina toka podzemne vode. Ovi tokovi povlače vodu iz viših i nižih horizonata u pijezometrijskim cjevima.

Kod istraživanja kretanja joda-131 u podzemnoj vodi na području sela Obrež izotop se pojavio u trij pijezometra u smjeru toka podzemne vode u svim horizontima. Medjutim najveća aktivnost detektirana je u sva tri pijezometra u uskoj zoni i no istoj dubini. Intenzivnost aktivnosti smanjivala se sa udaljenošću od te zone, toko na pr. u pijezometrijskoj cijevi P-5 (slika 2.) u zoni koja se nalazi na dubini od 8.73 m do 8.83 m maksimalna izmjerena aktivnost iznosila je oko $7x10^5$ imp/min. Na relativnoj dubini od 9.18 m iznosila je oko $4.2x10^5$ imp/min, dok je na dubini od 8.18 m iznosila svega $5x10^4$ imp/min.

Na osnovu navedenih rezultata trasiranja podzmene vode možese konstatirati da se i u podzemnoj vodi Odre izotopi kreću u uskim zonama. Pojava aktivnosti u ostalim dijelovima vodnosnog sloja posljedica je kontaminacije koja je nostala uslijed kretanja scintilacione sonde kroz vodonosni sloj za vrijeme mjerenja. Mogućnost kontaminacije u ovom području bila je već nego na području kod bunara IV radi toga što je upotrebljeno za trasiranje veća količina radioizotopa, i što je brzina kretanja radionukleida veoma mala. Aktivnost je prvo detektirana u zoni kretanja radioizotopa. Spuštanjem sonde došlo je do kontaminacije nižih, a dizanjem do kontaminacije viših slojeva. Radionukleidi iz kontaminiranih područja u vremenu do slijedećeg mjerenja kretali su se prema zoni kretanja radionukleida. Slijedećim mjerenjem odredjeno je smanjenje koncentracije radionukleida na kontaminiranim horizontima uslijed povlačenja izotopa prema zoni toka radionukleida. Ovaj proces se sukcesivno ponavlja u toku promatranja i rezultira sličnim oscilacijama aktivnosti kao i u zoni kretanja radionukleida. Intenzitet aktivnosti smanjivao se, a prividno srednje vrijeme prolaza kroz osmatračku točku povečalo se ovisno od udaljenosti od zone kretanja radionukleida. Iste rezultate dobili smo i u dijelu pijezometrijske cijevi u kojoj nikako nije moglo doći do horizontalnog kretanja podzemne vode.

Na osnovu navedenih ispitivanja možemo zaključiti da se radionukleidi kreću u zonama gdje su detektirane najveće aktivnosti radioizotopa. U ostalim zonama ustanovljene aktivnosti posljedica su kontaminacije vode.

Točnost ustanovljavanja kretanja radionukleida u podzmenoj vodi riječnih nanosa pomoću scintilacione sonde mnogo je veće nego što je dobiveno uzimanjem uzoraka. Sama konstrukcija uredjaja za uzimanje uzoraka, za vrijeme upotrebe dovodi do veće kontaminacije vode u cijevi za osmatranje. Osim toga kod ispitivanja kod kojih se uzimaju uzorci potrebne su veće količine trasera radi manje preciznosti mjerenja aktivnosti,

što takodjer doprinosi kontaminaciji vode u bušotinama izvan zone kretanja radionukleida. Radi toga su i zone kretanja radionukleida dobivene uzimanjem uzorka odredjene sa manjom točnošću.

I ispitivanja na 7 lokacija vršenim pomoću uzimanja uzoraka utvrdjena su isto tako kretanja radionukleida u zonama, ali je točnost manja zbog gore spomenutih razloga.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja možemo zaključiti da se najveći dio radionukleida kreće, u istraživanom području, u uskim zonama. U tim zonama su i najveće brzine u pojedinim odsječcima vodonosnog sloja. Ovi tokovi povlače radionukleide iz viših i nižih slojeva.

Radionukleidi ispušteni iz nukleame elektrane Krško bili bi jednolično rasporedjeni u rijeci Savi kod Zagreba. Medjutim može se pretpostaviti na osnovu naših ispitivanja da će se radionukleidi u podzemnoj vodi zaobalja rijeke Save kretati u uskim zonama unutar vodonosnog sloja. Ovo će dovesti do većih koncentracija radionukleida na pojedinim nivoima podzemne vode. U ostalim nivoima podzemne vode koncentracije radionukleida bit će minimalne. Osim toga, brzina kretanja i povećanje koncentracije izotopa utjecat će na zadržavanje radionukleida na osnovu fizikalno-kemijskih procesa. Takodjer će se dio industrijskog otpada iz rijeke Save kretati u uskoj zoni zajedno s izotopima, što će utjecati na procese adsorpcije i desorpcije pojedinih radionukleida.

Takodjer potrebno je istaći da je način kontrole i zaštita zagadjenja podzemne vode vrlo kompleksan i da se tom pitanju do sada nije obraćala dovoljna pažnja.


## SUMMARY

Tracing of underground water by $^{131}I$ and $^{3}H$ was preformed in order to determine the pathway of possible radioactive contamination of underground water in aluvial sediments. Investigation was conducet on Mala Mlaka site, present water supplying area fo the city of Zagreb.

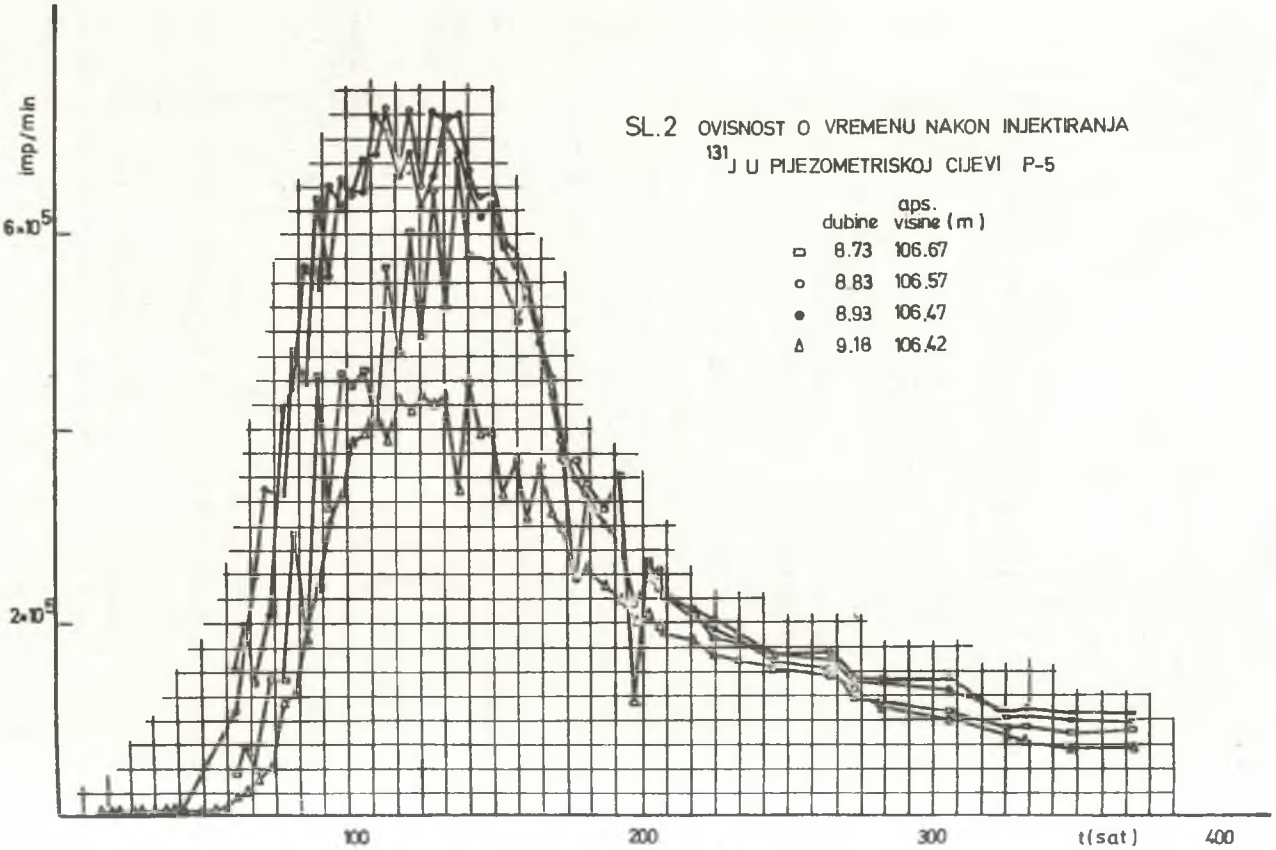
Tracing of underground water was performed on 9 locations of investigated area. On each location the speed and a zone of pathway of nuclide in underground water was determined.

Results indicate that the major partion of radioisotope was going inside the thin strats, where the highest speed was observed, too. Flow in these strata draw the water from upper and lower layers pulling along a radionuclide.

Sl.1 ISTRAŽIVANO PODRUČJE

LEGENDA: • mjesto ispitivanja

----rasjeć




SL.2 OVISNOST O VREMENU NAKON INJEKTIRANJA $^{131}J$ U PIJEZOMETRISKOJ CIJEVI P-5

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

Milojević S.,Radovanović R.
Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac
Institut "Dr D.Karajović", Beograd

# TRANSLOKACIJA FISIONIH PROIZVODA IZ PADAVINA U VODE AKUMULACIONIH JEZERA

## Uvod

Osnovna ideja rada sastoji se u tome da na temelju poznavanja stanja radioaktivne kontaminacije voda za piće iz akumulacionih jezera odredi pokazatelje koji odredjuju mogućnost njene upotrebe u uslovima akcidenta i nuklearnog udara.

Kontrola radioaktivne kontaminacije fisionim produktima teritorije SR Srbije i naša posebna istraživanja terena sliva Grošničke reke - odnosno akumulacije Grošnica daju mogućnost da se oceni dinamika prodiranja fisionih produkata u pijaću vodu i da se na tim osnovama oceni radijaciona sigurnost snabdevanja vodom iz akumulacija.

## 1.1 Prirodni radio nuklidi u vodi Grošničke akumulacije

TAB 1

Koncentracija prirodnih RN u vodi rezervoara pitke vode (Ćava)mBq/l

| Ukupna alfa aktivnost | Ukupna beta aktivnost | Ra-226 | Pb-21o | U $\mu$g/l |
|---|---|---|---|---|
| 62,9 | 1110+) | 62,9 | 355,2 | - |

+) prirodni radio nuklidi plus fisioni produkti

Podaci iz TAB 1 nedvosmisleno govore da se vrednost koncentracije prirodnih radio nuklida kreću u granicama koje su karakteristične u proseku za reke u SR Srbiji (1) osim ukupne beta aktivnosti koja je znatno povećana.

## 1.2. Uticaj padavina na koncentraciju prirodnih RN u akumulaciji

Mehanizam dospevanja prirodnih RN u akumulaciju Grošnica razlikuje se od dospevanja istih u rečne vodotokove, jer padavine, koje uslovljavaju njihovu migraciju iz zemljišta u vodu, donose ih u jezersku akumulaciju, gde dolazi do odredjenog zadržavanja RN pre njihovog dospevanja u rezervoar pitke vode.

Po našim merenjima koncentracija alfa emitera u vodi iz rezervoara pitke vode u toku prvih pet dana nakon padanja kiše

iznosi 11.1mBq/l. Medjutim u narednih pet dana ona naraste na 114,7mBq/l. Slična situacija je i sa koncentracijom Ra-226, tako da u prvih pet dana nakon kiše koncentracija iznosi 37MBq/l, a u narednih pet dana 92,5mBq/l. I kod Pb-210 je slična situacija, tako u prvom periodu koncentracija iznosi 226,4mBq/l, a u drugom 444mBq/l.

Očigledno da u ovom slučaju postoji vremenski interval potreban da radio nuklidi pristignu u rezervoar pitke vode, za razliku od sistema za snabdevanje vodom iz vodotokova, gde u slučaju kiše u neposrednoj blizini mernog mesta taj interval ne postoji ili je znatno kraći (1).

## 1.2. Sr-90 i ukupna beta aktivnost u vodi jezera u funkciji izložene aktivnosti Sr-90 s padavinama

Da bismo mogli oceniti radijacionu sigurnost upotrebe vode za piće koja se dobija iz akumulacije Grošnica navešćemo podatke ranijih merenja (TAB 2) u periodu od 1963 do 1968. god. (2).

TAB 2

Sr-90 i ukupna beta aktivnost u f-ji istaložene aktivnosti s padavinama

| | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sr-90 MBq/km$^2$ god | 814 | 592 | 259 | 129,5 | 51,8 | 85,1 |
| Jezero mBq/l Sr-90 | 33,3 | 37 | - | 45,8 | 27,7 | 27,7 |
| $F_1$ | 24,4 | 16 | - | 3,0 | 2,0 | 3,0 |

Očigledno da je faktor $F_1$ ($F_1$ predstavlja količnik izmedju ukupne deponovane aktivnosti preko fall-out-a za godinu i srednje godišnje aktivnosti vode) za red veličine manji od odgovarajućih faktora sistema Velika Morava (2). Ovakva situacija uslovljena je mehanizmom akumulacije Sr-90 u vodi Grošničkog jezera. Prema tome, radijaciona opasnost za kontaminaciju vode iz Grošničke akumulacije sa Sr-90 iz radioaktivnih padavina je za oko 10 puta veća nego za vodu iz V.Morave. Faktor $F_1$ za ukupnu beta aktivnost iz Grošnice u toku 1971-72 godine bio je približno jednak jedinici.

1.3. Brzina prodiranja beta emitera i Sr-90

Fisioni produkti iz padavina dospevaju u jezero Grošnice po tri osnovna procesa:

1. direktno iz padavina
2. Zajedno sa površinskim vodama koje ulaze u jezero (potoci)
3. Spiranje fisionih produkata iz površinskog sloja zemljišta sa vodom padavina.

Ovakav mehanizam akumulacije radio nuklida u jezerskoj vodi uslovljava da je povećanje beta aktivnosti istodobno sa padavinama. "Zaštitno" vreme za ovaj sistem u pogledu beta aktivnosti iznosi oko tri dana u uslovima protoka tehnološki obradjene vode kakvi su bili u vreme uzimanja uzoraka (što odgovara protoku za niz godina). Naravno da ako bi se protok prečišćene vode povećao "zaštitno" vreme bi se proporcionalno smanjivalo.

Povećanje koncentracije Sr-90 u pijaćoj vodi nastupa trećeg dana posle padavina, takodje i za Sr-90 važi isti zaključak kao i u slučaju ukupne beta aktivnosti da se "zaštitno" vreme smanjuje sa povećanjem protoka prečišćene vode.

1.4. Distribucija Sr-90 u materijalu za filtriranje vode

Izmerena aktivnost Sr-90 u talogu dobijenom ispiranjem kvarcnog peska (materijala za filtriranje) pokazuje da je najveći deo aktivnosti zadržan u površinskom slogu debljine 2cm. Aktivnost tog sloja iznosi 1242,46mBq/l dok je aktivnost vertikalnog sloja debljine 30cm 1337,9mBq/l što očigledno ukazuje na činjenicu da je najviše aktivnosti zadržano u površinskom sloju.

2. Zaštitne karakteristike sistema Grošnice

2.1. Distribucija prirodnih radio nuklida

Podaci o distribuciji prirodnih radio nuklida dati su u TAB 3.

TAB 3

Distribucija prirodnih radio nuklida (mBq/l)

| | Alfa | U g/l | Ra-226 | Pb-21o |
|---|---|---|---|---|
| Jezero | 118,4 | 0,90 | 66,6 | 444 |
| rezervoar Čava | 62,9 | 0,20 | 62,9 | 355 |
| pijaća voda | 52,9 | 0,14 | 18,5 | 37,0 |

Efikasnost zaustavljanja na pojedinim komponentama sistema najbolje se može videti preko faktora FD (faktora dekontaminacije) čije su vrednosti date u TAB 4. Označićemo sa FD-1 faktor dekontaminacije izmedju komponenata sistema: rezervoar pijaće vode Ćava - jezero, sa FD-2 izmedju komponenata: pijaća voda - rezervoar Ćava, a FD čitavog sistema od jezera do pijaće vode.

TAB 4

Efikasnost zaustavljanja prirodnih RN

| | alfa | beta | U | Ra-226 | Pb-210 |
|---|---|---|---|---|---|
| FD-1 | 1,9 | 1,6 | 4,5 | 1,1 | 1,3 |
| FD-2 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 3,4 | 9,6 |
| FD | 2,0 | 2,0 | 6,0 | 3,6 | 12,0 |

2.2. Distribucija ukupne beta aktivnosti i Sr-90

Distribucija beta aktivnosti i Sr-90 u vodi sistema Grošnica vidi se iz TAB 5.

TAB 5

Distribucija ukupne beta aktivnosti i Sr-90

| | Jezero | rezervoar Ćava | Pijaća voda |
|---|---|---|---|
| ukupna beta aktivnost mBq/l | 1813 | 1110 | 925 |
| Sr-90 mBq/l | 66,6 | 34,04 | 14,8 |

Koristeći se vrednostima iz TAB 5 izračunaćemo efikasnost zaustavljanja ukupne beta aktivnosti i Sr-90. Dobijene vrednosti za faktor FD date su u TAB 6.

TAB 6

Faktor FD za sistem Grošnica

| | FD-1 | FD-2 | FD |
|---|---|---|---|
| ukupna beta aktivnost | 1,6 | 1,2 | 2,0 |
| Sr-90 | 2,0 | 2,3 | 4,5 |

Ukupni faktori FD za sistem vodotoka (V.Morava) (2) i akumulaciju (Grošnica), koji se odnose na ukupnu specifičnu beta aktivnost i Sr-90 su različiti. U sistemu V.Morava FD za beta aktivnost je skoro tri puta veći nego za Grošnicu, dok je FD za Sr-90 dvostruko manji. Ovo se može objasniti predominantnim zaustavljanjem Sr-90 sa koagulantima u sistemu tehnološke obrade vode.

## 2.3. Procena radijacione sigurnosti snabdevanja vodom iz akumulacija

Izmedju faktora $F_1$ za ukupnu beta aktivnost i Sr-90 i aktivnosti istaloženih padavinama po $km^2$ za sliv Grošnice postoji linearna zavisnost (3) i za oba slučaja se može napisati na sledeći način

$$F_{1(beta)} = 0{,}02\ A$$

$$F_{1(Sr-90)} = 0{,}01\ A$$

gde je A aktivnost izražena u $mBq/km^2$.

Poznavanjem konstanti 0,02 i 0,01 odredjujemo faktore migracije $T_{beta}$ i $T_{Sr-90}$ čiji fizički smisao bi bio u tome što oni odredjuju procenat ukupne beta aktivnosti i Sr-90 koji pristižu u vodu Grošnice.

Znajući ove vrednosti ($T_{beta} = 0{,}08$ i $T_{Sr-90} = 0{,}43$) zatim površinu sliva možemo jednostavno iz relacije

$$A_j = S\ A_i T$$

gde je S - površina sliva, $A_i$ - istaložena aktivnost po $km^2$ i T-faktor migracije, da odredimo aktivnost vode u jezeru. Naravno da čim odredimo ukupnu aktovnost jezerske vode onda deleći je količinom vode u jezeru odredjujemo specifičnu aktovnost $A_s$ - litra vode.

Pretpostavimo li da je površina sliva kontaminirana sa $37 GBq/km^2$ ukupne beta aktivnosti, a znajući sve navedene faktore za sistem Grošnica dolazimo do podatka da će specifična aktivnost jezerske vode biti

$$A_{js} = 17{,}76\ Bq/l \quad (480\ pCi/l)$$

a uz istu pretpostavku za Sr-90 biće

$$A_{js} = 95{,}46\ Bq/l \quad (2580\ pCi/l)$$

Obzirom da smo za ovaj sistem već odredili faktore dekontaminacije i uz navedenu pretpostavku o ravnomernoj kontaminaciji, specifičnu aktivnost jezerske vode to iz navedenoga proističe da će beta aktivnost litra pijaće vode iznositi 8,88 Bq/l (240 pCi/l), a za Sr-90 21,09 Bq/l (570 pCi/l ).

Iz svega do sada izloženog proističe da na osnovu ustanovljenih faktora možemo da odredimo radijacionu sigurnost upotrebe vode iz navedene akumulacije, što nam je i bio cilj.

Abstract

In this work is exposed the existent state of radioactive contamination of fission product of water in an accumulatio-a lake and are determined the factors that make possible the estimate of radioactive security of the use of water in case of an accident or a nuclear explosion

Literatura:

1. RADOVANOVIĆ R.
   Izloženost zračenju i kontaminaciji ljudi pri balneološkoj terapiji (mag.rad 1971.)
2. MILOJEVIĆ S.
   Studija prenosa fizionih produkata iz padavina u pijaće vode
3. IMRRZ "Dr D. KARAJOVIĆ" , BEOGRAD
   Radioaktivnost životne sredine 1963-1968

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

Milojević S.,Radovanović R.
Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac
Institut "Dr D.Karajović", Beograd

# PRILOG POZNAVANJU PRODIRANJA FISIONIH PRODUKATA IZ RADIOAKTIVNIH PADAVINA U PODZEMNE VODE

## Uvod

Poznato je da u površinske vode fisioni produkti iz padavina dospevaju direktno, a i na drugi način, te su one gledano s tog aspekta praktično nezaštićene pa bi u slučaju nuklearnih eksplozija u posmatranom reonu bile za piće i druge potrebe čoveka neupotrebljive. Najverovatnije bi se u tim okolnostima pribeglo korišćenju podzemnih voda (bunara) jer su one svakako bezbednije uz uslov da su bunari higijenski gradjeni, pokriveni i zaštićeni od slivanja površinske vode kao i plitke podzemne vode.

Mi ovde želimo da izložimo postojeće stanje radioaktivne kontaminacije podzemnih voda u prirodnim uslovima u bunarima odredjenim po metodi slučajnog izbora (tri bunara B-1, B-3 i B-4 su dobro zaštićeni od direktnog slivanja površinskih voda dok kod bunara B-2 to nije slučaj) na teritoriji grada Kragujevca i da na osnovu dobijenih podataka ocenimo mogućnost njene upotrebe za piće u akcidentalnim uslovima (da korisnici ne budu ozračeni većom dozom od MDD).

Naša posebna merenja omogućavaju da se na kvalitetno nov način pridje oceni brzine prodiranja fisionih produkata u vode bunara i sačini model za ocenu radijacione sigurnosti snabdevanja vodom.

## Metode merenja

Ukupna beta aktivnost u suvom ostatku mrena je GM brojačem čija je brojačka cev imala prozor 1,25 mg/cm$^2$. Kao standard za kalibraciju korišćen je K-4o ili Sr-9o + Y-9o u ravnoteži. Merenja su vršena na aparaturi firme "Tracerlab".

Sr-9o odredjivan je mostodom verifikovanom u IMHRZ-Beograd sa Al kao nosačem za Y-9o (4).

### 1.1. Prirodni radio nuklidi u bunarskim vodama

Ukupna alfa aktivnost dugoživećih radio nuklida u bunarskim vodama u SR Srbiji (1) kreće se od 3,7-303,4 mBq/l ili u proseku 38,48 mBq/l. Srednja vrednost ukupne beta aktivnosti je 288,6 mBq/l. Koncentracija Ra-226 u ovim vodama u proseku 55,5 mBq/l, a urana 0,33$\mu$g/l.

Rezultati naših merenja za navedene bunare dati su u TAB-1.

TAB-1

Koncentracija prirodnih radio nuklida u mBq/l

| Oznaka bunara | Ukupna $\alpha$ | Ukupna $\beta$ | Ra-226 | Pb-21o | U$\mu$g/l |
|---|---|---|---|---|---|
| B-1 | 96,2 | 122,1 | < 37 | 37 | - |
| B-2 | 59,2 | 1517 | 51,8 | 333 | - |
| B-3 | 44,4 | 92,5 | 37,o | 62,9 | - |
| B-4 | 66,6 | 196,1 | 59,2 | 333 | - |
| Srednje | 66,6 | 481 (144,3 bez B-2 | 40,7 | 188,7 | - |

### 1.2. Uticaj padavina na koncentraciju prirodnih RN

Za praćenje uticaja padavina vršili smo merenja u toku desetodnevnog perioda početkom aprila nakon obilne kiše. Rezultati merenja dati su u TAB 2.

Merenja ukupne alfa aktivnosti kao i koncetracije Ra-222 i ostalih prirodnih radio nuklida u bunarskim vodama pokazuju da padavine imaju različit uticaj, što uglavnom zavisi od hidrogeoloških karakteristika bunara. U tom smislu postoje dve grupe bunara, a što se iz grafa 1 i 2 vidi i to: 1. Bunari kod kojih dolazi do brzog prodiranja površinskih voda (B-2) i 2. Bunari kod kojih je uticaj površinskih voda na nivo vode u bunaru neznatan (B-1, B-3, i B-4), i kod kojih se uočava jedan vremenski inrerval potreban da prirodni radio nuklidi

dospeju u njihovu vodu. Pored toga u tom razdoblju uočavaju se dva maksimuma aktivnosti što ukazuje na postojanje još jedne kiše koja je bila znatnijeg intenziteta od prve.

TAB 2.

Uticaj padavina na koncentraciju prirodnih radio nuklida u bunarskim vodama (mBq/l)

| | dani | ukupna $\alpha$ | ukupna $\beta$ | Ra-226 | Pb-210 | U$\mu$g/l |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,2 | 88,8 | 37,0 | < 37 | 44,4 | - |
| | 3,4,5 | 22,2 | 259,0 | - | - | - |
| B-1 | 6,7,8 | 111,0 | 33,3 | - | - | - |
| | 9,10 | 162,8 | 199,8 | < 37 | 29,6 | - |
| | 1 | 48,1 | 3025,5 | 60,68 | 610,5 | - |
| | 2 | 29,6 | 1679,8 | | | - |
| | 3 | 177,6 | 1006,4 | | | - |
| | 4 | 133,6 | 1276,5 | | | - |
| B-2 | 5 | 25,9 | 1679,8 | | | - |
| | 6 | 103,6 | 1143,3 | | | - |
| | 7 | 22,2 | 1613,2 | | | - |
| | 8 | 33,3 | 603,1 | | | - |
| | 9 | 25,9 | 1613,2 | | | - |
| | 10 | 29,6 | 1665,0 | 41,44 | 48.1 | - |
| | 1,2 | 44,4 | 59,2 | 60,31 | 107,3 | - |
| | 3,4,5 | 33,3 | 92,5 | | | - |
| B-3 | 6,7,8 | 29,6 | 37,0 | | | - |
| | 9,10 | 81,4 | 185,0 | 25,9 | 29,6 | - |
| | 1,2 | 48,1 | 133,2 | 51,06 | 444,0 | - |
| | 3,4,5 | 55,5 | 336,7 | | | - |
| B-4 | 6,7,8 | 29,6 | 55,5 | | | - |
| | 9,10 | 144,3 | 266,4 | 69,56 | 225,7 | - |

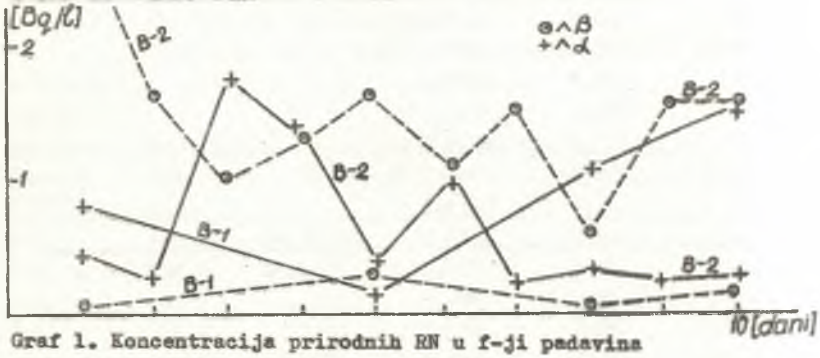
1.3. Brzina prodiranja Sr-90 u bunarske vode

Brzina prodiranja Sr-90 u bunarske vode bitno zavisi od hidrogeoloških karakteristika bunara. Podaci o našim marenjima dati su u TAB 3 i predstavljeni na grafu 3. Iz ovih podataka vidi se da u B-2 gde atmoferska voda lako dolazi u bunar koncentracija Sr-90 poraste nakon 4-5 dana, dok u bunarima B-1, B-3 i B-4 "zaštitno" vreme iznosi čak devet dana. Karakteristično je da ako dodje do padavina u intervalu "zaštitnog" vremena kod B-2 drugo "zaštitno" vreme se skraćuje na samo dva dana. Iz toga proističe da vlažnost zemljišta ima uticaj na dužinu "zaštitnog" vremena.

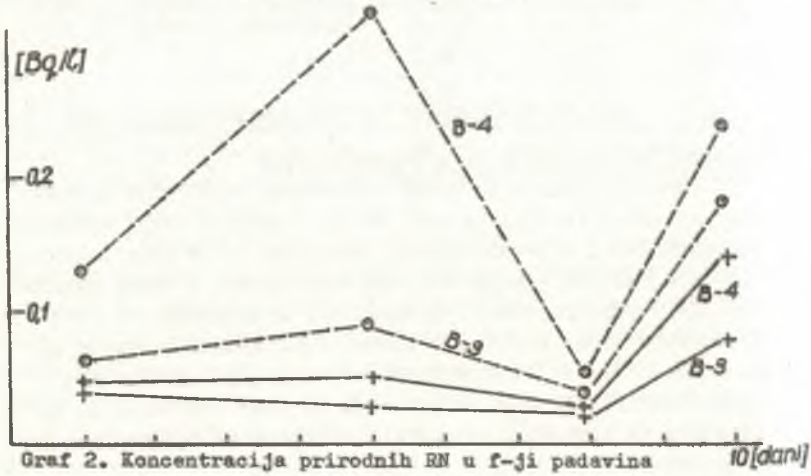
TAB 3.

Uticaj padavina na koncentraciju Sr-90 u (mBq/l)

| dani | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 |
|---|---|---|---|---|
| 1,2 | 15,54 | 47,36 | 8,14 | 57,72 |
| 3 | | 74,37 | | |
| 4 | 11,47 | 101,01 | 15,17 | 44,03 |
| 5 | | 155,77 | | |
| 6 | | 75,11 | | |
| 7 | 7,4 | 182,78 | 14,06 | 34,04 |
| 8 | | 75,11 | | |
| 9,1o | 56,61 | 56,24 | 57,72 | 110,63 |
| srednje | 26,57 | 96,94 | 23,68 | 52,17 |




Graf 1. Koncentracija prirodnih RN u f-ji padavina




Graf 2. Koncentracija prirodnih RN u f-ji padavina

1.4. Zaštitne karakteristike

Približna efikasnost zaustavljanja ukupne beta aktivnosti Sr-90 zemljištem pri njihovom prelazu iz padavina u vode ispitivanih bunara može se videti po faktorima FD (faktori dekontaminacije) koji su navdeni u TAB 4.

TAB 4.

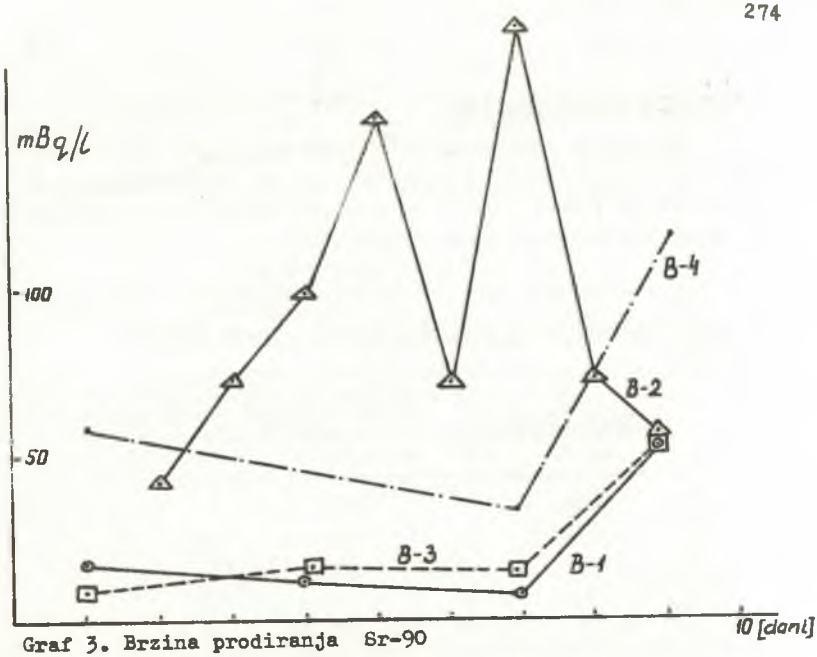
Efikasnost zaustavljanja ukupne beta aktivnosti i Sr-90 zemljištem

| | Beta aktivnost | | Sr-90 | |
|---|---|---|---|---|
| | mBq/l | FD | mBq/l | FD |
| Kiša | 7400 | - | 1813 | - |
| B-1 | 259 | 28 | 55,5 | 30 |
| B-2 | 3071 | 2,5 | 181,3 | 10 |
| B-3 | 92,5 | 80 | 55,5 | 30 |
| B-4 | 333 | 22 | 133,2 | 16 |

Faktori FD koji su ustanovljeni za Sr-90 i ukupnu beta aktivnost za prenos iz vode padavina u bunarske vode su znatno od odgovarajućih FD pri prelazu vode iz otvorenih vodotokova iz akumulacija u vodovodnu mrežu pitke vode u Kragujevcu.

Ovi faktori su za Sr-90 10-25 puta, a za ukupnu veta aktivnost 2-50 puta veći od odgovarajućih iz otvorenih vodotokova i akumulacija.

Navedeni podaci ukazuju da je radijaciona sigurnost snabdevanja vodom iz bunara u slučaju radioaktivnih padavina veća za 10 do 50 puta u odnosu na snabdevanje iz otvorenih sistema. Medjutim, kod bunara gde je prodiranje atmosferskih voda lakše (primer bunara B-2) zaštitni faktor je znatno manji i približno isti kao kod otvorenih sistema za snabdevanje vodom. Ovo pokazuje da kod bunara sličnim sa bunarom B-2 dolazi praktično do direktne kontaminacije vode padavinama što ukazuje dase u akcidentalnim uslovima ne može apriori računati sa zaštićenošću bunarskih voda ukoliko nisu izvršena odgovarajuća ispitivanja.




Graf 3. Brzina prodiranja Sr-90


**Abstract**

The mechanism of radioactive contamination of subterranean waters of fission product essentialy is different from the contamination of one open water currents and accumulations. In examinatiny the existent state of radioactive contaminations of well s waters in natural conditions, we are arrived to ones indexes that make possible the estimate of the possibility of the use from wells in accidental conditions. Our data say that the security of supply with water in these cases is 10 to 50 times bigger than from the open water currents and lakes.


**Literatura:**


1. RADOVANOVIĆ R.
   Izloženost zračenju i kontaminaciji ljudi pri balneološkoj terapiji (mag.rad 1971.)
2. MILOJEVIĆ S.
   Studija prenosa fisionih produkata iz padavina u pijaće vode (mag.rad 1973.)
3. IMRRZ "Dr. D.KARAJOVIĆ", BEOGRAD
   Radioaktivnost životne sredine 1963-1968
4. BRNOVIĆ R., GVOZDANOVIĆ D.
   Metoda za odredjivanje Sr-90 sa aluminijumom kao nosačem za Y-90 (IV jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti Bačko Polje 1969.)

IX.simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977

# UKUPNA BETA RADIOAKTIVNOST U IZVORSKIM VODAMA U SR MAKEDONIJI

Popovski Slobodan
Higiensko-epidemološki odred-Skopje

## KRATAK SADRŽAJ

U radu su prezentirani rezultati merenja ukupne beta radioaktivnosti vode kod dela izvora u SR Makedoniji u 1975 godini.Uzorci su uzeti iz 177 izvora iz različitih krajeva. Beta aktivnost je merena halogenim GM brojačem sa antikoincidentnom spregom.

## UVOD

Cilj zadatka je bio da se orijentaciono sagleda postojeće stanje izvorskih voda na prisutnost radionuklida,proceni mogućnost upotrebe izvora vode za zadovoljenje čovekovih potreba u normalnim i vanrednim uslovima,odnosno na osnovu sadašnjeg stanja izvora utvrditi stanje u izvanrednim situacijama kada postoji mogućnost zagađivanja istih iz nepredvidenih razloga.Dobiveni podaci omogućuju da se dođe do saznanja o neposrednom doprinosu i posrednom udelu beta aktivnosti u celokupnom radiacionom opterećenju čoveka preko korišćenju izvorskih voda za svakodnevne potrebe.

## METOD RADA

Uzorci od po jedan litar izvorske vode sakupljani su krajem 1975 godine iz različitih krajeva i planinskih predela SR Makedonije po slučajnom izboru.Zbog otežanog pristupa do

pojedinih izvora i drugih uslova,merenje je vršeno samo jedanput za svakog uzetog uzorka.Beta aktivnost na ispitivanim uzorcima je merena na dobivenom mineralnom ostatku.Svi uzorci su mineralizovani metodom uparavanja i žarenja na temperaturi do 450 $^{o}$C.Uparavanje uzoraka vode je vršeno infracrvenim lampama.

Određivanje ukupne beta aktivnosti ispitivanih uzoraka sastojao se u relativnom upoređivanju merene beta aktivnosti uzoraka sa beta aktivnošću standarda izvora beta zračenja.Kao standard je korišćen $^{40}$K, odnosno jedinjenje KCl u kome je sadržan radioizotop $^{40}$K.Vreme merenja aktivnosti uzoraka je iznosilo 30 minuta,odnosno dvaputa po 30 minuta za svakog uzorka. Greške u merenju su neznatne zbog korišćenja tankog sloja mineralnog ostatka.Takođe uzorci i standardi su mereni na isti način i u istoj geometriji.U pojedinim slučajevima vršena je korekcija na samoapsorpciju.

Za merenje ukupne beta aktivnosti korišćen je halogeni GM brojač sa antikoincidentnom spregom LOLA-4,proizvodnja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrić"-Vinča.Osetljivost ovog brojača je $10^{-12}$ Ci, a nivo prirodnog fona je oko 1,8 imp/min.Efikasnost brojača za beta zračenje određena je pomoću standardnih izvora pripremljenih od soli KCl u kome prisustvo $^{40}$K iznosi 0,0119 % prirodnog kalijuma, sa vremenom poluraspada T= 1,31x$10^{9}$ godina.Beta emiter sa energijom zračenja 1,33 MeV /88%/.

Rezultati merenja ukupne beta aktivnosti prikazani su u TABELI br.1, i izraženi su kao specifična aktivnost /SpA/ u pCi/lit.Iz tabele se vidi da od ukupno 177 uzoraka vode, kod 20 uzoraka su izmerene vrednosti beta aktivnosti veće od dozvoljene prema Pravilniku o higiensko-tehničkim merama za zaštitu voda za piće što iznosi 11,30 % ispitivanih izvora.

ABSTRACT

In the paper the results of the measurements of total beta radioactivity of some of the sources water in SR Macedonia are presented in 1975.

T A B E L A br.1

IZMERENE VREDNOSTI UKUPNE BETA RADIOAKTIVNOSTI UZORAKA
IZVORSKIH VODA SA TERITORIJE SR MAKEDONIJE

| Ukupan broj izvora | Ukupna beta radioaktivnost u pCi/litar | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,00 | 0,01-10,00 | 10,01.20,00 | 20,01-30,00 | 30,01-40,00 | 40,01-50,00 | 50,01-60,00 |
| 177 | 45 | 112 | 13 | 5 | 1 | - | 1 |

# L I T E R A T U R A

PICER,M.: Merenje ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama pojednostavljenom metodom uparavanja.Zbornik radova III simpozijuma JDZZ,Banja Luka,str.293, 1967 god.

KOSTRICA,A.G.: Kalievij standart dlja izmerenija radioaktivnosti preparatov.Biofizika,No 2,246,1958.

POPOVIĆ,V.: Analize radioaktivnosti životne sredine.Elaborat 1962-1965.Institut za medicinska istraživanja-Zagreb.

Pravilnik o higiensko-tehničkim merama za zaštitu voda za piće./Sl.list Sfrj br.44/60/.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Dušan Nedelkovski, Dr.P.Filjanski, Dr.Đ.Teodosievski, ing.D.Velev
Republički zavod za zdravstvena zaštita Skopje

# NEKOI REZULTATI OD ISPITUVANJETO NA PRIRODNATA BETA RADIOAKTIVNOST NA VODITE ZA PIENJE VO SR MAKEDONIJA

## UVOD

Ispituvanjeto na prirodnata beta radioaktivnost na vodite za pienje vo SR Makedonija e vršeno vo periodot od 1972 do 1976 godina i prodolžuva.So ovie ispituvanja opfateni se site opštini vo SR Makedonija i toa izvorištata koi se nameneti za izgradba na vodovodi vo selata vo ramkite na akcionata programa za podobruvanje na higiensko-epidemiološkata sostojba vo SR Makedonija kako i proverka na kvalitetot na vodite za pienje vo odnos na prirodnata beta radioaktivnost.

## Metoda:

Ispituvanjeto na prirodnata beta radioaktivnost na vodite za pienje e vršeno po metodata na isparuvanje na primerokot.Dodadeni se 5 ml.konc.$HNO_3$/1.$H_2O$.Za isparuvanje upotrebuvana e količina od 10 l.voda.Potoa suviot ostatok e mineraliziran so žarenje na 750°C.Mineralniot ostatok odnosno del od nego e prenesen vo planšeta za merenje na radioaktivnosta.Primerocite se mereni na aparatot Lola-5 čija efikasnost e 14%.Kako standard upotreben e 90 Sr.vo ramnoteža so $^{90}Y$.Prepariranjeto na primero-

cite e vršeno vo zavisnost od dobieniot mineralen ostatok a najmnogu do 500 mg/cm$^2$, zaradi što e odreduvan i faktorot na samoapsorpcija. Site merenja se vršeni pod isti geometriski uslovi.

Diskusija:

Rezultatite od merenjata na prirodnata beta radioaktivnost dadeni se vo tabelata.

Pregled na ispitanite primeroci voda po opštini i po kapacitet

| OPŠTINA | Broj na pregledani izvorišta | | | | | | | | | | | | Vkupno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q≤5 l/sek. | | | | Q=5-50 l/sek. | | | | Q≥50 l/sek. | | | | |
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | |
| Berovo | - | 3 | - | - | - | 4 | 3 | - | - | - | - | - | 1o |
| Bitola | - | 14 | 1 | 6 | - | 1 | - | - | - | 1 | - | - | 23 |
| Brod | - | 1 | 1 | 2 | - | - | - | 1 | - | 1 | - | - | 6 |
| Valandovo | - | 6 | - | 2 | 1* | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 11 |
| Vinica | - | 4 | - | 1 | - | 2 | - | 1 | - | - | - | - | 8 |
| Gevgelija | - | 7 | 1 | - | - | 4 | - | - | - | 2 | - | - | 4 |
| Gostivar | 1 | 9 | - | 5 | 1 | 3 | - | - | - | 1 | - | - | 19 |
| Debar | 1 | 8 | 3 | 2 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 15 |
| Delčevo | - | 16 | 1 | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 19 |
| D.Hisar | 1 | 3 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 |
| Kavadarci | - | 3 | - | - | - | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | 6 |
| Kičevo | - | 5 | 1 | 3 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 11 |
| Kočani | 1 | 5 | - | 3 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | 10 |
| Kratovo | 1 | 1 | 3 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 7 |
| Kr.Palanka | - | 14 | - | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 17 |
| Kruševo | - | 4 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 |
| Kumanovo | - | 5 | 1 | 3 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | 10 |

prodolženie na tabela

| OPŠTINA | Broj na pregledani izvorišta | | | | | | | | | | | | Vkupno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q≤5 l/sek. | | | | Q=5-50 l/sek. | | | | Q≥50 l/sek. | | | | |
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | |
| Negotino | - | 5 | 1 | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 8 |
| Ohrid | - | 1 | 1 | 5 | - | 1 | 1 | 2 | - | 2 | - | - | 13 |
| Prilep | - | 1 | 1 | - | - | 2 | - | - | - | 1 | 1 | - | 6 |
| Probištip | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | 1x | - | - | 4 |
| Radoviš | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | 1x | - | - | 7 |
| Resen | - | 9 | 1 | 7 | - | 2 | - | - | - | 1 | - | - | 20 |
| Sv.Nikole | 1 | 1 | - | 1 | 1x | 2 | - | - | - | - | - | - | 6 |
| Struga | - | 4 | - | 3 | - | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | 10 |
| Strumica | - | 4 | - | - | - | 3 | - | 1 | - | 1 | - | - | 9 |
| Skopje | - | 4 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | - | 8 |
| Tetovo | - | 10 | 1 | 9 | - | 8 | 3 | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 35 |
| T.Veles | - | 9 | - | - | - | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | 12 |
| Štip | - | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | 2 | - | - | 8 |
| Vkupno: | 7 | 163 | 21 | 63 | 3 | 44 | 8 | 8 | - | 21 | 2 | 4 | 344 |

Legenda:

I - beta radioaktivnost $>10^{-8}$ $\mu$Ci/ml.
II - beta radioaktivnost od $10^{-9}$ do $10^{-8}$ $\mu$Ci/ml.
III - beta radioaktivnost od $10^{-10}$ do $10^{-9}$ $\mu$Ci/ml.
IV - beta radioaktivnost $< 10^{-10}$ $\mu$Ci/ml.
x - primerocite se zemeni od reka

Vo tabelata dadena e podelba na izvorištata po opštini i spored kapacitetot na izvorištata vo tri grupi: I grupa izvorišta so kapacitet do 5 litri vo sekunda, II grupa izvorišta so kapacitet od 5-50 l/sek. i III grupa izvorišta so kapacitet od 50 i poveke lit/sek.

Od tabelata se gleda deka izvršeni se merenja na vkupno 344 vodi. Od tie, 254 izvorišta se so kapacitet do 5 l/sek.

63 izvorišta so kapacitet od 5-50 l/sek. i 27 izvorišta so kapacitet so 50 i poveke l/sek.

Merenjata na prirodnata beta radioaktivnost pokažuvaat deka ogromen del od vodite za pienje gi zadovoluvaat uslovite za kvalitetot vo odnos na vkupnata beta radioaktivnost/"Sl.list na SFRJ" br.44/60/.Od vkupniot broj izvršeni merenja 75 primeroci ili 22,3% se so specifična beta radioaktivnost pomala od $10^{-10}$ $\mu$Ci/ml, 31 primerok ili 9% so specifična beta radioaktivnost vo granicite od $10^{-10}$ do $10^{-9}$ $\mu$Ci/ml.,228 primeroci ili 66,2% so specifična beta radioaktivnost od $10^{-9}$ do $10^{-8}$ $\mu$Ci/ml./ovoj stepen na radioaktivnost dominira kaj izvorištata so mal,sreden i golem kapacitet/,a samo 10 primeroci ili 2,9% se so specifična beta radioaktivnost pogolema od $10^{-8}$ $\mu$Ci/ml.odnosno ne odgovaraat na Pravilnikot za higieno tehnički merki za zaštita na vodite za pienje.Za ovie vodi ne e dadeno odobrenie za izgradba na vodovodi.Od neispravnite vodi 7 izvorišta se so kapacitet do 5 l/sek.odnosno se mali izvori,a tri primeroci se so kapacitet od 5-50 l/sek./sredna jačina/,od koi 2 primerka se zemani od reka a 1 e izvor.Potekloto na zgolemenata beta radioaktivnost kaj izvorištata od istočniot del na SR Makedonija vodi od tamu što vo toj del se naogaat geofizički pojavi na zgolemena prirodna radioaktivnost.Potekloto na zgolemena beta radioaktivnost kaj izvorištata od Gostivar,Debar,D.Hisar kako i kaj dvete reki ne e ispituvano i nemožeme da dademe obrazloženie vo toj smisol.

Zaključok:

Izvršenite merenja pokažuvaat deka vo SR Makedonija ogromen del od vodite nameneti za pienje se kvalitetni vo odnos na prirodnata beta radioaktivnost i deka naselenieto e snabdeno so kvalitetna voda za pienje.Dobienite iskustva ja potvrduvaat opravdanosta za prodolžuvanje i dokrajčuvanje na akcionata programa.

LITERATURA:

1. M.Picer: Mjerenje ukupne beta radioaktivnosti u prirodnim vodama po_jednostavljenom metodom uparavanja; Zbornik materijala III Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti,Banja Luka 1967 godina.

2. M.Picer;Đ.Stampf: Neka usavršavanja i evaluacija jonsko izmenjivačke metode odredjivanja ukupne beta radioaktivnosti prirodnih voda; Nr.8/12;Radovi V,Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti /sekcija f,g,h,i/Bled 1970.

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja.
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

Dr Fedor BORELI
Elektrotehnički fakultet,Beograd

Mr Radenko STOJAKOVIĆ
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

Nacko TONČEV,dipl.fiz.
Institut za dokumentaciju zaštite na radu, Niš

# EKOLOŠKI ASPEKTI PONAŠANJA TRICIJUMA U ČOVEKOVOJ OKOLINI

Brzi napredak nuklearne tehnike doveo je do naglog povećanja stvaranja radionukleida u čovekovoj okolini. U vezi sa time izneto je ponašanje tricijuma-njegovo stvaranje i ekološki aspekti tokom njegove cirkulacije u prirodi. Dat je pregled nivoa tricijuma u čovekovoj okolini u zavisnosti od načina njegovog stvaranja - prirodnog i veštačkog: putem nuklearnih elektrana, postrojenjima za preradu nuklearnog goriva i pri ispitivanju termonuklearnih naprava. Prikazani su biološki efekti prisustva tricijuma u čovekovoj okolini.

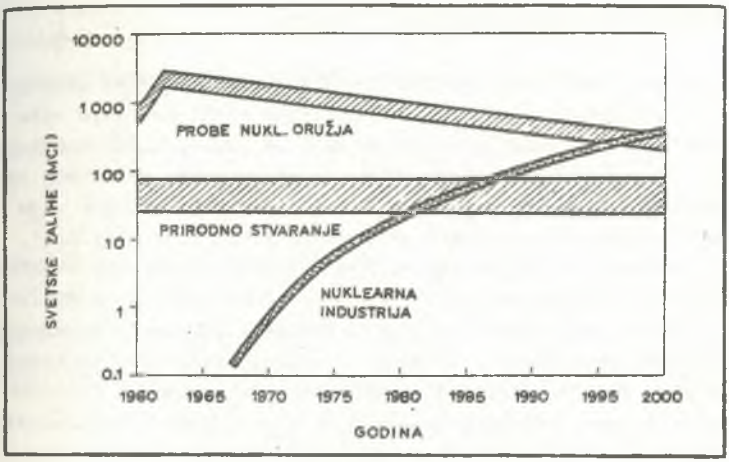
## UVOD

Sve veće unošenje radionukleida u čovekovu okolinu uslovljeno je brzim napretkom nuklearne tehnike i industrije. Tricijum - izotop vodonika, posebno je značajan sa ekološkog i biološkog aspekta jer je, ulazeći u sastav vode, prisutan svuda gde i sama voda: od atmosfere i hidrosfere do sastava žive materije. Kada već jednom dospe u okolinu skoro sav tricijum se nalazi u hidrosferi kao tricirana voda (HTO).Dalja njegova distribucija prati šemu kruženja vode u prirodi. Pored ove opšte šeme tricijum može biti ubačen i na specifičan način u lokalne i regionalne ekosisteme pa se njegovo ponašanje tada mora posebno posmatrati. Tako stvoreni tricijum potiče od ljudske aktivnosti i mnogostruko prevazilazi prirodni nivo. (Sl.1). Ovaj članak ima za cilj da

pregledno izloži većinu aspekata prisustva tricijuma u čovekovoj okolini.

STVARANJE TRICIJUMA

Poreklo tricijuma u čovekovoj okolini je iz dva glavna izvora: prirodnog i veštačkog.Prirodnim putem tricijum se stvara u gornjim slojevima atmosfere dejstvom kosmičkih neutrona na atome azota. Teorijska procena /1/ ovakvog načina stvaranja tricijuma za celu zemaljsku kuglu iznosi od 0.1 do 0.8 tritona/$cm^2 \cdot s$ ili 4 - 8 MCi/god što odgovara ravnotežnoj količini od 14 - 110 MCi tricijuma. Opšte prihvatljiva srednja vrednost ovih procena je 60 MCi. Da nema veštački stvorenog tricijuma ova vrednost bi ostala u ravnoteži jer je tricijum beta radioaktivni izotop sa $T_{1/2}$=12.26 god. Ovaj prirodni nivo je medjutim mnogostruko prevazidjen za poslednjih trideset godina. Prvi veštački način stvaranja tricijuma su bile veštački izazvane nuklearne reakcije. Medjutim opasnost od naglog i velikog povećanja nivoa tricijuma u okolini je počela sa detonacijama termonuklearnih naparava. Prema poznatoj činjenici da je $1.5 \times 10^{-4}$ prinos tricijuma po fisiji, /1/ može se proceniti da je 1956 godine u atmosferu ubačeno 0.090 MCi tricijuma pri detonacijama nuklearnih oružja koja su sagradjena da funkcionišu na principu fisije; 0.098 MCi u 1962 i 0.085 MCi u 1973. Što se tiče fuzionog oružja procene je teže izvesti zbog toga što prinos tricijuma zavisi od toga na koji način je izvedena konstrukcija fuzionog nuklearnog oružja, ali je ipak na osnovu literature izveden podatak da je na ovaj način ubačeno u 1956 960 - 1600 MCi, u 1962 2800 - 4800 MCi tako da doprinos do kraja 1973. ukupnih svetskih zaliha ovako stvorenog tricijuma iznosi 1900 - 3100 MCi. Opšti maksimum u koncentraciji tricijuma u padavinskim vodama je zabeležen u toku 1962-1963 godine i sa postepenim smanjenjem proba nuklearnih oružja na svetskom planu koncentracija tricijuma u padavinama stvorena na ovaj način postepeno opada (sl.1). Medjutim, poslednjih godina naglo raste jedan novi izvor tricijuma - nuklearna industrija: nuklearni reaktori i postrojenja za preradu goriva. Tabela I iznosi sumarni pregled procene za sve načine stvaranja tricijuma Na osnovu takvih procena možemo odrediti relativnu važnost različitih izvora.




Sl.1.

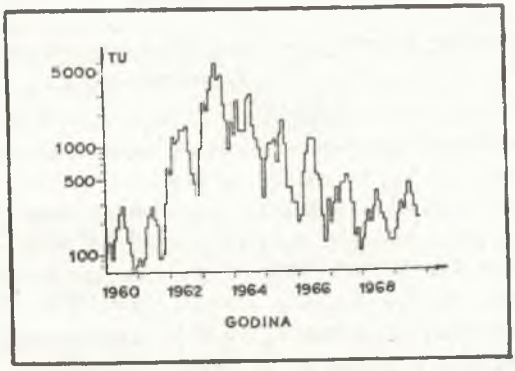
Tabela I Zbirne procene stvaranja tricijuma

| Izvor | Tricijuma (MCi) Doprinos do kraja 1973. | kp,usk,zk. |
|---|---|---|
| Prirodni | 60 | |
| Fisione bombe | 0.085 | kp $0.98 \times 10^{-3}$/Mt usk 0.188 |
| Fuzione bombe | 1860..3100 | pr.12 .. 20/Mt usk 3800..6400 |
| Podzemne eksplozije | $\leq$ 7.9 | pr.0.96/god |
| Komercijalna proizvodnja | 1.8 | pr 2/god; usk 19 zk 12 |
| Nuklearne elektrane | 0.56 | pr.0.018/GW/e).god. usk 1.5; zk 1.35 |
| Proizvodnja plutonijuma | 1.9 | pr. 0.026/toni; usk 3.4 |

kp-količina proizvodnje tricijuma;usk-ukupna svetska količina tricijuma proizvedenog do 1973; zk - zaostala količina posle korekcije na radioaktivni raspad:

GEOHEMIJSKO PONAŠANJE TRICIJUMA U OKOLINI

Kretanje tricijuma kroz čovekovu okolinu je uglavnom iz stratosfere ka hidrosferi i na tom putu tricijum prati kretanje vode u njenom kruženju u prirodi. Tricijum je prisutan u dva hemijska oblika HT (gas vodonik) i HTO (voda). Većina danas prisutnog HT u hidrosferi potiče od nuklearne industrije. Kako vodonik nije hemijski inertan to biološkom aktivnošću u tlu i na površini zemlje prelazi u vodu što ograničava geohemijsko vreme života vodonika na nekoliko godina /1/. Što se tiče tricijuma u obliku HTO situacija je potpuno različita. Kretanje HTO iz stratosfere u hidrosferu je složeno i zavisno od načina stvaranja: prirodni kontinualni prelaz tricijuma u hidrosferu je poremećen nuklearnim detonacijama. Prirodna koncentracija tricijuma u padavinama je < 10 TU (1 TU = 3.2 pCi/lit ili 0.1184 Bq/lit) ali stvarna situacija usled pomenutih razloga za severnu zemljinu hemisferu je data na sl. 2./2/




Sl.2.

Ovakva situacija može biti veoma dobro iskorišćena u hidrološkim istraživanjima /2/. Moguće je, uzimajući u obzir radioaktivni raspad tricijuma, povezati hidrološku distribuciju neke površinske i podzemne vode.

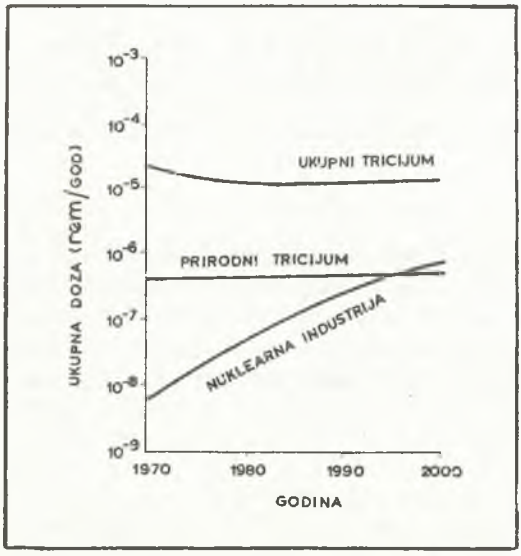
BIOLOŠKI ASPEKTI

Mada postoji, kako je već napomenuto, opasnost od naglog lokalnog povećanja radioaktivnosti tricijuma u okolini,glavna opasnost

postoji od opšteg povećanja nivoa koncentracije tricijuma. Tabela II i slika 3. sumiraju procene ekspozicije-doze tricijuma na svetskom planu /3/.

Tabela II Podatci za ekspoziciju-dozu za tricijum /3/

| | | Tricijum (celo telo) |
|---|---|---|
| Ukupna doza svetskog stanovništva (čovek.rem/Ci) | | $4.0.10^{-4}$ |
| Maksimalna dozvoljena doza | (rem/god) | 0.5 |




Sl.3.

Postoje više različitih načina dospevanja tricijuma u organizam. On može biti direktno unešen putem kože ili udisanja vodene pare.

(HTO) ili gasa (HT) ili putem probavnog trakta kontaminiranom hranom ili vodom. Biljke ga takodje mogu uneti ili transpiracijom ili direktno iz zemlje. Ugradjivanje tricijuma iz HTO u organsko tkivo vrši se zamenom labilnih vodonikovih atoma u materiji. Sva tkiva koja su proučavana pokazuju da je biološko poluvreme života tricijuma u granicama od 4 do 2 dana./4/. Podatci o ponašanju tricijuma u biljkama veoma su oskudni.

R E F E R E N C E

/1/ SCHRODER K.J.P., ROETHER W.: The releases of krypton-85 and tritium to the environment and tritium to krypton-85 ratios as source indicators. IAEA -SM - 191/30.

/2/ Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA Vienna 1968.

/3/ COHEN J.J.: Cost Effectiveness of release prevention controls for tritium and krypton-85. IAEA-SM-197/17.

/4/ OSBORNE R.V.: Permissible Levels of Tritium in Man and the Environment. Radiation Research 50, 197-211(1972).

ECOLOGICAL ASPECTS OF TRITIUM BEHAVOIR IN THE ENVIRONMENT

S U M M A R Y

A rapidly expanding nuclear industry has resulted in increased public releases of radionuclides to the environment. Review of tritium behavior has done. Tritium sources (natural and artificial), production rates and activity levels are presented. The estimates of expositure dose data for worldwide tritium are shown.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA
ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977. god.

Brnović R., Radovanović R.

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

# NEKE EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOBALTA 60

## Rezime

U cilju ispitivanja koeficijenata distrubicije kobalta 60 u hidrološkim ekosistemima, sedimenti Save, Dunava i Tise dovedeni su u ravnotežno stanje sa rečnom vodom kontaminiranom ovim izotopom. Za zapreminski odnos rečne vode i sedimenta 2:1 nadjeni su koeficijenti distribucije za ovaj ekosistem u intervalu 23-182.

## Uvod

Kobalt 60 je produkt neutronske aktivacije po reakciji $^{59}Co\ (n,\gamma)\ ^{60}Co$, sa vremenom poluraspada 5,3 godl i emisijom gama kvanata od 1170 KeV (100%) i 1330 KeV (100%). Ovaj izotop je jedan od značajnih kontaminanata u otpadnim vodama nuklarnih energetskih postrojenja i potiče uglavnom od ozračenog i korodiranog materijala površine instalacija. Stabilan kobalt nalazi se u svim neorganskim i organskim ekosistemima i ima svoju odredjenu funkciju za živi svet. Zbog toga se prisustvo radio kobalta čak i u malim količinama u hidrobiološkim ekosistemima smatra opasnim jer se on koncentriše u različitim živim organizmima u vodenoj sredini (1). Ukoliko se $^{60}Co$ oslobadja iz nuklearnih energetskih postrojenja u rečne tokove, potrebno je odrediti njegovu akumulaciju i eliminaciju u vodenim ekosistemima i pojedinim živim organizmima, posebno u ribama.

Faktori transfera pojedinih radionuklida u hidrobiološkim sistemima znatno variraju u zavisnosti od komplikovanih fizičko hemijskih parametara sredine.

Za kobalt, a takodje za rutenijum i lantanide važno je u kom se fizičko hemijskom obliku nalaze. Tako se kobalt u jonskom stanju intenzivno akumulira u školjkama, dok male koncentracije EDTA koja stvara kompleks kobalta, smanjuju ovaj faktor koncentracije.

Maksimalno dozvoljena koncentracija za $^{60}Co$ u pijaćoj vodi je $5.10^{-4}$ /uCi/ml a za ukupni telesni depo je 10 /uCi/l). Gastrointestinalni trakt je kritični organ za ljudski organizam.

Eksperimentalni deo, rezultati merenja, diskusija

Sedimenti Save (kod Šapca) i Dunava (kod Tekije) i Tise (kod Kanjiže) sakupljeni tokom 1976. god. sušeni su u sušnici na 105°C a zatim samljeveni u mlinu do homogenog praha.

Rečna voda kontaminirana je kobaltom 60 (oko $10^{-3}$ /uCi/ml), mehaničkim mešanjem dovedena u ravnotežu sa sedimentom i uzorci ostavljeni 24 h. Nakon odvajanja čvrste i tečne faze merena je zaostala aktivnost filtrata.

Merenja $^{60}Co$ vršena su gama spektrometrijskom metodom preko energetskog pika 1,33 MeV.

Rezultati ispitivanja koeficijenta distribucije kobalta 60 u sistemu rečna voda-sediment, prikazani su u tabeli.

Rezultati pokazuju da koeficijenti distribucije variraju zavisno od vrste sedimenta. Obzirom da je zapreminski odnos rečna voda-sediment 2:1, koncentracija soli u filtratu je znatna što bitno utiče na Kd. Po autorima (3) različite koncentracije kobalta u vodi uslovljavaju veličinu koeficijenta distribucije u sistemu voda- sediment. Za koncentracije kobalta u vodi niže od $10^{-4}$ meq/ml (oko 3 ppm) on se ne menja i ima najvišu vrednost. Za povećan sadržaj kako

Koeficijent distribucije kobalta 6o u ekosistemu rečna voda-sediment

| Red. broj | Mesto uzimanja uzorka | dubina (cm) | koeficijent distribucije Kd |
|---|---|---|---|
| 1. | Tisa-Kanjiža | 5-10 | 182 |
| 2. | Sava - Šabac | 10-15 | 23 |
| 3. | Sava-Šabac | 0 - 5 | 39 |
| 4. | Sava - Šabac | 5-10 | 172 |
| 5. | Dunav-Tekija | 0- 5 | 23 |
| 6. | Tisa-Kanjiža | 15-20 | 45 |
| 7. | Dunav-Tekija | 15-20 | 49 |

kobalta, tako i drugih soli Na, K itd. Ovaj koeficijent opada i za koncentraciju kobalta u vodi oko $10^{-2}$ meq/ml ima vrednost do 50 (3).

Radi egzaktnog odredjivanja Kd potrebno je poznavati hemijski sastav rečne vode kao i fizičkohemijsku formu rastvorenog kobalta.

ZAKLJUČAK:

U slučajevima zagadjenja rečnog toka kobaltom 6o uzorci sedimenta su jedan od indikatora u praćenju razvoja kontaminacije hidroloških ekosistema. Zbog toga je potrebno poznavati fizičkohemijske parametre rečne vode i sedimenta (sadržaj soli u vodi, jonski kapacitet sedimenta itd.). Takodje je potrebno ispitati faktore akumulacije kobalta 60 u živim organizmima reka. Pojedine školjke su poznate kao "bioindikatori" za $^{60}Co$.

LITERATURA

1. R. BITTEL and al: Etude du comportement du radiocobalt dans un ecosysteme artificiel simple irrigue par submersion
Symposium international de radioecologie Cadarache, 1969

2. National Bureau Standards Handbook 69, 1959

3. G. CANTILLON and al: Symposium international de radioecologie, Cadarache 1969

## SOME ECOLOGIC CARACTERISTICS OF Co 60

Brnović R., Radovanović R.

Institut of Occupational and Radiological Health, Beograd, Deligradska 29

Sammary

In order to investigate Co 60 distribution coefficients involved in hydrologic ecosystems, the sediments of river Sava, Danube and Tisa have been brought up into equilibrium with river water that is contamined by this isotope. Having water-sediment volume relation being 2:1, the distributions coefficients for this ecosystem were found to be in interval of 23-182.

IX simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI. 1977.

BAUMAN ALICA

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

# KRETANJE STABILNOG OLOVA I OLOVA-210 U ZRAKU NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

Opisani su pokusi vršeni 1973 i 1974 godine. Mjerena je na istom punktu kontaminacija zraka stabilnim olovom i olovom-210. Dani su podaci za kretanje oba zagadjenja u odredjenim vremenskim intervalima i tražene su korelacije za dobivene rezultate.

O tome da li olovo unijeto u atmosferu ljudskom aktivnošću (prvenstveno preko tetraetilolova iz benzina i korištenjem fosilnog goriva u industriji) utječe na nivo aktivnosti Pb-210 u zraku, još nije rečena posljednja riječ. Ranije navedeni teoretski proračuni (1) tu mogućnost posve odbacuju, ali kako količine stabilnog olova u biosferi svakodnevno rastu nije isključeno da se situacija izmjenila. Stabilno olovo (smjesa Pb-204, Pb-206, Pb-207 i Pb-208) sadrži i izvjesnu količinu Pb-210 koja ovisi o porijeklu i starosti uzorka, a prema literaturi iznosi prosječno 12 pCi/g (2, 3). Zato bi bilo interesantno komparirati nivoe stabilnog i radioaktivnog olova, jer takva ispitivanja mogu dati odgovor na pitanje da li raspršenje olova u okolišu povisuje radioaktivnost biosfere ili taj izvor još nije značajan. U literaturi do danas nismo našli radove koji bi povezivali ove dvije veličine pa su naši rezultati zbog toga posebno interesantni.

Uzorci za obje vrste odredjivanja uzimani su na istom mjestu u krugu Instituta za medicinska istraživanja u Zagrebu. Sadržaj stabilnog olova odredjen je nakon kemijske obrade metodom atomske absorpcije (λ=217 nm) u Laboratoriju za higijenu radne okoline.

Tablice 1. i 2. pokazuju rezultate tih odredjivanja u cjelodnevnim uzorcima s kraja 1973. i početka 1974. godine.

TABLICA 1

*Odnos olova-210 i stabilnog olova u dnevnim uzorcima zraka u Zagrebu 1973. g.*

| Datum | Pb-210 (pCi/m$^3$) | Pb-stabilno (μg/m$^3$) | Omjer (pCi/μg) |
|---|---|---|---|
| 15/16. 10. 1973. | 0,004 | 2,30 | 0,002 |
| 16/17. 10. 1973. | 0,008 | 1,39 | 0,006 |
| 24/25. 10. 1973. | 0,007 | 0,13 | 0,054 |
| 25/26. 10. 1973. | 0,010 | 0,84 | 0,012 |
| 5/6. 11. 1973. | 0,023 | 1,19 | 0,019 |
| 6/7. 11. 1973. | 0,009 | 1,05 | 0,009 |
| 7/8. 11. 1973. | 0,011 | 1,29 | 0,009 |
| 12/13. 11. 1973. | 0,022 | 1,24 | 0,018 |
| 5/6. 12. 1973. | 0,025 | 1,56 | 0,016 |

TABLICA 2

*Odnos olova-210 i stabilnog olova u dnevnim uzorcima zraka u Zagrebu 1974. g.*

| Datum | | Pb-210 (pCi/m$^3$) | Pb-stabilno (µg/m$^3$) | Omjer (pCi/µg) |
|---|---|---|---|---|
| 3/4. | 01. 1974. | 0,022 | 1,13 | 0,019 |
| 7/8. | 01. 1974. | 0,022 | 0,79 | 0,028 |
| 8/9. | 01. 1974. | 0,018 | 0,67 | 0,027 |
| 9/10. | 01. 1974. | 0,019 | 0,27 | 0,070 |
| 10/11. | 01. 1974. | 0,035 | 0,40 | 0,088 |
| 14/15. | 01. 1974. | 0,026 | 0,72 | 0,036 |
| 15/16. | 01. 1974. | 0,033 | 0,80 | 0,041 |
| 17/18. | 01. 1974. | 0,016 | 1,59 | 0,010 |
| 21/22. | 01. 1974. | 0,010 | 0,91 | 0,011 |
| 23/24. | 01. 1974. | 0,016 | 0,79 | 0,020 |
| 12/13. | 03. 1974. | 0,015 | 0,94 | 0,015 |
| 13/14. | 03. 1974. | 0,023 | 1,34 | 0,017 |
| 14/15. | 03. 1974. | 0,026 | 0,54 | 0,049 |
| 18/19. | 03. 1974. | 0,025 | 0,13 | 0,192 |
| 19/20. | 03. 1974. | 0,010 | 0,99 | 0,010 |
| 20/21. | 03. 1974. | 0,014 | 0,99 | 0,014 |
| 21/22. | 03. 1974. | 0,013 | 0,69 | 0,019 |
| 25/26. | 03. 1974. | 0,024 | 0,79 | 0,030 |
| 26/27. | 03. 1974. | 0,028 | 0,86 | 0,032 |
| 27/28. | 03. 1974. | 0,021 | 1,13 | 0,019 |
| 28/29. | 03. 1974. | 0,019 | 0,78 | 0,024 |
| 1/2. | 04. 1974. | 0,016 | 0,37 | 0,043 |
| 2/3. | 04. 1974. | 0,016 | 0,69 | 0,023 |
| 4/5. | 04. 1974. | 0,016 | 0,48 | 0,033 |
| 9/10. | 04. 1974. | 0,011 | 0,84 | 0,013 |
| 10/11. | 04. 1974. | 0,013 | 1,43 | 0,009 |
| 15/16. | 04. 1974. | 0,012 | 0,35 | 0,034 |

Omjeri radioaktivnog i stabilnog olova kreću se u području $10^{-2}$ - $10^{-3}$ pCi/µg, a prosječne vrijednosti za dva obradjena razdoblja iznose 0,016 odnosno 0,034 pCi/µg što izraženo u prikladnijim jedinicama iznosi 16 odnosno 34 nCi/g tj. tri reda veličine više nego kod uzoraka prirodnog olova.

Zagrebački Institut za medicinska istraživanja gdje su ispitani uzorci uzeti, nalazi se podalje od gradskog centra tj. u području gdje promet nije gust, a industrije uopće nema, pa je i nivo stabilnog olova znatno ispod onog u najzagadjenijim regionima. Rezultati dobiveni na ovoj lokaciji mogu korisno poslužiti za komparaciju s podacima iz područja visoke zagadjenosti kao što su mjesta najgušćeg prometa i industrijskih kompleksa, te lokacija praktički oslobodjenih zagadjenosti (udaljenih od cesta i tvornica). Paralelno praćenje može uz odgovarajuću matematičku obradu podataka dati odgovor o postojanju veze izmedju ljudskih djelatnosti i porasta nivoa olova-210 u zraku.

Kako se iz tablica 1. i 2. vidi omjeri nisu dali odgovor na pitanje da li raspršenje Pb-210 u okoliš putem fosilnih goriva povisuje radioaktivnost biosfere. Da bi se ustanovilo postoji li linearna ovisnost izmedju Pb i Pb-210 u atmosferi, izračunat je koeficijent korelacije po izrazu (4)

$$r = \frac{\Sigma(x-\bar{x})\ (y-\bar{y})/N-1}{\frac{\Sigma(x-\bar{x})^2}{N-1}\ \frac{\Sigma(y-\bar{y})^2}{N-1}}$$

TABLICA 3

*Vrijednost koeficijenta korelacije r za stabilno i radioaktivno olovo*

| Dnevni uzorci 1973. | Dnevni uzorci 1974. |
|---|---|
| + 0,044 | + 0,22 |

Iz podataka je vidljivo da za mali broj uzoraka iz 1973. godine nema korelacije dok još uvijek niska vrijednost za 1974. godinu indicira da bi se možda većim brojem paralelnih uzoraka došlo do traženog odnosa.


Summary

During 1973 and 1974 the contamination of air with stable lead and lead-210 was controlled. Experimental data are shown which were obtained at that time. There is no correlation in 1973 samples and a low value for 1974.

## Literatura

1. JAWOROWSKI Z. Stable and Radioactive Lead in Environment and Human Body. Nuclear Energy Information Center, Warsaw (1967).

2. JAWOROWSKI Z. Nature 224 (1966) 886.

3. WELLER R.J., ANDERSON E.C. Nature 206 (1965) 1211.

4. MANDEL J. The Statistical Analysis of Experimental Data. Interscience Publishers, J. Wiley & Sons N.Y. (1966) str. 55.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

D.Patić, R.Smiljanić, D.Stojanović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# ISPITIVANJE UNUTRAŠNJE STRUKTURE TEMPERATURSKOG GRADIJENTA U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE

## R E Z I M E

U radu je izvršena spektralna analiza temperaturskog gradijenta, za jedan tipičan letnji i jedan tipičan zimski mesec, sa ciljem utvrdjivanja značajnih komponenata u njegovoj strukturi. Analizirane su vrednosti temperaturskog gradijenta u sinoptičkim terminima, za jul (6 godina) i januar (8 godina). S obzirom na značaj temperaturskog gradijenta u procesu rasturanja kontaminanta, ovakve analize omogućavaju uvid u udeo meteorološke komponente u ovom procesu.

## U V O D

Pri nepromenjenim uslovima izbacivanja kontaminanta u atmosferu zagadjenje vazduha može značajno da se razlikuje u zavisnosti od meteoroloških uslova. Kako je vertikalni gradijent temperature jedan od najvažnijih faktora koji utiču na difuziju polutanata u prizemnom sloju, izučavanje njegove statističke strukture ima veliki praktični značaj i omogućava bolje sagledavanje fizičkih procesa koji utiču na difuziju, kao i ocenu njihovog relativnog značaja.

Zbog postojanja godišnjeg hoda i razlike u dnevnim promenama ovih parametara u različito doba godine, pri analizi meteoroloških parametara vrši se podela po sezonama. Ovo omogućava isticanje specifičnosti u promeni meteoroloških parametara koje su vezane za sezonske osobenosti procesa u atmosferi.

U okviru ovoga rada, vršena je analiza vremenske strukture gradijenta temperature za letnji i zimski period. Kao tipičan za zimski period izabran je januar, dok je jul poslužio za analizu letnjeg perioda. Analiza je vršena preko skupova od 8 realizacija za januar (počev od 1969. do 1976.godine zaključno) i 6 realizacija za jul (u periodu od 1969.-1975.godine nedostaje realizacija za 1972.godinu).

Realizacije su predstavljene vremenskim nizom vrednosti gradijenta temperature, za sloj vazduha izmedju 2 i 40m, uzetim u sinoptičkim terminima (1,4,7,10,13,16,19 i 22 časa).

## 1. Metod analize

Uzimajući u obzir slučajni karakter promena gradijenta temperature u toku vremena za ispitivanje njegove strukture korišćene su metode analize slučajnih procesa. Ove metode omogućavaju dobijanje statističkih karakteristika analiziranog procesa koje imaju sasvim realan fizički smisao. Jedna od takvih karakteristika je i spektar vremenskog niza, koji daje odgovor o raspodeli disperzije procesa po komponentama koje učestvuju u njegovom stvaranju. Izmedju spektra vremenskog niza x(t) i disperzije postoji vrlo jednostavna relacija izražena kao

$$\sigma_{xx}^2 = \overline{[x(t) - \bar{x}]^2} = \int_0^\infty S_{xx}(f)\, df$$

gde je $S_{xx}(f)df$ udeo komponenata u frekventnom opsegu izmedju f i f+df u ukupnoj disperziji niza.

## 2. Obrada podataka

Mesečne realizacije gradijenta temperature za januar i jul bile su predstavljene sa 248 srednjih časovnih vrednosti sa intervalom diskretizacije od 3 sata. Ocena spektra svake realizacije izračunata je preko Furijeovog transforma autokorelacione funkcije - $R_{xx}(\tau)$ na osnovu jednačine:

$$S_{xx}(f) = \frac{R_{xx}(o)}{m} + \frac{2}{m}\sum_{\tau=1}^{m-1} R_{xx}(\tau)\cos\frac{\tau f\pi}{m} + \frac{R_{xx}(m)}{m}(-1)^f$$

gde je x = Analisirana veličine, u našem slučaju $\Delta t/\Delta z$

$R_{xx}(\tau) = [x(t)-\bar{x}][x(t+\tau)-\bar{x}]$

m = tačka prekida do koje je računata vrednost $R_{xx}(\tau)$

f = red harmonika (prvi harmonik ima periodu $2m\Delta t$, drugi $m\Delta t$, treći $\frac{2m\Delta t}{3}$, itd.)[1]

3. Diskusija rezultata

Spektri dobijeni na osnovu neposredno izmerenih vrednosti ukazuju da je vrlo veliki deo disperzije procesa sadržan u vrlo uskoj frekventnoj traci (jedna oscilacija na 24 časa). Dočljiva je, medjutim, razlika izmedju skupova realizacija za januar i jul. U tabeli I date su srednje vrednosti i disperzije za svaku analiziranu realizaciju, kao i njihove srednje vrednosti za posmatrani period.

Tab.1.

Srednje vrednosti i disperzija

| Godina | $\bar{x}$ | | $\sigma^2$ | |
|---|---|---|---|---|
| | januar | juli | januar | juli |
| 1969 | -0,62 | -0,36 | 0,96 | 4,13 |
| 1970 | -0,89 | -0,29 | 0,86 | 7,29 |
| 1971 | -0,94 | -0,57 | 1,53 | 6,40 |
| 1972 | -0,31 | - | 0,39 | - |
| 1973 | -0,71 | -0,10 | 0,86 | 5,48 |
| 1974 | -0,87 | -0,46 | 1,34 | 9,23 |
| 1975 | -2,02 | 0,17 | 3,40 | 7,32 |
| 1976 | -1,02 | - | 1,99 | |
| Srednja vred. | -1,04 | -0,32 | 1,56 | 6,64 |

Iz tabele se vidi da mesec januar ima u proseku jače izražene razlike temperature po visini,nego juli,ali su kolebanja gradijenta temperature u odnosu na srednju vrednost mnogo jače izražena u julu nego u januaru. Analiza ocene značajnosti razlika izmedju pojedinih realizacija u svakom od skupova pokazala je da se sa 95% sigurnošću može tvrditi da su razlike izmedju realizacija slučajne,sa izuzetkom realizacije za 1972.godinu u januarskom skupu. Detaljna analiza sinoptičkih uslova u januaru 1972.god. pokazala je da razvoj vremenskih uslova u ovom mesecu nije bio specifičan za ovo područje.Vremenski uslovi u januaru 1972.g. odlikovali su se izuzetno vetrovitim i suvim vremenom.Duvala je "košava", vrlo jaka po brzini strujanja vazduha i vrlo duga po trajanju.Zabeleženi su udari "košave" veći od 25 m/sec koji su pogodovali intenzivnom mešanju vazdušnih masa i smanjenju vertikalnog gradijenta temperature čak do uslova bliskih indiferentnoj ravnoteži. Zbog toga pri donošenju zaključaka o ponašanju gradijenta temperature u zimskom periodu,realizacija za januar 1972.g. nije uzeta u obzir.

Ako se pogleda struktura spektara za januar,odnosno jul,uočavaju se značajne razlike (Sl.1 i 2). I ako u oba meseca najveći deo disperzije otpada na 24-časovnu komponentu,učešće ove komponente u ukupnoj

disperziji gradijenta temperature je oko dva puta veća u julu nego u januaru.Sem toga,u spektru za januar pojavljuju se i komponente kojih u julskom spektru nema,ili su slabo izražene.Komponenta perioda T=12 časova mnogo je jače izražena u januaru nego u julu,dok je komponenta sa periodom T=8 časova u oba spektra slabije izražena,ali nešto više u julu nego u januaru. Pojavu oscilacije sa periodom T=8 časova medjutim nije bilo osnovano očekivati ni u jednom od ovih spektara, s obzirom da se u ovoj oblasti nalazi meteorološki minimum za većinu meteoroloških parametara.Zbog toga je ispitivana pouzdanost njegove lokacije na frekventnoj skali,preko realizacije sa većom vremenskom diskretizacijom podataka.Time je povećan frekventni opseg spektra,čime je postignuto da ova frekvenca ne leži blizu granične,najviše,frekvence,koja zavisi od stepena diskretizacije i koja može da bude uzrok ovih grešaka(aliasing) [2,3] .Medjutim,lokacija pika ostala je nepromenjena,što ukazuje na njeno stvarno postojanje u spektru.

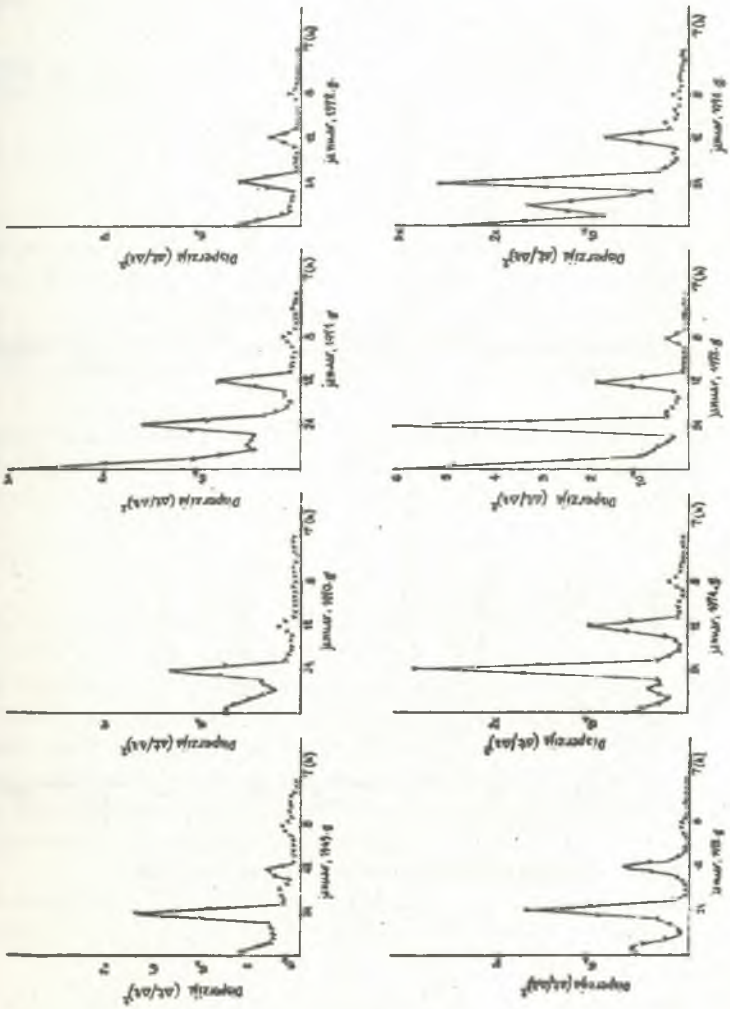
U januarskim spektrima pojavljuje se i četvrti pik,u niskofrekventnoj oblasti spektra,koji odgovara periodu izmedju 2 i 3 dana. Ovaj pik se izrazito javlja jedino u januarskom skupu za 1976.god.,a u spektrima za ostale godine ili ga nema ili je samo nagovešten.Da bismo ustanovili uzroke nastanka ovog pika u 1976.g.,proučen je razvoj vremena na bazi analize sinoptičkih podataka za mesec januar u 1973. i 1976.g. 1973.godina je izabrana kao godina u kojoj se ovaj pik uopšte ne pojavljuje.Na osnovu izvršenih analiza može se konstatovati da je tokom januara 1976.g. naše područje bilo pod jakim uticajem ciklonskih aktivnosti,što je manifestovano čestim promenama vazdušnih masa,odnosno čestim prelazima frontova preko ovog područja(ukupno 8 prelaska). Nasuprot tome,januar 1973.g. se odlikovao prilično stabilnim vremenskim uslovima sa vrlo retkim prelazima frontova(samo dva prelaska fronta preko ovog područja-jedan na početku i jedan na kraju meseca). Očigledno je da su ovi hladni frontovi uslovili pojavu pika sa periodom od 2-3 dana u spektru gradijenta temperature za 1976.godinu.


## Investigation of the internal structure of temperature gradient in the ground layer atmosphere

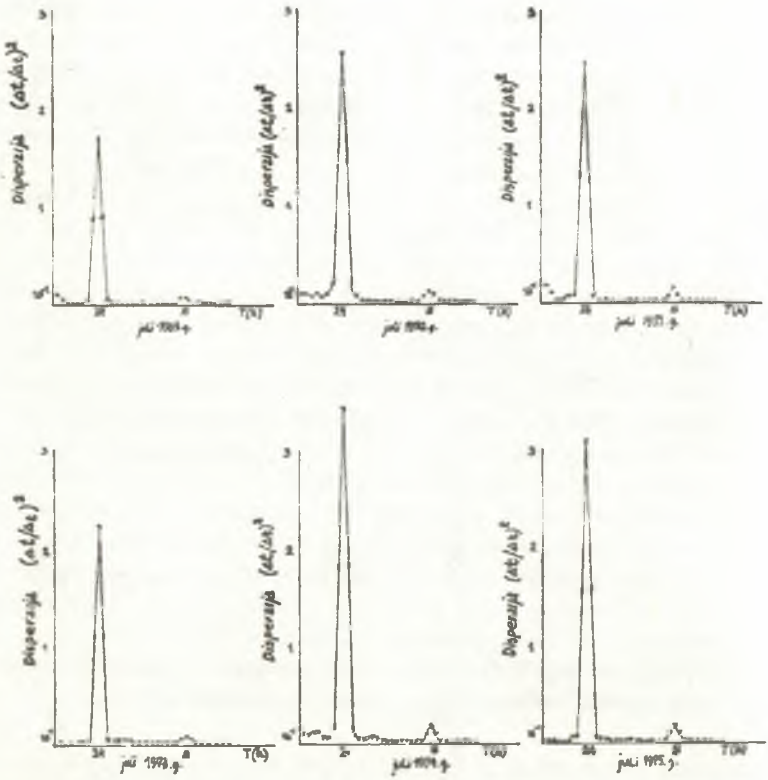
As a part of program for studying the influence of particular meteorological parameters on the dispersion of different pollutants in the ground layer atmosphere,the authors are studied,using the method of spectrol analysis,the importance of the temperature gradient on these processes,by analysing internal structure of this gradient in specific seasonal conditions.

**Reference:**

1. H.A.Panofsky and G.W.Brier "Some applications of statistics to meteorology" (1967), University Park, Pennsylvania
2. G.M.Jenkins and D.G.Watts "Spectral analysis and its applications" (1969) Holden Deay, Amsterdam.



Sl.1. Spektri gradijenta temperature za januar




Sl.2. Spektri gradijenta temperature za juli

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva
za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Autori: Čustović Fatima i Ankica Leovac
Institucija: Institut za higijenu, socijalnu medicinu i medicinu rada, UMC-a Sarajevo.

# KOLIČINA Sr-90 I Cs-137 U DNEVNOM OBROKU STANOVNIŠTVA BiH I PROCJENA DNEVNOG UNOSA

## R E Z I M E

Autori ovog rada su željeli da odrede količinu Sr-90 i Cs-137 u dnevnom obroku stanovništva gradova Mostara, Banja Luke i Sarajeva. Uzorci pripremljenog dnevnog obroka uzimani su u svakoj sezoni u odabranim porodicama tokom 1976. godine. Poznavajući prosječnu težinu dnevnog obroka, autori su izračunali dnevni unos Sr-90 i Cs-137.

Prosječni unos Sr-90 i Cs-137 hranom izražen u pC/dan za stanovništvo ispitivanih gradova iznosio je 20,16 za Sr-90, odnosno 10,00 za Cs-137.

## U V O D

Dosadašnji radovi, čiji je predmet bio ispitivanje količine Sr-90 i Cs-137 u namirnicama različitog porijekla (2,7), nepobitno ukazuju da su sve namirnice kontaminirane sa Sr-90, odnosno Cs-137. Ova radioaktivna kontaminacija je imala oscilaciju u pravcu povišenja, odnosno smanjenja aktivnosti kod pojedinih vrsta namirnica. To je opet, sa svoje strane, imalo uticaja na opštu radioaktivnu kontaminaciju životne sredine raspadnim produktima svježih nuklearnih eksplozija.

Kontaminacija ljudskog organizma radioaktivnim materijalima, koji potiču iz nuklearnih taloga, odvija se uglavnom ingestijom

tj. putem probavnog trakta. Kretanje radioaktivnih materija od oborina,preko tla ili vodnih površina na koje se istalože do čo vječjeg organizma dosta je složeno i ovisno je o fizikalnim i hemijskim karakteristikama radionukleida, o mjestu taloženja kao i o sposobnosti radionukleida da prolaze kroz biološke sisteme. Pod uslovima odredjenog stepena kontaminacije životnih namirnica sa Sr-90 i Cs-137 unošenje ovih radionukleida u ljude će ovisiti u najvećoj mjeri o strukturi njihove ishrane (6).

Naša najnovija ispitivanja ishrane stanovništva u SRBiH provedena u 1974. godini u seoskim i gradskim porodicama (5) pokazuju da je u prosječnom dnevnom obroku udio hljeba, brašna i proizvoda od tijesta 40,3%, mlijeka i mliječnih proizvoda 11,8%, povrća i voća 13,5%, a ostatak se odnosi na meso, masnoću i sl. Unutar naše Republike postoje velike varijacije u količini i asortima nu hrane, odnosno učešću pojedinih namirnica u dnevnom obroku. Nadalje, na sadržaj kalcija i kalija, odnosno Sr-90 i Cs-137 utiču postupci prerade namirnica i kuhanja.

Da bi ispitali visinu ekspozicije stanovništva BiH prema Sr-90 i Cs-137 iz okoline u kojoj žive, ograničavajući se na dijetet ske izvore kao glavne kontaminante ljudskog organizma, uzimali smo sezonske uzorke dnevnog obroka u odabranim porodicama gra dova Banja Luke, Mostara i Sarajeva tokom 1976. godine. Uzorci dnevnog obroka hrane su mjereni težinski i analizirani na sadr žaj stroncijuma - 90 i cezijuma - 137 (8).

## R E Z U L T A T I

Količine Sr-90 i Cs-137 u uzorcima dnevnog obroka stanovništva Banja Luke, Mostara i Sarajeva tokom sve četiri sezone 1976. go dine nalaze se u tabeli 1.

Iz rezultata prikazanih u tabeli 1. može se vidjeti da je koli čina Sr-90 odnosno Cs-137 u dnevnom obroku mjerljiva i da ona ima maksimume u proljetnim odnosno jesenjim uzorcima.

TABELA 1.

KOLIČINE Sr 90 i Cs-137 U SEZONSKIM UZORCIMA DNEVNOG OBROKA IZABRANIH PORODICA U BOSNI I HERCEGOVINI TOKOM 1976. GODINE

| MJESTO | TEŽINA DNEVNOG OBROKA U gramima | SEZONA | KOLIČINA Sr-90 | | Količina Cs-137 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | pC/g Ca | pC/kg | pC/gK | pC/kg |
| Mostar | 1760 | Proljeće | 15,28 | 28,35 | 4,15 | 3,23 |
| Sarajevo | 1265 | Proljeće | 3,90 | 6,40 | 11,20 | 6,89 |
| B.Luka | 1625 | Proljeće | 5,61 | 12,52 | 3,14 | 5,40 |
| PROSJEK | 1550 | Proljeće | 8,26 | 15,76 | 6,16 | 5,17 |
| MOSTAR | 2170 | Ljeto | 9,78 | 18,15 | 3,13 | 4,80 |
| Sarajevo | 1695 | Ljeto | 7,25 | 7,31 | 2,98 | 3,18 |
| B.Luka | 1680 | Ljeto | 5,78 | 5,23 | 4,67 | 4,09 |
| PROSJEK | 1848 | Ljeto | 7,60 | 10,23 | 3,59 | 4,02 |
| SArajevo | 1398 | Jesen | 13,14 | 34,14 | 5,97 | 12,58 |
| B.Luka | 1889 | Jesen | 1,90 | 3,10 | 3,56 | 6,08 |
| Mostar | 1818 | Jesen | 5,46 | 14,62 | 4,93 | 8,86 |
| PROSJEK | 1698 | Jesen | 6,83 | 17,28 | 4,82 | 9,51 |
| Sarajevo | 1885 | Zima | 3,26 | 5,68 | 2,77 | 4,06 |
| B.Luka | 1872 | Zima | 2,81 | 2,67 | 5,77 | 6,11 |
| Mostar | 1640 | Zima | 2,51 | 3,60 | 2,87 | 4,08 |
| PROSJEK | 1732 | Zima | 2,86 | 3,98 | 3,80 | 4,75 |
| GOD.PROS. | 1707 | | 6,39 | 11,81 | 4,59 | 5,86 |

Maksimalne količine Sr-90 i Cs-137 su nadjene u dnevnom obroku porodica iz Sarajeva (13,14 pC Sr-90/gCa) u jesenjem periodu ispitivanja, odnosno (11,20 pC Cs-137 /gK) u proljetnjem periodu ispitivanja.

Ako se izračuna dnevni unos Sr-90 i Cs-137 po gradovima i sezonama onda se može vidjeti da stanovništvo Mostara i Sarajeva unosi hranom veće količine Sr-90, nego stanovništvo Banja Luke. Što se tiče Cs-137 tu je dnevno unošenje podjednako za stanovništvo sva tri ispitivana grada (tabela 2.).

TABELA 2.
DNEVNI UNOS Sr-90 i Cs-137 HRANOM STANOVNIŠTVA GRADOVA BANJA LUKE, MOSTARA I SARAJEVA TOKOM 1976.GODINE

| SEZONA | PROSJEČNA TEŽINA OBROKA g. | pC Sr-90/dan | | | pC Cs-137/dan | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mostar | B.Luka | Sarajevo | Mostar | B. Luka | Sarajevo |
| Prolj. | 1550 | 43,94 | 19,40 | 9,92 | 5,00 | 8,37 | 10,68 |
| Ljeto | 1848 | 33,54 | 9,66 | 13,50 | 8,87 | 7,55 | 5,88 |
| Jesen | 1698 | 24,32 | 5,26 | 57,97 | 16,94 | 10,32 | 21,36 |
| Zima | 1732 | 6,24 | 4,62 | 9,84 | 7,07 | 10,58 | 7,03 |
| PROSJEK | 1707 | 36,18 | 12,98 | 30,41 | 12,63 | 12,27 | 14,98 |
| PROSJEK ZA REP. | | | 20,16 | | | 10,00 | |

D I S K U S I J A

Po preporukama Medjunarodne komisije za radiološku zaštitu za eks pozicije stanovništva u cjelini predloženo je da se kao maksimalno dopušteni nivo kontaminacije cjelokupne hrane uzima 270 pC Sr-90/gCa i 7000 pC Cs-137/gK (3).

U toku naših ispitivanja prosječna količina Sr-90 je bila 2,36% od dozvoljenog nivoa a 0,07% od dozvoljenog nivoa za Cs-137, dok je maksimalna količina Sr-90 iznosila 4,9% od dozvoljenog nivoa, odnosno 0,16% od dozvoljenog nivoa za Cs-137.

Služeći se našim podacima za 1976. godinu stanovništvo SRBiH prosječno pojede hranom 7.357,6 pC Sr-90/god., a 3.650,8 pC Cs-137/god. Ako se naši rezultati uporede sa dostupnim podacima grada Čikaga za isti period (4), onda se može vidjeti da naše stanovništvo pojede godišnje za oko 40% više Cs-137, odnosno30% više Sr-90, nego stanovništvo Čikaga.

## Z A K L J U Č C I

U ovom radu je analizirano 12 prosječnih dnevnih obroka hrane stanovništva Banja Luke, Mostara i Sarajeva tokom sve četiri se zone 1976. godine na sadržaj Sr-90 i Cs-137.

Iz ovih rezultata mogu se dati sljedeći zaključci:

a) u toku 1976. godine prosječan sadržaj Sr-90 i Cs-137 u pripremljenoj hrani ispitivanih porodica Banja Luke, Mostara i Sarajeva iznosio je 6,39 pC Cs-90/gCa, odnosno 4,59 pC Cs-137/gK;

b) polazeći od ovih podataka i srednje vrijednosti težine ukupnog dnevnog obroka (1.707 g) prosječan stanovnik SRBiH unosi dnevno 20,16 pC Sr-90, odnosno 10,00 pC Cs-137;

c) u odnosu na maksimalno dopušteni nivo, koji je preporučila Međunarodna komisija za radiološku zaštitu prosječan sadržaj Sr-90 iznosio je oko 2,4% a prosječan sadržaj Cs-137 iznosio je 0,07% od maksimalno dopuštenog nivoa;

d) Ako se dobiveni podaci o sadržaju Sr-90 i Cs-137 u dnevnom obroku preračunaju za adolescente (populacija od 16 do 19 godina) koji konzumiraju veće količine hrane (3,76 kg) onda se može pretpostaviti da će dnevni unos te populacije biti maksimalan.

L I T E R A T U R A

1. BENNETT B.G. (1976): Sr - 90 IN THE DIET, HASL - 318, april 1977.

2. ĆUSTOVIĆ F., LEOVAC A.(1976): KONTAMINACIJA NAMIRNICA SA Sr-90 U SR BOSNI I HERCEGOVINI, stručno naučni sastanak "Zdravlje i prirodna sredina u SRBiH", Akademija nauka i mjetnosti BiH, 1976.

3. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1964) J. CRP. REPORT OF THE COMMITTEE II ON PERMISSIBLE DOSE FOR INTERNAL RADIATION, LONDON

4. KARTTUNEN O. JOHN (1976): Cs-137 IN VARIOUS CHICAGO FOODS, HASL 315, 1977.

5. RADOVANOVIĆ M, ĆUSTOVIĆ F. (1976): "Anketa porodične ishrane u gradu i selu u regionu Sarajeva i Mostara" - rad u štampi

6. RUSSEL R.S. AND BURTON J.D. (1966):"Sr-90 IN HUMAN DIET" u knjizi "Radioactivity and Human Diet", Pergamon Pres, London

7. ŽARKOVIĆ G., ĆUSTOVIĆ F. et al. (1963): Zdravstveni značaj kontaminacije hrane sa Sr-90 u Bosni i Hercegovini, radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu, Publikacija 5. Sarajevo

8. WOLD HEALTH ORGANISATION (1966): "Methods of Radiochemical Alalysis, WHO Geneva,

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.VI 1977.

P.S.Bojović i M.Mladjenović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# RASMATRANJE POJAVE PRIRODNIH RADIONUKLIDA KOJI DOSPEVAJU U ŽIVOTNU SREDINU UPOTREBOM PROIZVODA DOBIJENIH IZ MINERALA FOSFORITA

## REZIME

Rad je napisan kao uvodno rasmatranje elemenata koje je potrebno izučiti u cilju dobijanja podataka na osnovu kojih može da se proceni izlaganje stanovništva zračenju radionuklida koji potiču iz prerade minerala fosforita i upotrebe raznih proizvoda koji se iz njega dobijaju, a naročito iz upotrebe fosfatnih djubriva.

Najpre je rasmotreno poreklo fosfatnih minerala, sadržaj urana i količine aktivnosti koje se u našu zemlju unose godišnje uvozom minerala fosforita-sirovine za veštačka djubriva. Zatim su rasmatrani putevi kojima radionuklidi odlaze u životnu sredinu.

Na kraju, izneti su neki podaci iz literature koji ukazuju na puteve urana i na doze koje se mogu očekivati za izlaganje stanovništva i profesionalaca zračenju radionuklida iz fosfatnih djubriva.

## U V O D

Razvoj i perspektive nuklearne tehnologije učinili su presudan uticaj na razvoj zaštite od zračenja, tako da se koncepcije, pristup i postignuti rezultati procenjuju kao model od koga bi se moglo dosta stvari usvojiti za potrebe savremen zaštite životne sredine. Najnovije aproksimativne procene /1/ o tehničko-tehnološkim mogućnostima zaštite od zračenja, koje se mogu realizovati na planu mirnodopske proizvodnje i korišćenja nuklearne energije, daju osnova za očekivanje da u jednoj zemlji, kada bude imala 1 KW instalisane nuklearne električne snage po stanovniku, a to je oko 22 jugoslovenskog dela Djerdapa na nuklearni pogon, zračenja iz ovih nuklearnih potencijala može da prouzrokuje godišnje: jedan smrtni slučaj od raka, jedan rak koji je izlečiv hirurškom intervencijom, jedan smrtni nesrećni slučaj i oko 50 slu-

čajeva invaliditeta izazvanih raznim nesrećnim slučajevima; nekoliko godina posle puštanja u pogon citiranih nuklearnih potencijala može se očekivati i oko 1,5 genetskih malformacija godišnje.

Makar da se radi o vrlo aproksimativnim procenama, očekivanje ovako niskog stepena izlaganje zračenju iz nuklearnih postrojenja izazvalo je, što je sasvim opravdano, da se proučavaju i procenjuju izlaganja stanovništva i zračenju svih drugih izvora iprirodnog i veštačkog porekla, uključujući i prirodne radioaktivne izotope koji zbog savremenog progresa i ljudskih potreba postaju sve bliži stanovništvu i ozračuju ga mnogo više no što bi činili da su ostali u prirodi, a na mestima i u obliku u kome su nastali.

Našu pažnju po ovom problemu privukli su prirodni minerali fosfata iz sledećih razloga:

1. Naša zemlja uvozi godišnje i preradjuje u fosfatna djubriva i druge proizvode oko 1.000.000 tona fosfatnih minerala, u prvom redu iz bazena Sredozemlja /2/.

2. Neki minerali fosfata sadrže i do 300 ppm urana, što znači do 300 grama urana po toni sirovine /3/.

Sa iznetih razloga počeli smo sa izučavanjem ovoga problema, a u eksperimentalnom delu startovali sa odgovarajućim merenjima u cilju odradjivanja sadržaja urana i produkata njegovog raspada u nekim uvoznim fosfatima i proizvodima koji se iz njih dobijaju /4/, a takodje i sa sličnim ispitivanjima za neke ugljeve domaćeg porekla /5/.

## Poreklo fosfatnih minerala

Za potrebe ovoga rada, tj sa gledišta sadržaja urana, važno je ukazati na dve vrste minerala koji sadrže fosfate, to su apatiti i fosforiti.

Apatiti su minerali prisutni u formacijama eruptivnog porekla; opšta im je formula $Ca_5R(PO_4)_3$, u kojoj je R oznaka za elemente F,Cl ili za grupu OH; deo kalcijuma može biti zamenjen sa Sr,Ba,Mg,Fe i nekim drugim elementima. Sadržaj urana je vrlo mali i iznosi nekoliko ppm.

Fosforiti su rude sedimentnog porekla, koje su nastale kao rezultat taloženja fosfata kalcijuma iz morske vode; sadrže kvar-

ca - $SiO_2$, kalcita-$CaCO_3$, dolomita-$CaCO_3MgCO_3$, alumosilikate, čestice gline, a u zemljinoj kori nalaze se u obliku slojevitih ležišta ili izdvojenih komada. Globalni srednji sadržaj urana u fosforitima varira u dosta širokim granicama, a zavisno od regiona i nekih drugih okolnosti; za sada se smatraju kao reprezentativni sledeći sadržaji: Maroko od 200 do 350 ppm, Tunis od 90 do 250 ppm, Alžir od 200 do 250 ppm, Egipat do 100 ppm, Florida 10 do 1.500 ppm i Francuska 20 do 150 ppm.
Ovde treba podvući da citirani sadržaji nisu konstantni, da i oni takodje znatno variraju i u okviru jednoga rudišta.

Procena aktivnosti u uvezenim fosfatima

Ako se kao ulazni podaci usvoje godišnji uvoz severnoafričkih fosforita od 1.000.000 tona i 150 ppm kao srednji sadržaj urana, onda proizilazi da se u našu zemlju svake godine uveze, preradi i rasturi oko 150 tona urana, što odgovara akivnosti od 50 Ci ovoga izotopa.

Fosforiti kao rude sedimentnog porekla mnogo su starije od perioda potrebnog za uspostavljanje radioaktivne ravnoteže U-Ra (period t 15.000 godina=10 $T_{Ra}$), što znači i za kompletno uspostavljanje ravnoteženog stanja uranove familije. Ovaj zaključak mogao bi navesti na predpostavku maksimalne aktivnosti od oko 700 Ci, računajući na sve radioaktivne izotope iz familije uran-radijum. Medjutim, ova cifra mora se primiti sa rezervom iz više razloga, a najpre zbog činjenice da odlaskom dela gasovitog elementa radona iz površinskih slojeva, članovi familije posle radijuma nisu u ravnoteži sa roditeljom; u razloge za nekompletno ravnotežno stanje moraju se ubrojiti i razni fizičko-hemijski procesi koji su delovali na članove familije, a naročito oni koji su delovali na Ca i Ba i koji su povlačili Ra kao homologu višeg rednog broja.

Globalna distribucija aktivnosti tokom prerade fosforita

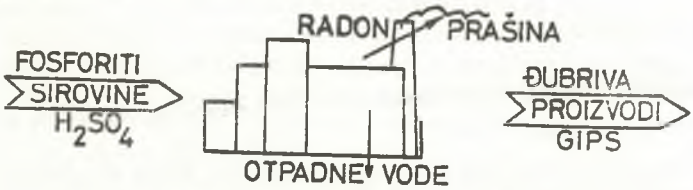
Preradom fosforita na različite načine, počev od običnog mlevenja kojim se dobija fosfatno brašno, pa preko ekstrakcionih, elektrohemijskih i drugih hemijskih postupaka, dobijaju se fosfona kiselina, superfosfati i druga djubriva, fosfati za ishranu stoke, a često i gips.

Tokom ovih procesa, a zbog većeg broja primenjenih postu-

paka mlevenja, rastvaranja, grejanja itd., radioaktivne komponente prate sudbinu jedinjenja u kojima se nalaze, a neki radioaktivni izotopi ponašaju se kao njihove niže homologe, Ra na primer, prati tokove Ca i Ba.

Iz svih ovih procesa i postupaka nastaju, normalno, otpadne vode, prašina i pare, koji kroz odredjene ventilacione i sabirne sisteme odlaze na odgovarajuća tretiranja. Kroz ventilacioni sistem odlazi i radioaktivni gasoviti elemenat radon.

Na osnovu izloženog sačinjeni su i na sl.br.1 prikazani osnovni putevi kojima radioaktivne komponente odlaze tokom prerade fosforita.




Sl. br. 1 - Mogući putevi radionuklida tokom prerade fosforita

Iz gornje šeme može se zaključiti sledeće:

1. Radon i deo radioaktivnih komponenata u obliku prašine i pare odlazi kroz ventilacioni sistem
2- Tokovima otpadnih voda odlaze takodje radioaktivni elementi
3- Najveći deo aktivnosti ostaje u produktima proizvodnje

Prvi put značajan je za neposrednu okolinu proizvodjača, treći za širu okolinu, a drugi ima uticaja na oba područja.

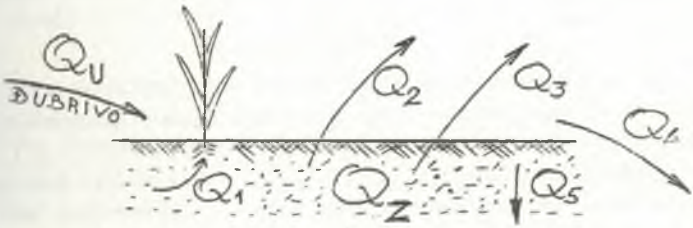
Mogući putevi radionuklida iz veštačkih djubriva

Za procenu spoljnjeg i unutrašnjeg izlaganja stanovništva zračenju radionuklida koji dospevaju u životnu sredinu korišćenjem veštačkih djubriva, vrlo je važno identifikovati i ispitati puteve, odnosno oceniti kritičen radionuklide i njihove kritične puteve.

Na skici br. 2 šematski su prikazani glavni mogući putevi radionuklida po unošenju fosfatnih djubriva u obradiva zemljišta. Oznake na skici predstavljaju: $Q_u$- aktivnost koja se tokom jedne godine baci po jednom kvadratnom kilometru ili hektaru obradive površine; $Q_1$- aktivnost koju apsorbuju poljoprivredne kulture;

$Q_2$- aktivnost radona koji napusti zemljište; $Q_3$- aktivnost koja napušta površine terena u obliku prašine; $Q_4$- spiranje uticajem atmosferskih padavina; $Q_5$- aktivnost koja prodire u dublje slojeve terena i $Q_z$ količina koja zaostaje posle svih procesa iščezavanja i koja se akomulira iz godine u godinu, može se prikazati na sledeći način:

$$Q_z = Q_u - \sum_{1}^{n} Q_i$$




Sl br 2 -Mogući putevi radionuklida iz upotrebljenog djubriva

Najvažniji ciklusi ovoga sistema ponavljaju se godišnje, tj. djubrenje, vegetacioni period, atmosferske prilike itd.,pa je zato najpogodnije da se izračunaju godišnje promene aktivnosti A za svaki izotop pojedinačno, a po vrlo jednostavnoj jednačini koja ima sledeći oblik:

$$(A_z)_t = (A_u)_0 \cdot e^{-(\lambda + \sum_{1}^{n} k_i)\cdot t}$$

U ovoj jednačini $\lambda$ je konstanta radioaktivnog raspada datog radionuklida, a $K_1, K_2 \ldots K_n$ su konstante iščezavanja $K_i$ zbog gore navedenih procesa.

U pregledanoj literaturi malo je podataka na osnovu kojih bi se moglo zaključiti o konstantama $K_i$; izvesno je da je konstanta ispiranja značajna jer je u izvesnim rekama konstatovano povećanje koncentracije urana koji se pripisuje fosfatnim djubrivima: anomalne koncentracije urana konstatovane su dugogodišnjem praćenjem njegovih koncentracija u nekim američkim rekama /6/ koje se

ulivaju u Meksički zaliv.

Sa iznetih razloga biće potrebno dosta rada da se dobijaju podaci potrebni za procenu unutrašnjeg i spoljneg izlaganja zračenju radionuklida iz fosfatnih djubriva; ima dosta osnova za predpostavku da će biti manje komplikovana ocena spoljnjeg izlaganja, jer će biti lakše doći do elemenata potrebnih za ova proračunavanja, a takodje i do potrebnih modela.

U SR Nemačkoj za fosfatna djubriva se ocenjuje da doze od spoljneg ozračivanja iznose 1,7 mrd/godišnje za stanovništvo, a oko 2 mrd/godišnje za profesionalce zaposlene u poljoprivredi /7/.


## ABSTRACT

In this paper factor which are of same importance for the environment of the radionuclides appearing during the production and use of the phosphate fertilizers are considered.

Quantities of uranium contained in the anniualy imported phosphate have been estimated. Same data from literature due to presence of radionuclides in the phosphate fertilizers are presented and discused.


## LITERATURA


1. Eduard E. Pochin, MD,FRCP, "Estimation de l'exposition de la population aux rayonnements résultant de la production d'energi nucleaire et provenant d'autres Saurces", Agence pour l'énergie nucléaire, OCDE, Janvier 1976, Paris.
2. "Statistika spoljne trgovine SFR Jugoslavije", Beograd 1976, Savezni zavod za statistiku.
3. René Coppens,"La radioactivité des roches, Presses universitaires de France, Paris 1957.
4. M.Mladjenović, P.Bojović i A. Kukač, "Sadržaj urana u prirodnim fosfatima i nekim proizvodima dobijenim iz ove sirovine", u pripremu za štampu.
5. P.S.Bojović, "Zagadjenje okoline prirodnim radioaktivnim izotopima koji rezultuju iz nekih klasičnih tehnologija", u pripremi za štampu kao IBK publikacija.
6. R.F.Spalding and W.M.Sackett, "Uranium in Runoff from the Golf of Mexico Distributive Province: Anomalous concentrations" Science, 1972, Vol 175.
7. H.Pfister, G.Philipp and H.Pauly, "Population dose from natural radionuclides in phosphate fertilizers", Institut für Radiologie der universität Erlangen - Nürnberg.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.5. do 3.6.1977.

Koršić Emilija, Milošević Z., Bauman Alica, Kljajić R.

Zavod za radiologiju Veterinarskog fakulteta Sarajevo
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Zagreb

# KOLIČINA $^{40}K$, $^{90}Sr$ I $^{137}Cs$ U VODI I RIBAMA DOMAĆIH RIBNJAKA

Sadržaj: Ispitani su uzorci pastrva iz voda ribnjaka u centralnoj Bosni. Srednja vrijednost za kalij iznosi 3 g/kg, što odgovara nalazima drugih autora. Srednja vrijednost Cs-137 = 31,5 pCi/kg. Ta vrijednost je 3,5 puta viša od srednje vrijednosti za Sr-90. Cs-137 u vodi je 60 puta niži od Sr-90.

Nuklearni pokusi koji su bili izvedeni tokom prošlih desetljeća doveli su do toga da još i danas u vodama pored prirodne radioaktivnosti postoje i fisioni produkti. Zbog radiotoksičnosti su najvažniji $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$, pošto se zbog kemijske sličnosti s kalijem i kalcijem akumuliraju u ribama. Poznavanjem koncentracije tih fisionih produkata u vodama i konzumnoj ribi kod normalnih okolnosti moguće je u danom momentu izračunati akumulacioni faktor za sistem voda/riba. Izbor ribnjaka proveden je tako da su uzete vode sa sadržajem kalija i kalcija u normalnim granicama, a koje neće nikada doći u obzir kao rezervoar za otpadne vode u nuklearnoj tehnologiji. Iz istih razloga izabrana je pastrva kao konzumna riba.

## Metode i rezultati

Za određivanje kalija primjenjena je gravimetrijska metoda taloženja Kalignostom /1/, za $^{90}Sr$ ekstrakcija tributil - fosfatom, a za $^{137}Cs$ separacija Cezignostom /3/. Mjerenja su izvršena na brojaču LOLA-4.

Vrijednost za stabilni kalcij u vodi leže oko 10 mg/l, a iste veličine tj. oko 10 mg/l dobivene su za stabilni kalij.

Tabela 1 - $^{40}K$, $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$ u vodi i pastrvi nekih ribnjaka u Centralnoj Bosni

| Vrsta radionuklida | riba pCi/l kg | voda pCi/l kg |
|---|---|---|
| $^{40}K$ | 2.516,62 | 7,46 |
| $^{90}Sr$ | 9,1o | 0,15 |
| $^{137}Cs$ | 31,45 | 9,12 |
| Uba | 2.789,oo | 18,o2 |

Uzeta je srednja vrijednost za pastrvu i vodu iz 3 ribnjaka.Koncentracija $^{137}Cs$ u ribi je 3,5 puta viša nego li $^{90}Sr$ premda je koncentracija $^{137}Cs$ u vodi šestdeset puta viša od $^{90}Sr$. Obzirom na ukupno veću koncentraciju $^{137}Cs$ kod računanja kontaminacije stanovništva koje se hrani ribom,treba težište prebaciti na $^{137}Cs$, pa je dovoljno ako se u ribi samo $^{137}Cs$ određuje /4/.

## Summary

The contamination of ponds and trout with $^{90}Sr$, $^{137}Cs$ and $^{40}K$ are described.

## Literatura

1. MILOŠEVIĆ Z.,HORŠIĆ EMILIJA,BAUMAN ALICA:Jednostavna metoda za detekciju $^{40}K$ u mesu.Veterinaria 24, 411,/1976/.
2. HARLEY J.ED.:Procedures Manual,Determination of $^{90}Sr$ Hasl-300 /1974/.
3. BAUMAN ALICA:Određivanje $^{137}Cs$ u ribama.V.Jug.simp.zaštita od zračenja. Bled 197o. No 8/03
4. ETTENHUBER E.CLAJUS P.ROHNSCH: Report SAS - 175 /1975/.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.5. do 3.6.1977.

Horšić Emilija

Zavod za radiologiju Veterinarskog fakulteta Sarajevo

# KONZUMNA VRIJEDNOST RIBE OBZIROM NA RADIOAKTIVNU KONTAMINACIJU

Sadržaj: Izvršena je analiza uzoraka osliča, skuša, sardela, lubina, zubaca i bakalara. Definiran je nivo njihove radioaktivnosti, te određena konzumna vrijednost obzirom na tržište.

U nastojanju da provjerimo kontaminiranost riba na sarajevskom tržištu sa $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$ zapazili smo pregledom literature o radiologiji mora da ima malo podataka o količini fisionih produkata u morskoj ribi. Daleko više podataka postoji o riječnoj ribi, premda morske ribe učestvuju sa daleko većim procentom u ishrani stanovništva /1/.

Riba predstavlja važan bioindikator kontaminacije za pojedine radionuklide. Uz to je riba i jedan od glavnih izvora proteina za ljudsku ishranu, pa je potrebno sprovoditi permanentnu radijacionu kontrolu.

Nivo kalija, od koga potječe glavni izvor prirodne radiokontaminacije, $^{40}K$, bio je gotovo u svih ispitivanih riba oko 3,5g K/kg svježe ribe. Ta vrijednost odgovara podacima za ribu iz Atlanskog oceana, odakle i potječe veći dio morske ribe na tržištu Sarajeva. Veoma visoku vrijednost od 11,89 g K/kg ( a prema tome i nivo $K^{40}$) dobili smo za bakalar. Međutim, treba uzeti u obzir činjenicu da se radi o sušenom uzorku, pa bi preračunavanjem gK na kilogram svježeg uzorka bilo u granicama vrijednosti za ostale ribe Atlantskog oceana.

Koncentracija $^{90}Sr$ su veoma niske i kreću se od 0,2 - 1,17 pCi $^{90}Sr$/kg svježeg uzorka, ta vrijednost uglavnom izražava radiokontaminaciju u kostima, jer se $^{90}Sr$ najvećim dijelom deponuje u njima.

Za $^{137}Cs$ dobivene su znatno više vrijednosti koje se kreću od 6,7 - 28,2 pCi/kg svježe ribe.I ovdje je za bakalar dobijena najveća vrijednost ( 69,2 - 74,2 pCi/kg ).

Ako razmotrimo dobijene rezultate i usporedimo ih sa dozvoljenim vrijednostima za $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$, koje je propisala međunarodna agencija za atomsku energiju ( 1961.),utvrđena radiokontaminacija ribe niža je od MDK za oko 10 do 100 puta.

Dobiveni rezultati mogu se uzeti i kao orijentacioni podaci o aktuelnoj radiokontaminaciji riba u Atlantskom oceanu te Sredozemnom moru i Jadranu.

Na osnovu naših ispitivanja možemo tvrditi da ispitivana riba ima, s obzirom na radiokontaminaciju, punu konzumnu vrijednost.

Svi naši rezultati ukazuju na to da je nivo aktivnosti glavnih dugoživećih radiokontaminenata $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$ dovoljno nizak da može idućih godina poslužiti kao nulta tačka detekcije radioaktivnosti u morskoj ribi.

## Summary

Several types of sea-fish were exmined for their $^{90}Sr$ and $^{137}Cs$ contennt.The results are well below the MPC.

## Literatura

1. ĐURIĆ GORDANA: Određivanje radioaktivnih rezidua u slatkovodnim ribama pri intenzivnom i ekstenzivnom uzgoju. Magistarski rad. Beograd, /1973/.
2. HORŠIĆ EMILIJA: Detekcija $^{40}K$ i nekih fisionih produkata u morskim ribama.Magistarski rad.Sarajevo,/1976/.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.5. do 3.6.1977.

Milošević Z.,Horšić Emilija,Bauman Alica,Kljajić R.

Zavod za radiologiju Veterinarskog fakulteta Sarajevo
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Zagreb

# NIVO RADIOAKTIVNOSTI U DIVLJAČI SA PODRUČJA SR BIH

Sadržaj:Određena je aktivnost Sr-90 i Cs-137 u uzorcima medvjeda,srna i divokoza.Sr-90 je određen u kostima a Cs-137 u mesu.Dan je kratak opis primjenjenih metoda i rezultata.

Studije nivoa radionuklida u tkivu srna,jelena,divokoza i medvjeda pokazuju da te životinje, uz neke druge vještačke radionuklide, najviše akumuliraju $^{137}Cs$ i $^{90}Sr$.Izmjereni nivo radioaktivnosti bio je kod ovih životinja u prosjeku znatno viši nego kod domaćih životinja za isti vremenski period (1,2,3). Međutim , naši prvi rezultati pokazali su da je nivo $^{137}Cs$ u srnama i domaćim životinjama s istog područja gotovo jednak (4).

Uzimajući u obzir činjenicu da divljač uglavnom živi od hrane koja je neizmijenjena poljoprivrednom obradom, možemo ove životinje primijeniti kao indikator geografske i vremenske varijacije u biološki dostupnom $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$.Zbog tih faktora započeta je studija na jednom ograničenom području različite mikroklime i topografije a za sada obuhvaća period od dvije godine.

Uzorci mesa i kostiju mineralizirani su spaljivanjem na 650°C za $^{90}Sr$ i na 450°C za $^{137}Cs$.Kalijum je određivan gravimetrijski Kalignostom (5),kalcijum oksalatnom metodom,$^{90}Sr$ ekstrakcijom $^{90}Y$ tri-butil-fosfatom (6) a $^{137}Cs$ taloženjem Cezignostom (6,7).Aktivnost je mjerena na brojaču za nisku beta aktivnost LOLA - 4 / IBK Vinča /.

Tab. 1

Količina $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$ u divljači

| Vrsta | pCi $^{90}Sr$/kg | pCi $^{90}Sr$/gCa | pCi $^{137}Cs$/kg | pCi $^{137}Cs$/gK |
|---|---|---|---|---|
| srna | 2.967,8 ± 148,49 | 31,6 ± 1,8 | 97,12 | 39,48 |
| divokoza | 1.575,32 ± 154,47 | 2o,88 ± 1,35 | 136,4o | 113,67 |
| medvjed | 2.917,18 ± 34,3o | 87,36 ± 1,24 | 13o,55 | 53,29 |
| d.svinja | 1.494,o9 ± 5o,16 | 19,3o ± o,65 | 321,63 | 182,74 |

Vrijednosti za $^{90}Sr$ odnose se na kosti a za $^{137}Cs$ na meso.Prosjek nivoa $^{137}Cs$ u mesu iznosi kod domaćih životinja oko 39 pCi/kg a kod divljači oko 4oo% više.Razlika u nivou s obzirom na $^{90}Sr$ je nešto niža i iznosi oko 14o%.Možda bi razlika u nivoima bila još veća da su obrađeni uzorci sa svih lovnih područja ispitivanog područja.Međutim,lovna sezona nije nam omogućila pravovremeno pribavljanje više uzoraka.

Ovaj rad je jedan od prvih ove vrste kod nas pa daje samo orijentacionu sliku.

## Summary

Several samples of wild animals,deer,chamois,bear and boar were examined on their content of $^{90}Sr$ and $^{137}Cs$.

## Literatura

1. FRENCH R.,BISSEL H.,Health Phys.14,489,/1968/.
2. GELBKE W.,Naturwissenschaften 1o,478,/1973/.
3. RABON E.W.,Health Phys. 15,37,/1968/.
4. MILOŠEVIĆ Z.,HORŠIĆ E.,BAUMAN A.,Veterinaria 25,297,/1976/.
5. MILOŠEVIĆ Z.,HORŠIĆ E.,BAUMAN A.,Veterinaria 24,411,/1975/.
6. BAUMAN A.,V.Jugoslovenski simp. o radiološkoj zaštiti , 8 03, Bled, /197o/.
7. HARLEY J. et al..Radiochemical procedures, HASL -300 /1974/.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. - 3.VI.1977.

Adamov M.

Fakultet za veterinarske nauke, Skopje

# REZIDUALNA BETA AKTIVNOST U MESU I KOSTIMA GOVEDA NA PODRUČJU SR MAKEDONIJE

- Kratak sadržaj -

Istraživana je rezidualna beta aktivnost u mesu i kostima autohtonih goveda sa četiri regiona koji reprezentuju teritoriju SR Makedonije (štipski,strumički, prilepski i gostivarski region) . Prikazani su rezultati merenja ukupne beta aktivnosti (UbA) u mesu i kostima goveda pokazuju da je radijaciono opterećenje stanovništva na području SR Makedonije u tolerantnim granicama .

Sa povećanjem izvora veštačke radioaktivnosti u svetu povećava se i ukupna radioaktivnost biosfere, pri čemu se preko lanca vazduh-voda-zemljište, odnosno zemljište-biljke-životinje i stanovništvo izlaže sve većoj opasnosti od radioaktivne kontaminacije . U takvoj konstelaciji , odredjivanje stepena radioaktivnosti produkata animalnog porekla sve više postaje preka potreba .

Istraživanje rezidualne beta aktivnosti (date kao UbA) ima za cilj da utvrdi nivo i poreklo radioaktivnosti, kao i teritorijalnu raspodelu radioaktivnih rezidua u mesu i kostima goveda na području SR Makedonije .

## Materijal i metod rada

Istraživanja su vršena na autohtonim govedima individualnih stočara i to sa četiri geografska regiona, koji reprezentuju teritoriju SR Makedonije, sa sedištima u Štipu i Strumici (prosečna nadmorska visina 200 m) i Prilepu i Gostivaru (prosečna nadmorska visina 600 m) .

Za odredjivanje ukupne beta aktivnosti sakupljani su u toku 1976. godine i to dva puta godišnje (maj-juni i septembar-oktobar) reprezentativni uzorci mesa i kostiju od po 5 goveda iz svakog regiona . Uzorci su obradjeni standardnom tehnikom , a rezidualna beta aktivnost (UbA) izmerena je iz mineralnog ostatka , obračunata i izražena je u pCi/kg svežeg uzorka .

Radiometrijska ispitivanja vršena su na uredjaju za merenje niske aktivnosti LARA-5 (proizvodnja IBK-Vinča) .

## Postignuti rezultati

Dobijene vrednosti UbA , prikazane kao iznos pCi/kg svežeg uzorka i to za oba kvartala 1976. godine , date su u tabeli 1 (za govedje meso) i tabeli 2 (za kosti goveda) .

Tabela 1 U b A GOVEDJEG MESA

| Polugodje | Mesto uzorkovanja | pCi/kg svežeg uzorka |
|---|---|---|
| I | ŠTIP | 2042 - 2187 |
| | STRUMICA | 2097 - 2248 |
| | GOSTIVAR | 2194 - 2316 |
| | PRILEP | 1946 - 2162 |
| II | ŠTIP | 2019 - 2173 |
| | STRUMICA | 1766 - 2002 |
| | GOSTIVAR | 1523 - 2138 |
| | PRILEP | 2056 - 2111 |

Tabela 2 U b A GOVEDJIH KOSTIJU

| Polugodje | Mesto uzorkovanja | pCi/kg svežeg uzorka |
|---|---|---|
| I | ŠTIP | 1720 - 4154 |
| | STRUMICA | 3395 - 5861 |
| | GOSTIVAR | 5489 - 21721 |
| | PRILEP | 3560 - 5823 |
| II | ŠTIP | 5103 - 7627 |
| | STRUMICA | 2375 - 8693 |
| | GOSTIVAR | 7596 - 10327 |
| | PRILEP | 5253 - 10356 |

Analizom dobijenih rezultata , uz korišćenje poznate metode za odredjivanje porekla beta aktivnosti animalnih proizvoda, može se konstatovati da ukupna beta aktivnost govedjeg mesa u 99,9% potiče od $^{40}K$, a ukupna beta aktivnost govedjih kostiju u 95,5% potiče od $^{40}K$ .

Vrednosti UbA za meso uklapaju se u maksimalno dozvoljene količine beta aktivnih materija ($MDK_{beta}$ = 3200 pCi/kg mesa/dan) .

## ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati merenja ukupne beta aktivnosti (UbA) u mesu i kostima goveda ukazuju da je radijaciono opterećenje stanovništa na području SR Makedonije u tolerantnim granicama .


## S u m m a r y

The results of measuring the rate of total Beta activity in the samples of meat and bone of the cattle in the area od SR Macedonia indicate, that these values are within the limits of maximally tolerated amounts of Beta active materials .

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.VI 1977.

Ljiljana Knežević i Olga Janković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča

# SORPCIJA $^{137}Cs$ NA PRIRODNOM I TERMIČKI TRETIRANOM BENTONITU

## ABSTRAKT

Ispitivana je sorpcija $^{137}Cs^{+}$ u prisustvu $K^{+}$ i $Na^{+}$ na domaćem bentonitu, prirodnom i termički tretiranom na 400°C. Nadjen je sledeći redosled afiniteta modif. gline za ispitivane katjone: Cs>K>Na, dok je afinitet prirodnog bentonita za pojedine odnose koncentracija izmenljivih katjona: Cs>Na≈K.

Obe vrste bentonita imaju dobre sorpcione osobine za Cs, dok je sa aspekta primene pogodniji termički tretirani bentonit zbog boljih filtracionih osobina.

## U V O D

Proučavanje sorpcije katjona na domaćim glinama ima veliki zvačaj za primenu u tehnologiji radioaktivnih i drugih otpadnih voda. Od posebnog su interesa sorpcione osobine bentonita, zbog njegovog relativno visokog sorpcionog kapaciteta i velike rasprostranjenosti u našoj zemlji. Zbog niske cene koštanja nije potrebno vršiti njegovu regeneraciju, već može da se kao čvrst otpadni materijal trajno stokira na odgovarajućem mestu.

Zbog visokog stepena bubrenja u vodenim rastvorima i male propustljivosti, prirodni bentonit praktično nije moguće primeniti za kontinualnu obradu otpadnih voda. U poslednje vreme čitavi timovi istraživača, uglavnom u zemljama SEV-a ispituju mogućnost poboljšanja fizičko-hemijskih i sorpcionih osobina bentonita u cilju primene kako za dekontami-

naciju radioaktivnih otpadnih voda[1], tako i za primenu kao sorbenta i katalizatora u petrohemiji i mnogim drugim industrijama. Najčešće primenjeni postupak modifikovanja je termičko tretiranje, na relativno niskim temperaturama.[2] Ostali postupci koji se primenjuju su tretiranje kiselinama ili alkalijama, hidrotermalno tretiranje, kao i kombinovanje postupaka. Neki od ovih postupaka su patentirani.

## Eksperimentalni deo

Za rad je korišćena prirodna domaća glina bentonit sa područja SRH. Najzastupljenija komponenta gline je montmorilonit sa izmenljivim katjonima Na,K,Ca i Mg. PH gline za odnos tečne faze vode i gline 20:1 iznosi 9,35±0,05. Sorpcioni kapacitet odredjen ravnotežnom tehnikom iznosi 0,65±0,05 meq/g. Gustina gline odredjena piknometarskom metodom iznosi 1,601 g/cm$^3$.

Glina je sušena na 105 i 400°C, zatim je sitnjena i pomoću sita je izdvojena frakcija od 0,5-1,0 mm. Glina je prevodjena u Na- odnosno K- oblik u statičkim uslovima rastvorima 0,1 N NaCl odnosno KCl, a zatim isprana destilisanom vodom i smešom vode i alkohola. Zatim je sušena na vazduhu oko 7 dana.

Eksperimenti su izvodjeni u statičkim uslovima na sobnoj temperaturi. Odnos tečne i čvrste faze bio je 20:1. Koncentracija rastvora bila je u svim slučajevima 5.10$^{-2}$N. PH je bio 9,35.

$^{137}$Cs je dodavan bez nosača. Sorpcija na staklu je uzimana u obzir. Merenje radioaktivnosti je vršeno na gama scintilacionom brojaču. Aktivnost početnog rastvora iznosila je 12 000 imp/min/ml.

U eksperimentima za ispitivanje filtracionih osobina korišćene su staklene kolone sa dnom od staklene vune i poprečnim presekom 1 cm$^2$.

Za sve rastvore korišćene su hloridne soli i destilisana voda.

Rezultati i diskusija

Sorpcioni kapacitet bentonita može da varira u širokim granicama u zavisnosti od sadržaja montmorilonita i sorpcionih osobina prisutnih primesa. Dobijeni sorpcioni kapacitet takodje zavisi i od prirode izmenljivih katjona. Kapacitet od 0,65 meq/g može se smatrati zadovoljavajućim sa aspekta primene gline za dekontaminaciju radioaktivnih otpadnih voda sa nižim sadržajem katjona.

Ispitivanjem sorpcionih izotermi za Cs u prisustvu Na, na Na glini, Cs se selektivno vezuje za glinu pri svim odnosima koncentracija Cs i Na u rastvoru (sl.1). Izoterme sorpcije za ovaj sistem ne razlikuju se za prirodnu i termički tretiranu glinu.

Izoterme Cs-K na K-glini (sl.2) pokazuju veću selektivnost za prirodnu, netretiranu glinu.

Primenom zakona o dejstvu masa dobijene su koncentracijske konstante ravnoteže (koeficijenti aktivnosti u čvrstoj fazi nisu uzeti u obzir, zbog teškoće odredjivanja usled složenosti čvrste faze sistema). Zavisnost konstanti ravnoteže od odnosa koncentracije Cs i kapaciteta sorpcije u čvrstoj fazi prikazana je na sl. 3. Zavisnost konstanti u sistemu Cs-Na ima oblik prave linije u semi-log sistemu, koja se ne menja termičkim tretiranjem sorbenta na 400°C. Zavisnost u sistemu Cs- K je S oblika i ukazuje na heterogenost jonoizmenjivačkih mesta usled prisustva primesa.

Zavisnost konstanti ravnoteže od odnosa koncentracija Cs i ukupne koncentracije katjona u rastvoru prikazana je na sl. 4. Pravolinijski oblik zavisnosti omogućuje procenu selektivnosti sorbenta u vezi sa ravnotežnom koncentracijom Cs u rastvoru u celom intervalu C/Co od 0 do 1. Radosled afiniteta ispitivanih katjona prema bentonitu saglasan je sa literaturnim podacima samo za odnose koncentracija C/Co veće od 0,3, za sorpciju na prirodnom bentonitu tj. Cs, K. Na, dok je za manje odnose C/Co:Cs, Na, K. Za termički tretirani bentonit redosled je saglasan sa literaturnim podacima u celom intervalu koncentracija: Cs,K,Na.

Odredjivanjem brzine filtracije destilisane vode i rastvora 0,1 N $Cs^+$ kroz kolonu punjenu prirodnim i termički tretiranim bentonitom, pri istim uslovima, brzina filtracije za destilisanu vodu veća je oko 20 puta, a za rastvor Cs 10 puta, za glinu u K- obliku. Na-prirodna glina praktično je nepropustljiva za destilisanu vodu, dok termički tretirana ima lošije filtracione karakteristike od K- termički tretirane gline.

## ZAKLJUČAK

Ispitivane su sorpcione osobine domaćeg prirodnog i termički tretiranog na 400°C bentonita sa područja Hrvatske za sisteme izmenljivih katjona Cs-Na i Cs-K. Oba sorbenta su selektivna za Cs sa redosledom afiniteta Cs, K,Na, osim za sorpciju na prirodnom sorbentu pri odnosu koncentracije Cs prema ukupnoj koncentraciji u rastvoru do 0,3, kada je redosled:Cs,Na,K.

Sorpcione osobine Na bentonita za sistem Cs-Na ne menjaju se termičkim tretiranjem, dok se selektivnost za Cs u sistemu Cs-K smanjuje. Na- modifikovani bentonit ima bolje sorpcione, a K- oblik filtracione osobine. Odabiranje odgovarajućeg katjonskog oblika za primenu u uslovima kontinualne obrade otpadnih voda koje sadrže Cs, moguće je tek posle detaljnog ispitivanja konetike procesa sorpcije i difuzije, kao i optimiziranja tehnoloških parametara kolone, što će biti predmet naših daljih istraživanja.

## REZIME

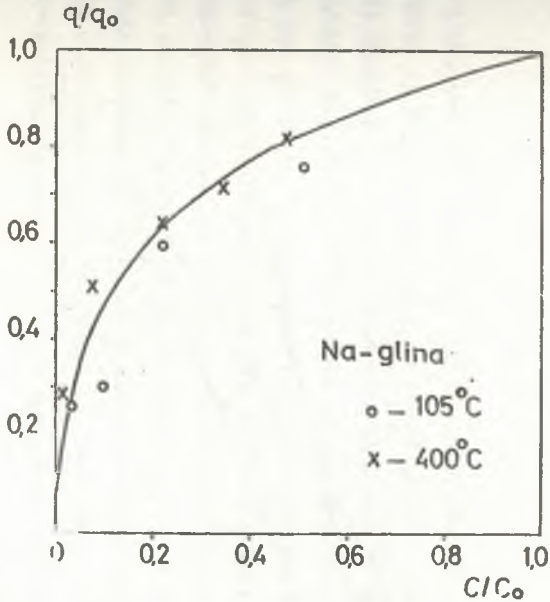

### SORPTION OF Cs ON NATURAL AND MODIFED BENTONITE

The sorption of $^{137}Cs$ in presence $K^+$ and $Na^+$ on the domestic natural and termic modifed bentonite on 400°C was investigated. The following sequence of affinity of modifed clay for inwestigated cations was obtained: Cs, K, Na.

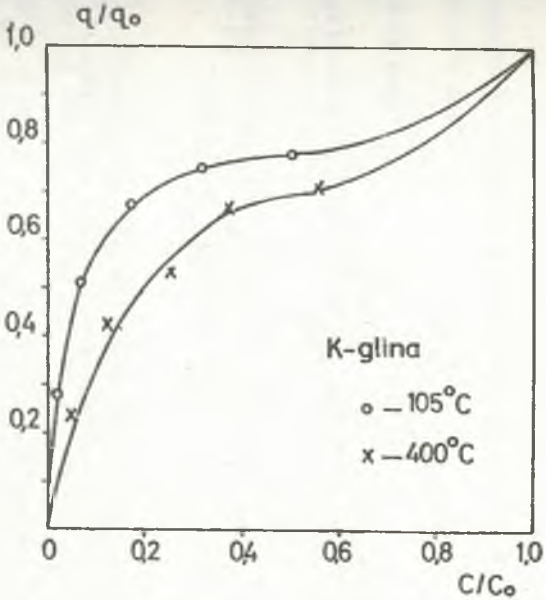
Both types of sorbents have good sorption property for Cs, bat on the aspekt aplication, termic modifed bentonite is more convenient because they have better filtration properties.


## LITERATURA

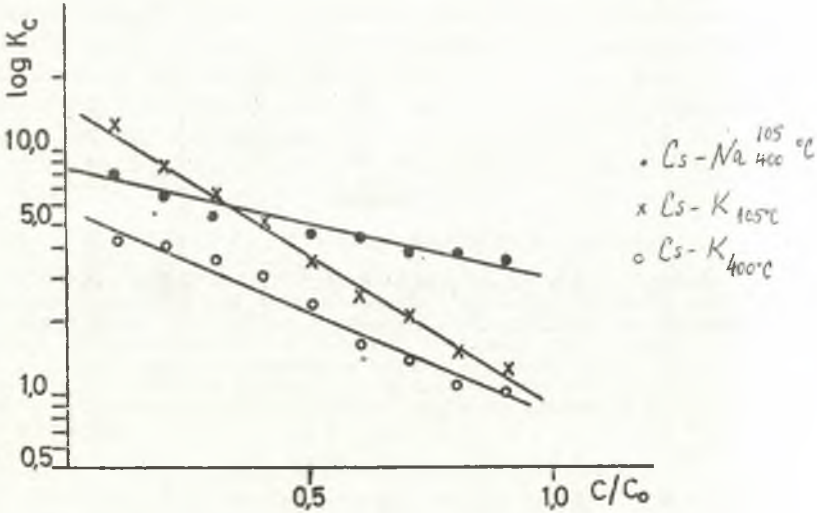

1. Tašpulatov Dž. et al., Dokladi Akademii nauk Uz SSR,8,1974.
2. Sbornik Saratov. Univers., 1974



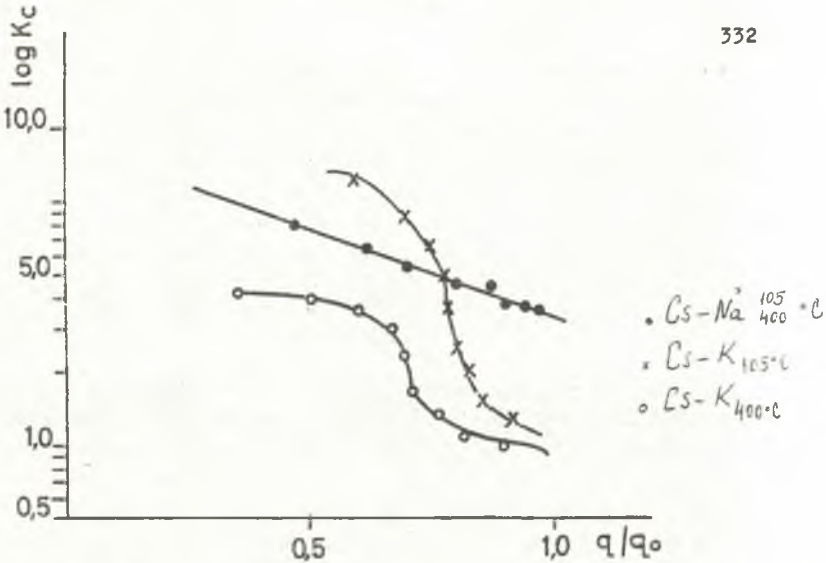

Sl. 1 Izoterma Cs-Na




Sl. 2 Izoterma Cs-K




Sl. 4




Sl. 3

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce,31.V do 3.VI,1977

K.Južnič in Š.Fedina

Institut"Jožef Stefan",Ljubljana

# SORPCIJA RADIOSTRONCIJA IN RADIOCEZIJA NA IZMENJALCU DOVEX 5o W X8

Raziskali smo ravnotežja pri izmenjavi $Sr^{++}$- $H^{+}$ in $Cs^{+}$ - $H^{+}$ med vodno raztopino teh ionov in močno kislim katiionskim izmenjalcem Dowex 5o W X8.Vodne raztopine so bile zmesi stroncijevega klorida in solne kisline oziroma cezijevega klorida in solne kisline pri čemer smo koncentracije soli spreminjali od makro do tracerskih količin.Ravnotežne porazdelitve smo izrazili v obliki molalnih ravnotežnih konstant. Določili smo vpliv aktivnosti solne kisline na te konstante.

## Uvod

Ionsko izmenjavo $Sr^{++}$- $H^{+}$ in $Cs^{+}$ - $H^{+}$ na sintetičnih ionskih izmenjalcih so v preteklosti že raziskovali nekateri avtorji. Reddy in Marinsky ([1]) sta raziskala selektivnostne parametre za izmenjavo sledi $Sr^{++}$ z $H^{+}$ na zamreženi polistiren sulfonski kislini pri čemer je bila vodna faza perklorna kislina. V naslednjih publikacijah ([2,3]) so bili izvršeni poiskusi kako napovedati ravnotežno konstanto vendar niso bili dobljeni dobri rezultati.Boyd ([4]) je skušal najti zvezo med molalno ravnotežno konstanto in zamreženjem izmenjalca,ionskimi interakcijami v polielektrolitu in aktivnostmi katiionov v zunanjem elektrolitu.Izmenjavo $Cs^{+}$ - $H^{+}$ na kationskem izmenjalcu

KY 2 X8 za sulfatni medij so raziskali Nikolaev in ostali ([5]).Totalne koncentracije vodne raztopine so bile v območ- o,1 do 4 m.Tudi za izmenjavo $Cs^+$ - $H^+$ so bili napravljeni poiskusi kako napovedati ravnotežno konstanto ([6]).
Namen našega dela je bil raziskati izmenjavo $Sr^{++}$- $H^+$ in $Cs^+$ - $H^+$ med močno kislim ionskim izmenjalcem in vodno fazo, zmesjo teh ionov.Ravnotežja bi karakterizirali z molalnimi ravnotežnimi konstantami.Ugotovili bi tudi povezavo med temi konstantami in aktivnostjo kisline.

Eksperimentalno delo

Kemikalije:Pri delu smo uporabili stroncijev klorid (p.a. tovarne Riedel de Haen),cezijev klorid (p.a.,Kemika) in solno kislino (p.a.,Podnart).Ionski izmenjalec je bil Dowex 5o W X8 5o/1oo mesh tovarne Fluka.Za določevanje ravnotežnih porazdelitev stroncija in cezija sta bila uporabljena radioizotopa Sr-85 in Cs-137.
Postopek:Ionski izmenjalec smo prevedli v $H^+$ obliko s spiranjem z o,1 N HCl v koloni.Izmenjalec smo še sprali z vodo, posušili in mu določili kapaciteto.Uravnotežene sisteme smo pripravili s stresanjem 3o ml zmesi HCl-$SrCl_2$ oziroma HCl-CsCl in 1,5 g suhega izmenjalca.Kapaciteta posušenega izmenjalca je znašala 5,1 mekv/g smole.Ravnotežne porazdelitve stroncija oziroma cezija smo merili radiometrično z merjenjem aktivnosti na gama spektrometru.
Aktivnost solne kisline smo določili z merjenjem napetosti galvanskega člena $H_2$,Pt//$H^+$,$Cl^-$//AgCl,Ag

Zveza med napetostjo člena in aktivnostjo solne kisline je naslednja:

$$E = E^{o} - RT/F \ln a_{H} \cdot a_{Cl}$$

$E^{o}$ je standardni potencial AgCl,Ag elektrode in znaša o,2224V.
Aparatura: Za merjenja napetosti smo uporabljali Keithley digitalni multimeter model 171.

Rezultati in diskusija

Pri študiju izmenjave $Sr^{++}$ - $H^{+}$ so bile izvršene naslednje serije poiskusov: a) v prvi je varirala začetna koncentracija solne kisline pri konstantni koncentraciji stroncija o,2 mol/ /kg, b) v drugi sta se spreminjali koncentracija solne kisline in stroncijevega klorida, tako da je bila koncentracija kloridnega iona konstantna, c) začetna koncentracija kisline je bila konstantna varirala pa je koncentracija stroncijevega klorida in d) podobno kot pod c le da je bila začetna koncentracija kisline nižja. Za uravnoteženje smo vedno vzeli 3o ml raztopine in 1,5 g suhega izmenjalca. Začetne in ravnotežne koncentracije HCl in $SrCl_2$ v vodni fazi, izračunane molalne ravnotežne konstante ter aktivnosti solne kisline so podane v Tabeli 1. Pri tem so konstante $K_m$ definirane z

$$K_m = \frac{m_H^2 \cdot \bar{m}_{Sr}}{\bar{m}_H^2 \cdot m_{Sr}}$$

kjer so $m_H, m_{Sr}$ ravnotežne molalnosti HCl in $SrCl_2$ v vodni fazi, $\bar{m}_H$ in $\bar{m}_{Sr}$ pa g-ioni $H^{+}$ oziroma $Sr^{++}$ v izmenjalcu. Aktivnost HCl je dana kot $\sqrt{a_H \cdot a_{Cl}}$.

Pri raziskavah izmenjave $Cs^{+}$ - $H^{+}$ je bila začetna koncentracija

Tabela 1.Začetne in ravnotežne konc.HCl in $SrCl_2$,$K_m$ ter $a_\pm$ HCl pri izmenjavi $Sr^{++}$-$H^+$ na izmenjalcu Dowex 5o X3.

| zač.konc.v.f.(mol/kg) | | ravnot.konc.(mol/kg) | | $K_m.10^3$ | $a_\pm$(HCl) |
|---|---|---|---|---|---|
| HCl | $SrCl_2$ | HCl | $SrCl_2$ | | |
| 1,86 | o,2o2 | 2,o | o,127 | 3,22 | 1,92 |
| 1,1o | o,199 | 1,3o | o,11 | 5,13 | 1,oo |
| o,792 | o,198 | o,95 | o,o86 | 6,49 | o,75 |
| o,365 | o,196 | o,6o7 | o,o72 | 8,52 | o,42 |
| 1,31 | o,199 | 1,49 | o,1o6 | 4,71 | 1,78 |
| 1,11 | o,199 | 1,3o | o,1o2 | 4,43 | 1,34 |
| o,928 | o,198 | 1,13 | o,o97 | 4,35 | 1,1o |
| o,558 | o,196 | o,78 | o,o84 | 4,67 | o,91 |
| o,189 | o,196 | o,44 | o,o65 | 8,7 | o,58 |
| o,1o | o,15 | o,34 | o,o31 | 4,48 | o,245 |
| o,2o | o,1o | o,376 | o,o13 | 2,13 | o,27 |
| o,3o | o,o5 | o,396 | o,oo24 | 2,45 | o,29 |
| o,35 | o,o25 | o,4o | o,ooo8 | 2,38 | o,3o |
| 1,1 | o,198 | 1,28 | o,1o6 | 3,29 | 1,27 |
| 1,12 | o,4o | 1,38 | o,26 | 22 | 1,5 |
| o,72 | o,22 | o,93 | o,11 | 3,6 | o,89 |
| o,72 | o,33 | o,97 | o,2o4 | 6,68 | 1,o5 |
| o,72 | o,44 | o,99 | o,3o2 | 13,9 | 1,19 |
| o,73 | o,77 | 1,o3 | o,622 | 24,4 | 1,72 |

CsCl konstantna,koncentracijo HCl pa smo spreminjali od o,ol do 2 M.Rezultati za ravnotežne koncentracije HCl in CsCl,$K_m$ in aktivnosti HCl so podane v Tabeli 2.Konstante $K_m$ so definirane z izrazom

$$K_m = \frac{m_H \cdot \bar{m}_{Cs}}{\bar{m}_H \cdot m_{Cs}}$$

Tabela 2. Začetne in ravnotežne konc. HCl in CsCl, $K_m$ ter $a_{\pm}$ HCl pri izmenjavi $Cs^+$-$H^+$ na izmenjalcu Dowex 5o X8.

| zač. konc. (mol/kg) | | ravnot. konc. (mol/kg) | | $K_m$ | $a_{\pm}$(HCl) |
|---|---|---|---|---|---|
| HCl | CsCl | HCl | CsCl | | |
| o,o1 | $9,85.10^{-3}$ | o,o199 | $8,57.10^{-5}$ | 12,2 | $1,76.10^{-2}$ |
| o,o2 | $9,86.10^{-3}$ | o,o297 | $1,4o.10^{-4}$ | 1o,9 | $2,51.10^{-2}$ |
| o,o4 | $9,86.10^{-3}$ | o,o497 | $2,o2.10^{-4}$ | 12,7 | $3,92.10^{-2}$ |
| o,o6 | $9,87.10^{-3}$ | o,o696 | $2,62.10^{-4}$ | 13,5 | $5,46.10^{-2}$ |
| o,o8 | $9,88.10^{-3}$ | o,o896 | $3,13.10^{-4}$ | 14,6 | $6,63.10^{-2}$ |
| o,o9 | $9,88.10^{-3}$ | o,o995 | $3,52.10^{-4}$ | 14,3 | $7,3o.10^{-2}$ |
| o,27 | $1,oo.10^{-2}$ | o,277 | $1,o2.10^{-3}$ | 12,8 | o,22 |
| o,83 | $1,o1.10^{-2}$ | o,832 | $2,81.10^{-3}$ | 11,1 | o,7o |
| 1,1o | $1,o2.10^{-2}$ | 1,1o | $3,63.10^{-3}$ | 1o,2 | o,94 |
| 1,49 | $1,o2.10^{-2}$ | 1,49 | $4,72.10^{-3}$ | 8,8 | 1,43 |
| 1,87 | $1,o3.10^{-2}$ | 1,87 | $5,4o.10^{-3}$ | 8,5 | 1,92 |

kjer so $m_H$ in $m_{Cs}$ molalnosti HCl in CsCl v vodni fazi, $\bar{m}_H$ in $\bar{m}_{Cs}$ pa moli vodikovih oziroma cezijevih ionov v izmenjalcu. Kot je iz Tabele 1 razvidno se $K_m$ vrednosti za izmenjavo $Sr^{++}$- $H^+$ pri znatnem spreminjanju pogojev, gibljejo okoli vrednosti $4.10^{-3}$. Te vrednosti naraščajo šele pri visokih koncentracijah stroncijevih ionov v raztopini. Že iz podatkov ostalih avtorjev je razvidno ([7]), da spadajo stroncijevi ioni med tiste, ki so na izmenjalcih najtrdneje vezani. Vzrok je v njihovi valenci in pa v specifičnih interakcijah med njimi in ogrodjem izmenjalca.

Podobno kot stroncijevi ioni med dvovalentnimi so tudi cezijevi med enovalentnimi taki do katerih kaže izmenjalec visoko

afiniteto. Razlogi so v nizki solvataciji cezijevih ionov in v njihovi polarizabilnosti.

Abstract

The ion exchange $Sr^{++}$ - $H^{+}$ and $Cs^{+}$ - $H^{+}$ between aqueous mixture $SrCl_2$-HCl and CsCl-HCl respectively and strongly acidic ion exchanger Dowex 5o X8 has been studied. The $SrCl_2$ and CsCl concentrations in mixtures varied from macro to tracer amounts. It was found that the molal equilibrium constant $K_m$ for $Sr^{++}$-$H^{+}$ exchange vary around $4.10^{-3}$, while this constant for $Cs^{+}$-$H^{+}$ exchange amounts about 12.

Literatura

1) M.M. Reddy and J.A. Marinsky, J. Macromol. Sci.-Phys., B5(1) (1971) 135.

2) M.M. Reddy, S. Amdur and J.A. Marinsky, J. Am. Chem. Soc. 94 (1972) 4087.

3) M.M. Reddy, J. Phys. Chem. 77 (1973) 2128.

4) G.E. Boyd, J. Phys. Chem. 78 (1974) 1110.

5) A.W. Nikolajew, N.P. Sokolova, Izv. Sib. Otd. A.N. SSSR, Ser. Him. Nauk 3 (1971) 34.

6) Kusnetsova, Zh. Fiz. Khim. 45 (1971) 1581.

7) F. Helfferich, Ionenaustauscher, GMBH, Weinheim, 1959.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI. 1977. godine

M. Simović,* D. Paligorić i J. Feruh

*Vojnotehnički Institut - Beograd i Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# ODREDJIVANJE UKUPNE ALFA AKTIVNOSTI U UZORCIMA BILJNOG I ŽIVOTINJSKOG POREKLA PRIMENOM $H_2O_2/Fe^{2+}$ POSTUPKA MOKROG SPALJIVANJA ZA KONCENTROVANJE AKTIVNOSTI

Za razaranje organskih materijala i dobijanje rastvora katjona iz uzoraka biljnog i životinjskog porekla primenjen je postupak mokrog spaljivanja pomoću Fenton-ovog reagensa ($H_2O_2/Fe^{2+}$). Iz ovih rastvora alfa emiteri ($^{239}Pu$ i prirodni uran) separisani su hidroksid fosfatnom koprecipitacijom. Ovim postupkom, zavisno od vrste polaznog materijala, postignuto je koncentrovanje aktivnosti od 20-420 puta sa prinosom $>60\%$.

Aktivnost taloga merena je metodom izvora saturacione debljine sa Zn(Ag) scintilacionim detektorom. Osetljivost metode kreće se u granicama 0,07 - 0,4 Bq/g (2-10 pCi/g) polaznog materijala sa greškom $\leqslant 20\%$.

## 1. UVOD

Brzo kvantitativno odredjivanje alfa aktivnosti u uzorcima iz okoline zahteva, zavisno od nivoa kontaminacije, homogeniziranje ili koncentrovanje aktivnosti. U literaturi je opisano više postupaka za koncentrovanje aktivnosti u uzorcima biljnog i životinjskog porekla koji traju od nekoliko sati do nekoliko dana (1,2). Sansoni i dr.(3) razvili su postupak mokrog spaljivanja pomoću Fenton-ovog reagensa-smeše $H_2O_2$ i katalitičke količine dvovalentnog gvoždja. Prema Sansoni-ju ovaj postupak je znatno brži od suvog spaljivanja pri čemu se dobija pepeo bez uglja. Ostale prednosti ovog postupka detaljno su opisane u literaturi (4).

U ovom radu za koncentrovanje aktivnosti u uzorcima nekih životnih namirnica primenili smo postupak mokrog spaljivanja pomoću Fenton-ovog reagensa. Posle razaranja materijala organskog porekla i hidroksid fosfatne koprecipitacije, specifična aktivnost taloga me-

rena je metodom izvora saturacione debljine pomoću ZnS(Ag) detektora. Količine polaznog materijala izabrali smo u zavisnosti od faktora koncentrovanja, odnosno količine pepela koja je dovoljna za dobijanje debelog izvora na datoj površini. Uzorke pre spaljivanja kontaminirali smo sa poznatom aktivnošću $^{239}Pu$ ili prirodnog urana.

## 2. OPIS POSTUPKA MOKROG SPALJIVANJA POMOĆU $H_2O_2/Fe^{2+}$

Razaranje ma kojeg biljnog i životinjskog uzorka sa 30% $H_2O_2$ počinje na isti način. Pri zagrevanju do 80-100°C počinje da se javlja pena, a nešto kasnije,i spontana reakcija. Jačina spontane reakcije zavisi od vrste uzorka - kod brašna je veoma jaka, kod mesa nešto slabija i traje kraće a kod povrća se skoro i ne javlja. Radi toga je nužno prisustvo eksperimentatora. Da bi se ublažila spontana reakcija, uzorci brašna se prethodno kuvaju i 1N $HNO_3$ pri čemu koncentracija $H_2O_2$ u rastvoru ne prelazi 1%.

Specifičnosti postupka za pojedine materijale zavise od porekla uzorka (biljni ili životinjski) i vrste radionuklida čija se aktivnost odredjuje. Mokrim spaljivanjem se ne razgradjuju sa istom brzinom sve vrste tkiva u uzorku, pa se, da bi se skratilo vreme razaranja, kod mesa, ribe i mleka cedjenjem mogu izdvojiti masti a kod povrća celulozni ostatak uz zanemarljive gubitke katjona. Ukoliko se želi izbeći gubljenje nekih katjona koji su u tragovima, dodaje se odgovarajući nosač kako bi se smanjila adsorpcija na zidovima suda. U slučaju odredjivanja Pu, da bi se sprečilo koloidno stanje Pu jona u rastvoru i dobio veći prinos, razaranje se vrši u 2N $HNO_3$.

Posle razaranja preostali pepeo, koji je bele boje, sadrži higroskopne amonijačne soli koje se mogu ukloniti na više načina: žarenjem, mokrim spaljivanjem sa pušećom azotnom kiselinom i hidroksid fosfatnom ili sulfatnom koprecipitacijom.

Utrošak $H_2O_2$ pri razaranju ne zavisi mnogo od količine uzorka, već više od vrste uzorka i od uslova rada. B. Sansoni i W. Kracke (3) su našli da se utrošak 30% $H_2O_2$ kreće od 2.1 do 3.8 l/kg, dok smo mi pri razaranju u otvorenom sistemu imali utrošak od 2 do 10 l/kg.

Postupak mokrog spaljivanja pomoću 30% $H_2O_2$ primenili smo na uzorcima mesa, brašna, mleka u prahu i povrća - spanać i zelena salata, pridržavajući se procedure koju su Sansoni i dr. opisali u radovima (1,3,4). Rezultati su dati u Tab. 1.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Da bi procenili efikasnost radiohemijskog postupka za koncentrovanje aktivnosti u uzorcima, pošli smo od teorijskog izraza za zavisnost brzine brojanja alfa čestica iz izvora saturacione debljine od specifične aktivnosti materijala izvora koji je dat sa (6):

$$N = \frac{R_i}{4}\left(1-\frac{h}{R}\right)^2 \Omega . PA \qquad (1)$$

gde je: A - specifična aktivnost u Bq/g,

$R_i$ - domet alfa zračenja u materijalu izvora u $g/cm^2$

$R_v$ - domet u vazduhu u cm,

h - debljina vazdušnog sloja od izvora do osetljive zapremine detektora, uključujući i debljinu prozora koja se izražava u ekvivalentima vazduha u cm,

P - površina izvora u $cm^2$

Ω - odnos prostornog uglja u kome se vrši merenje prema 2π prostornom uglu.

U jednačini (1) sve veličine izuzev $R_i$ su poznate. $R_i$ se ne zna zbog nepoznavanja sastava pepela. Zbog toga smo pošli od uzorka brašna koji daje najmanji suvi ostatak pepela, oko 20 mg/20 g brašna. Posle rastvaranja pepela u 1N $HNO_3$ dodali smo rastvor kalcijum ortofosfata tako da je posle taloženja ukupna količina pepela porasla na 80 mg. Pretpostavljajući da se srednji atomski broj ukupnog pepela ne razlikuje mnogo od srednjeg atomskog broja kalcijum ortofosfata, domet alfa čestica za $^{239}Pu$ izračunali smo po Bragg-Kleman-ovoj formuli (7) i našli da iznosi 5.5 $mg/cm^2$ za Rv = 3,7 cm /6/. Za naš eksperimentalni uredjaj sa ZnS(Ag) detektorom: Ω=0,690, h(ukupno)= =1 cm i P =2,8 $cm^2$, nalazi se da $K=(R_i/4)(1-h/R_v)^2 . \Omega . P$ iznosi $1.4 \times 10^{-3} \left(\frac{imp}{sBq} . g\right)$.

Ako je A specifična aktivnost uzorka pre koncentrovanja, E efikasnost koncentrovanja aktivnosti pri radiohemijskom postupku a F faktor koncentrovanja, onda je:

$$N = K.E.F.A. \qquad (2)$$

gde proizvod K,E i F predstavlja ukupnu efikasnost $E_u$ koju smo odredili iz poznate specifične aktivnosti kontaminiranih uzoraka i izmerenog broja impulsa N.

Iz ukupne efikasnosti za brašno (TAB.2), faktora F(TAB.1) i K može se proceniti da je efikasnost radiohemijskog postupka koncentrovanja $^{239}Pu$ u uzorku brašna oko 75%. Ovako procenjena efikasnost je nešto niža od očekivane po literaturi gde se navodi da iznosi 94% (1).

TAB. 1

Rezultati ispitivanja postupka mokrog spaljivanja pomoću $H_2O_2/Fe^{2+}$

| Vrsta uzorka | Težina uzorka (g) | Količina utrošenog 30% $H_2O_2$ (ml) | Vreme razaranja (h) | Faktor koncentrovanja F |
|---|---|---|---|---|
| Spanać | 50 | 100-120 | 3 | 192±11 |
| Salata | 50 | 80-100 | 2 | 143±11 |
| Brašno | 20 | 200 | 5 | 250±25 |
| Teleće meso | 50 | 150 | 3 | 420±55 |
| Mleko u prahu | 10 | 100 | 5 | 20±0.8 |

Na isti način procenjen je i radiohemijski prinos koncentrovanja aktivnosti za prirodni uran u uzorku brašna.

Za srednju energiju alfa zračenja iz prirodnog urana od 4.4 MeV (8) domet u vazduhu iznosi 3 cm (8). Po Bragg-Kleman-ovoj formuli nalazi se da domet u kalcijum ortofosfatu iznosi 5 mg/cm$^2$ na osnovu čega se dobija da je $K=9.4\times10^{-4}$ $\left(\frac{imp}{sBq}\cdot g\right)$.

Pretpostavljajući da se sastav pepela i drugih uzoraka, datih u Tab. 1, ne razlikuje više od 20-30% od pepela brašna može se proceniti radiohemijski prinos u odnosu na pepeo brašna i za ove uzorke. Rezultati za $^{239}Pu$ i prirodni uran dati su u TAB. 2 i 3 respektivno.

TAB. 2.

Efikasnost i osetljivost metode za $^{239}Pu$

| Vrsta uzorka | A $B_q/g$ | $P_2$ cm$^2$ | $(N\pm3)\times10^3$ imp/s$^3$) | $E_u$% | E/% | Y Bq/g (pCi/g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Spanać | 0.106 | 6.2[1)] | 42±5 | 39 | 62 | 0.06 (1.6) |
| Salata | 0.106 | 6.2 | 40±5 | 38 | 80 | 0.06 (1.6) |
| Brašno | 0.267 | 2.8[2)] | 72±3) | 27 | 76 | 0.08 (2.2) |
| Teleće meso | 0.106 | 6.2 | 112±17 | 106 | 76 | 0.02 (0.6) |
| | | 2.8 | 48±3 | 45 | 75 | 0.05 (1.3) |
| Mleko u prahu | 0.533 | 6.2 | 33±5 | 6.2 | 94 | 0.35 (9.6) |

1) $K=3.3\times10^{-3}$ $\left(\frac{imp}{sBq}\cdot g\right)$; 2) $K=1.4\times10^{-3}$ $\left(\frac{imp}{sBq}\cdot g\right)$; 3) srednje vrednosti za 5 izvora.

TAB. 3.

Efikasnost i osetljivost metode za prirodni uran

| Vrsta uzorka | A Bq/g | $P_2$ cm | $(N\pm3)x10^3$ imp/s[3] | $E_u$% | E% | Y Bq/g (pCi/g) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spanać | 0.088 | 2.8[1] | 12±5 | 13.3 | 73 | 0.16 | (4.5) |
| Brašno | 2.2 | 2.8 | 33±33 | 15.1 | 63 | 0.15 | (4) |
| Mleko u prahu | 4.4 | 6.2[2] | 112±17 | 2.5 | 59 | 0.1 | (2.5) |
| | 0.44 | 6.2 | 12±5 | 2.6 | 62 | | |

[1] $K = 9.5x10^{-4}$ $\left[\frac{imp}{sBq}\ g\right]$; [2] $K = 2.1x10^{-3}$ $\left[\frac{imp}{sBq}\ g\right]$; [3] srednje vrednosti za 4 uzorka.

Reproduktivnost

U TAB. 2 i 3 date su srednje vrednosti odbroja N za 4-6 uzoraka tretiranih i merenih pri istim uslovima. Rasturanje rezultata kreće se u granicama 10 - 20%. U toku rada konstatovali smo da reproduktivnost rezultata uglavnom zavisi od reproduktivnosti faktora koncentrovanja koji može da varira naročito mnogo kod povrća ako nije isprano. Zbog toga za tačnija merenja i u rutinskom radu, težinu pepela treba odredjivati za svaki uzorak posebno.

Osetljivost metode

Na osnovu vrednosti za ukupnu efikasnost - $E_u$, koje su date u TAB. 2 i 3. može se proceniti osetljivost metode. Minimalna specifična aktivnost uzorka pre koncentrovanja u Bq/g sa pouzdanošću na nivou 3σ fona merenom tokom jedne minute može se izračunati po relaciji:

$$Y = \frac{3\sqrt{N_B}}{60} \left(\frac{Bq}{g}\right) \qquad (3)$$

gde je $N_b$ fon uzorka i iznosi 0.2 imp/min. Izračunate osetljivosti za pojedine materijale date su u TAB.2 i 3. za $^{239}Pu$ odnosno prirodni uran. Sve vrednosti, izuzev za mleko u prahu, kreću se u granicama 0.04 - 0.2 Bq/g (1-5 pCi/g) polaznog materijala. Pošto je maksimalno dozvoljena koncentracija za $^{239}Pu$ $4x10^{-4}$ uCi/g, (9) odnosno 14.8 Bq/g, ovom metodom mogu se otkriti nivoi kontaminacije oko 100 puta manji od maksimalno dozvoljene koncentracije.

TOTAL ALPHA ACTIVITY DETERMINATION IN VEGETABLE AND ANIMAL SAMPLES USING WET-ASHING METHOD WITH $H_2O_2/Fe^{2+}$ FOR ALPHA ACTIVITY CONCENTRATION

$H_2O_2/Fe^{2+}$ - wet-ashing procedure is applied in order to destroy vegetable and animal samples, and to convert its cations into solution. From this solutions $^{239}Pu$ and U(nat.) were separated by hydroxide - phosphate coprecipitation. Concentrating factors between 20 and 420 and chemical yields>60% are achived by this procedure depending on the origin of the starting material. Precipitate alpha activity at saturation thicknesses is measured by ZnS(Ag) scintilation detector. Sensitivity of the method is from 0.07 to 0.4 Bq/g(2-10 pCi/g) of the starting material and the error is less than 20%.

1. Sasoni B., Kracke W., Winkler, R., Enviromental Contamination by Radioactive Materials, Proceedings of a Seminar, Vienna, 24 - 28 March 1969, IAEA, Vienna 1969. - SM - 117/13.
2. Ballada J., CEA-R 3220, 1967.
3. Sansoni B., Kracke W., Z. Anal. Chem., 243, 209-241,1968.
4. Sansoni B., IAEA - R - 770F, INIS
5. The Determination of the Plutonium Content of Urine (Phosphate) Method), No. IGO-AM/W.68.
6. Troublé M., CEA-R-3098 (1967).
7. Evans D., The Atomic Nucleus. McGraw-Hill Comp., Inc. 1955, p.652.
8. Chalabreysse J., CEA-R-3361 (1968)
9. Radiation Protection: Recomendation of the International Commision on Radiological Protection, ICRP No.6.

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Mirko Gačević

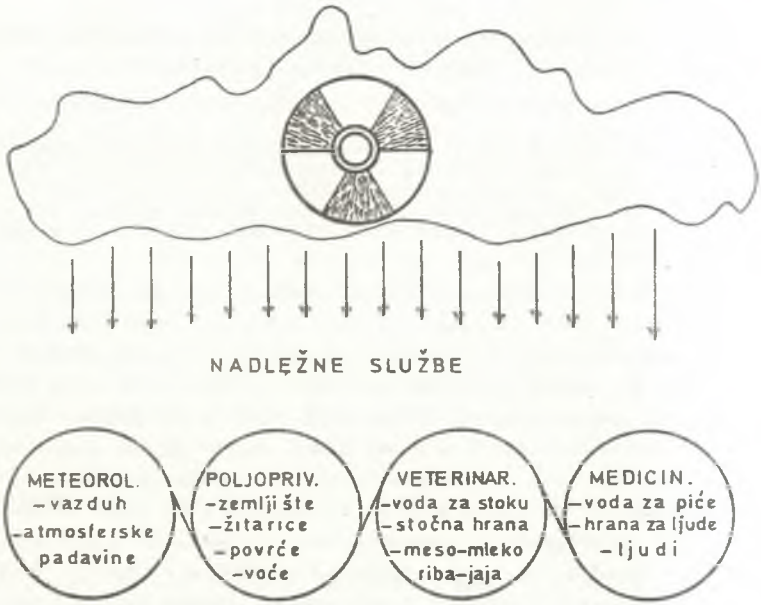
Institut za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, veterinarstvu i šumarstvu, Beograd - Zemun, Baranjska 15.

# NEKA ISKUSTVA U RADIOMETRIJSKOJ KONTROLI ŽIVOTNE SREDINE U SSSR-u

U ovom radu su prikazana samo neka iskustva i načini organizovanja stalne radiološke kontrole životne sredine /vazduha, vode, zemljišta, stočne i ljudske hrane/ u SSSR-u, kao i nadležnosti i medjusobna zavisnost pojedinih službi /hidrometeorološke, poljoprivredne, veterinarske i medicinske/ u vršenju ovog važnog i odgovornog društvenog posla.

Zaštiti životne sredine od raznih vrsta zagadjenja posvećuje se u celom svetu, pa i kod nas, sve veća pažnja. U ovom radu želeli smo da iznesemo samo neka iskustva u kontroli životne sredine od radioaktivnih materija u SSSR-u, zemlji u kojoj se na ovoj problematici radi organizovano i sistematski više od 15 godina. Najveći deo radioaktivnih rezervi u stratosferi nastao je kao posledica veštačkih nuklearnih eksplozija u vodi i vazduhu do 1962.god. kada su eksperimenti ove vrste prekinuti. Avgusta 1963.god., Moskovskim sporazumom, postignut je dogovor o zabrani nuklearnih proba u vodi i vazduhu izmedju dve najjače supersile /SSSR-a i SAD-a/. Ovaj dogovor su potpisale kasnije i druge zemlje, izuzev Kine i Francuske. Medjutim, do tog perioda u stratosferi su stvorene tolike rezerve radioaktivnih materija koje sve do naših dana stalno sa raznim padavinama dospevaju na zemlji i uključivanjem u lanac ishrane, dospevaju do ljudi i životinja. S druge strane, sve veća primena nuklearne energije u mirnodobske svrhe /nuklearni reaktori i centrale/ nose sa sobom opasnost od lokalne kontaminacije spoljne sredine. Imajući u vidu realnu opasnost od zagadjenja životne sredine sa radioaktivnim materijama različitog porekla, kontroli životne sredine na radioaktivnost u SSSR-u posvećena je velika pažnja. U tom cilju angažovane su razne službe, da svaka iz delokruga svog rada, vrši kontrolu spoljne sredine na prisustvo radioaktivnih materija /šema 1./. Iz ove šeme se vidi da su na ovim zadacima, uglavnom, angažovane ove službe: hidrometeorološka, poljoprivredna,

veterinarska i medicinska. Svaka od ovih službi imaju odredjen delokrug rada, koriste iste ili slične metode detekcije, gde je to god moguće iste kontrolne punktove, da su u svom radu medjusobno povezane i da se dopunjuju.




GRAF. br.1.

Šematski prikaz kontrole životne sredine na radioaktivnost u SSSR-u

Ovom prilikom detaljnije ćemo se osvrnuti na rad veterinarske službe, njenu ulogu i mesto u kontroli životne sredine na radioaktivnost. Dva su osnovna zadatka veterinarske radiološke ekspertize:
1. da spreči kontaminaciju domaćih životinja preko hrane i vode i
2. da spreči korišćenje proizvoda životinjskog porekla /meso, mleko, jaja, riba, med/ za ishranu ljudi u slučajevima prisustva radioaktivnih materija u nedozvoljivim količinama.

Veterinarska radiološka kontrola odvija se preko radioloških odelenja, formiranim pri postojećim republičkim, pokrajinskim i sreskim veterinarskim dijagnostičkim laboratorijama, a prema jedinstvenom programu koji donosi Glavna veterinarska uprava pri Ministarstvu za poljoprivredu SSSR-a. Sva radiološka vet.odelenja koriste jedinstvene metode merenja /2 i 3/, a kadrovski se sastoje od po jednog veterinara /obično rukovodilac odelenja/, fizičara, hemičara i 2 tehnička saradnika-laboranta. Obim posla ovih odelenja iznosi oko 200-250 radiohemijskih analiza godišnje. Radiološka odelenja ostvaruju stalnu kontrolu radioaktivne zagadjenosti objekata veterinarskog nadzora na čitavoj teritoriji SSSR-a.

Konkretni zadaci radioloških odelenja su sledeći:

1. Odredjivanje radioaktivnosti u kabastoj, sočnoj /sirovoj/ i koncentrovanoj stočnoj hrani, vodi za napajanje stoke /ako se ne koristi iz vodovodne mreže/, životinjskim produktima i produktima živinarstva /nepreradjenim/ u kolhozima i sovhozima i u drugim domaćinstvima koja se bave poljoprivrednom proizvodnjom za tržište, na teritoriji republika, pokrajina i srezova.
2. Kontrola na radioaktivnost predmeta veterinarskog nadzora koja se uvoze iz inostranstva.
3. Prognoza radijacione situacije u republikama, pokrajinama i srezovima na osnovu analize rezultata radiometrijskih i radiohemijskih merenja.
4. Priprema kadrova po pitanju radijacione zaštite domaćih životinja i stočne hrane.
5. Priprema veterinara-dozimetrista prema posebnom programu.
6. Republička radiološka odelenja ukazuju pomoć sreskim i pokrajinskim odelenjima iz dozimetrije zračenja i radiometrijske analize.
7. Obučavaju veterinare ekspresnim metodama detekcije zagadjenosti radioaktivnim materijama stočne hrane animalnog i biljnog porekla i vode za domaće životinje i produkte animalnog porekla.

Radiološka odelenja republičkih vet.laboratorija javljaju se kao naučno-metodski centri koji koordiniraju i usmeravaju rad radioloških odelenja pokrajinskih i sreskih vet.laboratorija u datoj republici. Ova odelenja su i kadrovski jača i bave se naučno-istraživačkim radom a koriste i obeležena jedinjenja kao i drugim pitanjima vet.radiobiologije.

Odredjivanje radioaktivnosti vrši se u sledećim uzorcima:

1. Kabasta hrana /prirodno i veštačko seno, slama, mekinje itd./; U koncentrovanoj stočnoj hrani /koncentrat, žitarice, industrijski otpaci kao što su lanene i suncokretove pogačice, melasa itd./; sočnoj hrani /trave sa pašnjaka, veštačkih i prirodnih livada itd./.
2. U sirovim životinjskim produktima-mleko, meso, kosti, riba, jaja, med itd.
3. U ratarskim proizvodima koji se koriste za ishranu stoke: krompir, stočna repa, kupus itd.
4. U vodi iz otvorenih vodopoja za stoku /bare, reke, jezera itd./
5. U siru i drugim proizvodima animalnog porekla koji se uvoze iz inostranstva.

Prema potrebi ova odelenja odredjuju radioaktivnost i u atmosferskim padavinama kao i alfa-emitere u hrani.

Sreske vet.laboratorije odredjuju ukupnu beta-radioaktivnost u objektima veterinarske kontrole, a prema šemi koju dobijaju od republičkih radioloških odelenja. Radiometrijska analiza uključuje u sebe: uzimanje i pripremu uzoraka za ispitivanje, radiometrijska i radiohemijska analiza. Odredjivanje ukupne beta-radioaktivnosti vrše se kao predhodna-orjentaciona merenja zagadjenosti predmeta vet.nadzora u laboratorijama u kojima se ne vrše radiohemijske analize.

Osnovni metod odredjivanja radioaktivnosti u objektima vet.nadzora vrši se radiohemijskom analizom, koja omogućava potpunu i objektivnu ocenu radioaktivne situacije. Radiohemijskoj analizi podležu svi uzorci na prisustvo biološki najopasnijih radionuklida $^{90}Sr$ i $^{137}Cs$ a po potrebi i na $^{131}J$.

U svakoj oblasti ili republici odredjuju se 3-6 kontrolnih punktova prema geografskim, ekonomskim i klimatskim karakteristikama. U ove svrhe mogu da posluže pojedine farme kolhoza i sovhoza koje su karakteristične za date oblasti ili regione. Ukoliko su svi, gore pomenuti, uslovi u jednoj oblasti ujednačeniji, potrebno je manje punktova i obratno. Mesto za kontrolne punktove, vreme uzimanja proba odredjuju načelnici vet.odelenja sreza, pokrajine ili republike.

Kod uzimanja uzoraka vodi se računa da se uzme dovoljna količina potrebna za dobijanje dovoljne količine pepela za radiohemijsku analizu. Postoje detaljno razradjena uputstva za uzimanje pojedinih vrsta uzoraka /npr. meso, kosti, riba itd./, načinu pakovanja

i etiketiranja, vodjenju evidencije-dnevniku rada itd.

Republička radiološka odelenja, povremeno ili prema potrebi, uzimaju uzorke sa pojedinih kontrolnih punktova za kontrolna ispitivanja. Na mestima gde se vrši uzimanje uzoraka istovremeno se odredjuje i ukupna gama-radioaktivnost, tzv. gama-fon.

Na osnovu radiohemijskih i radiometrijskih ispitivanja vrši se procena zagadjenja predmeta vet.kontrole, i vrši analiza dinamike nakupljanja biološki najvažnijih radionuklida u domaćim životinjama, njihovim proizvodima i stočnoj hrani.

Radiološka odelenja pri sreskim vet.laboratorijama dostavljaju izveštaj o radu Republičkim odelenjima dva puta godišnje. Pored toga, sva radiološka odelenja dostavljaju godišnji izveštaj o rezultatima radiohemijskih i radiometrijskih ispitivanja do 15 januara, a iz Republičkih odeljenja Ministarstvu poljoprivrede do 15 februara iduće godine. Od 1969.god. uz izveštaj se daju podaci o vezi izmedju nivoa radioaktivnosti, u datom regionu i pojavi odredjenih obolenja kod domaćih životinja kao što su stanje plodnosti i steriliteta, leukoza domaćih životinja, pojava atrofičnog rinita svinja i drugih neinfektivnih obolenja i % smrtnosti.

U slučaju nalaza povećanog nivoa radioaktivnosti u ispitivanim uzorcima o tome se odmah izveštavaju veterinarski i sanitetski inspektori kao i glavni veterinarski inspektor Ministarstva poljoprivrede SSSR-a radi preduzimanja odgovarajućih mera zaštite. Pri proceni MDK usvojeni su kriterijumi koje propisuje Medjunarodna komisija za zaštitu od zračenja /ICRP/ /1/.

Kod nas, u Jugoslaviji, radiološku kontrolu, uglavnom, su vršile medicinske ustanove, a u okolini nuklearnih centara i posebne službe za zaštitu od zračenja. Ovakvo stanje bilo je neminovnost pošto druge službe nisu bile ni kadrovski ni opremom sposobne da se uključe u kontrolu na radioaktivnost životne sredine iz delokruga svog rada. Danas je situacija nešto izmenjena, na bolje, tako da u SR.Srbiji već danas bi se mogla da izvrši raspodela posla izmedju meteorološke, poljoprivredne, veterinarske i medicinske službe, čime bi se dobilo u kvalitetu i obimu radiološke kontrole u našoj Republici. U drugim našim republikama takodje se napreduje i sve više proširuje krug istraživača koji rade na ovoj problematici. Trebalo bi da se sistematski podpomažu i razvijaju one službe koje su nedovoljno razvijene, kako bi se osposobile da u što kraćem periodu preuzmu na sebe deo kontrole na radioaktivnost

životne sredine, kako bi teritorija SFRJ bila kompletno pokrivena. U ovom radu treba da se maksimalno koristimo pozitivnim iskustvom razvijenih zemalja koje su postigle zavidan nivo organizovanosti u kontroli životne sredine na radioaktivnost.

## SOME EXPERIENCE IN RADIOMETRICAL CONTROL OF ENVIRONMENT IN THE SOVIET UNION

This work was designed to present some experience and ways of organizing permanent radiological control of air, water, soil, cattle fodder and feedstuff in the Soviet Union, as well as competence and correlation among relevant services /meteorological, agricultural, veterinary and medical/ in realization of this responsible and important social affair.

## Bibliografija

1. VOKKEN,G.G. - Veterinarnaja radiologija. "Kolos", Lenjingrad, 1973.
2. Instruktivno-metodičeskih ukazanijah po kontrolju za radioaktivnostjuvnepnej sredi.Moskva, 1964.
3. Instruktivno-metodičeskih ukazanijah po opredeleniju radioaktivnosti v objektah vetnadzora. Moskva, 1967.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Slobodan GNJATOVIĆ
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča,Beograd

# O POGODNOSTIMA ZA RADNIKE KOJI RADE NA POSLOVIMA SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

Abstrakt

U ovom radu razmatrana je potreba donošenja propisa koji bi regulisao pitanja pogodnosti za radnike koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja, i izmena Zakona o beneficiranom radnom stažu.

Rad na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja, odnosno izloženost radnika jonizujućem zračenju predstavlja rad pod posebnim uslovima, jer zračenje pretstavlja odredjeni dodatni faktor za nastanak pojedinih radijacionih oštećenja.

Radi zaštite života i zdravlja radnika od štetnog dejstva jonizujućih zračenja, propisuju se mere usmerene na stvaranje uslova za bezbedan rad radnika.

Bezbedan rad se ostvaruje primenom savremenih tehničkih, zdravstvenih, socijalnih, obrazovno vaspitnih i drugih mera za sprečavanje oštećenja zdravlja radnika izloženih jonizujućem zračenju. Medjutim, i pored primene svih ovih mera, ne može se u potpunosti izbeći izloženost štetnom dejstvu jonizujućih zračenja.

Ove okolnosti su diktirale da je svojevremeno donet Pravilnik o pogodnostima radnika koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja (1) koji je regulisao sledeće pogodnosti za radnike:

- skraćeno radno vreme
- duži godišnji odmor
- uvećani lični dohodak

Osim ovih pogodnosti Zakon o utvrdjivanju radnih mesta na kojima se staž osiguranja računa sa uvećanim trajanjem (2) u

svom članu 2 dela XIX obuhvata delimično poslove sa izvorima jonizujućeg zračenja, dajući pravo da se za svakih 12 meseci u staž osiguranja računa 15 meseci, kod rada sa izvorima jonizujućih zračenja.

Osobenost rada sa izvorima jonizujućih zračenja zbog njihovog štetnog dejstva iskazana je donošenjem Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja (3) i posebnih propisa koji regulišu ovu materiju.

Promena Ustava i zakonskih propisa kao i savremena saznanja uslovile su donošenje novog Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja (3). Ovaj zakon je predvideo i donošenje niza propisa kojima će se bliže urediti pojedine problematike rada sa izvorima jonizujućih zračenja. Medjutim, nije predvidjeno donošenje propisa o pogodnostima za radnike koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja.

Broj radnika koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja je u stalnom porastu.

Regulisanje prava i dužnosti, naročito prava na odredjene pogodnosti kao jedno od osnovnih prava radnika koji rade pod posebnim uslovima, ostavljeno je znači da regulišu same radne organizacije.

Radne organizacije su prema svom znanju i umešnosti, a i materijalnoj mogućnosti, te pogodnosti različito tretirale ili ih uopšte nisu regulisale.

Tako da imamo da radnici koji rade na istim ili sličnim poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja u raznim radnim organizacijama, često i u istoj a različitim osnovnim organizacijama udruženog rada, imaju različite pogodnosti ili ih uopšte nemaju.

Delimičnu pomoć radnim organizacijama u uredjivanju ove materije pružale su Ustanove ovlašćene za poslove zaštite od jonizujućih zračenja, koje su u nedostatku propisa, davale odgovarajuća rešenja u ostvarivanju pogodnosti na način i po postupku kao što je rešeno u njihovim ustanovama.

Sve ovo nam ukazuje na potrebu da se pogodnosti za radnike koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja regulišu posebnim propisom. Ovaj propis bi definisao vrste radova na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja, kategorisao ih, i prema

tome propisao odgovarajuće pogodnosti.

Nepotpunost i isključivost koju Zakon (2) pokazuje, dajući beneficije samo radnicima na nuklearnim uredjajima i nuklearnim laboratorijama, kao da je donesen da zadovolji samo te kategorije radnika, odnosno pojedine kategorije poslova u nuklearnim institutima.

Bilo bi potrebno da Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja bude inicijator za izmenu ovog Zakona u cilju pomoći radnim ljudima u ostvarivanju svojih prava.

Ovaj zakon bi po smislu trebalo da bude jednoznačan i primenljiv na sve radnike koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja prema odgovarajućoj kategorizaciji koja bi bila bolje uradjena.

Tekstovi i definicije predloženog propisa (1) i Zakona (2) bi trebalo da budu tako uradjeni da ne zahtevaju puno posebnih tumačenja za njihovu primenu.


## Abstract

ON THE BENEFITS FOR THE PERSONS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING RADIATION

This paper consider the necessity of postulating the regulations related to some benefits for the persons occupationally exposed to ionizing radiation from external sources. This paper also consider the modification of the law of the beneficial length of service.


## REFERENCE


1. Pravilnik o pogodnostima radnika koji rade na poslovima sa izvorima jonizujućih zračenja ("Sl.list SFRJ",br.26/64).

2. Zakon o utvrdjivanju radnih mesta na kojima se staž osiguranja računa sa uvećanim trajanjem ("Sl.list SFRJ",br.17/68).

3. Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja ("Sl.list SFRJ",br.54/76).

IX SIMPOZIJUM JUGOSLAVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V do 3.VI 1977

dr S. Lugomer
NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO - v ustanavljanju

# KRITERIJI ZA TRAJNO SKLADIŠTENJE NISKO I SREDNJE AKTIVNIH MATERIJA

U referatu su navedeni osnovni kriteriji za trajno odlaganje radioaktivnih materija niske i srednje aktivnosti, koji uključuju kriterije za izbor lokacije, kao i tehničko-tehnološke uvjete skladištenja.

Nuklearna postrojenja, kao što su NE, u toku rada proizvode radioaktivni otpadni materijal koji tretiramo kao radioaktivni otpad, čija količina i vrsta ovisi o tipu postrojenja.

Tretiranje radioaktivnog otpada vrši se na osnovu slijedećih kriterija:

1. aktivnosti
2. sastavu izotopa,

vodeći računa da radioaktivna materija može biti plinovita, tekuća ili kruta.

Plinoviti radioaktivni otpad u najvećem broju slučajeva sadrži izotope plemenitih plinova Kr i Xe, a uz njih tricij i jod.

Tekući pak može biti bilo koji, najčešće u formi vodene otopine.

Očito je da plinovite i tekuće radioaktivne materije nisu pogodne za skladištenje, pa je najbolje pretvoriti ih u čvrsto stanje u kojem se lako skladište, jer im se smanji volumen i olakša manipulacija,a ujedno i smanji mogućnost kontaminacije okoline.

S obzirom na aktivnost radioaktivni otpad tretira se na osnovu četiri slijedeće kategorije:

1. nisko aktivni sumnjiv materijal
2. nisko aktivni s površinskim zračenjem do 200 mR/h
3. srednje aktivan sa površinskim zračenjem od 200 mR/h - 2 R/h
4. visoko aktivan sa površinskim zračenjem $>$ 2 R/h.

U prvu kategoriju spadaju materije koje su na neki način došle u dodir sa radioaktivnim izotopima i imaju aktivnost tako malu da se teško može registrirati. Radioaktivne materije ove kategorije pakiraju se u plastične vreće i hermetički se zatvaraju.

Radioaktivne materije 2. i 3. kategorije pakiraju se u željezne posude, zaliju cementom ili bitumenom, čime se smanjuje mogućnost kontaminacije okoline.

Visoko aktivne materije 4. kategorije pakiraju se u čelične kontejnere koji se zatim zavare.

Ovako zapakiran radioaktivni otpadni materijal skladišti se na jedan od slijedećih načina uobičajenih u svijetu:

1. zakopavanje u zemlju
2. odlaganje u rudnike soli
3. skladištenje u posebno izgradjenim skladištima.

Ne ulazeći u prednosti i loše strane pojedinih načina skladištenja, zadržat ćemo se na posljednjem načinu skladištenja koji se koristi u zemljama s velikom gustoćom naseljenosti.

Navesti ćemo osnovne sigurnosne kriterije koje takvo skladištenje treba zadovoljiti, a koji su od NE Krško upućeni Saveznom komitetu za zdravstvo.

1. SIGURNOSNI KRITERIJI

1.1 Kriteriji za izbor lokacije

1.1.1 Opći

Skladnost s jugoslavenskim i medjunarodnim propisima koji vrijede na dan 1.1.1977 /Ref. (1), (2), (4)/

1.1.2 Demografski

Lokacija mora biti u rijetko naseljenom području /Ref. (2)/ sa malim prirastom stanovništva.

1.1.3 Klimatološki

Lokacija mora biti u području sa manjim srednjim godišnjim padavinama /Ref. (2)/

1.1.4 Meteorološki

Moraju biti poznati slijedeći parametri /Ref. (2)/:

a/ dnevna i mjesečna, srednja, te ekstremne vrijednosti za temperaturu i vlažnost

b/ mjesečne karakteristike vjetra: brzina i smjer, te kategorija stabilnosti prema Pasquillu

1.1.5 Hidrološki i hidrogeološki

a/ Mora biti isključena mogućnost poplave lokacije, mora biti ocijenjena kota 1000 - godišnje poplavne vode /Ref. (2)/.

b/ Udaljenost od izvora vode, rijeka i jezera /Ref. (2)/.

c/ Lokacija mora biti u području koje ima stabilna hidrogeološka svojstva /konstantan hidraulički gradient, te da područje nije duži vremenski period bilo poplavljeno/ - /napušteni rudnici soli, kamenolomi itd./

d/ Mora biti isključena mogućnost direktnog zagadjenja podzemne vode radioaktivnim materijama.

e/ Meteorske vode se ne smiju drenirati u smjeru izvora pitke vode /Ref. (2), (3)/.

f/ Tlo mora imati što manju permeabilnost /Ref.(10)/.

1.1.6 Geološko-seizmološki

a/ Tlo mora biti geološki stabilno (konsolidirano), iz gipkog (plastičnog)

materijala /Ref.(3)/. Treba odrediti geološku strukturu i nosivost tla.

b/ Mora biti isključena mogućnost odrona ili zasipanja zemljišta /Ref.(3)/.

c/ Poželjan je veliki sorpcijski kapacitet tla (kapacitet kationske izmjene mora biti veći od 1 mekv/100 g /Ref. (2)/.

d/ Brzina migracije radionuklida u tlu mora biti reda veličine 0.1 cm/dan.

e/ Konstruktivnim rješenjima potrebno je osigurati da skladište može odoliti najvećem potresu koji se može očekivati na danoj lokaciji. Vjerojatnost i amlitudu maksimalnog potresa treba odrediti na osnovu kronoloških seizmoloških podataka i na osnovu studija geoloških struktura za danu lokaciju. Osobito je važno odrediti udaljenost od najbližih seizmički aktivnih rasjeda, kao i vjerojatnost površinskog pomicanja tla. /10CFR100/

f/ Takodjer je potrebno odrediti maksimalnu širinu potresne zone. Lokacija skladišta mora biti najmanje jednu širinu potresne zone udaljena od njene sredine i to transverzalno u odnosu na smjer tektonski aktivnih linija.

1.2 Kriteriji skladištenja

1.2.1 Opći

Suglasnost s jugoslavenskim i medjunarodnim propisima valjanim na dan 1.1.1977 /Ref. (1), (2), (4)/.

1.2.2 Tehnološko-radiološki

a/ Lokacija mora biti dostupna željezničkom prugom ili cestom /Ref.(10)/.

b/ Skladišni prostor mora biti tako projektiran da omogućuje sigurno i pouzdano rukovanje i odlaganje radioaktivnog materijala.

c/ Radioaktivni materijal mora biti pakiran u standardnu (200 l) čeličnu burad.

d/ Maksimalna aktivnost radioaktivnog materijala u čeličnom buretu iznaša 8 Ci.

e/ Aktivnost na površini čeličnog bureta mora biti manja od 10 mCi, odnosno veličina doze zračenja mora biti manja od 10 mrem/sat na udaljenosti 1 m.

f/ Fizička svojstva buradi (otpornost na oštećenje pri padu), način pakiranja i označavanja sadržaja radioaktivnog materijala mora biti u skladu sa jugoslavenskim /Ref. (1)/ i medjunarodnim propisima /Ref. (2), (4), (11)/.

g/ Oprema za rukovanje čeličnom buradi mora omogućavati sigurno i pouzdano skladištenje uz minimalne doze zračenja zaposlenog osoblja.

h/ Skladišni prostor mora biti prozračavan - sistem za ventilaciju mora biti sposoban očistiti zrak od radioaktivnog aerosola.

i/ Potrebno je stalno mjerenje odnosno nadzor radioaktivnosti kako unutar skladišnog prostora tako i u ventilacijskim kanalima. Osigurati da alarmni sistem signalizira povećanu radioaktivnost unutar skladišnog prostora.

j/ Skladište mora imati protupožarni sistem.

k/ Skladište mora imati alarmni sistem koji će signalizirati pristup neovlaštenih osoba u skladišni prostor /Ref. (6), (12)/.

l/ Potrebno je izraditi plan akcija (za dekontaminaciju, administrativne propise) za slučaj da se dogodi nezgoda pri rukovanju sa čeličnom buradi u toku samog skladištenja odnosno pri transportu od NE do skladišta.

1.3 Kriteriji ekološke zaštite

a/ Treba načiniti mjerenja "nultog stanja", tj. izmjeriti početnu radioaktivnost zraka, površinske i podzemne vode, flore i faune i izraditi njen popis za bližu okolicu.

b/ Sve studije i izvještaji istraživačkih radova koji su potrebni za dobivanje lokacijske odnosno gradjevinske dozvole moraju biti u skladu s Ref. (7).

c/ Na podlogi studija i istraživačkih radova potrebno je ocijeniti utjecaj skladišta radioaktivnog materijala na okoliš /Ref. (8)/.

The report deals with basic criteria for the final storage of low and middle activity radwastes including site location criteria, as well as technical conditions of deposition.

REFERENCE

1. Zakon o zaštiti od jonizirajućih zračenja, Službeni list SFRJ br. 54 od 10.12.76.
2. Radioactive Waste Disposal into the Ground, IAEA, Safety Series No. 15,1965
3. Management of Low Level Wastes, IAEA, 1970, 1976
4. Packaging of Radioactive Material for Transport and Transportation of Radioactive Material under certain conditions, 10CFR Part 71
5. Reactor Site Criteria, 10CFR Part 100
6. Physical Protection of Plants and Materials, 10CFR Part 73
7. Preparation of Environmental Reports for Nuclear Power Plants, R.G. 4.2, 1976
8. Licensing and Regulatory Policy and Procedures for Environmental Protection, 10CFR Part 51
9. Guidance on the Licence Application, Siting, Design, and Plant Protection for an Independent Spent Fuel Storage Installation
10. Kriteriji za izbiro lokacije skladištenja trdnih radioaktivnih odpadkov v gosto naseljenih področjih, IJS, Ljubljana, DP-1918, 1975
11. Procedures for Picking up, Receiving, and Opening Packages, 10CFR 20.205
12. The Physical Protection of Nuclear Material, INFCIRC/225, International Atomic Energy Agency, Sept. 1975

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Gligorijević Jovan, Petrović Branislav, Draganović Borislav, Zagorčić-Janković Anica, Djurić Gordana

Katedra za radiologiju i fizioterapiju Veterinarskog fakulteta u Beogradu

# EDUKACIJA VETERINARSKIH STRUČNJAKA (NA REDOVNIM I POSLE-DIPLOMSKIM STUDIJAMA) IZ OBLASTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

- Kratak sadržaj -

Obzirom na ulogu, zadatke i delokrug rada veterinarskih stručnjaka studije na Veterinarskom fakultetu, osim osnovnih prirodnih i veterinarsko-medicinskih nastavno-naučnih sadržaja obuhvataju i niz teorijskih i praktičnih znanja iz oblasti kao što su Radijaciona higijena i Zaštita domaćih životinja i namirnica animalnog porekla od zračenja.

Pored nastave u okviru redovnih studija, Radijaciona higijena i Zaštita od zračenja izučavaju se na poslediplomskim studijama i magistarskom kursu a postoji mogućnost i specijalizacije iz ovih oblasti.

Problemi zaštite životne sredine, ekosistema i biosfere predstavljaju, kako sa teorijskog, tako i sa gledišta prakse, najsloženije fenomene interdisciplinarnog karaktera, koje savremena nauka treba da rešava. U okviru ove složene problematike ističu se dva aspekta rešavanja zaštite životne sredine: sprečavanje daljeg uništavanja i degradacije pojedinih delova biogeocenoze i unapredjivanje i poboljšanje funkcionisanja ekosistema i biosfere u celini. Ovo se pre svega odnosi na svojevrsne biološke makrosisteme (biološki ciklus: vazduh-voda-zemljište-biljke-životinje-čovek), čije je funkcionisanje u smislu organske produktivnosti zasnovano na odredjenim strukturama, koje treba zaštititi, obnoviti ili unaprediti.

Medju faktorima koji značajno degradiraju životnu sredinu su i prirodni izvori zračenja, kao i stalno povećanje prisustva veštačke radioaktivnosti.

Radijaciono opterećenje životne sredine, koje nastaje kao posledica prirodne radioaktivnosti u vazduhu (padavine), geografskim vodama, tlu, biljkama, životinjama (i njihovim produktima) i veštačke radioaktivnosti usled mirnodopske primene nuklearne energije, medicinske aplikacije radiotrasera, itd. predstavlja vrlo značajan negativni faktor bioekološke prirode. Opasnost koja nastaje od radioaktivnog zagadjenja životne sredine i kontaminacije živih organizama, postala je predmet zdravstvene zaštite životinja i njihovih proizvoda a time i ljudi.

Obzirom na ulogu, zadatke i delokrug rada veterinarskih stručnjaka, zaštita od zračenja, a posebno radijaciona higijena animalne proizvodnje imaju veliki značaj ne samo kao naučne discipline, već i kao sastavni deo studija na veterinarskim fakultetima i to kako sa medicinskog, tako i sa tehnološkog i preventivnog aspekta veterinarske prakse. Uskladjivanjem nastavnih planova i programa redovnih i poslediplomskih studija, sa razvojem nauke i potrebama neposredne prakse na Veterinarskom fakultetu u Beogradu stvoreni su uslovi za osposobljavanje veterinarskih kadrova za rad na poslovima zaštite od zračenja i radijacione higijene animalne proizvodnje. Obim i sadržaj nastavne materije, kao i oblici obrazovnih procesa koncipirani su tako da čine integralni deo ne samo redovnih studija već omogućuju permanentnu dopunu znanja i proširivanje i produbljivanje stručnosti. Nastavni sadržaji, kako graničnih oblasti, tako i neposredne problematike zaštite od zračenja oformljeni su kao posebni nastavni predmeti ili čine sastavni deo srodnih predmeta i rasporedjeni su u svim etapama redovnih studija. Tako, materiju fizike i biofizike zračenja, zatim prirodna i veštačka radioaktivnost, vrste i osobine radio-

aktivnih zračenja, nuklearne reakcije i jedinice radioaktivnosti, prolazak i apsorpcija zračne energije kroz materiju, kao i detekcija i dozimetrija, studenti savladjuju u okviru predmeta osnovnih prirodnih nauka (Fizika, Molekularna biologija, Biofizika, Biohemija). Drugu etapu ove obuke čine nastavni sadržaji od posebnog značaja za Opšte narodnu odbranu i to: nuklearna borbena sredstva, delovanje nuklearne eksplozije, principi merenja radioaktivnog zračenja, biološko dejstvo radioaktivnih zračenja (radiosenzitivnost, radiorezistentnost), radiopatologija(radijacione povrede, radijaciona bolest, radiološka trovanja, udružene radijacione povrede). Treću etapu nastavnog procesa predstavlja nastavna tematika radiokontaminacije biosfere (putevi i načini), zakonitosti rasprostiranja i migracije radionuklida u životnoj sredini (padavine, tlo, biljke, životinje) kao i radiokontaminaciju stočne hrane, vode, životinja i njihovih produkata (putevi prodiranja, delovanja, deponovanja i eliminacije). U okviru ove tematike posebno su značajna poglavlja koja obradjuju procenu radijacione situacije (izvidjanje, obaveštavanje i rad na KonZ) i radijaciono-higijenske ekspertize (detekcija identifikacija) kontaminirane stočne hrane, vode, životinja i njihovih produkata (mesa, porizvoda od mesa, mleka i mlečnih produkata, kože i njenih derivata i dr.), kao i ocenu njihove upotrebljivosti. Ovu etapu obrazovanja studenti zaokružuju nastavnim sadržajemiz oblasti radiodekontaminacije (principi i metodi), uključujući merenja dekontaminabilnosti i izračunavanje rezultata dekontaminacije.

Završni deo teorijske nastave obuhvata elemente, metode i kontrolu zaštite stočne hrane, vode, životinja i namirnica od ozračivanja i radiokontaminacije.

Celokupnu teorijsku nastavu prate odgovarajući oblici praktične nastave. Svrha praktične nastave je da studente uvede u metodologiju primene i da ih osposobi za neposredan rad sa instrumen-

tacijom za otkrivanje izvora i odredjivanje vrste zračenja, kao i da organizuju i sprovode mere zaštite i prevencije. Metodološki deo obuke organizovan je u okviru predmet Radijaciona higijena i sadrži rad sa detektorima (tipa KOMO) i dozimetrima DR-M3 i KOMO, zatim, merenje niske beta-radioaktivnosti uzoraka namirnica i stočne hrane uredjajima LOLA i LARA, kao i merenje visoke beta-aktivnosti radiometrijskom laboratorijom LARA. Aplikativni delovi praktične nastave uključeni su u obrazovne procese odgovarajućih predmeta (Ishrane, Higijene, Hirurgije, Higijene i tehnologije mesa i mesnih proizvoda, Higijene i tehnologije mleka i produkata od mleka, Zakonski propisi o kontroli prometa namirnica animalnog porekla i dr.).

Ovakav obim i sadržaj materije iz oblasti Zaštite od zračenja u nastavi redovnih studija omogućuju veterinarskim stručnjacima da se osposobe ne samo za neposredan uspešan rad na poslovima zaštite od zračenja i radijacione higijene animalne proizvodnje, već i za dalje usavršavanje i specijalizaciju u ovoj oblasti. Tako, osim u redovnim studijama, problematika Zaštite od zračenja i Radijacione higijene izučava se i na poslediplomskim studijama.

U okviru poslediplomske nastave magistarskog smera, studenti dobijaju viši kvantum nadgradnje kroz predmete Radijaciona biofizika, u koji su uključena pored jonizujućih i nejonizujuća zračenja (IR, UV, LASERI, itd.). Na ovom nivou studija poslediplomci dobijaju daleko detaljnija saznanja o biofizičkim svojstvima i delovanjima zračenja na živu materiju, reparacionim procesima ćelija i tkiva i preventivnim merama zaštite od zračenja (spoljašnjeg i unutrašnjeg). U okviru predmeta Zaštita životne sredine poslediplomci izučavaju radioekologiju i u okviru nje: izvore zračenja u životnoj sredini i njihov uticaj na životne procese, modele translokacije radionuklida u životnoj sredini (akutnom i hroničnom), kvantitativne zakonitosti (simulacionim studijama), postu-

pke normiranja dozvoljenih nivoa ili MDK u ciklusu animalne proizvodnje (stočna hrana i voda, životinje, animalni produkti), uticaj tehnoloških postupaka u animalnoj proizvodnji na intenzitet radijacionog faktora u životnoj sredini i postupke zaštite ciklusa animalne proizvodnje kako u uslovima prirodne aktivnosti, tako i u uslovima visokog nivoa kontaminacije ciklusa animalne proizvodnje (i životne sredine) radioaktivnim materijama.

Pored ovih obrazovnih oblika, značajno mesto u osposobljavanju veterinarskih stručnjaka za rad u oblasti Zaštite od zračenja i Radijacione higijene animalne proizvodnje predstavljaju seminari i kursevi za inovacije, kao i simpozijumi za obradu aktuelnih naučnih i stručnih pitanja. Ciklusi inovacija za veterinare obuhvataju deo radioekoloških studija kao osnovu obuke veterinara u zaštiti ciklusa animalne proizvodnje od radioaktivnih zagadjivača, kao odredjene faze zaštite životne sredine, kroz sve vidove veterinarske delatnosti (medicinski, preventivni, tehnološki, inspekcijski smer). Drugi pravac inovacija je obuka diplomiranih veterinara u radijaciono-higijenskoj kontroli predmeta veterinarskog nadzora u vanrednim situacijama.

U sistemu obrazovanja i usavršavanja veterinarskih stručnjaka, svoje mesto i funkciju imaju i stručne sekcije Saveza društava veterinara i veterinarskih tehničara SFRJ za radijacionu higijenu i Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja svojim intenzivnim i raznovrsnim oblicima rada i akcija.

Ovaj kratak prikaz edukacije veterinarskih stručnjaka treba da posluži kao osnova za razmenu mišljenja i iskustava u obrazovanju i usavršavanju stručnih kadrova različitih profila i specijalnosti neophodnih za timski rad na rešavanju složene problematike interdisciplinarnog sadržaja - kao što je zaštita od zračenja.

# PROFESSIONAL TRAINING OF THE EXPERTS OF VETERINARY MEDICINE (DURING REGULAR AND POST-GRADUATE STUDIES) IN THE FIELD OF RADIATION PROTECTION


- Summery -

Taking into consideration the role, tasks and the scope of activities of the experts of veterinary medicine, the studies at the Faculty of Veterinary Medicine, apart from the basic natural and veterinary-medical edukational and scientific studies include the theoretical and practical knowledge in Radiation Hygiene and Protection of domestic animals and food of animal origin against radiation.

Radiation Hygiene and Protection against radiation are taught during regular studies, as well as during postgraduate studies, Master's degree and specialization courses.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V - 3. VI 1977.

Ćirić mr. Vladimir
Viša tehnička škola, Novi Sad

# ZAŠTITA OD ZRAČENJA U NASTAVNIM PROGRAMIMA ODSEKA ZA PROTIVPOŽARNU I CIVILNU ZAŠTITU VIŠE TEHNIČKE ŠKOLE U NOVOM SADU

Sadržaj

Viša tehnička škola u Novom Sadu, pored ostalih, ima Odsek za protivpožarnu i civilnu zaštitu. Na ovom odseku svršeni studenti dobijaju zvanja: inženjer protivpožarne zaštite odnosno inženjer civilne zaštite. U ovom saopštenju je dat kratak prikaz osposobljavanja studenata za zaštitu od zračenja. Studenti oba smera imaju predmete gde se izučava zaštita od zračenja s tim što se ista znatno opširnije izučava na smeru civilne zaštite.

## Uvod

Potreba za stručnim kadrom u civilnoj zaštiti je veoma velika. Ova potreba se rešavala uglavnom tako što su se stručni kadrovi iz odgovarajućih oblasti, srodnih civilnoj zaštiti, osposobljavali neposredno uz rad u civilnoj zaštiti. Ovaj kadar nije bio dovoljno stručan, a ni perspektivan u pogledu dugoročnijeg opredeljenja za rad u civilnoj zaštiti. Jedno vreme, pre 15 godina, radila je Viša škola za civilnu zaštitu u Zemunu, koja je posle ukinuta. 1968. godine otvoren je Odsek za protivpožarnu zaštitu u Višoj tehničkoj školi u Novom Sadu, a 1974. godine smer za civilnu zaštitu u sastavu Odseka za protivpožarnu i civilnu zaštitu. Svršeni studenti ovog odseka dobijaju zvanja: inženjer protivpožarne zaštite odnosno inženjer civilne zaštite.

## Zaštita od zračenja u nastavnim programima

Studenti ovog odseka u okviru predmeta fizika imaju poglavlja iz atomske i nuklearne fizike, gde stiču osnovna znanja o strukturi materije, jonizuju-

ćim zračenjima i radioaktivnosti.

Studenti smera za protivpožarnu zaštitu, u okviru dvosemestralnog predmeta Civilna zaštita, jedan semestar slušaju RHB zaštitu sa 2+2 časa sedmično, dok u drugom delu slušaju tehničku zaštitu koja, pored ostalog, obuhvata probleme skloništa, pa i sa gledišta zaštite od nuklearnog oružja. Praktične vežbe su do sada bile kolektivne, jer nema dovoljno uslova za individualna vežbanja. U prilogu je dat nastavni program ovog predmeta.

Studenti smera civilne zaštite imaju nekoliko predmeta u kojima se izučava zaštita od zračenja. Zaštita od zračenja se izučava u predmetu Radijacionna, hemijska i biološka zaštita. Nastava se izvodi kroz teorijska predavanja, praktične i računske vežbe, nastavne filmove i naučne ekskurzije. Praktične vežbe se sastoje od individualnih laboratorijskih vežbi gde svaki student neposredno izvodi eksperimente ili učestvuje u radu. Drugi tip vežbi su kolektivnog karaktera na kojima se studentima demonstrira rad nekog tehničkog sredstva ili rad sa opasnim materijama. Naime, studenti na vežbama rade sa čvrstim radioaktivnim materijama niske aktivnosti u školskoj alaboratoriji, dok sa tečnim, u laboratorijama Instituta "Boris Kidrič" u Vinči.

Ostali predmeti u kojima se izučava RHB zaštita su: Sanitetska i veterinarska zaštita, Tehnička zaštita, Organizacija civilne zaštite i Taktika civilne zaštite. Medjutim, u ovim predmetima se RHB zaštita izučava u njenom primenjenom obliku kao što su: organizacija jedinica RHB zaštite i njihov način rada, proračun efekata nuklearnog udara, organizacija skloništa za slučaj primene NHB oružja i drugo.

Mogućnosti za rearizovanje navedenih nastavnih programa nisu optimalne u prvom redu zbog veoma okskudnog školskog prostora, naročito laboratorijskog. Zbog toga se i dobar deo vežbi izvodi van Škole u formi naučnih ekskurzija.

## Izvod iz nastavnog programa predmeta Civilna zaštita za studente smera za protivpožarnu zaštitu

I deo: RHB zaštita; III semestar: 2+2 časa

Predavanja: Osnovi koncepcije opštenarodnog odbrambenog rata (4 časa). Osnovne osobine i efekti nuklearnih eksplozija (4). Osnovne osobine i dejstvo bojnih otrova (2). Osnovne osobine i dejstvo bioloških borbenih sredstava (1). Zapaljiva napadna sredstva (1). NHB kontrola teritorije (4). RHB dekontaminacija (4). RHB zaštita (6).

Vežbe: Detekcija radioaktivnog zračenja (4). Dozimetrija radioaktivnog zračenja (4). Detekcija bojnih otrova (4). Dekontaminacija bojnih otrova (4). Lična zaštitna sredstva (4).

Ekskurzije: Studenti idu na ekskurziju gde, pored ostalog, vide objekte i opremu koja nalazi primenu i u RHB zaštiti.

Nastavni filmovi:

## Izvod iz nastavnog programa predmeta Radijaciona, hemijska i biološka zaštita za studente smera civilne zaštite

| Semestar | Nedeljni fond časova | Semestralni fond časova | Raspodela časova po oblastima | |
|---|---|---|---|---|
| III | 3 + 3 | 45 + 45 | R: | 30 + 30 = 60 |
| IV | 2 + 2 | 30 + 30 | H: | 25 + 26 = 51 |
| | | Svega: 75 + 75 = 150 | B: | 15 + 5 = 20 |
| | | | RHB: | 5 + 14 = 19 |
| | | | Svega: | 75 + 75 = 150 |

Predavanja: Uvodna razmatranja o savremenom naoružanju i mogućnostima zaštite (3). Detekcija i merenje radioaktivnog zračenja (6). Dozimetrija zračenja (4). Nuklearna oružja i karakterizacija opasnosti (4). Otkrivanje i utvrdjivanje radioaktivne kontaminacije (3). Zaštita od zračenja (6). Dekontaminacija (6). Hemijsko oružje i njegove osobenosti (1). Osnovi opšte toksikologije (2). Klasifikacija i osobine bojnih otrova (4). Kontaminacija bojjnim otrovima (2). Ponašanje bojnih otrova na otvorenom prostoru i faktori od kojih zavisi trajanje kontaminacije (1). Otkrivanje i utvrdjivanje hemijske kontaminacije (5). Zaštita od hemijske kontaminacije (4). Hemijska dekontaminacija (5). Opšte karakteristike bioloških borbenih sredstava (3). Osnovne karakteristike najvažnijih bioloških agenasa (2). Otkrivanje i utvrdjivanje biološke kontaminacije (2). Zaštita od biološke kontaminacije (4). Biološka dekontaminacija (3).

Vežbe (računske i praktične): Karakteristike detektora za merenje radioaktivnog zračenja i osnovnih elektronskih uredjaja. Rad sa radiološkim detektorom (2). Merenje aktivnosti radioaktivnog uzorka metodom debelog uzorka i komplatna obrada rezultata (12). Merenje doze zračenja (2). Izračunavanje nivoa radioaktivne kontaminacije (1). Izračunavanje doze zračenja (1). Radijaciona dekontaminacija ljudske kože i merenje faktora dekontaminacije (2). Izračunavanje koncentracije bojnih otrova (1). Detekcija bojnih otrova u vazduhu (3). Detekcija i identifikacija bojnih otrova u uzorcima vode i hrane (12). Hemijska dekontaminacija ljudi (2). Lična i kolektivna zaštitna sredstva (3). Biološka kontrola vode (3).

Ekskurzije sa pokaznim vežbama: 36 časova.

Nastavni filmovi

## NASTAVNI PLAN

### SMER ZA CIVILNU ZAŠTITU

| Red. broj | NAZIV PREDMETA | Semestar | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV | V |
| 1. | Osnovi nauke o društvu | 2+0 | 2+0 | | | |
| 2. | Osnovi opšte-narodne odbrane SFRJ, I deo | 2+0 | 2+0 | | | |
| 3. | Matematika | 2+3 | 2+2 | | | |
| 4. | Hemija | 2+4 | 2+2 | | | |
| 5. | Nacrtna geometrija sa tehničkim crtanjem | 3+4 | | | | |
| 6. | Osnovi mašinstva | 2+2 | 2+2 | | | |
| 7. | Elektrotehnika i elektroenergetska postrojenja | 2+2 | 2+2 | | | |
| 8. | Fizika | | 3+3 | | | |
| 9. | Osnovi gradjevinarstva i urbanizma | | 2+2 | 2+2 | | |
| 10. | Samoupravni socijalizam | | | | 2+0 | |
| 11. | Osnovi ONO SFRJ, II | | | 2+0 | 2+0 | |
| 12. | Sanitetska i veterinarska zaštita | | | 2+2 | 2+2 | |
| 13. | Radijaciona, hemijska i biološka zaštita | | | 3+3 | 2+2 | |
| 14. | Protivpožarna zaštita | | | 2+2 | 2+2 | |
| 15. | Organizacija civilne zaštite | | | 2+3 | 2+3 | 2+2 |
| 16. | Taktika civilne zaštite | | | 2+3 | 2+3 | 2+3 |
| 17. | Tehnička zaštita | | | | 2+2 | 2+2 |
| 18. | Zaštita od elementarnih nepogoda | | | | | 2+2 |
| 19. | Veza, obaveštavanje i uzbunjivanje | | | | | 2+2 |
| | Predavanja + vežbe (nedeljno): | 15+15 | 17+13 | 15+15 | 16+14 | 10+10 |
| | Nedeljni fond n astave | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 |

Iz napred priloženih izvoda iz nastavnih programa i plana vidi se da je zaštita od zračenja zastupljena u znatnom obimu kako u teorijskoj tako i u praktičnoj nastavi. Ovaj podatak može, u izvesnom smislu da bude garancija da će ovi kadrovi moći uspešno da rešavaju složene probleme zaštite od zračenja koji ih očekuju na radu u civilnoj zaštiti.

Literatura:

1. Nastavni plan i program smera za protivpožarnu zaštitu
   Dodatak: Nastavni plan i izvodi iz programa smera za civilnu zaštitu

2. Službeni materijali

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

J.Simonović i Dj.Bek-Uzarov
Institut za fiziku Medicinskog fakulteta u Beogradu
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči

# MEDJUNARODNI SISTEM MERNIH JEDINICA U MEDICINSKIM I DRUGIM MERENJIMA

Saveznim Zakonom iz 1976.godine propisano je obavezno uvodjenje Medjunarodnog sistema mernih jedinica (SI) u celokupnom javnom prometu na teritoriji SFRJ. Kao krajnji rok za prelaz na jedinice SI dat je 31.XII.1980.godine. Posle tog datuma nepoštovanje naznačenog Zakona kažnjavače se strogim finansijskim sankcijama. S tim u vezi prikazano je sistematsko zamenjivanje starih jedinica novim u izvesnim oblastima medicine kao i u nekim drugim delatnostima.

Tema o kojoj će biti reči kao i problemi koji su njom obuhvaćeni nisu sasvim novi za ovaj auditorijum. Na prethodnom Simpozijumu dato je saopštenje o jedinicama SI u oblasti jonizujućeg zračenja[1]. Cilj ovog izlaganja je da se uz dosad korišćene različite sisteme mernih jedinica kao i uz vansistemske jedinice istakne važnost Medjunarodnog sistema mernih jedinica. Ovaj sistem, s medjunarodnom skraćenicom SI (Systeme International d'Unites) ustanovljen je 1960.godine u Parizu na XI Generalnoj konferenciji za tegove i mere. U našoj zemlji počeo je postepeno da se uvodi 1961. preko nekoliko zakonskih odredbi[2] tako da je 1976. dat u konačnoj verziji kao Zakon o mernim jedinicama i merilima[3], koji je obavezan za upotrebu u celokupnom javnom prometu na teritoriji SFRJ, a stupio je na snagu 1.VII.1976.godine. On omogućuje praktičnu primenu Medjunarodnog sistema jedinica, na koji se naša zemlja obavezala kao član Medjunarodnog biroa za mere i tegove. Po njemu je, svim radnim organizacijama koje proizvode merne uredjaje, izdavačima udžbenika, školama i fakultetima, odnosno svim OUR koje se bave izdavanjem javnih sredstava poslovnog, naučnog i društvenog informisanja, dat krajnji rok za prelaz na jedinice SI 31.XII.1980.godine. Posle tog datuma predvidjene su novčane kazne od 20 000 do 500 000 dinara za privredni prestup OUR ili drugih pravnih lica i od 2 000 do 10 000 dinara za odgovorno lice u OUR ili državnom organu koje u svom radu upotrebljava merne jedinice koje nisu predvidjene ovim Zakonom ili stave u promet nepropisno merilo.

U vreme kad je usvojen metarski sistem (1875.), kad je tzv. metarsku konvenciju potpisalo 17 zemalaja, medju kojima i kneževina Srbija, smataralo se da će taj sistem biti potpun "za sva vremena i sve narode". Sada se upravo proslavlja jubilej stogodišnjice uvodjenja metarskog sistema zajedno s velikom akcijom usvajanja Medjunarodnog sistema jedinica, koji ima znatno šire zahvate i značaj od metarske konvencije. Osnovni zadatak SI je da 1. učini jedinice mere medjunarodnim i nezavisnim od jezika naroda koji ih koristi, 2. izbegne različita političko-ekonomska obeležja kao i različite društvene sisteme koje svaka od zemalja učesnica zadržava u medjunarodnoj razmeni dobara i 3. poboljša kvalitet poslovanja na medjunarodnom planu. Zemlje potpisnice koje su prihvatile SI daleko su brojnije od potpisnica metarske konvencije. SI je prihvaćen skoro u celom poslovnom svetu. Primenjuju ga 43 zemlje, medju kojima i tradicionalne "nemtričke", kao što je Velika Britanija, Japan, Australija, Indija i Kanada.

Medjunarodni sistem jedinica obuhvata sedam osnovnih fizičkih veličina medjusobno nezavisnih, pomoću kojih je moguće opisati sva kvantitativna svojstva fizičkih osobina i pojava u bilo kojoj oblasti fizike. Svakoj od ovih veličina pripisuje se osnovna jedinica. Na taj način SI sadrži sedam osnovnih jedinica (TAB.1) koje su uglavnom definisane na prirodnim svojstvima materije. Sve ove jedinice su poznate od ranije, sem mola. Definicije ostalih fizičkih veličina izvode se iz osnovnih primenom matematičkih operacija množenja, deljenja i stepenovanja. Izvesne izvedene jedinice SI imaju posebne nazive i oznake i mogu se koristiti za druge izvedene jedinice. To su: herc, njutn, paskal, džul, vat, kulon, volt, farad, om, simens, veber, tesla, henri, lumen, luks, bekerel i grej. One zajedno sa osnovnim jedinicama čine koherentni (skladni) sistem, bez parazitnih koeficijenata.

TAB. br.1

Osnovne jedinice SI

| Osnovna veličina | jedinica | oznaka |
|---|---|---|
| Dužina | metar | m |
| masa | kilogram | kg |
| vreme | sekunda | s |
| termodinamička temperatura | kelvin | K |
| jačina struje | amper | A |
| jačina svetlosti | kandela | cd |
| količina materije | mol | mol |

Osim osnovnih i izvedenih SI sadrži i decimalne merne jedinice, koje označavaju decimalne delove ili umnoške mernih jedinica pomoću

medjunarodno usvojenih predmetaka ili prefiksa (TAB. 2). Koherentne jedinice s decimalnim jedinicama čine sistem nekoherentnih je-

TAB. br. 2

Decimalne merne jedinice

| Predmetak (prefiks) | oznaka prefiksa | Faktor kojim se množi osnovna jedin. | Predmetak | Oznaka | Faktor |
|---|---|---|---|---|---|
| Eksa | E | $10^{18}$ | ato | a | $10^{-18}$ |
| peta | P | $10^{15}$ | femto | f | $10^{-15}$ |
| tera | T | $10^{12}$ | piko | p | $10^{-12}$ |
| giga | G | $10^{9}$ | nano | n | $10^{-9}$ |
| mega | M | $10^{6}$ | mikro | u | $10^{-6}$ |
| kilo | k | $10^{3}$ | mili | m | $10^{-3}$ |
| hekto | h | $10^{2}$ | centi | c | $10^{-2}$ |
| deka | da | $10^{1}$ | deci | d | $10^{-1}$ |

dinica. Pored koherentnih i nekoherentnih jedinica SI u svetu se zbog posebnih potreba ili praktičnog značaja dozvoljava upotreba i vansistemskih ili jedinica iz tradicionalnih sistema mera. Tako se za vreme koristi minut, čas, dan i sl., za temperaturu stepen celzijusov, za brzinu kilometar na čas, za pritisak bar. U pomorskom i vazdušnom saobraćaju dužina se može izražavati i dalje u morskim miljama i brzina u čvorovima; u fizici i hemiji masa u jedinicama atomske mase a energija u elektronvoltima, za energiju vatčas, za zapreminu litar, prividnu snagu naizmenične struje voltamper i njenu reaktivnu snagu var.

Decimalne jedinice se mogu upotrebljavati samo uz koherentne, izuzev kod jedinice mase gde se dodaju gramu a ne kilogramu, zatim kod litra, bara, vatčasa, elektronvolta,voltampera i vara.

Zakonom se preporučuje da se oznake svih mernih jedinica pišu uspravnim malim slovima latinice, sem ako su izvedene od vlastitih imena (A, K, C, Ci i dr.). Iza oznake jedinice ne stavlja se tačka. Simboli decimalnih jedinica štampaju se sa osnovnim jedinicama zajedno kao jedna reč i pišu uspravnim slovima latinice, sem oznake mikro. Proizvod dveju ili više jedinica označava se tačkom kao znakom množenja, ili se tačka izostavlja gde je jasna razlika u simbolima. Ako se merna jedinica obrazuje medjusobnim deljenjem dveju mernih jedinica, kao znak deljenja može se upotrebiti kosa ili horizontalna crta ili eksponent s negativnim znakom. U istom redu ne treba primeniti više od jedne kose crte.

Posmatrajući spisak zabranjenih jedinica može se zaključiti da se neke od njih mogu lako povući iz upotrebe, ali će većina dovesti do velikih promena u industrijskoj standardizaciji, u školstvu, nauci, trgovini, a posebno u medicini, gde veći broj mernih jedinica koje se masovno primenjuju treba da pretrpi rigorozne transformacije. Upravo zbog svega toga zabrana stupa na snagu krajem 1980.godine. Neka ograničenja važe već sada jer se te jedinice mogu koristiti samo u svom osnovnom obliku (kalorija, na primer) bez prefiksa. Medju zabranjenim jedinicama mnoge od njih se nalaze u svakodnevnoj upotrebi (pond, tehnička i fizička atmosfera, milimetar živinog stuba, konjska snaga, kvintal, kalorija i dr.), pa je ujednačavanje mernih jedinica i merila vrlo ozbiljan problem.

U sledećim tabelama biće dat pregled novih i starih jedinicamo po odredjenim oblastima, s posebnim naglaskom njihove primene u medicini.

TAB. br. 3

Važeće i zabranjene jedinice dužine, mase i vremena*

| Dužina | masa | vreme |
|---|---|---|
| METAR (m) | KILOGRAM (kg) | SEKUNDA (s) |
| morska milja = 1852 m | tona (t) = $10^3$ kg | minut (min) = 60 s |
| angstrem (A) = $10^{-10}$ m = 0,1 nm | jedinica atom.mase (u) = $1,6.10^{-27}$ kg | čas (h) = 3600 s |
| mikron (μ) = 1 μm | gama jedinica (γ) = $10^{-6}$ g = 1 μg | dan (d) = 86400 s |

* Velikim slovima označene su nove (SI) jedinice, malim podvučenim vansistemske jedinice koje se mogu i dalje koristiti, a malim nepodvučenim zabranjene jedinice od kraja 1980.godine( stare jedinice).

TAB. br. 4

Važeće i zabranjene jedinice sile,pritiska,površine i zapremine*

| Pritisak | sila | površina |
|---|---|---|
| PASKAL (Pa) = $N/m^2$ | NJUTN (N) = kg $m/s^2$ | METAR KVADRATNI $m^2$ |
| bar (bar) = $10^5$ Pa | din(dyn) = $10^{-5}$ N | ar (a) = $10^2$ $m^2$ |
| mm Hg(Torr) = 133,3 Pa | kilopond (kp) = 9,81 N | hektar (ha) = $10^4$ $m^2$ |
| mm $H_2O$ = 9,81 Pa | pond(p) = 9,81 mN | barn (b) = $10^{-28}$ $m^2$ |
| t.atm(at) = 98 067 Pa | | zapremina |
| f.atm(atm) = 101 325 Pa | | KUBNI METAR $m^3$ |
| μbar(dyn/$cm^2$) = 0,1 Pa | | litar(l) = $10^{-3}$ $m^3$ |

TAB. br. 5

Važeće i zabranjene jedinice rada, snage, brzine i ubrzanja

| Rad, energija, količina toplote | Snaga, energetski i termički fluks | Brzina |
|---|---|---|
| DŽUL (J) = N m | VAT (W) = J/s | METAR U SEKUNDI m/s |
| elektronvolt (eV) = $1,6.10^{-19}$ J | voltamper (VA) = 1 W | kilometar na čas (km/h) = (1/3,6) m/s |
| vatčas (Wh) = 3600 J | konjska snaga (KS) = 735,5 W | čvor = 0,514 m/s |
| erg = $10^{-7}$ J | **Ubrzanje** | |
| kilopondmetar (kpm) = 9,81 J | METAR U SEKUNDI NA KVADRAT $m/s^2$ | |
| kalorija (cal) = 4,187 J | gal (Gal) = $10^{-2}$ $m/s^2$ | |

TAB. br. 6

Važeće i zabranjene jedinice u oblasti jonizujućeg zračenja (5),(6)

| Aktivnost | apsorbovana doza i njen intenzitet | ekspoziciona doza, intenzitet |
|---|---|---|
| BEKEREL (Bq) = 1 ras/s | GREJ (Gy) = J/kg | CULON PO KILOGRAMU C/kg |
| kiri (Ci) = $3,7.10^{10}$ Bq = 37 GBq | rad = $10^{-2}$ Gy | rendgen (R) = $2,54.10^{-4}$ C/kg |
| mCi = 37 MBq | mrad = 10 μGy | mR = $2,54.10^{-7}$ C/kg |
| μCi = 37 kBq | WAT PO KILOGRAMU = GY/s = 100 rad/s | C/kg = 3876 R |
| nCi = 37 Bq | rad/h = $2,78.10^{-6}$ W/kg | AMPER PO KILOGRAMU = C/kg s |
| Bq = 27 pCi | | R/h = $7,17.10^{-8}$ A/kg |

TAB. br. 7

Stare i nove jedinice koje se koriste u medicini (Tab. 3,4. i 5.)

| Stara jedinica | Nova | Oblast korišćenja | Primer |
|---|---|---|---|
| angstrem (Å) | 0,1 nm | Mikroskopija, optika i dr. | |
| mikron (μ) | 1 μm | | |
| gama jedinica | 1 μg | biohemija | |
| mm Hg | 133,3 Pa | pritisak, krvni pritisak | Krvni pritisak (120/83) mm Hg iznosio bi (16/11) kPa. |
| at (tehn) | 98067 Pa | | |
| μbar (dyn/$cm^2$) | 0,1 Pa | zvučni pritisak | |
| kilopond (kp) | 9,81 N | hirurgija, ortopedija, fiziologija, akustika | |
| dyn | $10^{-5}$ N | | |
| eV, | $1,6.10^{-19}$ J | nuklearna medicina, radiologija | |

neće se smeti koristiti i izvesne jedinice, koje su od značaja za rad na merenju veličina u oblasti radiološke zaštite, kao što su R, rad, rem, Ci.

Sigurno da će naše stručne službe uspeti da savladaju eventualne teškoće i da će na vreme usvojiti nove jedinice. Međutim postavlja se pitanje kako sa nastalim promenama upoznati naše korisnike. Verovatno da je najjednostavnije da se to obavi preko službi lične dozimetrije jer svako lice koje dolazi u dodir sa zračenjem korisnik je i film dozimetra. Zato predlažemo da se uz svaki film korisnicima dostavi i detaljno obaveštenje kojim bi se upoznali sa novim mernim jedinicama.Posebna pažnja pri tome treba da se posveti upoređivanju starih sa novim jedinicama kao i izražavanju vitalnih veličina u novim mernim jedinicama.

Velika odgovornost u prelaznom periodu biće i onih lica i ustanova koje se bave obukom kadrova u oblasti radiološke zaštite jer je neophodno da se predavanja i udđbenici usaglase sa novim zahtevima i to što je moguće pre.

Summary

APPLICATION OF INTERNATIONAL UNIT SYSTEM IN THE FIELD OF RADIATION PROTECTION

According to our regulations there will be an obligatory use of application of International unit system from 1980 on. As in some field of radiation protection some units are used, and whose uses will be forbidden since the mentioned date which is especially true when R and rem are in question we are obliged to use only the units that are lawfully determined.

It is necessary to come to the new ways and organization as soon as possible. Our service is accepted, mostly, by several Health institutions and medical workers, we are obliged to find the way to warn them in this way.

The training staffs should be qualified to answer the new trends and new methods. Even more, they are to apply these new units in their every day work.

Literatura

1. Sl. list SFRJ br. 13 od 2. 4. 1976. str. 341-352
2. VERIGA S. : Međunarodni sistem jedinica fizičkih veličina Mašinski fakultet - Beograd 1976 /str.41/

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Dr Dušan Djurakić, san.major
Doc.dr Božidar Pejušković,san.puk.

Odeljenje za radiološku i hemijsku zaštitu
Higijenski zavod VMA - Beograd

# SI - JEDINICE U ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Internacionalni sistem mernih jedinica /SI/ sastoji se od sedam OSNOVNIH jedinica i to: za dužinu, za masu, za vreme, za jačinu struje, za svetlosnu jačinu, za termo-dinamičku temperaturu, za količinu materije.

Sve ostale jedinice su IZVEDENE multiplikacijom i potenciranjem osnovnih jedinica što je omogućilo optimalnu medjusobnu povezanost. Stručnjaci smatraju da se pored ostalog prednosti novog sistema mera i mernih jedinica sastoje u njegovoj univerzalnoj primeni u nauci i tehnici kao i preciznoj merno-tehničkoj realizaciji.

Diktirano potrebom prakse i uklapanja u SI - jedinice, Internacionalna komisija za jedinice zračenja i merenja /I.C.R.U./ dala je predlog za nove jedinice u oblasti jonizujućeg zračenja koje bi zamenile dosadašnje jedinice rendgen /R/, Kiri /Ci/ i rad /rd/ tj. rem /rem/. Radi razumevanja novih radijacionih jedinica nužno je osvrnuti se ukratko i na neke SI - jedinice i veličine koje su od značaja za problematiku zaštite od zračenja. To su:

1. SI - jedinica za dužinu je METAR /m/. Bazira se na prirodnoj konstanti tj. talasnoj dužini spektralne linije nukleida Kriptona - 86.

2. SI - jedinica površine je METAR KVADRATNI /$m^2$/.

3. SI - jedinica ugla ravni je RADIJANT /rad/. Skraćeni-

/1C/kg.S/. Pošto je 1C/S=1A dobija se dimenzija 1A/kg. Ovom jedinicom zamenjene su dosadašnje mR/h, R/min i uR/sek. Slabost nove jedinice sastoji se medjutim u činjenici da se iz njenih dimehzija /A/kg/ ne dobija jasna predstava doze i vremena, što je za svakodnevnu praksu od nesumnjive važnosti. Stoga se preporučuje da se i nova jedinica svede na minut i sat čime se omogućio odnos sa ranijim jedinicama na relaciji:

uC/kg.h odgovara mR/h

mC/kg.min " R/min itd.

Pored praktičnog ovo bi imalo i sa finansijskog aspekta pozitivnu ulogu u domenu dozimetrijskih uredjaja.

4. APSORBOVANA DOZA ZRAČENJA - /D/

SI - jedinica apsorbovane doze zračenja nosi naziv GREJ /Gy/. To je apsorbovana energija bilo kog jonizujućeg zračenja od jednog Džula /1J/ koju ono preda jednom kilogramu /1 kg/ mase bilo kojoj homogenoj materiji /1Gy = 1J/kg/. Ova jedinica zamenjuje staru jedinicu rad /rd/ od koje je sto puta veća što omogućava lako medjusobno preračunavanje /1Gy=100 rd/.

Veoma je značajno, medjutim, ukazati da se odnos izmedju expozicione i apsorbovane doze zračenja, koji je kod starih jedinica bio približno jednak /1R=1rd/, sada znatno izmenio tako da 1C/kg=37Gy. S toga postoji predlog da se expozicione doze i njihove jačine zamene u praksi dozama apsorbovane energije zračenja i njihove jačine.

5. DOZNI EKVIVALENT - /H/

Dozni ekvivalent /H/ je definisan fizičkom veličinom apsorbovane doze zračenja /D/, biološkim faktorom kvaliteta /Q/ i biološkim faktorom modifikacije /N/. Prema tome:

$$H = Q.N.D$$

Pošto Q i N nemaju dimenzije dozni ekvivalent /H/ kao SI-jedinica ima dimenzije SI-jedinice apsorbovane doze zračenja tj. Grej-a /1J/kg/. O ovome treba voditi računa kako ne bi došlo do zabune. Obzirom da nema svoje ime, ovoj jedinici, shodno ranijoj koju je zamenila /rem - rendgen ekvivalent man/, preporučuje se naziv Gem /Grej ekvivalent man/. Tada bi:

H /Gem/ = Q.N.D /Gy/

Treba jasno ukazati na činjenicu da dozni ekvivalent nije čista fizička jedinica /iako se izražava u Grej-ima/ jer se ne odnosi na jednu tačku u prostoru već na organ, grupu organa ili ceo organizam, što znači da je to interdisciplinarna jedinica koja u sebi sadrži i biološko-medicinske faktore Q i N koji se moraju uzeti u obzir. Njihove vrednosti obzirom na biološki efekat pojedinih zračenja /Q/ i osetljivost tkiva /N/ znatno utiče na krajnju vrednost doznog ekvivalenta. Primer vrednosti Q to pokazuje:

Q = 1 za iks, gama i beta zračenje

Q = 3 za $n_t$ /spori-termalni neutroni/

Q = 10 za $n_f$ /brzi neutroni/ i alfa čestice.

U celini posmatrano čitava problematika usaglašavanja starih jedinica sa novo-predloženim i konačni prelazak na upotrebu Si- jedinica zahtevaće nesumnjivo duži prelazni period. U tom smislu od posebne važnosti će biti preorijentacija i adaptacija mernih instrumenata naročito u oblasti zaštite od zračenja. U stručnoj literaturi, časopisima i štampi ove jedinice se već upotrebljavaju počev od 1976. godine s tim što se u zagradi još uvek pišu i odgovarajuće "stare jedinice". S tim u vezi smatra se prvorazrednim zadatkom svih odgovarajućih stručnjaka i institucija da tokom 1977. godine ulože maksimalne napore za uvodjenje SI- jedinica u škole i sve ustanove koje se bave školovanjem

i usavršavanjem kadrova.

Ukazom o proglašenju zakona o mernim jedinicama i merilima /Službeni list SFRJ br.13/76./ prelazni period u našoj zemlji se završava zaključno sa 31.XII 1980. godine. Ovaj relativno kratak vremenski period obavezuje sve odgovorne faktore na maksimalno angažovanje u realizaciji ovog veoma složenog i odgovornog zadatka. Obzirom da su izvesne zemlje za ovaj posao predvidele čitavu dekadu, trebalo bi punom odgovornošću izmedju ostalog i na ovom skupu razmotriti realnost ovakvog zahteva i blagovremeno ukazati na naše realne mogućnosti u tom smislu.

Resume:

SI-Units in the Protection from Irradiation.

Short review of the new SI-radiation units and some SI--units and sizes which are of importance for protection from irradiation.

Literatura:

1. Ukaz o proglašenju zakona o mernim jedinicama i merilima /Službeni list SFRJ br.13/76/.
2. D.Hermann: Report SAAS-202, 1-32, 1976.
3. Bender D.: Die Technik 9, 551-554, 1975.
4. Bender D.: Standardisierung und Qualität 22, 6, 265, 1975.

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja,
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

I. Dvornik, M. Živadinović, S. Miljanić i U. Zec
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

# ŠKOLSKI LIČNI RADIJACIONI DOZIMETRI I OBUKA DOZIMETRISTA ZA RAD U VANREDNIM UVJETIMA

Komplet školskih ličnih dozimetara služi za obuku i vježbanje rada dozimetrista u simuliranim vanrednim i akcidentalnim radijacionim uvjetima. Daju se kriteriji za ocjenu uspjsha obuke, za brzinu rada dozimetriste i točnost čitanja doza. Komplet školskih dozimetara čini 76 školskih etalona dozimetara čije su vrijednosti doza u opsegu do 1040 rada date u posebnom popisu koji je kao i uputstvo dio kompleta.

Uvod. Lična radijaciona dozimetrija u vanrednim i akcidentalnim uvjetima postaje značajna komponenta sistema zaštite od zračenja i spasavanja ozračenih osoba, ako osigurava dobijanje ličnih dozimetrijskih informacija:

- na mjestu ozračenja u svim terenskim, meteorološkim i drugim uvjetima;
- za što kraće vrijeme, u toku prvih sati poslije ozračenja;
- za manje grupe ozračenih (stotinjak osoba).

Ličnim dozimetrima za neutrone i gama zračenje DL-M3 sa čitačem doza ČDL-M3, modeli 1976, (odnosno DL-M4 i ČDL-M4) te odgovarajućom organizacijom rada dozimetriste takvi su zahtjevi u nas ostvarivi. Za efikasnu organizaciju rada dozimetriste nije dovoljno da dozimetrista zna kako se radi sa čitačem doza (na što se do sada uglavnom i svodila obuka dozimetrista). Potrebno je osigurati i sve druge preduvjete za efikasno odvijanje cijelog procesa lične dozimetrije na način kako on upravo treba da se ostvari u uvjetima teškog radijacionog događaja u miru ili ratu.

Zbog toga smo razradili postupak izvođenja obuke dozimetrista i vježbe lične dozimetrije s kompletom školskih ličnih dozimetara i definirali kriterije za ocjenu valjanosti obuke dozimetrista i ocjenu spremnosti jedinica Civilne zaštite za obavljanje lične dozimetrije. Dobra lična dozimetrija osnova je drugih značajnih akcija zaštite u radijacionim vanrednim uvjetima (1).

Zadaci dozimetriste. Djelatnost dozimetriste je dio radijaciono dozimetrijske kontrole koja se organizira za primjenu u vanrednim uvjetima. Poslovi dozimetriste sastoje se od priprema prije radijacionog događaja, čitanja dozimetara odmah nakon radijacionog događaja i spremanja dozimetrijskog izvještaja. Konačni rezultat rada dozimetriste je dozimetrijski izvještaj za rukovodstvo ili organe koji su odgovorni za život i rad, za zdravstveno stanje i mjere spasavanja ozračenih ljudi.

Starješina jedinice kojoj pripada dozimetrista planira i organizira sprovođenje mjera za pravovremenu provedbu dozimetrije i efikasno korištenje dozimetrijskih informacija.

Prije radijacionog događaja dozimetrista ispunjava spisak osoba (jedinični dozimetrijski spisak, Prilog I) kojima je podijelio dozimetre, obučava svoje pomoćnike, organizira radno mjesto za čitanje dozimetara.

U spisak se uz ime nosioca dozimetra upisuju podaci: "nula" dozimetra, datum određivanja "nule" i broj dozimetra. Dozimetrista je te podatke sam odredio ili prekontrolirao prema Uputstvu za upotrebu i održavanje DL-M3 i ČDL-M3.

Neposredno nakon radijacionog događaja, za što kraće vrijeme, pokupe se dozimetri od nosilaca i predaju dozimetristi. Dozimetrista čita doze svih dozimetara i u jedinični spisak upisuje podatke: datum ozračenja, datum čitanja doza i primljenu dozu zračenja. Zatim se dozimetri najbržim putem vraćaju nosiocima.

Dozimetrijski izvještaj je u stvari tako ispunjeni jedinični dozimetrijski spisak za onaj broj osoba za čiju je dozimetrijsku kontrolu dozimetrista bio zadužen.

Svi ti poslovi moraju se obaviti tako da se zadovolje navedeni zahtjevi za ostvarenje dozimetrijske kontrole u vanrednim uvjetima.

Komplet školskih dozimetara. Komplet školskih dozimetara sadrži 76 ličnih školskih dozimetara, koji su po sastavu i namjeni točni etaloni dozimetri, tj. etaloni neosjetljivi na zračenje, po boji i obliku jednaki dozimetru DL-M3 koji je ozračen nekom određenom dozom. Vrijednosti "doza" školskih dozimetara različite su i pokrivaju opseg od 0 do 1000 rad-a. Svaki školski dozimetar označen je rednim brojem. Vrijednosti doza kojima odgovara pojedini školski dozimetar date su u posebnom popisu šifara, koji je sastavni dio kompleta.

Pri obuci dozimetrista za obavljanje lične dozimetrije upotrebljavaju se:

- komplet ličnih dozimetara;
- čitač doza ličnih dozimetara (ČDL-M3 ili ČDL-M4);
- formulari spiskova dozimetrijske evidencije;
- komandni dozimetar sa punjačem;
- radiološki detektor (DR-M3).

Broj školskih dozimetara u kompletu odgovara približno veličini jedinice ili grupe osoba za čiju dozimetrijsku kontrolu odgovara jedan dozimetrista. Taj se broj u realnim okolnostima može multiplicirati sa 2, 3 itd.

Prvi dio obuke sa školskim dozimetrima, tzv. tehnički dio obuke, sastoji se u učenju upotrebe dozimetra i čitača (uvježbavanje točnog čitanja doza i usporedbe nijansi boja, uvježbavanje brzog rada s pomoćnikom) prema uputstvu za ČDL-M3.

Drugi dio obuke, tzv. taktički dio ili obuka u simuliranim ratnim radijacionim uvjetima, izvodi se u toku vježbe na terenu u realno mogućim okolnostima (dan, noć, pod šatorom, u šumi i sl.) i uz upotrebu raspoloživih izvora svjetlosti (dnevno, električna ili baterijska lampa, svijeća i sl.). Obuka se izvodi uz datu pretpostavku radijacione situacije. Pri tome se izvodi cijeli postupak rada dozimetrista do predavanja dozimetrijskog izvještaja. U određenim periodima ovo treba raditi u sklopu cjelovite vježbe akcija koje treba da se provode u slučaju nuklearnog napada.

Kriteriji za ocjenu uspjeha obuke. Uspjeh dozimetrijske aktivnosti određuje se vremenom za koje je dozimetrista izvršio svoje zadatke i točnošću rezultata čitanja doza. Uspjeh u mnogome zavisi od dobre organizacije dozimetrijskog posla i uvježbanosti dozimetriste.

Na osnovi dosadašnjeg iskustva predlažemo norme za ocjenu uspjeha rada radijacionog dozimetriste.

Ocjena brzine rada dozimetriste s kompletom od 76 školskih dozimetara: jedan dozimetrista pročita sve dozimetre za manje od 70 minuta, a dozimetrista s pomoćnikom pročita sve dozimetre za manje od 45 minuta. Trajanje čitanja dozimetara mjeri se od trenutka kada su sakupljeni dozimetri (otvoreni, pripremljeni za očitavanje) i predati dozimetristi, pa do završetka upisivanja podataka u jedinični dozimetrijski spisak.

Ocjena točnosti čitanja doze: dosadažnjim našim iskustvom određen je kriterij za dozvoljeno odstupanje pročitanih doza od "doza" datih u popisu školskih dozimetara. Najviše 5 očitanih vrijednosti od ukupno 76 smije odstupiti više od:

± 20 rada (za opseg doza 0 - 200 rad-a) ili

± 10% (za opseg doza 200 - 1000 rad-a).

Dozimetristi koji zadovolje norme trajanja čitanja doze i točnosti rezultata čitanja doze smatraju se osposobljenima za obavljanje te odgovorne dužnosti u vanrednim radijacionim uvjetima.

Dozimetrista je dužan da dva puta godišnje sam vježba čitanje doza s kontrolnim etalonima iz kompleta čitača ČDL-M3. U slučaju nuklearne opasnosti poželjno je da se ponovi i taktička vježba s kompletom školskih dozimetara.

Prilikom cjelovite vježbe lične dozimetrije u okviru vježbi radijacione zaštite u simuliranim vanrednim uvjetima ocjenjuje se i brzina skupljanja dozimetara od ljudstva poslije "radijacionog događaja", brzina vraćanja dozimetara ljudstvu te efikasnost akcija koje se poduzimaju na osnovi dozimetrijskog izvještaja i rezultata dozimetrijske kontrole (trijaža "ozračenog" ljudstva, pružanje pomoći, planiranje i izvođenje drugih akcija).

Zaključak. Školski lični dozimetri su nastavno sredstvo za obuku i testiranje dozimetrista i sredstvo za vježbu lične dozimetrije u simuliranim radijacionim vanrednim uvjetima u svim pa i najtežim terenskim i vremenskim okolnostima. Rad s kompletom školskih ličnih dozimetara je vježba dijela radijaciono dozimetrijske kontrole koja se sprovodi u ratnim i akcidentalnim uvjetima.

Rezultati rada dozimetrista sa školskim dozimetrima ocjenjuju se primjenom kvantitativnih kriterija osposobljenosti dozimetriste. Time se jasno određuje uspjeh obuke, sposobnost dozimetrista i uspjeh vježbe lične dozimetrije.

Na podacima koje u svom izvještaju daju dozimetristi zasniva se ostala aktivnost dozimetrijske kontrole koju ostvaruju stručniji organi - starješine i sanitetski organi. Rezultati dozimetrijske kontrole su osnova za daljnje akcije obrane i zaštite u vanrednim radijacionim uvjetima.

Abstract

THE TRAINING SET OF PERSONAL DOSIMETER-STANDARDS FOR EXERCISING OF RADIATION DOSIMETRY IN SIMULATED EMERGENCY CONDITIONS

The set of personal dosimeter-standards has been developed for training and testing of dosimetrists and exercising dosimetry procedures in simulated radiation emergency conditions. Quantitative criteria are given for successful training including the required rate and accuracy of dose readout. The set consists of 76 dosimeter-standard pencils with dose values from zero to 1040 rad. The dosimeter standard is a colour standard of high accuracy identical to the personal dosimeter DL-M3 which has been irradiated with a specific dose in tissue-rad units. An instruction for use and a code (giving the dose values for each standard ) make a part of the set.

LITERATURA

(1) DVORNIK, I., ŽIVADINOVIĆ, M., Personal dosimetry independent of radiation energy and quality for prompt handling of large scale nuclear emergency overexposures, Proc. Third International Summer School on Radiation Protection, Herceg Novi, 1976, Ed. P. Marković, "Boris Kidrič" Institute, Beograd, u štampi

Prilog I

# JEDINIČNI DOZIMETRIJSKI SPISAK

Naziv mjesta, tvornice, škole i sl.:

Dozimetrista (ime i prezime):

Pomoćnik dozimetriste (ime i prezime):

Kolone tabele:

(1) redni broj
(2) prezime i ime nosioca dozimetra
(3) broj dozimetra
(4) datum određivanja "nule" dozimetra
(5) "nula" dozimetra
(6) datum i način ozračenja
(7) datum čitanja doze
(8) rezultata prvog čitanja
(9) rezultat drugog čitanja
(1o) rezultat trećeg čitanja
(11) primljena doza (u rad-ima)
(12) datum određivanja ekvivalenta zaostale doze
(13) ekvivalent zaostale doze (rad-a)
(14) primjedbe

Kolone popunjavaju:

<u>Dozimetrista</u>

prije radijacionog događaja upisuje podatke od (1) do (5)
poslije radijacionog događaja upisuje podatke od (6) do (11)

<u>Starješina i sanitatski organ</u>

upisuje podatke od (12) do (14)

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 31. V. do 3. VI. 1977.

Stajić J., Petrović B., Draganović B.

Katedra za radiologiju, Veterinarski fakultet, Beograd

# ZNAČAJ RADIJACIONE HIGIJENE U ANIMALNOJ PROIZVODNJI U NORMALNIM I VANREDNIM USLOVIMA

- Kratak sadržaj -

Radijaciona opasnost koja se nametnula savremenim razvojem i primenom nuklearne energije u mirnodopske i vojne svrhe, implicirala je uvodjenje radiološke kontrole animalne proizvodnje i radijaciono-higijenske ekspertize stočne hrane, životinja i namirnica animalnog porekla. Blagovremeno preduzete mere na planu naučno-istraživačkog rada, obuke kadrova i osvajanja odgovarajuće opreme, omogućile su da Veterinarska služba prihvati i počne da rešava sa uspehom stručne probleme radijacione kontrole i zaštite animalne proizvodnje u normalnim i vanrednim uslovima. Značajnu ulogu u tome ima Sekcija za radijacionu higijenu Društva veterinara i vet.tehničara Jugoslavije, kao inicijator mnogobrojnih aktivnosti u cilju afirmisanja radijacione higijene kako u domenu naučno-istraživačkog i stručnog rada, tako i u oblasti opštenarodne odbrane i samozaštite.

Obimno korišćenje nuklearne energije i radioaktivnih materija u mirnodopske i vojne svrhe stvara veoma povoljne uslove za radiokontaminaciju životne sredine. Opasnost od unošenja radioaktivnih materija u organizme čoveka i životinja nastaje ingestijom hrane i vode, inhaliranjem aerosola , a u ratu i putem otvorenih povreda i rana. Zbog toga je od izvanrednog značaja poznavanje štetnih bioloških efekata pojedinih radionuklida i njihovih MDK u svim delovima životne sredine. Mogućnost radio-

kontaminacije čoveka posredstvom domaćih životinja i njihovih produkata, istakla je potrebu proučavanja metabolizma biološki značajnih radionuklida u organizmima pojedinih vrsta životinja.

Radioaktivnost biosfere se stalno povećava uprkos relativno manjem broju registrovanih eksperimentalnih nuklearnih i termonuklearnih eksplozija. Značajan porast veštačke radioaktivnosti u životnoj sredini posledica je sve šire primene nuklearne energije i radioizotopa u svim oblastima tehničkog razvoja (industrija, metalurgija, energetika itd), uključujući primenu u biomedicinskim i biotehničkim oblastima. Zato rastuću radioaktivnost biosfere treba shvatiti kao činjenicu s kojom čovečanstvo mora računati, na koju se mora prilagoditi i od koje se mora stalno, organizovano i sistematski da štiti.

Danas u svetu sve zemlje koje poseduju nuklearna postrojenja (a pogotovu one koje imaju nuklearna oružja) posvećuju izuzetnu pažnju merama zaštite od nuklearnih zračenja i radiokontaminacije. To je potvrdjeno i na Medjunarodnom simpozijumu o uklanjanju posledica radijacionih akcidenata (februar 1977) održanog u Beču u okviru IAEA. U brojnim saopštenjima stručnjaka, vladinih funkcionera i naučnika svih kontinenata, a naročito predstavnika SAD i i zemalja Zapadbe Evrope smatra se da opasnost od radiokontaminacije i nuklearnih zračenja progresivno raste, bez obzira na manji broj i jačinu nuklearnih eksplozija. Aktuelna energetska kriza dovela je do značajnog porasta nuklearnih elektrana u eksploataciji i izgradnji, a učestali akcidenti na njima uslovili su rigorozno preduzimanje adekvatnih mera zaštite stanovništva i objekata u čitavim državama. Tako su stvoreni komiteti i komisije za zaštitu od nuklearnih akcidenata i uklanjanje njihovih posledica. Ovi državni organi rukovode razgranatom mrežom specijalizovanih ekipa (civilne zaštite, policije, vatrogasne službe,gradjanske milicije, obalske straže, kao i posebne ekipe sanitetske, veterinarske, poljoprivredne i komunalnih službi) i sistemom za uzbunjivanje i obaveštavanje (radio, televizija. pošta, policija). Meteorološka služba sa svojim zavodima,stanicama i punktovima ima jedno od ključnih mesta u ovom sistemu zaštite. U svim ovim zemljama civilni sektor na ovom području usko saradjuje sa sek-

torom narodne odbrane (vojskom). U čitav ovaj sistem su kao usko specijalizovana jezgra, uključene redovno službe tehničke i medicinske zaštite pri nuklearnim naučnim institutima, elektranama i drugim nuklearnim postrojenjima gde su stalno u pripravnosti i danonoćno dežuraju.

Obzirom na potencijalnu opasnost posredne kontaminacije stanovništva preko domaćih životinja i njihovih produkata, u svim zemljama se daje poseban značaj radijacionoj higijeni koja je integralni deo radijacione zaštite.Brojna iskustva su pokazala da pri radioaktivnoj kontaminaciji velikih razmera nakon nuklearnih eksplozija i radijacionih akcidenata dolazi do masovne kontaminacije životinja, riba i njihovih produkata. Sve ovo implicira nove posebne zadatke u oblasti radijacione zaštite stručnjacima svih profila. Tako se i pred veterinarsku struku postavio zadatak radijacione kontrole animalne proizvodnje i sanitarne ekspertize stočne hrane i namirnica animalnog porekla. Potreba da se veterinarski stručnjaci osposobe i tehnički opreme za ovaj zadatak u normalnim i vanrednim situacijama uslovila je još pre dve decenije uključivanje prvih veterinarskih kadrova u naučno-istraživačke oblasti vezane za radiobiologiju, radiokontaminaciju i zaštitu biosfere. Njihov broj i kvalitet su rasli iz godine u godinu, a pre deset godina uvedena je nova disciplina u veterinarski studij - Radijaciona higijena animalne proizvodnje. Aktuelnost problematike ove nove discipline, posebno njena primena u zaštiti čoveka i životne sredine kroz sve faze animalne proizvodnje, proširila je krug naučne i stručne veterinarske delatnosti i otvorila nova područja rada veterinarskih stručnjaka. Radijaciona higijena animalne proizvodnje, kao naučna i stručna oblast, ima multidisciplinarni karakter, jer obuhvata istraživanja i naučnu obradu elemenata raspoznavanja i normiranja stepena ugroženosti biosfere, definiše mere zaštite životne sredine od radiokontaminacije, kao i metode i postupke dekontaminacije.

Radiokontaminacija životinja i njihovih produkata je značajan posredni faktor masovne kontaminacije stanovništva i zato je obavezno potrebno da se obezbedi sistematska kontrola tehnološkog procesa animalne proizvodnje i organizovanje efikasne zaštite od zračenja u stočarstvu, industrijskoj preradi animalnih pro-

izvoda i produkciji stočne hrane. Zato Radijaciona higijena u uslovima savremene animalne proizvodnje ima sledeće značajne zadatke:

- ispitivanje i utvrdjivanje ugroženosti od ozračivanja i radio - kontaminacije životinja, namirnica animalnog porekla, mikro i makroklimata u funkciji uzgoja, proizvodnje, reprodukcije, higijene i preventive;
- procena higijenskih vrednosti svih objekata veterinarsko-sanitarnog nadzora na simultano prisustvo radioaktivnih materija;
- procena upotrebljivosti radiokontaminiranih životinja za klanje, namirnica animalnog porekla i drugih sirovina za ishranu i preradu;
- kontrola neškodljivog uklanjanja otpadnih materija animalnog porekla i stočne hrane kontaminiranih radioaktivnim materijama, ozračenih jonizujućim zračenjima i sl.

Za uspešnu realizaciju pobrojanih zadataka u normalnim i vanrednim uslovima, neophodno je obezbediti neke dugoročne aktivnosti medju kojima ističemo:

a) Obezbedjenje naučnog i stručnog prilaza pri rešavanju pitanja iz oblasti zaštite ljudi od radiokontaminacije posredstvom životinja i njihovih produkata,

b) Neophodnost permanentne sistematske radijavione kontrole osnovnih sirovina stočne hrane, stoke za klanje, peradi, riba, divljači mesa i proizvoda od mesa, mleka,mlečnih proizvoda, jaja itd,

c) Radijaciono-higijenska kontrola imprtovanih namirnica animalnog porekla, životinja. stočne hrane itd,

d) Standardizacija i unifikacija uzoraka,kao i metoda i sredstava detekcije,

e) Primena zakonskih propisa i stručnih regulativa u ovoj vrsti kontrole životinja, animalnih produkata i stočne hrane, kao i definisanje načina njihovog efikasnog sprovodjenja,

f) Priprema kadrova i opreme za radijaciono-higijensku kontrolu u stočarskim produkcionim celinama i veterinarskim organizacijama i institucijama, i

g) Koordiniranje svih prethodnih aktivnosti, a posebno u oblasti naučno-istraživačkog rada, programiranja obuke kadrova, unifikacije opreme i metoda za oružane snage u uslovima eventualnog

nuklearnog rata.

Suočeni sa radijacionom opasnošću koja se nametnula brzim razvojem nuklearne energetike, kao i potrebama ONO, neki veterinarski fakulteti (Beograd, Srajevo) u našoj zemlji su počeli sistematsku obradu informacija, obuku kadrova i stvaranje uslova za naučno-istraživački rad, stručnu i obrazovnu delatnost u oblasti Radijacione higijene. Tako je danas naša veterinarska nauka i praksa dovoljno osposobljena da prihvati sve zadatke u domenu Radijacione higijene i da ih kvalifikovano i odgovoruo izvrši. To je potvrdjeno i na IV Kongresu veterinara Jugoslavije, na kome je u radu Sekcije za radijacionu higijenu učestvovalo preko 80 veterinarskih stručnjaka, a saopšteno oko 30 naučnih i stručnih referata (izdat je zbornik Sekcije). Organizovanjem naučnih i stručnih skupova, izmenom iskustava, saradnjom sa odgovarajućim organima u oružanima snagama, zajedničkim programiranjem istraživanja i edukacije, inicijativama na standardizaciji opreme i matoda naučnog i stručnog rada, Sekcija značajno utiče na podizanje kvaliteta i proširivanje rada veterinarskih stručnjaka u oblasti Radijacione higijene.

Sekcija za radijacionu higijenu Saveza veterinara i veterinarskih tehničara Jugoslavije nastoji i u tome je već postigla značajne uspehe, da se Radijaciona higijena uključi u nastavni proces kao posebni predmet redovnih i poslediplomskih studija na veterinarske fakultete, da se afirmiše kao naučno-istraživačka oblast koja obuhvata radiobiološke i radijaciono-higijenske aspekte animalne proizvodnje, kontrole i zaštite namirnica animalnog porekla. Danas je široko prihvaćeno gledište da Radijaciona higijena treba da bude uvedena kao poseban predmet na sve veterinarske fakulteta u zemlji, jer ona, pored nesumnjivog značaja koji ima u obrazovanju stručnih kadrova za zadatke u miru, ima poseban značaj i u obuci veterinarskih stručnjaka u oblasti Opštenarodne odbrane u Društvene samozaštite.

# RADIATION HIGYENE OF ANIMAL PRODUCTION IN NORMAL AND EMERGENCY SITUATIONS

Radiation hazards imposed by contemporary development and peaceful and military uses of nuclear energy have implied the introduction of radiational control in animal production, and radiation-higienic expertize of animal products and animal foodstuffs. Various treatments in scientific research, education and uses of relevant equipment, undertaken in right time, enabled our Veterinary service to start successfully to solve problems ofradiation control and protection of animal production in normal and emergency situations. An important role in this context has the Section of Radiation Hygiene Yugoslav Veterinary Association, as an initiator of many activities that are intended to affirme Radiation Hygiene in the domain of scientific research and in the field of national defence and self-protection.

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLAVENSKOG
DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Dr B. Hrastnik
NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO - v ustanavljanju

Rizici uvodjenja nuklearne energetike usporedjuju se sa ostalim tipičnim rizicima nenuklearnog porijekla za današnje urbane sredine. Pokazuje se da su nuklearni rizici, iako ih se ne može isključiti, za nekoliko redova veličina manji od nenuklearnih.

Razmatraju se posljedice najvećeg zamislivog akcidenta nuklearne elektrane (gubitak hladioca) za stanovništvo koje živi u neposrednoj okolini postrojenja. Razmatraju se tipične mjere sigurnosti koje se provode u cilju da se isključe akcidenti koji bi mogli imati katastrofalne posljedice za stanovništvo.

## RIZICI UVODJENJA NUKLEARNE ENERGETIKE

Gradnja nuklearnih elektrana u blizini naseljenih mjesta, odnosno u područjima guste naseljenosti, potencijalno povećava riziko za stanovništvo koje živi u krugu sa polumjerom cca 30 km od nuklearne elektrane.

Ta činjenica obavezuje nas na poduzimanje svih neophodnih mjera koje će takav riziko reducirati ispod ili na niveau onih vrijednosti koje su karakteristične za suvremene urbane sredine.

U cilju objektivnog utvrdjivanja pouzdanosti nuklearne elektrane, potrebno je kvantitativno vrednovati sve one faktore, koji u odredjenim uvjetima mogu bitno utjecati na sigurnost nuklearnog postrojenja.

Od nuklearnih elektrana traži se izrazito visok stupanj sigurnosti posebno zbog činjenice da one sadrže velike količine radioaktivnih i fisionih materijala, koji intenzitetom ionizirajućeg zračenja i visokim stupnjem toksičnosti predstavljaju potencijalnu opasnost za pučanstvo. Pokušajmo dakle odgovoriti na pitanje: Koliko su sigurne nuklearne elektrane?

Da dobijemo odgovor na ovo pitanje potrebno je najprije definirati riziko pojedinca koji živi u neposrednoj blizini nuklearne elektrane. Kad govorimo o riziku, potrebno je uzeti u obzir ne samo vjerojatnost da se akcident stvarno desi, nego i vjerojatnost da nastupe posljedice za stanovništvo koje živi u neposrednoj blizini nuklearne elektrane. Za dani vremenski interval definira se riziko $R^{(P)}$ skupa ljudi od $P$ stanovnika kao broj neposrednih posljedica dogadjaja koji su se desili u proma-

tranom vremenu. Taj riziko zavisi o učestalosti takvih dogadjaja f i o vjerojatnosti p da zbog pojedinog dogadjaja nastupe konkretne posljedice. Dakle je riziko skupa P:

$$R^{(P)} = f \cdot p$$

Riziko pojedinca $R^{(1)}$ da pretrpi posljedice konkretnog dogadjaja dobija se tako da se riziko za čitav skup podijeli sa brojem članova skupa, dakle

$$R^{(1)} = R^{(P)}/P$$

Ilustrirajmo to na jednom poznatom primjeru. Sjedajući u automobil pitajmo se koliki je riziko pojedinca da kao rezultat saobraćajne nezgode nastupe posljedice a) tjelesne povrede i b) smrt.

Statistike u SAD daju učestalost automobilskih nezgoda f = 15,000.000 godišnje s vjerojatnošću smrti p = 1/300 po nezgodi, što daje za čitavo pučanstvo SAD (P = 200,000.000) riziko

$$R^{(P)} = 15 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{nezgoda}}{\text{godina}}\right) \cdot \frac{1\ (\text{smrt})}{300\ (\text{nezgoda})} = 50.000 \left(\frac{\text{smrti}}{\text{godina}}\right)$$

odnosno godišnji riziko smrti pojedinca: $R^{(1)} = 1/4000$

Rezultati studija, koje sadrže individualne rizike osoba koje žive u krugu 30 km od nuklearnih elektrana u toku godine dana, dani su u slijedećoj tabeli:

Tabela I.

| Posljedice | $R^{(1)}$ |
|---|---|
| smrt | $2 \cdot 10^{-10}$ |
| akutna bolest | $4 \cdot 10^{-10}$ |
| latentni karcinom | $1 \cdot 10^{-9}$ |
| oštećenje tiroide | $3 \cdot 10^{-8}$ |
| genetičke promjene | $1 \cdot 10^{-9}$ |

Pogledajmo sada kakav bi to trebao biti akcident koji bi ugrozio stanovništvo u neposrednoj okolini nuklearne elektrane. Najveći zamislivi akcident desio bi se u slučaju da dodje do taljenja jezgre reaktora kao rezultat trajnog gubitka hladioca u primarnom krugu. Vjerojatnost takvog akcidenta, medjutim, ekstremno je mala, jer suvremene nuklearne elektrane posjeduju niz medjusobno nezavisnih redundantnih sistema sa ulogom da:

a) onemoguće taljenje jezgre
b) isključe nastupanje posljedica za okolno stanovništvo u hipotetskom slučaju da do taljenja jezgre stvarno dodje.

Spomenimo samo neke od tih sistema:

- sistemi za hladjenje jezgre u slučaju nužde
- sigurnosna reaktorska posuda
- nepropusna reaktorska zgrada
- sistemi za ventilaciju i recirkulaciju zraka u reaktorskoj zgradi
- sistemi za prskanje unutrašnjosti reaktorske zgrade.

Svi ovi sistemi tako su dimenzionirani da čak i u slučaju kad bi nastupilo hipotetsko taljenje jezgre, ionizirajuće zračenje ne bi ugrozilo stanovništvo u neposrednoj blizini nuklearne elektrane. Pogledajmo posljedice hipotetskog akcidenta koji bi rezultirao oslobadjanjem znatnog dijela fisionih i radioaktivnih materija iz jezgre reaktora:

a) tjelesne povrede i smrt osoba koje bi se zatekle u okolišu nuklearne elektrane u trenutku akcidenta
b) materijalni troškovi većeg obima koji bi nastali evakuacijom stanovništva iz kontaminiranog područja, nekorištenjem proizvodnih i preradjivačkih kapaciteta u ugroženom području u vremenskom intervalu koji je potreban za dekontaminaciju (nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci) i provodjenjem dekontaminacije zemljišta, pitke vode i hrane.

Odredjivanje vjerojatnosti ispuštanja radioaktivnih materija, ukoliko je uopće prisutno, zavisi u krajnjoj liniji o tome, u kojoj mjeri sigurnosni sistemi, aktivirani postuliranim kvarom neke od vitalnih komponenti, vrše svoje funkcije s krajnjim ciljem da se maksimalno ublaže posljedice postulirane nezgode. Pri tom postoji i mogućnost istodobnog kvara drugih komponenata, tako da treba razmatrati niz različito vjerojatnih simultanih kvarova čije su posljedice različite količine oslobodjene radioaktivnosti (dogadjajni dijagram).
Kvar svake od komponenata ima svoj uzrok u odredjenoj kombinaciji mogućih primarnih kvarova (uzročni dijagram).
Detaljne analize uzročnih i dogadjajnih dijagrama omogućuju da se utvrde potencijalni putevi i vjerojatnosti pojave svakog konkretnog akcidenta.

Utvrdjivanje potencijalnih posljedica za pučanstvo bazira se na proračunu doza ionizirajućeg zračenja koje bi primilo ugroženo stanovništvo. Taj je proračun funkcija:

a) prostorne raspodjele stanovništva u ugroženom području
b) disperzionih uvjeta radioaktivnih materija.

Rizike nuklearnih elektrana (Tabela I.) treba usporediti s tipičnim rizicima nenuklearnog porijekla predočenih u slijedećoj tabeli:

Tabela II.

| Posljedice | $R^{(1)}$ |
|---|---|
| motorna vozila | $3 \cdot 10^{-4}$ |
| opekotine | $4 \cdot 10^{-5}$ |
| utapljanje | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| trovanje | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| vodeni transport | $9 \cdot 10^{-6}$ |
| zračni transport | $9 \cdot 10^{-6}$ |
| željeznički transport | $4 \cdot 10^{-6}$ |
| udar groma | $5 \cdot 10^{7}$ |

Vidi se da su nenuklearni rizici za nekoliko redova veličina veći od nuklearnih.

Unatoč tako malih rizika od nuklearnih elektrana, mnogi ih i dalje smatraju opasnim za društvo. To dolazi odatle da npr. jedna smrt godišnje od udara groma ili kažimo 10.000 mrtvih jednom u 10.000 godina (isti riziko pojedinca!) društveno uzevši nemaju nažalost isti tretman. Društvo je, čini se, znatno spremnije "preboliti" pojedinačne smrti koje osim porodice unesrećenog jedva da netko i registrira, nego odjednom znatan broj žrtava kao posljedicu nekih, inače vrlo rijetkih, dakle malo vjerojatnih katastrofa.

Polazeći od ove činjenice potrebno je i dalje poduzimati sve moguće mjere kojima je krajnji cilj sasvim isključiti mogućnost takvog reaktorskog akcidenta koji bi imao za posljedicu opasno ionizirajuće zračenje u čovjekovoj sredini. Danas se poduzima cijeli niz mjera u tu svrhu. Spomenimo osnovne mjere sprečavanja akcidenta koji bi imali teže posljedice za pučanstvo:

- izbor lokacije nuklearne elektrane
- mjere nuklearne sigurnosti
- radiološki nadzor okoline.

Kod izbora lokacije vrše se detaljna geološko-seizmološka, meteorološko-klimatološka, hidrološka, ekološka i topografska ispitivanja terena u krugu od cca 30 km. Svi vitalni sistemi nuklearne elektrane izradjuju se mnogostruko i projektirani su za najveći mogući potres na danoj lokaciji (koji se još nikad nije dogodio!). Meteorološko-klimatološki uvjeti moraju garantirati dobru disperziju plinovitih ispuštanja, dakle i u akcidentnim uvjetima koncentracije, koje nisu opasne za okolno pučanstvo. Detaljna hidrološka ispitivanja vrše se u cilju utvrdjivanja mogućih puteva kontaminacije površinske i podzemne vode kao i mjera koje onemogućuju kontaminaciju. Ekološke studije pronalaze kritične puteve kojim bi eventualno ispuštena radioaktivnost došla do čovjeka (direktno zračenje, udisanjem, preko hrane, vode, itd.).
Topografska ispitivanja trebaju medju ostalim dati odgovor i na pitanje koliko je brzo moguća evakuacija stanovništva s ugroženog područja.
Mjere nuklearne sigurnosti veoma su brojne. Zajednički nazivnik su im uzastopne tzv. mnogostruke barijere koje sprečavaju oslobadjanje radioaktivnosti. Spomenimo najvažnije:

- specijalna izrada gorivih šipki
- zaštitni sistemi od prekoračenja snage
- zatvoreni rashladni sistemi
- reaktorska posuda
- reaktorska zgrada.

Specijalna izrada nepropusnih gorivih šipki u vezi s zaštitnim sistemima od prekoračenja snage predstavljaju vrlo efikasnu barijeru u zadržavanju opasnog inventara jezgre. Zatvoreni rashladni sistemi uz neprestano pročišćavanje hladioca (odstranjivanjem radioaktivnih materija) bitno smanjuju vjerojatnost ispuštanja radioaktivnosti. Reaktorska posuda i sistemi u reaktorskoj zgradi vrlo su efikasni u zadržavanju radioaktivnih materija, čak i onda kad bi sve ostale barijere zakazale.

Radiološki nadzor okoline (odsada dalje RNO) predstavlja skup mjera koje se provode u svrhu pravovremenog utvrdjivanja eventualne kontaminacije radioaktivnim tvarima zraka, vode, zemljišta, flore i faune. RNO utvrdjuje pri tom količine i

karakteristike eventualne kontaminacije.

RNO vrši za vrijeme pogona kompletnu analizu svih kritičnih puteva a posebno onih, koji vode do maksimalno ugroženog stanovnika danog područja. U redovnim polugodišnjim izvještajima sadržani su podaci o svim tekućim i plinovitim ispuštanjima kroz navedeni vremenski period. Posebno se vodi računa o mogućnosti nagomilavanja dugoživućih radionuklida u fizičkim i biološkim sredinama, koje su kritične za čovjeka.

## Zaključak

Apsolutnu sigurnost ne može se postići u ni jednom području tehnike, pa prema tome niti u nuklearnom. Medjutim, brojne mjere sigurnosti (aktivne i pasivne) smanjuju riziko nuklearnih elektrana na ekstremno male vrijednosti. Riziko od nuklearnih postrojenja je danas manji od svih ostalih postojećih rizika i može se usporediti s rizikom da stradamo od pada meteora. Ako je suditi po riziku, on sigurno opravdava uvodjenje nuklearnih elektrana u cilju dobijanja električne energije.

The risks connected with nuclear power resources are compared to the other typical risks of the contemporary urban areas. While the nuclear risks cannot be completely excluded, it is shown that risks from nuclear power plants are a few orders of magnitude smaller than those of non-nuclear origin.

The consequences of the largest conceivable nuclear power plant accident(Loss of Coolant Accident) for population in the vicinity of the plant are considered. Typical safety measures in order to exclude accidents of catastrophic consequences for population in the environment of the plant are reviewed.

## Bibliografija

1. Principles and Standards of Reactor Safety. Proceedings of a Symposium. Vienna: IAEA, 1973.

2. The Safety of Nuclear Power Reactors (Light Water Cooled) and Related Facilities, USAEC Report WASH-1250, 1973.

3. Idaho Nuclear Corporation, Water Reactor Safety Program Plan, USAEC Report WASH-1146, February 1970.

4. F.R. Farmer, Reactor Safety and Siting: A Proposed Risk Criteria, Nucl. Safety, 8 (1967) 539.

5. S.N. Ehrenpreis and J.D. McAdoo, Reactor Safety Analysis, USAEC Report WCAP-3269-60, Westinghouse Electric Corporation, April 1966.

6. S.G. Forbes and T.R. Wilson, Loss of Coolant Accident Investigations, USAEC Report IDO-17272, Phillips Petroleum Company, June 1968.

7. C.G. Lawson, Emergency Core-Cooling Systems for Light-Water-Cooled Power Reactors, USAEC Report ORNL-NSIC-24, Oak Ridge National Laboratory, Octobry 1968.

8. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 100 U.S. Government Printing Office, Washington January 1, 1974.

9. Reactor Safety Study - An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, USAEC Report WASH-1400, 1974.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 03. VI 1977.

R. Mijailović
Vojna pošta 4309 Beograd
M.M. Ninković
Institut "Boris Kidrič" Vinča - Beograd

# ANALIZA SADRŽAJA RADIOAKTIVNIH PRODUKATA U RASHLADNOM MEDIJU REAKTORA

## REZIME

U ovom radu su izloženi rezultati analize uzorka $D_2O$ iz rashladnog sistema reaktora primenom gama-spektrometrijske metode. Za snimanje spektra korišćen je Ge (Li) detektor, a za energetsku kalibraciju izvor $^{224}Ra$. Efikasnost je odredjena posebno razradjenim postupkom. Dobijeni gama-spektar obuhvatao je energetsko područje od 50 KeV-a do 2800 KeV-a, a sadržao je 71 fotoliniju. Njihovom obradom dobijeni su karakteristični parametri za radionuklide sadržane u uzorku (energija, površina, aktivnost). Pomoću parametara odredjenih u radu i uzetih iz literature (vreme poluraspada i prinos) izvršena je kvalitativna i kvantitativna analiza sadržaja u uzorku. Identifikovano je 38 radionuklida: $^{173}Lu$, $^{167}Ho$, $^{144}Ce$, $^{143}Ce$, $^{141}Ce$, $^{140}Ba$, $^{140}La$, $^{140}Nd$, $^{137}Cs$, $^{135}J$, $^{135}Xe$, $^{133}Ce$, $^{133}J$, $^{132}J$, $^{132}Te$, $^{131}J$, $^{105}Ru$, $^{103}Ru$, $^{99}Mo$, $^{99M}Tc$, $^{97}Nb$, $^{97}Zr$, $^{95}Nb$, $^{91}Sr$, $^{91M}Y$, $^{187}W$, $^{72}Zn$, $^{60}Co$, $^{57}Co$, $^{56}Mn$, $^{54}Mn$, $^{51}Cr$, $^{48}Cr$, $^{26}Al$, $^{24}Na$, $^{244}Am$, $^{243}Am$, $^{239}Np$,

## U V O D

Konstrukcioni elementi nuklearnog reaktora, koji dolaze u dodir sa rashladnim medijem deluju uzajamno i na taj način obrazuju produkte korozije. Cirkulišući u primarnom kolu, ovi

produkti dospevaju u aktivnu zonu reaktora, gde bivaju aktivirani visokim fluksom neutrona. Pri tome se stvaraju kratkoživeći i dugoživeći produkti korozije, koji se talože na raznim mestima primarnog kola i na taj način ograničavaju pristup reaktoru i onda kada ne radi.

Stvaranje većih količina ovih produkata predstavlja višestruku opasnost. Na primer, taloženje znatnih količina ovih produkata po površini gorivnih elemenata može da dovede do narušavanja hermetičnosti i tako stvori uslove za prodiranje fisionih produkata u primarno kolo. Može da dodje i do pregrevanja, a poznato je da smeše kiseonika i vodonika ili vodonika i vazduha postaju eksplozivno opasne u odredjenim fizičkim uslovima i pri odredjenom odnosu komponenata u smeši. Brzina korozije detaljno je proučena i nadjena je zavisnost od više parametara: od vrste materijala koji ulazi u konstrukciju primarnog kola, vrste rashladjivača, temperature, PH vrednosti, gama i neutronskog zračenja, sadržaja kiseonika, prisustva raznih aniona i drugih parametara. Ona može da se smanji održavanjem navedenih parametara na odredjenim vrednostima kao i izborom materijala za konstrukciju primarnog kola i rashladjivača. Poznate su brzine korozije nerdjajućih čelika, aluminijuma, cirkonijuma i njihovih legura u zavisnosti od navedenih parametara i drugih fizikohemijskih uslova. Ovi materijali uglavnom se koriste u konstrukciji reaktora, a karakterišu se malim brzinama korozije. Na primer, brzina korozije /1/ nerdjajućih čelika u reaktorima sa vodenim hladjenjem iznosi 5 mg ($dm^2$.mesec). Ali, i pri tako malim brzinama, količina stvorenih produkata korozije dostiže vrednost do 100 gr/dan u velikim reaktorima. Zbog toga, kao i drugih ograničenja koja se odnose na rashladni medij, posvećuje se odgovarajuća pažnja odstranjivanju korozionih i drugih produkata iz rashladnog medija.

Relativna opasnost od primarnog rashladjivača i aktiviranih produkata korozija zavisi od mnogih faktora, ali prvenstveno od vremena rada reaktora na punoj snazi i vremenskog intervala od njegovog zaustavljanja.

Taloženje produkata korozije po površini omotača gorivnih

elemenata kao i drugi uzroci mogu da dovedu do narušivanja hermetičnosti pri čemu dolazi, pre svega do isticanja gasovitih produkata fisije u rashladni medij. Brzina isticanja zavisi od stepena dehermetizacije omotača goriva, količine fisionih produkata ispod omotača i od brzine prolaženja kroz defaktno mesto. Proces dehermetizacije obično se odvija postepeno.

U slučaju topljenja goriva, osim gasovitih izlaze u rashladni medij fisioni produkti, koji se nalaze u unutrašnjosti goriva. To se dešava za veoma kratko vreme, a koncentracija ovih produkata okarakterisana je količinom produkata fisije u gorivu. Sa fisionim produktima može da iscuri i gorivo kroz defaktna mesta, i tako stvore uslovi za pojavu transuranskih elemenata u rashladnom mediju.

Radioaktivni produkti nastali i dospeli u rashladni medij reaktora veoma su značajni, a posebno u slučaju akcidenta (2) kada može da dodje do kontaminacije nuklearnog postrojenja i okoline.

## 1. Gama-spektrometrijska metoda u analizi sadržaja rashladnog medija nuklearnog reaktora

Radioaktivni izotopi se identifikuju preko karakterističnih parametara kao što su energija i vreme poluraspada. Najbolji rezultati sada dobijeni su gama-spektrometrijskom metodom. Ona se zasniva na merenju spektra sekundarnih elektrona nastalih u procesima apsorpcije gama zračenja pri prolazu kroz detektor. Poseban doprinos u spektrometriji gama-zračenja učinjen je otkrićem poluprovodničkih detektora. Sa njima je postignuto razdvajanje veoma bliskih energija, što je od posebnog značaja za analizu veoma složenih gama-spektara. Pri obradi gama spektra koriste se fotolinije. Lako se raspoznaju i na osnovu položaja linija u spektru odredjuje se energija gama-zračenja radioizotopa (kvantitativna spektrometrijska analiza). Osnovu kvantitativne analize čini odradjivanje površine pod fotolinijom, jer je ona srazmerna koncentraciji radioizotopa.

## 2. Energetska kalibracija

Energetska kalibracija spektrometra (3) izvršena je pre i posle snimanja spektra ispitivanog uzorka, pri čemu je korišćen standardni izvor $^{226}Ra$. Odabrano je 15 diskretnih vrednosti energija u kalibracionom spektru. One su obuhvatale energetsko područje od 186,2 do 2448 KeV-a. Energija po kanalu snimanog spektra nalazila se u intervalu od 0,6309 do 0,6405. Ovi podaci su korišćeni za obradu spektra u daljem radu.

## 3. Odredjivanje relativne efikasnosti

Za odradjivanje podataka za krivu energetske efikasnosti /3,4/ korišćene su dve serije standardnih izvora poznate aktivnosti. Jedna serija (5) sastavljena je od 6 standardnih izvora koje isporučuje IEAE. Njima je obuhvaćeno energetsko područje od 59,54 do 1332,43 KeV-a. Snimljeni su njihovi spektri na rastojanjima od 12 i 22,6 cm od detektora. Dobijeno je po devet diskretnih vrednosti za efikasnost detekcije. Položaj ovih tačaka odredjuje tok krive efikasnosti u funkciji energije. Druga serija sastavljena je od četiti standardna izvora odredjene aktivnosti i zapremine (zapremina je iznosila 15,2 $cm^3$, kao ispitivani uzorak $D_2O$). Pokrivala je energetsko područje od 320,1 KeV-a do 1332,4 KeV-a, te je za energije niže od 320 KeV-a vršena ekstrapolacija prema krivim, koje su dobijene merenjem prve serije standarda. Dobijeno je pet vrednosti za efikasnost diskretnih gama-energija. Kriva efikasnosti, koja je dobijena sa drugom serijom izvora, prati tok krive prve serije. Znači, mogla je da se koristi za izračunavanje efikasnosti nepoznatih izvora ako se njihov spektar gama-zračenja snimi pod istim uslovima kao i spektri standarda.

## 4. Odredjivanje relativnog intenziteta gama-linija

Odredjivanje površina ispod fotovrhova zahteva izuzetnu pažnju, jer od postignute preciznosti pri njenom odredjivanju zavise svi ostali rezultati pri obradi gama-spektra. Može da se odredjuje ručnim postupkom, a postoji i više razradjenih programa za izračunavanje pomoću elektronskih računara. U ovom radu korišćena je kombinacija ovih metoda /3,4/.

5. Snimanje i analiza spektra uzorka $D_2O$

Uzorak teške vode uzet je iz rashladnog teškovodnog sistema reaktora pri njegovom radu na 6,5 MW. Jedan deo vode je odliven, a zatim uzet uzorak za analizu u sudu standardnog oblika, zapremine 15,2 $cm^3$. Posle oko 10 h (starost uzorka) od uzimanja uzorka počelo je snimanje spektra, pod prethodno odabranim geometrijskim uslovima, na spektrometru sa $G_e$ $(L_i)$ detektorom i 4096 kanalnim analizatorom. Vreme snimanja iznosilo je $4.10^4$ sec. Mrtvo vreme Ge (Li) detektora iznosilo je oko 5%, a osetljiva zapremina 15 $cm^3$. Snimljeni karakteristični spektar prikazan je na slikama 1 i 2. Na njima su označene sve izračunate energije i simboli za identifikovane radionuklide.

U analiziranom spektru identifikovana je 71 fotolinija. Analiza početnog dela spektra (neiskoenergetski deo) nije vršena, jer nije od interesa za ovaj rad. Za obradu gama-spektra, tj. za identifikaciju radioizotopa sadržanih u uzorku i odredjivanje aktivnosti treba, poznavati više parametara. Korišćeni su sledeći parametri: energija radioizotopa, intenzitet fotolinije, efikasnost, prinos i vreme poluraspada.

- Energija radioizotopa - Odredjivana je pomoću kalibracionog spektra $^{226}Ra$ kao što je rečeno. Izračunate su energije za sve fotolinije i jednu Komptonovu ivicu.

- Intenzitet fotolinije - Odredjivan je pomenutim metodama. Izračunate su površine za 71 fotoliniju, pri čemu je izračunata i greška. Dobijeni su zadovoljavajući rezultati za površine, koji su korišćeni za dalju obradu spektra. Neke fotolinije su dubleti (bilo ih je šest), a neke su se neznatno izdvajale od fona, te su njihove površine odredjivane sa velikom greškom. One nisu do kraja analizirane.

- Efikasnost detekcije - Odredjivano je eksperimentalno navedenim postupkom.

- Prinos fotolinije - Vrednosti su uzete iz literature (6,7,8) za sve identifikovane radionuklide, osim za $^{140}Nd$, jer nije odredjen.

- Vreme poluraspada - Vrednosti su uzete iz literature 6,7,8).

Uz pomoč navedenih parametara i odgovarajuće literature

izvršena je identifikacija radionuklida sadržanih u spektru uzroka (kvalitativna analiza uzorka $D_2O$). Identifikovano je 38 radionuklida, koji pripadaju grupama:

- fisionih produkata: $^{173}Lu$, $^{167}Ho$, $^{144}Ce$, $^{141}Ce$, $^{140}Ba$, $^{140}La$, $^{140}Nd$, $^{137}Cs$, $^{135}Cs$, $^{135}J$, $^{135}Xe$, $^{133}Ce$, $^{133}J$, $^{132}J$, $^{132}Te$, $^{131}J$, $^{105}Ru$, $^{99}Mo$, $^{99M}Tc$, $^{97}Nb$, $^{97}Zr$, $^{95}Nb$, $^{91}Sr$, $^{91M}Y$;
- korozionih produkata: $^{186}W$, $^{72}Zn$, $^{60}Co$, $^{57}Co$, $^{56}Mn$, $^{54}Mn$, $^{51}Cr$, $^{48}Cr$, $^{26}Al$, $^{24}Na$, i
- transuranskih elemenata: $^{244}Am$, $^{243}Am$, $^{239}Np$.

Koristeći iste parametre odredjena je koncentracija aktivnosti $A_{it}$ (kvantitativna analiza uzorka $D_2O$) pomoću jednačine

$$A_{it} = \frac{P_i}{\cdot p_i \cdot t_m \cdot V_i \cdot 3 \cdot 7 \cdot 10^4} \text{ ( uCi/ml)} \qquad (3)$$

gde je:

$A_{it}$ - koncentracija aktivnosti i-tog izotopa u vremenu t,

$P_i$ - površina fotovrha i-tog izotopa u spektru uzorka,

- efikasnost detekcije Ge (Li) detektora,

$P_i$ - prinos i-tog izotopa u spektru uzorka,

$T_m$ - vreme merenja i

$V_i$ - zapremina ispitivanog uzorka .

Koncentracije aktivnosti elemenata nalazile su se u trenutku merenja u intervalima:

- kod fisionih - 0,002 - 0,23 /uCi/ml
- kod korozionih - 0,002 - 1,9 /uCi/ml
- kod transuranskih - 0,005 -39,8 /uCi/ml

Koncentracija aktivnosti elemenata u trenutku uzimanja uzorka odredjivane su pomuću osnovne jednačine radioaktivnog raspada. Nalazile su se u intervalima:

- kod fisionih - 0,002 - 3,5 /uCi/ml
- kod korozionih - 0,002 - 1,9 /uCi/ml
- kod transuranskih - 0,008 -39,8 /uCi/ml

Identifikovani radioizotopi sa odredjenim koncentracijama aktivnosti u trenutku merenja i uzimanje uzorka $D_2O$ prikazani su u tabeli 1.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

Gama-spektrometrijska metoda, uz korišćenje spektrometra sa Ge (Li) detektorom i 4096-kanalnim analizatorom, daje dobre rezultate pri analizi uzoraka kompleksno kontaminiranih sredina u kojima se nalaze radionuklidi koji pokrivaju široki interval energije. U analiziranom uzorku spektar je obuhvatao interval energija od 50 KeV-a do 2800 KeV-a, a dobijeni rezultati veoma se dobro slažu sa vrednostima iz literature.

Odabrani postupci za odredjivanje efikasnosti, relativnog intenziteta fotolinija i energetske kalibracije pogodni su za obradu gama-spektra.

Gama-spektrometrijska metoda pogodna je za kvalitativnu i kvantitativnu analizu kompleksno kontaminiranih sredina koje su slične rashladnim medijumima nuklearnih reaktora.

## SUMMARY

R. Mijailović, M.M. Ninković
Analysis of the radioaktive products in reactor primary coolent medium.

A specimen of $D_2O$ from the cooling systems of the nuclear reactor during work at 6,5 MW has been analysed by a gamma--spectrometry method. The Ge (Li) detector has been used for obtaining of the spectrum, and a source of $^{226}Ra$ for energy calibration has been used. Efficiency has been determined by an aspecial method. The obtained spectrum range from 50 to 2.800 KeV-a and it contains 71 photolines. Characteristic parameters (energy, surface of photoline and activity) of radionuclides were obtained by further analysis ot the spectrum. Qualitative and quantitative analyses of the content of the

Tabela br. 1

| Red. broj | I z o t o p | Koncentracija aktivnosti u trenutku merenja uzorka ($A_{it}$), $\mu$Ci/ml | Vreme poluraspada (T/2) | Koncentracija aktivnosti u trenutku uzimanja uzorka ($A_{io}$), $\mu$Co/ml |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | F I S I O N I  P R O D U K T I | | |
| 1. | Y - 91M | 0,022 | $4,97.10^{1}$m | 3,52 |
| 2. | Sr- 91 | 0,045 | 9,75h | 0,082 |
| 3. | Nb- 95 | 0,003 | $3,51.10^{1}$h | 0,003 |
| 4. | Zr-97 | 0,005 | $1,70.10^{1}$h | 0,007 |
| 5. | Nb-97 | 0,004 | $7,30.10^{1}$m | 0,605 |
| 6. | Tc- 99M | 0,019 | 6,03h | 0,053 |
| 7. | Mo- 99 | 0,015 | $6,66.10^{1}$h | 0,017 |
| 8. | Ru-103 | 0,002 | $3.96.10^{1}$d | 0,002 |
| 9. | Ru-105 | 0,005 | 4,40h | 0,021 |
| 10. | J -131 | 0,005 | 8,04d | 0,005 |
| 11. | Te-132 | 0,003 | $7,80.10^{1}$h | 0,003 |
| 12. | J -132 | 0,003 | 2,28h | 0,043 |
| 13. | J -133 | 0,021 | $2,10.10^{1}$h | 0,027 |
| 14. | Ce-133 | 0,208 | 5,40h | 0,646 |
| 15. | Xe-135 | 0,013 | 9,70h | 0,025 |
| 16. | J -135 | 0,012 | 6,70h | 0,029 |
| 17. | Cs-137 | 0,003 | $3,01.10^{1}$g | 0,003 |
| 18. | Nd-140 | ? | 3,30d | ? |
| 19. | La-140 | 0,028 | $4,02.10^{1}$h | 0,032 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 20. | Ba-140 | 0,044 | $1,27.10^{1}h$ | 0,045 |
| 21. | Ce-141 | 0,006 | $3,24.10^{1}d$ | 0,006 |
| 22. | Ce-143 | 0,006 | $3,30.10^{1}h$ | 0,007 |
| 23. | Ce-144 | 0,228 | $2,84.10^{2}d$ | 0,228 |
| 24. | Ho-167 | 0,003 | 3,10h | 0,018 |
| 25. | Lu-173 | 0,017 | 1,37g | 0,017 |
| | | K O R O Z I O N I  P R O D U K T I | | |
| 1. | Na- 24 | 0,407 | $1,50.10^{1}h$ | 0,612 |
| 2. | Al- 26 | 0,007 | $7,38.10^{5}g$ | 0,007 |
| 3. | Cr- 48 | 0,002 | $2,29.10^{1}h$ | 0,002 |
| 4. | Cr- 51 | 1,881 | $2,77.10^{1}d$ | 1,898 |
| 5. | Mn- 54 | 0,004 | $3,12.10^{2}d$ | 0,004 |
| 6. | Mn- 56 | 0,021 | 2,58h | 0,228 |
| 7. | Co- 57 | 0,081 | $2,70.10^{2}d$ | 0,081 |
| 8. | Co- 60 | 0,483 | 5,26g | 0,483 |
| 9. | Zn- 72 | 0,004 | $3,12.10^{2}d$ | 0,004 |
| 10. | W -187 | 0,003 | $2,39.10^{1}h$ | 0,004 |
| | | T R A N S U R A N S K I  E L E M E N T I | | |
| 1. | Np-239 | 1,751 | 2,35d | 1,951 |
| 2. | Am-243 | 39,783 | $7,95.10^{3}g$ | 39,783 |
| 3. | Am-244 | 0,005 | $1,01.10^{1}h$ | 0,008 |

specimen has been done according to the mentioned parametars and those available in the literature (abundance and half-life). 38 radionuclides has been identified: $^{173}Lu$, $^{167}Ho$, $^{144}Ce$, $^{143}Ce$. $^{141}Ce$, $^{140}Ba$, $^{140}La$, $^{140}Nd$, $^{137}Cs$, $^{135}J$, $^{135}Xe$, $^{133}Ce$, $^{133}J$, $^{132}J$, $^{132}Te$, $^{131}J$, $^{105}Ru$, $^{103}Ru$, $^{99}Mo$, $^{99M}Tc$, $^{97}Nb$, $^{97}Zr$, $^{95}Nb$, $^{91}Sr$, $^{91M}Y$, $^{187}W$, $^{72}Zn$, $^{60}Co$, $^{57}Co$, $^{56}Mn$, $^{54}Mn$, $^{51}Cr$, $^{48}Cr$. $^{26}Al$, $^{24}Na$. $^{244}Am$, $^{243}Am$, $^{239}Np$.

## LITERATURA


1. Sivincev Ju. V.; Radiacionaja bezopasnost na jadernih reaktorah, Atomizdat Moskva 1967.
2. Gladki, E. i I. Kubik: Vihod radiaktivnih produktov v avariinih režimah raboti AES, Materijal sa savetovanja "Metodika proračuna rasprostiranja radioadtivnih produkata u radnoj sredini i okolini NE u normalnim i akcidentalnim uslovima" Piještani ČSSR, 14-19 odtobra, 1974.
3. Mijailović R.: Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu 1975.
4. Ninković M.: Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu 1971.
5. Certificate, International Atomic Energy Agency (IAEA) Division of Research and Laboratories, Vienna, 1970.
6. Atomic Data and Nuclear Data Tables, Academic Press New York and London, vol. 12,2-3, Feb. 1974.
7. Nuclear Data Tables Academic Press New York and London, Vol. 8,5-6 jan. 1971.
8. Gamma Ray Energy Tables for Neutron Activation Analysis, Washington State University, 1970.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

Danilo Hajduković

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu SRS "Dr.Drag. Karajović" u Beogradu

# PRILOG KLASIFIKACIJI RUDNIKA METALIČNIH RUDA U ZAVISNOSTI OD RADIOAKTIVNIH POJAVA U RUDNIKU

## Rezime

Prikazane su srednje izmerene koncentracije radona 222 i potomaka u 14 rudnika metaličnih ruda i njima odgovarajuće absorbovane doze na respiratornom sistemu radnika. Predložena je podela rudnika u šest kategorija na osnovu stepena opasnosti od kontaminacije (Nopk) definisanog odnosom ukupnih absorbovanih doza (Duk) prema M.D.D.( ICRP) od 0,3 rem/40h odn.7,5 m rem/h .

## UVOD

Poznato je da usled rasprostranjenosti urana u litosferi bilo da se radi o količinama od značaja za eksploataciju urana ili o genetskim pojavama urana ,dolazi do radioaktivne kontaminacije radne sredine, u većoj ili manjoj meri i u jamama rudnika urana i u drugim rudnicima metaličnih ruda . Proučavanje kontaminacije radne sredine rudnika radonom i potomcima obavljano je u 14 rudnika i to pet uranskih,pet rudnika olovno cinkane rude,jednog rudnika živine rude,rudnika mangansko-antimonske rude, rudnika bakarne rude i rudnika magnetita. Obavljeno je 8500 merenja koncentracija radona i potomaka u periodu od 1960. do 1975. godine (1). Srednje vrednosti ovih izmerenih koncentracija date su u TAB. 1.

Koristeći model obračunavanja absorbovanih doza od inhalacije radona 222 i potomaka (1) izložen i u prethodnom radu (2) i uvodeći u obračun izmerene srednje koncentracije radona i potomaka u ispitivanim rudnicima datim u TAB.1 ,izvršen je obračun absorbovanih doza . U obračun je uzeta za reprezantativnu česticu prašine čestica dijametra 0,3 mikrona koja je dominantna u mernom opsegu metode termičke precipitacije ,koja je (3)i (4) zastupljena u uzorcima izmerene prašine 50 do 60% (čestice 0,8 $\mu$ od 18 do 22% , od 1 $\mu$ od 10 do 12% itd.

U obračun je uzet odnos 80% rastvorljivih i 20% nerastvorljivih čestica prašine u smeši rudničkog aerosola.

Ovaj obračun prikazan je tabelarno -TAB.2.

TAB.1

Srednje koncentracije radona i potomaka izmerene na radilištima ispitivanih rudnika

| Ispitivani rudnici (vrsta) | $\Sigma_{Rn}$ (pCi/l) | $R\bar{a}A$ (pCi/l) | $R\bar{a}B$ (pCi/l) | $R\bar{a}C$ (pCi/l) | W.L. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. MEZDREJA (U) | 398,3 | 294,7 | 163,3 | 115,5 | 1,548 |
| 2. GABROVNICA (U) | 799,4 | 607,5 | 359,7 | 247,8 | 3,374 |
| 3. INOVSKA REKA (U) | 1386,0 | 1136,5 | 817,7 | 512,8 | 7,230 |
| 4. ZLETOVSKA REKA (U) | 454,6 | 350,0 | 209,0 | 146,0 | 1,965 |
| 5. ŽIROVSKI VRH (U) | 275,7 | 184,7 | 126,8 | 63,4 | 1,069 |
| 6. STARI TRG-Trepča (Pb,Zn) | 14,43 | 10,0 | 5,65 | 4,20 | 0,055 |
| 7. ZLETOVO-DOBREVO (Pb,Zn) | 158,41 | 115,6 | 74,45 | 44,35 | 0,662 |
| 8. SASA-M.Kamenica (Pb,Zn) | 42,93 | 30,48 | 13,30 | 8,15 | 0,129 |
| 9. RUDNIK (Pb,Zn) | 28,54 | 19,95 | 11,97 | 6,55 | 0,106 |
| 10. SREBRENICA (Pb,Zn) | 38,50 | 29,64 | 16,55 | 11,16 | 0,156 |
| 11. IDRIJA (Hg) | 28,40 | 18,19 | 11,23 | 6,85 | 0,102 |
| 12. LOJANE (Mg,Sb) | 34,07 | 24,48 | 14,96 | 9,86 | 0,138 |
| 13. BOR (Cu) | 5,30 | 2,56 | 1,31 | 0,77 | 0,012 |
| 14. SUVA RUDA (Fe) | 34,80 | 23,70 | 13,60 | 7,32 | 0,136 |

M.D.K. za radon je 300 pCi/l ( odn. $3x10^{-10}$Ci/l)

W.L.-working level za radonove potomke jednak 1

Najveće koncentracije izmerene su u istražnom uranskom rudniku u Kalni Inovska Reka a najmanje u rudniku Bor.

TAB. 2 Absorbovane doze od inhaliranja radona i potomaka deponovanih na rastvorljivim i nerastvorljivim česticama prašine dijametra 0,3 mikrona , za slučaj 80% rastvorljivih i 20% nerastvorljivih čestica

( x $10^{-3}$ rem / h )

| Red. br. | Ispitivani rudnici | Abs.doze od Rn $D_{Rn}$ | Abs.doze od potomaka radona depon.na čest.0,3 μ | | | | | Abs.doze $D_{Rn}+D_{Pu}+D_{Bu}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $D_{P(r.č.)}$ | $D_{B(r.č)}$ | $D_P+D_B$ (r.č.) | $D_{P(rč+nč)}$ 80% r.č. 20% n.č. | Ukupno $D_{Pu}+D_{Bu}$ | |
| | | (1) | (2) | (3) | (2)+(3) | (4) | (3)+(4) | (1)+(3)+(4) |
| 1 | MEZDREJA | 0,5138 | 9,7197 | 4,7831 | 14,5028 | 11,0105 | 15,7936 | 16,3074 |
| 2 | GABROVNICA | 1,0312 | 19,3750 | 10,2950 | 29,6700 | 21,9477 | 32,2427 | 33,2739 |
| 3 | INOVSKA REKA | 1,7878 | 48,9400 | 21,3440 | 70,2840 | 55,4393 | 76,7832 | 78,5710 |
| 4 | ZLETOVSKA REKA | 0,5894 | 12,2730 | 5,9810 | 18,2540 | 13,9703 | 19,9513 | 20,5408 |
| 5 | ŽIROVSKI VRH | 0,3556 | 6,0760 | 3,2000 | 9,2760 | 6,8827 | 10,0827 | 10,4383 |
| 6 | STARI TRG TR. | 0,0187 | 0,3230 | 0,1720 | 0,4950 | 0,3661 | 0,5381 | 0,5568 |
| 7 | ZLETOVO DOBR. | 0,2043 | 3,7620 | 1,9890 | 5,7510 | 4,3612 | 6,3502 | 6,5545 |
| 8 | SASA M.KAMEN. | 0,0554 | 0,7606 | 0,4207 | 1,1810 | 0,8637 | 1,2844 | 1,3398 |
| 9 | RUDNIK | 0,0368 | 0,6060 | 0,3240 | 0,9300 | 0,6878 | 1,0118 | 1,0486 |
| 10 | SREBRENICA | 0,0497 | 0,8960 | 0,4800 | 1,3760 | 1,0155 | 1,4955 | 1,5452 |
| 11 | IDRIJA | 0,0357 | 0,5830 | 0,3110 | 0,8940 | 0,6607 | 0,9737 | 1,0094 |
| 12 | LOJANE | 0,0438 | 0,7930 | 0,4200 | 1,2130 | 0,9085 | 1,3285 | 1,3723 |
| 13 | BOR | 0,0068 | 0,0710 | 0,0380 | 0,1102 | 0,0817 | 0,1197 | 0,1265 |
| 14 | SUVA RUDA KOP | 0,0489 | 0,6943 | 0,3728 | 1,0671 | 0,7889 | 1,1617 | 1,2106 |

Prema TAB. 2 postoje visoke vrednosti absorbovanih doza i u rudnicima urana i u nekim neuranskim rudnicima i te vrednosti se kreću u dosta širokim granicama ,što nameće potrebu da se dosadašnja podela rudnika u zavisnosti od radioaktivnih pojava "na uranske i ostale koji ne služe za eksploataciju urana ali u kojima postoje znatne radioaktivne pojave " preciznije odrede.

Predlog nove klasifikacije bilo bi potrebno utvrditi na osnovu stepena opasnosti od kontaminacije( Nopk ) definisan iz odnosa ukupne izračunate absorbovane doze na respiratornom sistemu radnika (Duk) prema maksimalnoj dozvoljenoj dozi -M.D.D. (ICRP) od 0,3 rem/ 40 h odn. 7,5 m rem/h .

Smatramo da je ova definicija bolja nego preko M.D.K. jer u našoj zemlji je u upotrebi ,kao i nekim drugim zemljama M.D.K. za radon iz 1956. i iznosi 3 x $10^{-10}$ Ci/l dok postoji prema preporukama ICRP iz 1959. deset puta oštrija 3x$10^{-11}$Ci/l koja je u upotrebi u SAD i nekim drugim zemljama.

Podela se predlaže u šest kategorija prema stepenu opasnosti od kontaminacije :

$$N\ opk = \frac{\sum D\ uk}{M.D.D.} \qquad \begin{matrix} D\ uk\ (\ m\ rem/h) \\ M.D.D.\ 7{,}5\ m\ rem/h \end{matrix}$$

Ova podela prikazana je tabelarno u TAB. 3

TAB.3
Kategorizacija rudnika metaličnih ruda

| Kategorija | Stepen opasnosti od kontaminacije | Nopk |
|---|---|---|
| I | Nivo opasnosti kojoj je praktično izložena populacija | Nopk≤0,025 |
| II | Izlaganje neznatnoj opasnosti od kontaminacije | 0,025< N<0,1 |
| III | Izlaganje radnika povećanoj opasnosti od kontaminacije | 0,1 < N<0,5 |
| IV | Izlaganje radnika znatnoj opasnosti od kontaminacije | 0,5 < N<1,0 |
| V | Izlaganje radnika velikoj opasnosti od kontaminacije | 1,0 < N<3,0 |
| VI | Izlaganje radnika veoma velikoj opasnosti od kontaminacije | 3,0 < N<10,0 |

U TAB. 4 su prikazani ispitivani rudnici u odgovarajućim kategorijama , na osnovu izračunatih absorbovanih doza iznetim u TAB. 2 i definisanog stepena opasnosti od kontaminacije.

TAB. 4

Primena kategorizacije rudnika prema Nopk na ispitivane rudnike

| Kategorija Nopk | | Ispitivani rudnici | Nopk (a) | Nopk (b) |
|---|---|---|---|---|
| I | Nopk ≤ 0,025 | BOR | 0,0147 | 0,0169 |
| II | 0,025 < Nopk < 0,1 | STARI TRG | 0,0660 | 0,0742 |
| III | 0,1 < Nopk < 0,5 | SASA | 0,1575 | 0,1786 |
| | | RUDNIK | 0,1240 | 0,1398 |
| | | SREBRENICA | 0,1835 | 0,2060 |
| | | IDRIJA | 0,1192 | 0,1346 |
| | | LOJANE | 0,1617 | 0,1830 |
| | | SUVA RUDA | 0,1488 | 0,1614 |
| IV | 0,5 < Nopk < 1,0 | ZLETOVO | 0,7668 | 0,8739 |
| V | 1,0 < Nopk < 3,0 | ZLETOVSKA REKA | 2,6601 | 2,7387 |
| | | MEZDREJA | 1,9337 | 2,1743 |
| | | ŽIROVSKI VRH | 1,2368 | 1,3918 |
| VI | 3,0 < Nopk < 10,0 | GABROVNICA | 3,9560 | 4,4365 |
| | | INOVSKA REKA | 9,3712 | 10,4761 |

(a) Nopk za abs.doze za 100% rastvorljivih čestica
(b) Nopk za abs. doze za 80% rastvorljivih i 20% nerastvor.

Prikaz primene kategorizacije rudnika prema definisanom stepenu opasnosti od kontaminacije ukazuje na neophodno uvodjenje nove kategorizacije različite od one koja sada postoji.

Ova nova kategorizacija je od posebnog značaja za racionalizaciju u pogledu tehničke zaštite odnosno stepen preduzimanja kontrolnih , tehničkih ,medicinskih i organizacionih mera zaštite prema stepenu opasnosti ,koje za odredjenu kategoriju rudnika propisuje nadležni organ.


Summary

CONTRIBUTION TO CLASSIFICATION OF METALIC ORE MINES IN RELATION OF RADIOACTIVE OCCURANCES IN MINES

Mean values concentrations of radon 222 and its decay products are presented for 14 metallic ore mines and its corresponding absorbed doses in respiratory systems of workers . There is proposed a classification into six categories based on degree of contamination risk ( Kopk ) defined by relation of total absorbed doses ( Duk) according to M.P.D. (ICRP) being 0.3 rem/40h that is 7.5 m rem/h .


Literatura:


(1) HAJDUKOVIĆ D.-Doktorska disertacija,Rudarski fakultet, Univerziteta u Beogradu (1976)

(2) HAJDUKOVIĆ D.-Ozračivanje respiratornog sistema usled inhalacije radona i potomaka u rudnicima metaličnih ruda -Zbornik radova,IX simp. Jug.dr.za zašt.od zračenja,Jajce (1977)

(3) Institut medicine rada i radiološke zaštiteSRS ,Merenja prašine u rudnicima,od 1960-77.

(4) PANOV D.-Doktorska disertacija,Medicinski fakultet,Univ. u Beogradu (1971)

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

J. Kristan, I. Kobal, B. Barlič, S. Jerančič

Institut Jožef Stefan Ljubljana

IZHAJANJE RADONA IZ ODPADKOV PRI PREDELAVI URANOVE RUDE

Abstr. V delu je obravnavano izhajanje radona iz odpadkov pri predelavi uranove rude. Podana je enačba za izračun pretoka na površino v odvisnosti od debeline sloja, koncentracije radija in difuzijskega koeficienta. Podani so nekateri difuzijski koeficienti za različne snovi in načini zmanjševanja pretoka radona skozi površino.

Uran je v malih količinah povsod prisoten v naravi; s hrano ga pojemo oziroma popijemo dnevno okoli 1 µg. V granitih je urana cca 3 ppm, v sedimentih in apnencu pa cca 1 ppm. Poleg urana se nahaja v kameninah tudi njegov potomec radij (Ra-226) od 1,3 do 0,4 pCi/g kamenin, v vodah pa ga je okoli 0,1 pCi/l.

Iz radija v zemlji izhaja plin radon, ki difundira v zrak v povprečju 1 pCi/$m^2$sec., tako da ga je v našem prizemnem zraku v povprečju od 0,1 do o,5 pCi/l. Izhajanje radona iz zemlje varira v naravi tudi za 100 krat. Vsak µCi radija odda v minuti 126 pCi radona. Če so uranovi minerali ležali nemoteno v osnovni kamenini vsaj 10 milijonov let, se je nabralo ob uranu toliko radija, da je skoraj v radioaktivnem ravnotežju z njim.

Radij in njegov potomec radon predstavljata v uranovi rudi in odpadkih glavni radiološki problem za okolico.

Kadar imamo 0,1 %-no rudo, potrebujemo za tri tone urana, poleg katerega je tudi 1 g radija t.j. 1 Ci,- 3.000 ton rude. Ta količina rude oddaja teoretično cca $2.10^6$ pCi/s radona. Ker ves radon ne more pravočasno difundirati na površino kosov rude, ga prej že nekaj razpade in je zato sproščanje radona mnogo manjše. Kadar je ruda - peščenjak zdrobljena in pripravljena za izluževanje (zrnca od 0,1 do 0,3 mm) ruda zadrži 90% nastalega radona, tako da je sproščanje samo 10% vsega radona iz ravnotežja. Ta radon izhaja pri drobljenju in mletju rude, zato morajo biti mlini v dobro ventiliranem prostoru. Isto velja tudi za postopek izluževanja. Tam se namreč sproti sprošča nadaljnjih 10 do 15% radona, t.j. cca 70 pCi Rn/s na tono rude in ves akumuliran radon, ki je bil v ravnotežju z radijem.

Po izluževanju urana ostane kot odpadek več kot 99% izhodnega materiala v obliki drobnega peska in blata, ki se deponira na odlagališče. V tem materialu je ostalo manj kot 4% urana in skoraj 97% vseh drugih radioaktivnih snovi, radija in potomcev. Iz teh odpadkov še naprej izhaja plin radon. Zaradi velike površine odlagališč izhaja mnogo radona, ki more ogrožati ljudi v okolici, saj je maksimalna dopustna koncentracija za prebivalstvo le 1 pCi/l zraka in dodatna doza na bronhije pri tej koncentraciji vsaj 0,5 rema na leto.
Ko radon difundira skozi sloj odpadkov ali drugih materialov, pride hitreje v atmosfero, čim tanjši je sloj. Hitrost izhajanja je odvisna od kompaktnosti sloja, t.j. od difuzijske

konstante. Ko nalagamo nove sloje se sicer izhajanje poveča, ker s tem dodajamo nove količine radija, vendar nekaj radona iz spodnjih slojev zaradi daljše poti že razpade preden pride na površino. Izhajanje je seveda odvisno še od koncentracije radija v odpadkih, od gostote in višine slojev. Za izračunavanje izhajanja radija iz površine (J) moremo postaviti diferencialne enačbe, katerih rešitev je podana z enačbo:

Pretok Rn na površino

$$j\ [pCi/m^2 . min] = \varrho\, a \lambda x\, tgh\left(\frac{h}{x}\right)$$

$$j_{max} = \varrho\, a \lambda x$$

$\varrho = g/m^3$ $\quad a = conc.\ Ra - pCi/g$

$\lambda = Rn - 126 \times 10^{-6}\ pCi/pCi\ Ra . min$

$D = dif.\ konst. - m^2/s$

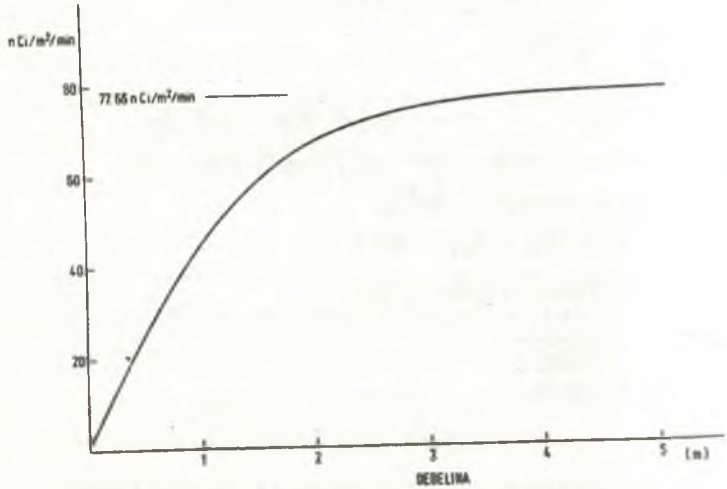
$t_{1/2} = za\ Ra - 3{,}3 . 10^5\ s$

$h = višina\ slojev - m$

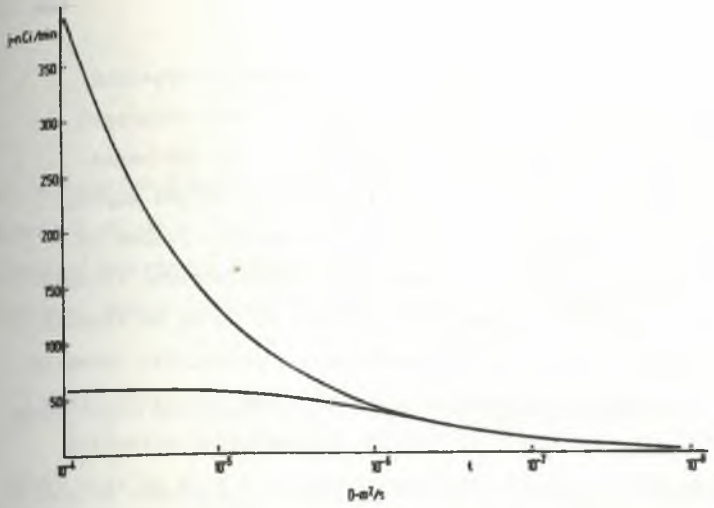
$$x = \sqrt{\frac{D t_{1/2}}{\ln 2}}$$

Dobimo tudi maksimalni pretok radona za gotovo višino sloja, ko nam nadaljnje nalaganje odpadkov ne poveča več pretoka radona skozi površino, ker radon iz spodnjih plasti ne doseže več površja, ker že prej razpade. Izračunali smo izhajanje radona za najbolj verjeten difuzijski koeficient za odpadke $D = 5.10^{-2}\ cm^2/s$.

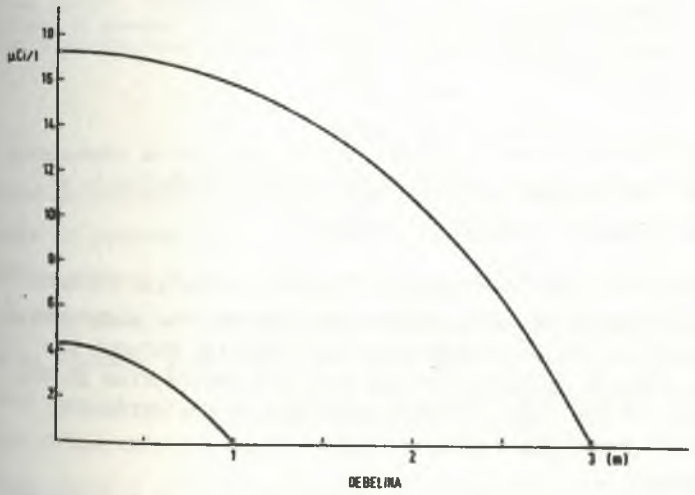
Slika 1, 2 in 3 prikazujejo maksimalne vrednosti izhajanja radona za podatke, da je specifična teža odpadkov 1,7 in da vsebujejo po 235 pCi Ra/g, kar odgovarja izhodiščni rudi s 700 g urana/t rude. Vendar ves radij v odpadkih ne more oddajati radona, ker so nekatera zrna predelanih kamenin še prevelika, da bi radon mogel difundirati na prosto. Zato v praksi računamo le s cca 30% emanacijsko sposobnostjo odpadkov. Uvedli so preprosto pravilo: Konc.Ra v pCi/g . 1,6 = pretok skozi površino v pCi/$m^2$.s - seveda velja to le za debel ravnotežni sloj, za takozvano neskončno debelino.




Slika 1 - Pretok radona skozi površino odloženih odpadkov v odvisnosti od debeline plasti za $D=5.10^{-2} cm^2/s$




Slika 2 - Odvisnost pretoka radona skozi površino od difuzijskega koeficienta D, pri "neskončno" in pri 1 m debeli plasti odpadkov.




Slika 3 - Odvisnost koncentracije radona v sloju odpadkov od debeline sloja pri 1 in 3 m.

Naše meritve koncentracije radona v dosedanjih odpadkih predelave uranove rude iz Gorenje vasi so dale vrednosti 225 pCi Ra/g. Če upoštevamo še gostoto 1,6 in 30% emanacijo bi iz vsakega $m^2$ deponije izhajalo 22.000 pCi Rn/min. V literaturi omenjajo, da voda zmanjša emisijo radona za 96%, pri naših poizkusih pa smo dobili bolj skromne vrednosti, t.j. le cca 75% zmanjšanje. Najboljši način za stabilizacijo odpadkov pa je njih prekrivanje z radiološko inertnim materialom. Zemlja - prst ni najboljša, ker ima velik difuzijski koeficient cca $5.10^{-2} cm^2/g$. Kompaktnejši materiali imajo manjše difuzijske koeficiente kot zemlja in so zato boljši. Navajamo nekaj difuzijskih koeficientov za snovi:(1)

| Snov | $D(cm^2/s)$ |
|---|---|
| grobi pesek | $5,4 \cdot 10^{-2}$ |
| fini pesek | $5,0 \cdot 10^{-2}$ |
| razne gline | $7,0 \cdot 10^{-3}$ |
| blato | $5,7 \cdot 10^{-6}$ |
| beton | $1-3 \cdot 10^{-5}$ |

Najboljši način stabilizacije odlagališč je prekrivanje s slabo prepustnimi materiali - folijami.

The paper describes the emanation of radon from the surface layers of uranium mill-waste. The equation for the migration of radon in a porous medium is given. The flux through the surface depends primarily of the radium concentration in the material, of the depth of the layers and of the diffusion constants of the gas radon.

Literatura: (1)
Adams J.A. and Lowder W.M.: The Natural Radiation Environment, The University of Chicago Press, 1974

IX. simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Radoslav Despotović i Boris Subotić

Institut "Rudjer Bošković", 41001 Zagreb, p.p. 1016

# DEPONIRANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA

U radu se razmatraju tehnološki problemi obrade, transporta i deponiranja radioaktivnog otpada, s posebnim naglaskom na radioaktivni otpad, koji nastaje u toku proizvodnje električne energije. U vezi rasprava o uvodjenju serije nuklearnih elektrana u jugoslavenski elektroenergetski sistem u radu se razmatra problem radioaktivnog otpada koji nastaje u svim pratećim tehnologijama uz proizvodnju električne energije u nuklearno-energetskim postrojenjima - posebno u odnosu na problem reciklizacije nuklearnog goriva. Razmatranje se temelji na iscrpnim dostupnim podacima, a posebno u odnosu na problem deponiranja velikih količina radioaktivnog otpada u buduće u Jugoslaviji.

Energetska kriza kao raskorak izmedju potreba i mogućnosti proizvodnje energije, u društvu koje se naglo razvija, predstavlja jednu od posebno istaknutih pojava. Mogućnosti rješenja, za različite sredine su različite, no svim je društvenim sredinama zajednički problem i prioritetni zadatak iznalaženje optimalnog puta za rješenje proizvodnje energije. Nas u prvom redu zanima električna energija. Ne ulazeći u rasprave o oportunosti proizvodnje električne energije putem nuklearnih reakcija, činjenica je da danas u svijetu već stotinjak nuklearnih elektrana, što u

izgradnji, da se u Jugoslaviji gradi prva nuklearna elektrana i da je u toku akcija za daljnje proširenje nuklearno-energetskog sistema u Jugoslaviji. Ako se uzmu u obzir ozbiljnje studije o perspektivi razvoja električne energije u nas, mora se računati sa povećanjem broja nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu SFRJ (1,2). To su činjenice. Uz ove činjenice treba svakako vezati i problem radioaktivnog materijala koji nastaje u tehnološkom procesu nuklearne elektrane. Problem je mnogo širi, nego što se to u raspravama kod nas često postavlja, jer se uvodjenjem serije nuklearnih elektrana mora računati i sa reciklizacijom nuklearnog goriva, što znači da u proračunima depoa moramo kao prateći element postaviti i radioaktivni otpad reprocesinga, koji je višestruko teži od radioaktivnog otpada nuklearne elektrane. Važno je u svim ovakovim razmatranjima imati na umu da se situacija oko uvodjenja nuklearno-energetskih postrojenja, a posebno u vezi reciklizacije nuklearnog goriva i prateće ogromne količine radioaktivnog otpada u zadnje dvije godine bitno izmjenila i da se ne može očekivati na usluge velikih sistema u drugim regijama. Polazeći od takovog činjeničnog stanja, a bez izgleda da se na tom polju nešto izmjeni na bolje, smatramo da se u SFRJ problem radioaktivnog ozpada mora, zbog kompleksnosti i racionalnosti rješavati kroz jedinstven kompleks deponij + prerada. Razloga za to ima mnogo, no svakako da je na prvom mjestu pitanje visoke cijene takovih sistema, sigurnost s različitih aspekata i specijalizirani kadar. Skupoća sistema nalaže jedinstveno rjršenje; različiti oblici sistema sigurnosti koji takodjer osim same provedbe, visoke cijene u izgradnji, predstavljaju visoke troškove i u održavanju potrebnog nivoa sigurnosti (sigurnost od potresa, poplave, požara uz sve oblike intervencije u doba rata); specijaliziranog kadra u SFRJ za tehnologiju radioaktivnog otpada i

pripremu reciklizacije ima možda tek dovoljno za početne radove na jednom centralnom sistemu, tako da svska konstrukcija, koja računa na separatna rjršenja uz svaku centralu pojedinačno, definitivno ne vodi računa o širim potrebama SFRJ. Ne treba smetnuti s uma mogućnost izgradnje regionalnog sistema s udruženim sredstvima razvijenijih partnera ili zajednički napor s partnerima iz kruga zemalja u razvoju. Činjenica je da nuklearno-energetski sistemi kao i prateća postrojenja uvjetuju izgradnju depoa i da u rješavanju tog problema treba riješiti osim problema legislative i niz tehnoloških problema kao što su: sistemi za kompaktiranje i kolektiranje radioaktivnosti iz različitih faza, kapsuliranje kompaktiranog otpada, transport, sistem deponiranja, sistem deponija, izbor lokacije, projekcija kapaciteta, izrada projekta sa izvedbenim rješenjima za izgradnju kompletnog sistema deponij + reprocesing. Sve su to elementi, koji su pojedinačno obradjivani (3,4,5) i koje bi trebalo kroz jedinstven program na nivou Jugoslavije rješavati. Vremena ima malo, pogotovo, ako se uzme u obzir da se u tehnički razvijenijim sredinama, vrlo užurbano i s mnogo više istraživačkog kapaciteta i materijalnog potencijala radi na tom zadatku. Uz pretpostavku da će i za izvedbu u SFRJ vrijediti iskustva iz drugih zemalja, možemo slobodno tvrditi da već danas kasnimo, jer u pravilu kroz 10-15 godina od početka planiranja treba do puštanja u pogon nuklearne elektrane. Isti vremenski interval, ili nešto manji od 8 do 12 godina trebat će od planiranja do puštanja u pogon sistema depo + reprocesing. To su činjenice o kojima takodjer treba voditi računa. A naša je želja, da u okviru ovog, u SFRJ najkompetentnijeg stručnog skupa, istaknemo ovaj vrlo ozbiljan problem s nadom, da će se naći snaga da se na jugoslavenskom programu uhvatimo u koštac s vrlo odgovornim zadatkom u kompleksnom rješavanju problema uvodjenja nuklearno-energetskih sistema u Jugoslaviji.

*DEPOSITION OF RADIOACTIVE WASTE PRODUCED BY NUCLEAR POWER PLANT*

*Paper deals with technological problems of treatment, transport and the deposition of radioactive wastes, with accent on radioactive waste obtained during the production of electricity. In regard to the present discussion about program which calls for a number of nuclear power plants to be introduced in Yugoslav electroenergy system, the paper discusses a problem of radioactive waste produced by the present technological process for the production of electrical energy. A special attention is paid to the problem of recycling nuclear fuel. Review is based on extensive available data, especialy relative to the deposition of large quantities of radioactive waste produced in the near future.*

**REFERENCE**

1. Materijali Savjetovanja "Današnje stanje tehnologije nuklearnih reaktora i razvoj brzih oplodnih reaktora", Zagreb, 1972.

   Medjurepublički projekt "Nuklearna energetika 1972-1975" Zagreb, 1972

2. Materijali 2. Savjetovanja "Razvoj nuklearnih elektrana u elektroprivredi Jugoslavije", Dubrovnik, 1976.

3. DESPOTOVIĆ R., Elaborat RFNR SRH "Tretiranje voda i efluenata u nuklearnoj elektrani", Zagreb, 1972.

   DESPOTOVIĆ R., Elaborat RFNR SRH "Tretiranje voda i efluenata u nuklearnoj elektrani", Zagreb, 1973.

   DESPOTOVIĆ R. et al., Proc. IRPA Second European Congress on Radiation Protection (Ed. E.Bujdosó), Akadémiai Kiadó Budapest 1973, p. 445.

4. DESPOTOVIĆ R., Elaborat RFNR SRH "Nuklearna energetika; istraživanje sistema za prečišćavanje voda", Zagreb, 1974.

5. DESPOTOVIĆ R., Elaborat RFNR SRH "Sistemi za deponiranje čvrstog radioaktivnog ozpada", Zagreb 1974 i 1975.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.VI 1977.

M.Mandić, Ž.Vuković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Laboratorija za zaštitu od zračenja

# SORPCIJA JODA I NJEGOVIH VALENTNIH FORMI IZ VODENOG RASTVORA NA AKTIVNOM UGLJU

## REZIME

U ovom radu prikazani su rezultati sorpcije joda i njegovih jedinjenja iz vodenog rastvora na aktivnom uglju. Eksperimenti su vršeni u statičkim (ravnotežnim) i dinamičkim uslovima na osnovu kojih je odredjen uticaj dinamičkih i termodinamičkih parametara na obim sorpcije.

## U V O D

Izučavanje metoda i tehnologije uklanjanja joda i njegovih valentnih formi iz vodene pare povezano je sa problemom zaštite ljudi i dekontaminacije kod nuklearnih postrojenja koja se sve više primenjuju u mirnodopskim uslovima.

Jod pripada grupi halogenih elemenata. Veoma je reaktivan i gradi veliki broj jedinjenja. Neka od njih su kao i sam element volatilna. Takodje jod igra važnu ulogu, u biološkom ciklusu (reguliše pravilan rad štitaste žlezde), pa zato njegov izotop $J^{131}$ koji se dobija pri fisionim pravcima spada u red jakotoksičnih radionuklida,

U vodenom rastvoru sreće se u ravnotiži sa svojim valentnim formama po jednačinama, datim na tabeli 1.

Najčešće primenjavana metoda za uklanjanje radionuklida iz sistema, bazira se na fenomenu sorpcije.

Ispitivana je sorpcija elementarnog joda, jodida, jodata, i hipojodaste kiseline iz vodenog rastvora na aktivnom uglju. Kao sorbent upotrebljavan je aktivni ugalj marke Nuhar,

velikog kapaciteta i velike aktivne površine (1000 $m^2$).

Tabela 1
Konstanta ravnoteže Kc

| REAKCIJA | NA 25°C | NA 100°C |
|---|---|---|
| $J_2 + J^- = J_3^-$ | - | - |
| $J_2 + H_2O = H^+ + HOJ + J^-$ | $5{,}4 \cdot 10^{-13}$ | $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ |
| $J_2 + H_2O = H_2OJ^+J^-$ | $1{,}2 \cdot 10^{-12}$ | $3{,}9 \cdot 10^{-11}$ |
| $3J_2 + 3H_2O = JO_3 + 5J^- + 6H^+$ | $4 \cdot 10^{-48}$ | |

Metod rada

Prilikom ispitivanja sorpcije valentnih formi joda iz vodenog rastvora na aktivnom uglju u statičkim uslovima upotrebljavane su kivete od pireks stakla. U kivete je ubacivan rastvor jedne od ispitivanih valentnih formi joda i prethodno izmerena količina aktivnog uglja, a potom zatapane. Pri radu je korišćena mućkalica sa termostatom radi regulisanja željene temperature. Vreme uravnotežavanja iznosilo je 24 h.

Upotrebljeni rastvori u eksperimentima bili su koncentracije od $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ mol/l. Promena koncentracije u rastvoru praćeno je upotrebom trasera $J^{131}$ pošto u ovom opsegu koncentracija klasične analitičke metode postaju neprimenljive. Merenjem aktivnosti rastvora na scintilacionom brojaču, po uravnotežavanju, moguće je izračunati ravnotežnu koncentraciju po formuli.

$$Cr = Co \cdot \frac{Rm - Ro}{S - Ro}$$

gde je Co - polazna koncentracija
Rm - korigovana aktivnost
S - aktivnost polaznog rastvora
Ro - fon

Rastvor hipojodaste kiseline upotrebljen u ogledima sintetizovan je na sledeći način:

Vodeni rastvor elementarnog joda poznate koncentracije, obeleži se izotopom $J^{131}$, a zatim doda prah merkarioksida uz neprekidno mućkanje do obezbojenja.

Posle filtriranja, rastvor je spreman za upotrebu. Hemijska reakcija može se prikazati formulom

$$2J_2 + HgO + H_2O - HgJ_2 + 2HOJ$$

U dinamičkim uslovima ispitivan je uticaj protoka i koncentracije valentnih formi joda na obim sorpcije propuštanjem rastvora kroz sloj uglja u koloni. Takodje je ispitivan i uticaj visine sloja uglja na faktor dekontaminacije.

Rezultati

Utvrdjeno je da na obim sorpcije valentnih formi joda negativno utiče porast pH kao što se može videti sa dijagrama za $J_2$(Sl.2), $J^-$(Sl.1).

Aktivni ugalj pokazao se kao veoma dobar sorbent za $J_2$ i HOJ, a nešto slabiji za njegove jonske oblike $J^-$ i $JO_3^-$kao što se to može videti iz sl. 3;

Temperaturska zavisnost obima sorpcije $J_2$ i njegovih valentnih formi na aktivnom uglju prikazana je na sl. 4. Vidimo da obim sorpcije opada sa temperaturom.

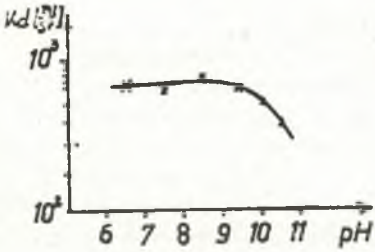
Rezultati dobijeni proučavanjem sorpcije joda i njegovih jedinjenja iz vodenog rastvora u dinamičkim uslovima prikazani su na sl. 5. Može se konstatovati da povećanje protoka aktivnog rastvora kroz kolonu, utiče na smanjenje faktora dekontaminacije, dok visina sloja aktivnog uglja pri konstantnom protoku proporcionalno povećava faktor dekontaminacije.

Diskusija

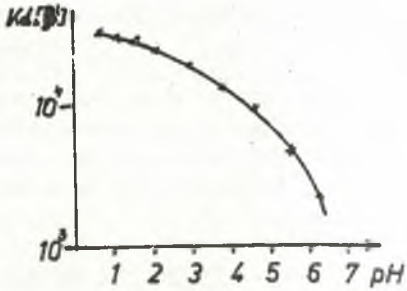
Kako se sorpcija odvija iz vodenog rastvora, razumljiv je negativan uticaj pH na obim sorpcije jer smanjenje koncentraciju $H^+$ jona dovodi do pomeranja ravnoteže ka stvaranju HOJ, $J^-$, i $JO_3$ koji u odnosu na elementarni $J_2$ imaju manji sorpcioni kapacitet.

Pri većim vrednostima pH u rastvoru egzistiraju isključivo jonski oblici ($J^-$ i $JO_3^-$), pa obim sorpcije opada sa povećanjem jonske jačine rastvora.

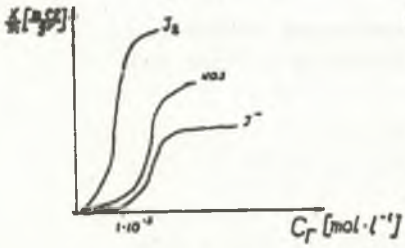
Uticaj temperature na smanjenje obima sorpcije potvrdjuje teorijsko razmatranje o uticaju termalnog kretanja na dinamiku ravnoteže izmedju sorbovanih molekula i molekula u rastvoru.



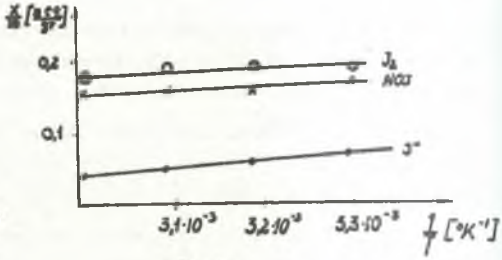

S1.1.



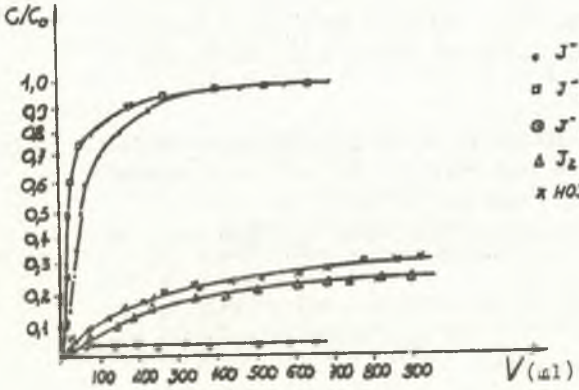

S1.2.




S1.3.




S1.4.




• J⁻; Q=10ml/h; C=1·10⁻³gr.J/l
▫ J⁻; Q=100ml/h; C=1·10⁻³gr.J/l
⊙ J⁻; Q=100ml/h; C=1·10⁻⁶gr.J/l
▲ J₂; Q=100ml/h; C=1·10⁻³gr.M/l
× HOJ; Q=100ml/h; C=1·10⁻³gr.M/l

S1.5.

Uticaj protoka na smanjenje obima sorpcija u dinamičkim (neravnotežnim) uslovima može se objasniti difuzijom molekula iz rastvora ka površini sorbenta i njihovim daljim rasprostiranjem po celoj zapremini sorbenta kroz pore zrna. Najsporiji od ovih difuzionih procesa odredjuje konačnu brzinu sorpcije koja je konstantna za datu temperaturu.

Uzimajući u obzir protok, temperaturu, sorpcioni kapacitet i pH moguće je izabrati optimalne uslove da bi se dobio odgovarajući faktor dekontaminacije po isteku odredjene količine rastvora izražene u kolonskim zapreminama (KZ) kao što pokazuje tabela 2.

Tabela 2

| HEMIJSKI OBLIK | $J^-$ | $J^-$ | $J^-$ | $J^-$ | HOJ | HOJ | HOJ | $J_2$ | $J_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KONCENTRACIJA | $1\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-6}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-3}$ |
| VISINA SLOJA | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| PROTOK (ml/h) | 100mK/h | 500mK/h | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Fd | 1,25 | 1,004 | 1,13 | 60 | 4,18 | 9,5 | 7,51 | 10,1 |
| BROJ KZ | 200 | 200 | 200 | 400 | 200 | 100 | 200 | 160 |

Faktor dekontaminacije predstavlja empirisku veličinu i može se približno predstaviti formulom.

$$\log \frac{Co}{C} = \frac{K \cdot l}{V}$$

Co - ulazna koncentracija, C - izlazna, l - dužina naslage uglja v - linearna brzina protoka, k - konstanta.

Vidimo da ukoliko je ulazna koncentracija Co istog reda veličine kao sorpcioni kapacitet za datu jonsku formu joda na aktivnom uglju, postižu se nazadovoljavajući rezultati (Fd<10). Kada je ulazna koncentracija Co manja za red veličine u odnosu na sorpcioni kapacitet uglja za datu jonsku formu joda postižu se dobri rezultati pri dekontaminaciji kao što je to slučaj sa molekulskim elementarnim jodom (Fd=10,1; KZ=160). Ukoliko je ulazna koncentracija jedinjenja manja za dva do tri reda veličine od sorpcionog kapaciteta uglja za to jedinjenje joda, postižu se izvanredni rezultati. To vidimo na primeru sorpcije jodida polazne koncentracije u rastvoru $1\cdot10^{-6}$gr J/l gde se dobija Fd=60 pri prolasku zapremine tečnosti izražene u kolonskim zapreminama KZ=400.

Imajući u vidu da koncentracije visokoaktivnih rastvora $J^{131}$ bez nosača imaju analitičke koncentracije daleko ispod $10^{-6}$gr J/l u obliku $J^-$,to je aktivni ugalj odlično sredstvo za dekontaminaciju vodenih rastvora kontaminiranih $J^{131}$ u ma kom valentnom obliku. Koristeći rezultate ispitivanja sorpcije joda i njegovih valentnih formi na aktivnom uglju moguće je izborom visine sloja, ograničenjem protoka i temperature, povećati Fd time i dekontaminaciju veće količine tečnosti. Takodje se može primeniti za dekontaminaciju tečnosti kontaminiranim radioaktivnim jodom $J^{131}$ sa nosačem. Ako je jodid nosač, mora se voditi računa o jonskoj jačini rastvora.

## ABSTRAKT

In this paper the sorption characteristics of activated carbon in aqueous medium for iodine and its compounds are presented. Results have shown that activated carbon is very good sorbent for iodine and its compounds, also is useful for decontamination purposes, for removal isotope $I^{131}$ from liquid wastes.

## LITERATURA

1) Braunauer S., Emmett P.H., Teller H., J.Am.Chem.Sec.,1938.60.309.
2) Dubinin M.M., Chemistry and Phisice of Carbon (Ed.Walker P.L.) 1966, vol. 2,p. 51, Marcel Dekker, New York.
3) Dubinin M.M., Zh. Fiz. Khim., 1956. 30(7), 1652.
4) Leontijev H.A., Lukijanović V.M., Izv. AN SSSR, 1960. 7,1955.
5) Marsh H., Rand B., Macroporosity in Carbonaceous Materalis p.197.
6) Smišek M., Cerny S., Active Carbon (manufacture, proporties and applicatione), Elserier, 1970.
7) Semiue Gleston, 1969. udžbenik fizičke hemije.
8) S. Veljković, hemijska kinetika, Beograd 1969.
9) A. Hil and H. Marsh, Carbon 1968. Vol.6. pp. 31-39.
10) Balwant Rai puri, and R. C. Bansal, iodine adsorption method for measuring surface area of carbon blacks, Carbon 1965. Vol. 3. p.p. 227 - 300.
11) G.Teth, Heterogeneous Isotopie Exchange between Iodine Absorbed on Platinum and $I-I_2$ and $I_3^-$, Radiochimica Acta, 18.02.1971.
12) Brodski, Hemija radioaktivnih izotopa.
13) Marsh H. and Wynne-Jones W.F.K., Carbon 1, 269 (1964).

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

I. Plećaš, Ž. Vuković, M. Jeremić
INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ" - VINČA
LABORATORIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

# UKLANJANJE FOSFATA KLARIFLOKULACIJOM U FLUIDIZOVANOM SLOJU

## REZIME

Ovaj rad predstavlja nastavak radova na postrojenju za dekontaminaciju radioaktivnih efluenata, konkretno voda koje sadrže dugoživeće radioizotope 90 Sr i drugih elemenata.
Odabran je proces kalcijum-fosfatnog taloženja sa dodatkom ferihlorida kao koagulanta. Talog kalcijum fosfata povlači za sobom i jone 90 Sr, tako da je osnovni cilj rada bilo optimizovanje uklanjanja fosfatnih jona kao kolektora radioaktivnog 90 Sr.

## U V O D

Suspendovane i koloidne čestice mogu biti uklonjene iz otpadne vode tercijarnom obradom pomoću hemijskih koagulanata uz naknadnu sedimentaciju. Uobičajeno je da se ovaj tretman sastoji od tri konsekutivne faze: agitacije (brzog mešanja), flokulacije (sporog mešanja) i sedimentacije. Osnovni hemijsko-inženjerski problem ovakvog sistema je pronalaženje najpodesnije uzajamne veze izmedju vremena-koncentracije-brzine mešanja kao osnovnih promenljivih faktora.

Alternativan proces, koji u sebi sadrži i mešanje i sedimentaciju je "Fluidized Sludge Blanket Clarifier" proces. Osnovna prednost ovakvog sistema je što se ceo proces izvodi u istoj koloni.

U tom smislu je konstruisana aparatura za klariflokulaciju u fluidizovanom sloju u cilju ispitivanja mogućnosti uk-

lanjanja polutanata i otpadnih voda, sa ciljem da se dodje do optimalnih vrednosti pojedinih parametara koji uslovljavaju najefikasnije uklanjanje fosfatnih jona.

Flow dijagram dat je na slici 1.

Sirova voda se nalazi u rezervoaru (1), zapremine 1 kubni metar. Iz rezervoara, voda se zajedno sa dodatnim hemikalijama, centrifugalnom pumpom (3) dovodi u kolonu, prikazanu na slici (2). Hemikalije se doziraju preko klipne pumpe (2). Temperatura vode je 18°C. Dovodna cev prečnika 1,6cm je tako koncipirana da igra ulogu brzog mešača. S obzirom da se radi sa protocima 40-80 l/h, vrednost Rejnoldsa se kreće od 626-2090, Fluid ulazi u kolonu kroz cev koja se nalazi u koničnom dnu u visini prve flanšne. Uvodna cev na sebi nosi distributer (3), tako da fluid biva raspodeljen horizontalno u svim pravcima podjednako. Izbistrena tečnost izlazi sa vrha kolone dok se ugušćeni deo izbacuje iz koničnog dna preko magnetnog ventila.

Kroz horizontalni presek kolone A=283 kvadratna santimetra, prolazi suspenzija sa već oformljenim lakim flokulama sa protocima Q=40-80 l/h (0,04-0,08cm/sec), tada će se istaložiti samo one flokule, odnosno agregati, čija je brzina taloženja veća od v=Q/A. v je površinsko opterećenje, tj. brzina taloženja kritične čestice koja se više ne vraća u suspenziju. Lake flokule, čija je brzina taloženja manja od vertikalne brzine strujanja, sudaraju se medjusobno i sa težim flokulama i aglomerišu se sa njima. Pošto se stalno nove flokule uvode u kolonu posle odredjenog vremena dolazi do stešnjenog taloženja, te se dobija flokulisani fluidizovani sloj (Sludge blanket).

Aparatura je tako konstruisana da se pomoću foto-ćelije, granična površina izmedju fluidizovanog sloja i izbistrene tečnosti održava na zahtevanim visinama. Foto-ćelija je u direktnoj vezi sa magnetnim ventilom na izlazu iz koničnog dna, tako da ceo sistem pulsira u zavisnosti od protoka, doze koagulanata i visine fluidizovanog sloja. Pomoću dva precizna protokomera odradjivan je odnos izlaza, na vrhu i dnu kolone u zavisnosti od pulsiranja sistema.

Kao osnovna sirova voda korišćena je voda iz našeg vodovoda koja u sebi sadrži kalcijuma (50-56 ppm) i mutnoće 5-5,3 JTU.

Vodi je konstantno dodavan PO4 u vidu Na3PO4. Kao koagulant je korišćen feri hlorid u koncentracijama 50-250 ppm. Za regulisanje pH korišćen je NaOH (pH=10,4).

Kao dodatni koagulant, kasnije je korišćen polielektrolit Separan NP-10.

Kolona je izradjena od providnog pleksi stakla debljine 1cm. Prečnika 20cm, visine 270cm. Dno je konično sa nagibom od 60°. Sistem sa foto-ćelijom izradjen je u našoj laboratoriji, po sopstvenoj šemi.

Eksperimentalni deo

Posle niza preliminarnih eksperimenata dobijeni su neki granični uslovi za ovakav sistem.

a) 40l/h≤Q≤80 l/h

b) PO4 (ppm) ≤ 50 tj 200ppm Na3PO4

Pri Q=80 l/h, brzina odnošenja flokula je veća ili bliska brzini taloženja flokula, te ne može da se održi jasna granična površina izmedju fluidizovanog dela i izbistrenog sloja, a pri Q=40 l/h, brzina fluida je mala i ne može da se oformi fluidizovani sloj, agregati se talože u konično dno i gubi se osnovna koncepcija "Sludge blanketa".

Veća koncentracija od 50 ppm PO4 dovodi do povećanja turbiditeta tako da fotoćelija ne uspeva da održi fluidizovani sloj na odredjenoj visini.

J A R testom je utvrdjeno da se za ove uslove doza koagulanata FeCl3 kreće od 150-250 ppm.

Prikaz rezultata:

Dijagram: a) prikazuje zavisnost preostalog $PO_4^{3-}$ na izlazu, od protoka Q(l/h) za odredjene visine fluidizovanog sloja.

b) prikazuje zavisnost procenta uklonjenog $PO_4^{3-}$ od protoka Q(l/h) i visina fluidizovanog sloja.

c) zavisnost turbiditeta (JTU) od protoka Q(l/h) za odredjene visine fluidizovanog sloja

d) zavisnost procenta i/u od protoka Q(l/h) za odredjene visine fluidizovanog sloja

e) zavisnost gustine fluidizovanog sloja od protoka.

f) zavisnost brzine taloženja od veličine čestice.

Iz dijagrama a, b i c sledi da se postižu dobri rezultati u sistemu uklanjanja fosfata i turbiditeta ukoliko koncentracija fosfata ne prelazi 50 ppm. Da bi se turbiditet sveo na vrednosti oko 1 JTU dovoljno je upotrebiti 2-3 ppm SEPARANA NP-10. Optimalni rezultati za uklanjanje fosfata postižu se za $\tau$ = 4 - 8h u vrednosti Q = 40 - 80 l/h, pri čemu visina sloja ima značajnu ulogu. Na osnovu merenja protoka na ulazu i izlazu na vrhu kolone pri različitim procentima (dijagram d) iz bilansa mase izračunate su vrednosti gustine fluidizovanog sloja (r - dijagram e) koje se vrlo dobro slažu sa gustinama dobijenih merenjima ( ek - dijagram e).

Veličine agregata odredjivane su na optičkom mikroskopu i na osnovu STOKSOVOG zakona odredjivane su brzine taloženja.

$$W = \frac{1}{18} \frac{g(\rho - \rho o)}{\nu \cdot \rho o} \cdot d^2 \text{ (cm/sec)}$$

g - ubrzanje zemljine teže (cm/sec$^2$)

$\rho o$ -gustina fluida na 18°C=0,99862 (gr/cm$^3$)

$\nu$ - kinematski viskozitet na 18°C=1,0618 ($10^{-2}$cm$^2$/sec)

Na osnovu vrednosti za brzine taloženja i veličine agregata dobijen je dijagram f)

$$W = 3,97 \cdot 10^{-4} \cdot e^{92,62d}.$$

Sa dijagrama se vidi da pri protoku Q=40 (l/h), taloženje agregata počinje pri d=0,045 cm, odatle sledi da je $\tau$=4,8h, i $\rho$=1,003(gr/cm$^3$). Za Q=80 (l/h), taloženje počinje tek pri d=0,057 cm, odatle je $\tau$=5,8h, a $\rho$=1,0038 (gr/cm$^3$).

Posle 7-8 h, dolazi do uspostavljanja ravnoteže i gustina ostaje konstantna, iako u sistem stalno ulazi $Na_3PO_4$ i $FeCl_3$.

Pri Q=40 (l/h), odnos izlaza I (1) : I (2) = 80:20 (%), ventil na dnu kolone se otvara približno svakih 54 sec, po 1,5 sec. (120 ml).

Za odnose $Na_3PO_4/Ca(OH)_2$ u mg dobijen je odnos 2,16, što je u saglasnosti sa literaturnim vrednostima (2) za odnos koji treba da se postigne pri uklanjanju 90 Sr, taj odnos mora da je veći od 2,1.

## ZAKLJUČAK

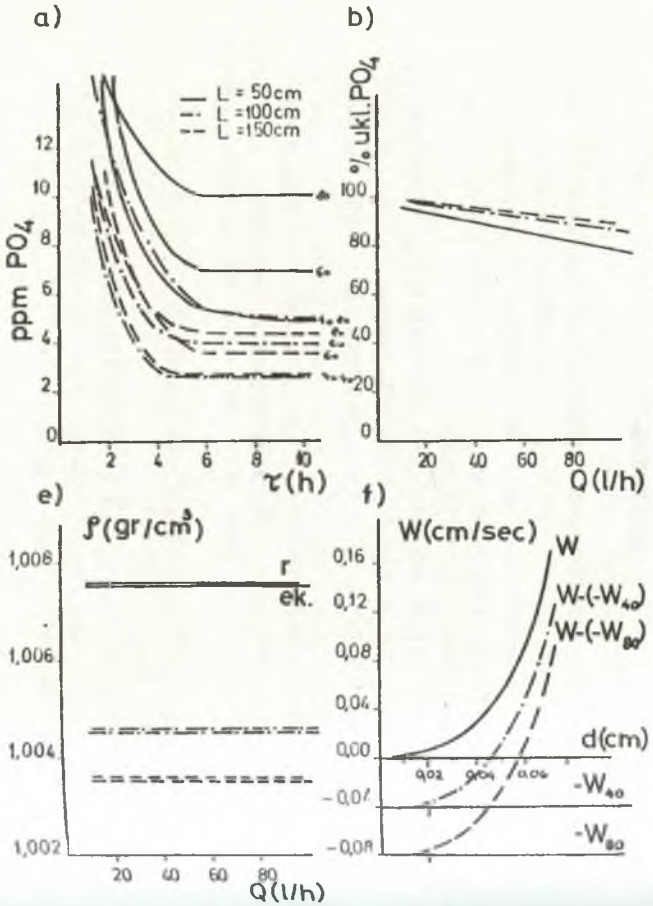
Ispitivano je uklanjanje fosfata iz otpadnih voda koprecipitacijom sa $Ca_3(PO_4)_2$ i $Fe(OH)_3$ u fluidizovanom flokulisanom sloju. Primena ovog sistema dala je dobre rezultate uklanjanja fosfata (90-95%), a prednosti su što se separacija flokula i flokulacija odvijaju u istom sudu.

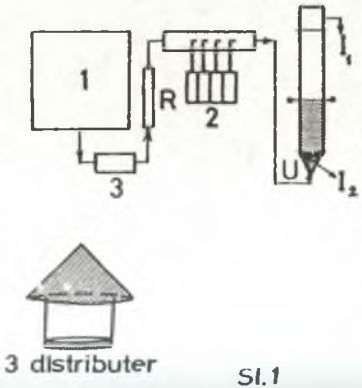
## ABSTRACT

The investigation of phosphorus removal from water by coprecipitation with $Ca_3(PO_4)_2$ and $Fe(OH)_3$ in "Fluidized sludge blanket clarifier" sistem is described. The FSBC has a size adventage over the conventional sistem because the floc-super--natant separation occurs in the same vessel used for the flocculation.

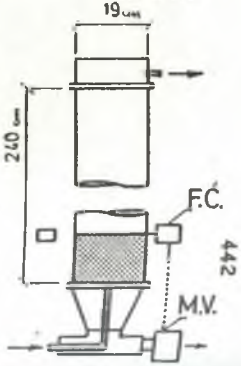
## LITERATURA

1. Fluidized bed clarification in wastewater treatment J.C. Orcutt, B.H. Cartenter, and C.N. Click, Journal WPCF, Sep.1973.
2. Treatment of radioactive water by phosphate precipitation R.A. Lauderdale, OAK Ridge national Lab. Industrial and Engineering chemistry, Jyly 1951.
3. Scaling laws for soagulation and sedimentation, Mechael A. Delichatsios, and Ronald F. Probstein, Journal WPCF, May 1975.
4. Low-radioactivity-level vaste treatment, part I and II, ORNL 3349,3322
5. Floc blanket clarification 1-3, D.G. Miller, J.T.Vest and M. Robinson water and water engineering - June 1966.
6. Flocculation, M. Robinson, water and water engineering - March 1964.
7. The Chemistry of high-rate water treatment, J. William Moffett Jour. Awwa, Nov. 1968.
8. Eksperimentalno postrojenje za dekontaminaciju radioaktivnih otpadnih voda, Ana Švabić, Mladen Popović, Milutin Pavlović, Hemijska industrija, April, 1970. br. 4.


a)
b)
d)
c)
L = 50cm
L = 100cm
L = 150cm
ppm PO4
τ(h)
% ukl. PO4
Q(l/h)
% I1/I0
JTU
ul. voda
e)
f)
ρ(gr/cm³)
r
ek.
W(cm/sec)
W
W-(-W40)
W-(-W80)
d(cm)
-W40
-W80


1
2
3
R
U
I1
I2
3 distributer

Sl.1


19cm
240cm
F.C.
M.V.

Sl.2

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V. do 3.VI.1977

Boris Subotić i Radoslav Despotović

Institut "Rudjer Bošković", 41001 Zagreb, p.p. 1016

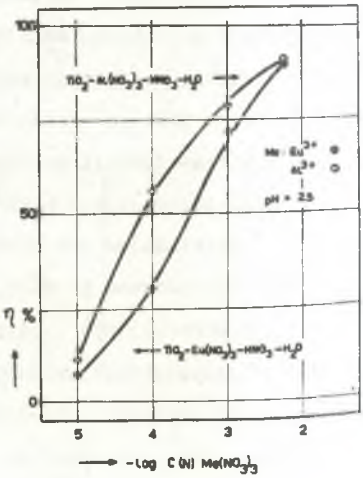
# DEKONTAMINACIJA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA

Uklanjanje radioaktivnih izotopa pod kontroliranim uslovima odredjeno je nizom fizičkih i kemijskih svojstava odredjenog radiokontaminanta i karakteristikama kontaminiranog sredstva. Utvrdjivanje kvalitativnih i kvantitativnih činilaca u ravnoteži kontaminacija-dekontaminacija daje podlogu za racionalno i uspješno izvodjenje procesa dekontaminacije. Posebno se razmatraju kontaminacijsko-dekontaminacijski procesi i ravnoteže u dvofaznim sistemima tipa "čvrsto-tekuće" kao modelnim sistemima za dekontaminaciju različitih površina i voda.

Primjena radioaktivnih materijala u vrlo različitim sistemima, posebno u vezi s nuklearno-energetskim sistemima, nameće potrebu organizacije preventive ili tehnologije kolektiranja otpadnog radioaktivnog materijala. Suvišni radioaktivni materijal, najčešće treba uklonit iz tekućeg medija, prvenstveno iz vode ili sa nekih površina. Proces uklanjanja radioaktivnosti iz odredjenog volumena ili sa neke površine, radiodekontaminacija,vrlo često odgovara procesima adsorpcije ili desorpcije. U stvari uvijek se odvijaju adsorpcijsko-desorpcijski procesi, jer se proces dekontaminacije izvodi kontaminiranjem sredstva, kojim se vrši dekontaminacija. Ovo je vrlo jednostavno pravilo, ali je isto tako vrlo važno kao princip kod postavljanja i razrade sistema za dekontaminaciju. Dugogodišnja istraživanja različitih kontaminacijsko-dekontaminacijskih modelnih sistema, o čemu je bilo više puta izvještavano na našim simpozijima (1) upućuju na opravdanost poistovjećivanja

dekontaminacijsko-kontaminacijskih procesa sa adsorpcijsko-desorpcijskim procesima heterogene zamjene radionuklida. Uvažavajući ovo kao polazište u ovom našem kratkom izlaganju pokazat ćemo dvije osnovne grupe eksperimenata koje ilustriraju praktičnu vrijednost sistematskih istraživanja adsorpcijsko-desorpcijskih procesa i procesa heterogene zamjene.

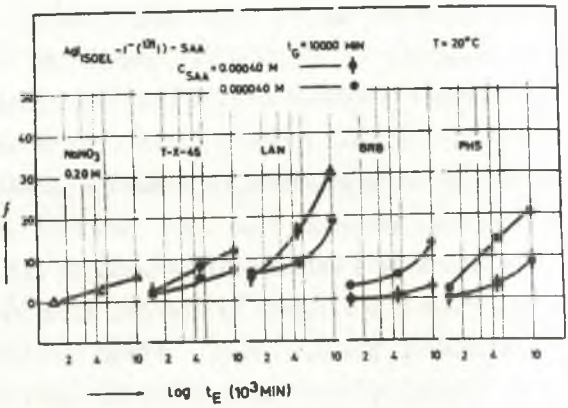
Iskustveno je pravilo, da se procesom izotopne zamjene može desorbirat ili dekontaminirat odredjeni radionuklid sa neke površine. Dekontaminacija lantanida, u svijetlu tog pravila može se uspješno provesti pomoću otopina skupih rijetkih zemalja. Za praktičnu dekontaminaciju, zamjena skupih elemenata rijetkih zemalja, je pitanje racionalnosti postupka. Polazeći od iskustva, da se jednako valentni ioni mogu pod odredjenim uvjetima ekvivalentno i po jednostavnom zakon raspodjele medjusobno zamjenjivati izvršena su odredjivanja desorpcije, odnosno dekontaminacije radioaktivnog europija $^{152,154}Eu$ sa fino mjevenog tehničkog rutila pomoću otopina europijeva i posebno aluminijeva nitrata. Rezultati su prikazani na slici 1.




*SLIKA 1. Dekontaminacija rutila. Efikasnost dekontaminacije η% kao funkcija koncentracije (log skala, normalne koncentracije) metalnih nitrata. Sistemi su zakiseljeni na kiselost pH = 2.5 .*

Aluminijev ion pokazuje u cijelom ispitivanom području (raspon od 3 potencije) podjednaku ili veću moć dekontaminacije, nego izotopni dekontaminant europij. Rezultat je za praksu vrlo zanimljiv, jer upućuje na mogućnost primjene jeftinog neizotopnog nosača. Sa znanstvenog stanovišta, to je praktična verifikacija jednostavnog zakona raspodjele jednako valentnih iona u toku adsorpcijsko-desorpcijskih procesa i sasvim je u skladu s nizom poznatih istraživanja (2).

U vrlo širokoj praksi uvriježeno je pravilo, da se procesi heterogene zamjene iona, na primjer u sistemu "čvrsto-tekuće" kao iu toku Ostwaldovog zrijenja procesi odvijaju znatno sporije u prisustvu tenzida ili površinski aktivnih tvari. Opsežna istraživanja različitih sistema "čvrsto-tekuće" u analizi procesa heterogene zamjene radionuklida, pokazala su da uobičajeno pravilo ima podloge, ali i da nije jednoznačno. Rezultati su pokazali da se u prisustvu tenzida može postići čak obrnut efekz, t.j. da kod odredjene koncentracije tenzida proces Ostwaldovog zrijenja ide znatno brže (3). Sa stanovišta kontaminacijsko-dekontaminacijskih procesa, koji su definirani procesom heterogene zamjene radionuklida, to je vrlo važna činjenica, jer upućuje na mogućnost postizanja nepoželjnih rezultata. Naime, ako tenzidi mogu djelovati suprotno od uobičajeno očekivanog efekta, to znači, da se u prisustvu tenzida može radiokontaminacija fiksirat u odredjenom sistemu. A to bi bio vrlo nepraktičan potez u sprovodjenju dekontaminacije. Rezultati istraživanja na nekim modelnim sistemima uz primjenu različitih tenzida (TRITON, T-X-45, laurilaminnitrat, LAN, tetrakloro-tetrajodofluorescein, BRB i fenosafranin, PHS) kod dvije različite koncentracije usporedjeni sa sistemima uz $NaNO_3$ pokazani su na slici 2. Vrlo je zanimljivo da površinski aktivne supstance T-X-45 i LAN suprotno uvriježenom stajalištu kod viših koncentracija evidentno ubrzavaju




*SLIKA 2. Heterogene zamjena radionuklida $^{131}I$ u prisustvu različitih tenzida. Frakcija heterogene zamjene f pokazana je kao funkcija vremena zamjene $t_E$ (log skala, minute) za sisteme s tenzidima kod dvije koncentracije i u sistemu s natrijevim nitratom.*

proces heterogene zamjene radionuklida. U usporedbi sa sistemima uz natrijev nitrat, sistemi s tenzidima T-X-45 i LAN i kod nižih koncentracija ne pokazuju manju frakciju zamjene. Ovo je važan podatak jer upućuje na mogućnost ubrzanja heterogene zamjene radionuklida ili dekontaminacije putem heterogene zamjene u prisustvu T-X-45 ili LAN , Rezultati se moraju razmatrati vrlo pažljivo, zbog poznatog efekta koloidne stabilizacije (2,3,4), što bi sa praktičnog stanovišta značilo "učvršćivanje" kontaminacijskog statusa odredjenog sistema. U sistemima s BRB i PHS porastom koncentracije tenzida pada brzina heterogene zamjene radionuklida. Učinak koncentracije je suprotan, nego u prva dva slučaja. Ovi rezultati, za sisteme s višim koncentracijama tenzida u skladu su s iskustvenim pravilom.

Medjutim i za ovu vrstu tenzida kod nižih koncentracija postižu se znatno brži procesi dekontaminacije heterogenom zamjenom radionuklida, nego u sistemima s anorganskim ionima. Ove dvije grupe rezultata vrlo su zanimljive, jer upućuju na to, da se ne smije tenzide primjeniti za dekontaminaciju bez prethodnog ispitivanja, jer iskustveno pravilo pokazuje, da za svaki tip tenzida postoji odredjeni mehanizam, kojim tenzid djeluje na tok procesa heterogene zamjene radionuklida (3). Rezultati prikazani na slikama 1 i 2 mogu se vrlo detaljno analizirati, a uočene pojave prema grupama ionskih vrsta posebno primjenjivat, jer su sistematska istraživanja pokazala čitav niz vrlo zanimljivih zakonitosti po kojima se ti procesi odvijaju (5). Razvoj dekontaminacijskih sistema i postupaka, može se uspješno unapredjivati kontinuiranim istraživanjima, jer su ti procesi temeljeni na dobro poznatim spoznajama i istraživanja ovakovih sistema predstavljaju istovremeno područje šireg znanstvenog interesa. Uvodjenje nuklearne energije u znatno širim dimenzijama u našu sredinu, nameće i potrebu mnogo šireg angažmana u ovim istraživanjima, nego što je to bilo do sada, a posebice posljednjih godina. Budući da praktična rješenja u ovoj sferi rada zadiru u najšire društvene interese, posebno preko sistema opće narodne obrane, treba očekivati i odgovarajuće znatniji napor cijele jugoslavenske zajednice u nastojanjima da se ovakvi programi stalno proširuju.

*DECONTAMINATION OF RADIOACTIVE ISOTOPES*

*Removal of radioactive isotopes under controlled conditions is determined by a number of physical and chemical properties considered radiocontaminant and by the characteristics of contaminated object. Determination of quantitative and qualitative factors for an equilibrium in contamination-decontamination system gives a base for a rational and successfill performance of decontamination process. Contamination-decontamination processes and equilibria in two-phase systems "solid-liquid" type as a model system for the decontamination of various surfaces and waters are reviewed.*

REFERENCE

1. MIRNIK M., HERAK M., DESPOTOVIĆ R., Proc. 1st Yugoslav Symposium on Radiation Protection, Portorož, pp No 165 , (1963) 1-8 .

2. DESPOTOVIĆ R., HERAK M., WOLF R., Naučno tehnički pregled, 16 , 28, (1966).

3. DESPOTOVIĆ R., La Rivista Italiana delle Sostance Grasse, 52 , 377, (1975).

4. DESPOTOVIĆ R., FILIPOVIĆ-VINCEKOVIĆ N., MAYER D., Croat. Chem. Acta, 47 , 549, (1975).

5. DESPOTOVIĆ R., Disc. Faraday Soc., 61 , (1976).

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Doc.dr Božidar Pejušković, san.pukovnik
Dr Dušan Djurakić, san.major
Bojović Tomislav, fiziko-hemičar
Nikolić Olivera, diplomirani fizičar
Milovanović Milisav, medicinski tehničar,san.kap.I kl.

# RADIOLOŠKA DEKONTAMINACIJA RUKU PRIRUČNIM SREDSTVIMA U POLJSKIM USLOVIMA

U radn su prikazani efekti i rezultati uklanjanja radioaktivnih kontaminanata J-131 sa površine kože šake u 4o ljudi dobrovoljaca. Primenjene su jednostavne metode uklanjanja radioaktivnosti sa površine kože koje se lako mogu sresti u terenskim uslovima. Efekti uklanjanja kontaminanta su dobri.

Radiološka dekontaminacija podrazumeva, kao što je poznato, zbir mera i postupaka u cilju uklanjanja radioaktivnog kontaminanta sa ljudi, predmeta, objekata, zemljišta itd. tj. sa svim onih mesta sa kojih R-agens može direktno ili indirektno ugroziti zdravlje i život čoveka. Najopasnija varijanta je nesumljivo slučaj uspostavljanja direktnog kontakta radionukleida sa kožom i sluznicama čoveka. Kada su u pitanju koža i vidljive sluznice /usta, nosa i oka/ govorimo o spoljašnjoj kontaminaciji. Najopasniji kontaminant i u ratnim i u mirnodopskim uslovima je prašina. Ovaj epitet joj pripada zbog njene zastupljenosti, brzine širenja i mogućnosti prodiranja u organizam čoveka kao kontaminanta. Za razliku od mirnodopske, gde se javlja sporadično, spoljašnja kontaminacija u ratnim uslovima kao posledica primene nuklearnog oružja biće masovna pojava. Fiksirajući se pre svega na otkrivenim delovima kože /ruke, lice i vrat/ radioaktivna prašina može dovesti do ozbiljnih oštećenja putem transkutane apaorpcije. /2,3/. Da intaktna koža nije nepremostiva barijera

prodoru mnogih toksičnih spojeva ukazuju radovi niza naučnika na ovom polju /4,5,1/.

Sve ovo nas obavezuje da problemu dekontaminacije - posebno spoljašnje posvetimo maksimalnu pažnju kako bi je učinili što efikasnijom i praktično lako primenljivom u svim, a posebno u poljskim uslovima masovne kontaminacije ljudstva tj. stanovništva.

Materijal i metode rada

Eksperiment je vršen na 4o ispitanika starosti od 20 do 25 godina u drugoj polovini 1976. godine na jednom eksperimentalnom poligonu. Kontaminirane su celokupne površine gornje /dorzalne/ odnosno donje /plantarne/ površine šake i prstiju prašinom u kojoj se nalazio radioaktivni kontaminant. Ljudstvo je prema dekontaminacionom postupku podeljeno u dve grupe po 2o ispitanika s tim što se unutar svake grupe jednoj polovini /1o ispitanika - - podgrupa A/ kontaminirala samo gornja a drugoj polovini /1o ispitanika - podgrupa B/ kontaminirala samo donja strana šake i prstiju.

Želeći da eksperiment što vernije odgovara stvarnoj kontaminaciji radioaktivnom prašinom nakon upotrebe N-oružja, kao nosilac kontaminanta upotrebili smo prašinu zemlje posebno pripremljenu, kojoj smo kao kontaminant dodali radioaktivni jod /$^{131}J$/ u obliku rastvora natrijum jodida /NaJ/ koji se javlja kao produkt fisije nakon N- eksplozije i perzistira oko 2 meseca.

Kontaminirana prašina je pripremljena tako što je obična zemlja osušena na temperaturi od 13o°C a zatim izmrvljena u porcelanskom avanu. Ovako usitnjena zemlja je prosejana kroz sito radi izdvajanja frakcije od 65-160 u koja je zatim žarena na 800°C. Nakon žarenja masa je ponovo izmrvljena i prosejana. Za

eksperiment je uzeta samo frakcija od 65-160 u poznata kao najznačajnija sa aspekta spoljašnje kontaminacije. Na ovako pripremljenu prašinu nanet je rastvor natrijum jodida sa radioaktivnim jodom. Staklenim štapićem promešana do homogenizacije smešta je zatim sušena 3 časa na temperaturi od $105^{o}$. Specifična aktivnost prašine bila je $3,7 \cdot 10^{9}$ Bq/kg /loo uCi/g/. Na odgovarajuću površinu ruke nanošeno je prosečno o,1 g prašine ili $3,7 \cdot 10^{5}$ Bq /10 uCi/ što odgovara $1,5 \cdot 10^{8}$ Bq/$m^{2}$ /o,4 uCi/$cm^{2}$/. Kontaminant se nalazio u staklenoj teglici a iz nje je nanošen posipanjem kroz zategnutu višeslojnu gazu postavljenu preko otvora teglice.

Kontaminacija traje prosečno 3o sekundi po osobi. Nakon kontaminacije ispitanici sede na klupama 3o minuta sa kontaminiranom površinom ruke okrenutom nagore. Merenje aktivnosti vršeno je sa monitorom zračenja KOMO-TM, mernog opsega od o-looo imp/S.

Dekontaminacioni postupak se sastojao u uklanjanju radioaktivne prašine sa kontaminiranih površina i prikazan je:

a/ Za grupu I /tabela br.1/ pranje ruku sa o,5 l hladne vode i upijanje jednim listom papirne maramice dimenzije 3o x 3o cm. Prosečno vreme trajanja po jednoj osobi iznosilo je 45 do 60 S.

b/ Za grupu II /tabela br.2/ pranje ruku sa o,5 l hladne vode, sapunjanje vojničkim sapunom u trajanju od 2o sekundi i upijanje jednim listom papirne maramice dimenzija 3o x 3o cm. Prosečno vreme trajanja po jednoj osobi bilo je oko 6o sekundi.

Rezultati efikasnosti dekontaminacije izraženi su parametrima:

1/ Procenat skinute aktivnosti

2/ Faktor dekontaminacije

Ovako dobijeni rezultati su statistički obradjeni /srednja vrednost, standardna devijacija/ i dati u tabelama br.1

i br.2.

Tabela 1.

DEKONTAMINACIJA OBE ŠAKE VODOM I PAPIRNOM MARAMICOM

| Podgrupa | Strana šake | Vreme kontakta u min. | Broj eksperimenata | Faktor dekontaminacije | | Procenat uklonjene aktivnosti | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | srednja vrednost | σ | srednja vrednost | σ |
| A | Gornja /dorzalna/ | 3o | 1o | 132,53 | 63,1 | 99,o5 | o,47 |
| B | Donja /plantarna/ | 3o | 1o | 1oo,42 | 29,97 | 98,91 | o,42 |

Tabela 2.

DEKONTAMINACIJA OBE ŠAKE VODOM, SAPUNOM I PAPIRNOM MARAMICOM

| Podgrupa | Strana šake | Vreme kontakta u min. | Broj eksperimenata | Faktor dekontaminacije | | Procenat uklonjene aktivnosti | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | srednja vrednost | σ | srednja vrednost | σ |
| A | Gornja /dorzalna/ | 3o | 1o | 165,57 | 75,7 | 99,15 | o,58 |
| B | Donja /plantarna/ | 3o | 1o | 218,33 | 62,57 | 99,5 | o,13 |

## Rezultati i diskusija

Analiza rezultata tabele 1. pokazuje da je uspeh dekontaminacije vodom i papirnatom maramicom bio bolji na gornjoj /dorzalnoj/ strani šake nego na donjoj tj. na dlanu. Naime, faktor dekontaminacije na gornjoj strani šake iznosi 132,56 ± 63,1o dok je na dlanu 1oo,42 ± 29,97. I procenat uklonjene aktivnosti ide u prilog dekontaminaciji gornje strane šake /99,o5 ± o,47 prema 98,91 ± o,42/. Iako na izgled paradoksalno, obzirom da bi trebalo zbog kožnih nabora i malja očekivati veće prijanjanje kontaminanta na gornjoj strani šake, pa samim tim i manje uspeš-

nu dekontaminaciju u odnosu na dlan, mi smatramo da su malje u ovom slučaju upravo sprečile prijanjanje kontaminanta na kožu i time odigrali ulogu "zaštite". Pošto su ispitanici mirovali kontaminant nije imao prilike da se utisne u kožu odnosno nabore i pore uz koren dlaka. Na dlanovima kontaminant je imao mogućnost da ostvari intimniji kontakt sa kožom /nema malja/ i da se čvršće veže, pa samim tim utiče i na nešto manje uspešnu dekontaminaciju.

Analiza tabele 2. gde se dekontaminacija vršila vodom, sapunom i papirnom maramicom pokazuje u celini uspešniju dekontaminaciju u odnosu na rezultate iz tabele 1. Nema sumnje da je primena sapuna bila uzrok ovoj pojavi. Medjutim, za razliku od tabele 1. ovde se, unutar grupe, pokazala uspešnija dekontaminacija na dlanovima u odnosu na gornju stranu šake. Premda i ovde važe isti elementi eksperimenta, kao i za rezultate u tabeli 1., mišljenja smo da je sapunjanje i trljanje bilo efikasnije na dlanovima što se i odrazilo na pomenutim rezultatima.

Na ovom mestu smatramo takodje interesantnim da rezultate iz tabela 1. i 2 uporedimo sa rezultatima dekontaminacije ruku dobijenim u jednom prethodnom eksperimentu, koje je ovo odeljenje izvršilo 1975. godine i objavilo pod naslovom "Ispitivanje efekata dekontaminacije kože kontaminirane nekim R - agensima, sredstvima i metodama pogodnim za terenske uslove"/6/.Uvažavajući postojeće razlike izmedju sadašnjeg i ranijeg eksperimenta /u kojem se dekontaminacija talka sa kontaminantom $^{131}J$ na ograničenoj površini šake vršila suvim tamponom i tamponom navlaženim vodom, 3% limunskom kiselinom i 1% deterdžentom/ smatramo potrebnim da ukažemo na znatno bolje rezultate dekontaminacije vodom i papirnom maramicom odnosno vodom, sapunom i papirnom maramicom. Iako

se očekivao povoljniji efekat ovakvom metodom dekontaminacije, ipak su najuspešniji rezultati prvog /1975/ i drugog /1976/ eksperimenta, tj. procenat uklonjene aktivnosti /9o,89 ± 5,oo prema 99,5o ± o,13/ po našem mišljenju značajni i po svojim vrednostima i kao konkretna - praktična konfrontacija dveju značajnih metoda brze dekontaminacije ljudi u terenskim uslovima.

Zaključak:

Na osnovu navedenih eksperimenata i odgovarajućih rezultata može se tvrditi da se spoljašna delimična dekontaminacija može uspešno obaviti n poljskim uslovima i jednostavnim sredstvima /voda-sapun/ i jednostavnim postupkom /pranje-sapunjanje/.

Summary:

Radiologic Dekontamination of the Hands by Manual Means in the Field Conditions.

In this paper it has been shown results and effects of elimination radioactive nucleids from the skin surface of the hand in 4o voluntaries. They applied simple metods of removal radioactivity from the skin surface which can be easily used in the field conditions. The effects of the removal radioactive nucleids are satisfactory.

Literatura:

1. Milivojević K., D.Stojanović: V kongres za radiologiju i nuklearnu medicinu SFRJ, Beograd, 1964.
2. Derbes V.I. et al.: JAMA, 158, 1367, 1955.
3. Dunster H.I.: EURATOM Rpt., EUR-2210, 1964.
4. Traglar R. T.: in AHSB /RP/ R 39, 1964.
5. Scheel H.: Kernengergie, 7, 197, 1964.
6. Pejušković B., T.Bojović, O.Nikolić et al.: Zbornik VMA, 14, 1975.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 3.VI 1977.

Katarina Milivojević i Dragoslav Stojanović

Laboratorija za medicinsku zaštitu Instituta za nuklearne nauke
"Boris Kidrič"-Vinča,Beograd

# DEKONTAMINACIJA KOŽE KONTAMINIRANE RADIJODOM

Ispitivana je mogućnost dekontaminacije nepovredjene kože kontaminirane rastvorom radioaktivnog joda, kao značajnog potencijalnog kontaminanta u akcidentalnim situacijama. Efekat dekontaminacije ispitivan je u zavisnosti od vrste sredstava za dekontaminaciju, stanja kontaktne barijere, vremena trajanja kontaminacije i vremena izvodjenja dekontaminacije. Efikasnost dekontaminacije procenjivana je na osnovu prodrlih količina radiojoda u telo i rezidualnih aktivnosti u kontaminiranoj regiji. Dobijeni rezultati pokazuju da trajanje kontaminacije ima značajan uticaj na obim interne dekontaminacije radiojodom. Korišćenjem površinsko aktivnih materija postignuta je visoka efikasnost dekontaminacije. Primena komercijalnog zaštitnog krema ne ispoljava izraziti profilaktički efekat.

U akcidentima koji mogu da nastanu pri radu velikih nuklearnih mašina radiojod se javlja kao kontaminant. Radioaktivni jod može da dospe u atmosferu pri havarijama na reaktoru i uslovi masovniju kontaminaciju stanovništva. Kod zaposlenog osoblja na nuklearnim reaktorima i u laboratorijama za proizvodnju radioizotopa spoljašnja kontaminacija radiojodom je česta pojava. Ispitivanje biološkog dejstva radiojoda takodje proizilazi i iz široke njegove primene u dijagnostičke i terapeutske svrhe, pogotovu što se danas podvrgava preispitivanju ranije mišljenje o visokoj radiorezistentnosti štitaste žljezde (1). S obzirom da u distribuciji radiojoda koža zauzima važno mesto, jer se pri različitim putevima unošenja jod deponuje i u samoj koži (2), prevencija fiksiranja radiojoda za kožu pri spoljašnjoj kontaminaciji je od posebnog značaja

---

* Tehnički saradnik Radosav Sapundžić

Ispitivanja su obuhvatala praćenje stepena prodiranja joda kroz neoštećenu kožu, kao i uticaj primenjenih sredstava za dekontaminaciju na obim interne kontaminacije organizma. Proverena je efikasnost zaštitnog krema u prevenciji resorpcije radiojoda i njegov uticaj na brzinu i efekat dekontaminacionog tretmana. Uzimajući u obzir sve mogućnosti nastanka kontaminacije radiojodom i rizike koji tom prilikom proizilaze, izvodjenje odgovarajućeg dekontaminacionog tretmana imalo je za cilj profilaktiku interne kontaminacije i smanjenje štetnih radijacionih efekata od prisutnog radiojoda na koži.

Materijal i metod rada

Ispitivanja su vršena na belim pacovima, mužjacima, telesne težine oko 200 g. Iz Farme laboratorijskih životinja Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči. Ukupan broj životinja je iznosio 135, a ogledne grupe su brojale po 15 životinja.

Uslovi kontaminacije: Pre kontaminacije životinje su bile narkotisane uretanom. Koža je kod svih životinja bila "obezmašćena" sapunom pre kontaminacije. Rastvor $NaJ^{131}$, u zapremini od 50 lamda, apliciran je na obeleženu površinu kože od 5 $cm^2$ na ventralnoj strani abdomena. Radioaktivnost nanete količine rastvora iznosila je 40 uCi, a pH 1.0. Radiojod je bio u kontaktu sa kožom 30 i 60 minuta. Kao zaštitni krem korišćen je krem sa silikonima "Octa".

Uslovi dekontaminacije: Dekontaminacioni tretman se sastojao iz primene izabranog sredstva za uklanjanje kontaminanta sa kože uz naizmenično korišćenje vode za spiranje. Tretman se sastojao od četiri obrade, a svaka je trajala po jedan minut. Kao sredstva za dekontaminaciju korišćeni su voda, 3% rastvor sapuna i 3% rastvor deterdženta "Badd".

Tehnike merenja: Ukupna telesna aktivnost prodrlog radiojoda i rezidualna aktivnost u dekontaminiranoj regiji mereni su na scintilacionom beta-gama brojaču za male eksperimentalne životinje.

## Rezultati i diskusija

Obim resorpcije radiojoda preko nepovredjene kože i kože štićene pre kontaminacije zaštitnim kremom u funkciji trajanja kontaminacije prikazan je na tabeli 1.

TAB. br. 1.

Telesni sadržaj radiojoda pri kontaminaciji kože rastvorom $NaJ^{131}$, u % nanete aktivnosti

| Stanje kože | Trajanje kontaminacije | |
|---|---|---|
| | 30 min. | 60 min. |
| Obezmašćena koža | 0,28 ± 0,13 | 1,40 ± 0,58 |
| Štićena koža kremom "Octa" | 0,43 ± 0,21 | 0,77 ± 0,26 |

Iz tabele se vidi da je intenzitet prodiranja radiojoda preko obezmašćene kože zavisan od dužine trajanja kontakta. Tako, faktor uvećanja iznosi 4 za vremenski interval od 30. do 60. minuta, u odnosu na telesni sadržaj u toku prvih 30 minuta.

Povećanje prodrlih količina radiojoda preko štićene kože u toku prvih 30 minuta, što je zapaženo u našim ranijim ogledima, a navodi se i u literaturi, može se objasniti liposolubilnošću radioaktivnog joda. Krem "Octa" je inače ispoljio dobre zaštitne efekte pri kontaminaciji drugim radionuklidima (3,4). Primena zaštitnog krema pri dužem kontaktu radiojoda sa kožom uslovljava smanjenje prodrlih količina radiojoda u odnosu na obezmašćenu kožu na koju nije apliciran zaštitni krem.

Dobijeni rezultati, prikazani na tabeli 2, pokazuju da voda i rastvor limunske kiseline ostavljaju visoke rezidualne aktivnosti u dekontaminiranoj lokaciji, a povećavaju i telesni sadržaj transkutano prodrlog radiojoda. Korišćenjem deterdženta i sapuna, kao površinsko aktivnih materija, postiže se visoka efikasnost dekontaminacije, jer je uklonjeno preko 90% kontaminanta.

TAB. br. 2.

Efekat dekontaminacije izvedene 30 minuta nakon kontaminacije kože sa rastvorom $NaJ^{131}$, u % nanete aktivnosti

| Sredstva za dekontaminaciju | Aktivnost u telu | Aktivnost u koži | Efikasnost dekontaminacije |
|---|---|---|---|
| Nedekontaminirani | 0,28 ± 0,13 | - | - |
| Voda | 1,77 ± 0,63 | 51,40 ± 15,37 | 46,83 ± 15,37 |
| 3% Ac.citricum | 1,48 ± 0,07 | 41,60 ± 5,12 | 56,92 ± 5,12 |
| 3% sapun | 1,90 ± 0,38 | 7,20 ± 3,37 | 91,90 ± 3,37 |
| 3% deterdžent Badd | 0,81 ± 0,45 | 5,09 ± 1,50 | 94,10 ± 1,50 |
| 3% deterdžent Badd* | 0,57 ± 0,21 | 4,54 ± 1,55 | 94,89 ± 1,55 |

*-zaštitni krem "Octa" nanet na kožu pre kontaminacije

Profilaktička primena zaštitnog krema pre kontaminacije nije dala posebnu dopunsku zaštitu u pogledu efekta dekontaminacije, a što je u skladu sa podacima koji se navode u literaturi o korišćenju silikonskih i lanolinskih kremova (5,6).

U eksperimentalnom modelu korišćeno je obezmašćivanje kože, jer u praksi zbog čestog pranja ruku, najčešće je uklonjena lipidna prevlaka, a što je od značaja za analizu fenomena transkutanog prodiranja, posebno za radiojod prema kome koža ispoljava visoku kontaminabilnost. S druge strane analiza rezultata obezmašćene kontaktne barijere je od značaja za realnu procenu efekta izvedenog dekontaminacionog tretmana pomoću izabranih sredstava.

Zaključak

Koža ispoljava visoku kontaminabilnost za radiojod.

Intenzitet prodiranja radiojoda preko nepovredjene kože povećava se sa dužinom trajanja kontakta radiojoda i kožne barijere.

Primena zaštitnog krema ne ispoljava izrazito profilaktičku ulogu u penetraciji radiojoda i u dekontaminacionom tretmanu.

Voda korišćena kao sredstvo za dekontaminaciju uslovljava visoku rezidualnu aktivnost u dekontaminiranoj lokaciji i povećava telesni sadržaj prodrlog radiojoda.

Rastvori deterdženta "BADD" i sapuna uklanjaju do 95% radioaktivnog joda sa kože.

Kontaminabilnost kože za radiojod, intenzitet njegovog transkutanog prodiranja, otežano uklanjanje radiojoda sa kožne barijere nameću imperativ neophodnog izvodjenja brzog i efikasnog dekontaminacionog tretmana.


## S u m m a r y

### DECONTAMINATION TREATMENT OF THE SKIN CONTAMINATED WITH RADIOACTIVE IODINE

The aim of this paper was to study the possibility of decontamination of the skin contaminated with solution of radioiodine, which is a verv important radiocontaminant in accidental situations. The decontamination effect has been examined in dependence on means applied, state of contact barriere, duration time of contamination, as well as on time of decontamination performance. Ffficiency of decontamination treatment has been evaluated on the basis of the penetrated quantities of radioactive iodine and residual activite in the contamineted region. The results obtained show, that duration time of contamination has an important influence on degree of internal contamination with radioiodine. By use of detergent and soap a high efficiency of decontamination treatment has been obtained. Appliance of the commercial protective cream gives not expressive prophylactic effect.

Literatura

1. Letavet A.A., Burikinoj L.N., Materiali po toksikologiji radioaktivnih veščestv. Vipusk 8, p.4, Medicina, Moskva, 1972.

2. Iljin L.A., Radioaktivnije veščestva i koža, p.70, Atomizdat, Moskva, 1972.

3. Milivojević K., Stojanović D., Zbornik radova VI jug.simp. zaštite od zračenja, 415-420, Ohrid, 1972.

4. Stojanović D., Milivojević K., Proc.IRPA II European Congress on Radiation Protection, Ed. Bujdoso, 331-334,Budapest, 1973.

5. Felton I., Rozas C.I. Arch. Environ Health, 1, 87, 1960.

6. Edvardsson K.A.et al., Decontamination experiments on intact pig skin contaminated with beta-gama emitting nuclides, p.35, Stockholm, 1966.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja,
Jajce, 31. V. do 3. VI. 1977.

Draganović B., Djurić Gordana Petrović B., Panin J.

Katedra za radiologiju, Veterinarski fakultet, Beograd
Jugoslovenski institut za tehnologiju mesa, Beograd

# MOGUĆNOSTI SMANJENJA PRIRODNE RADIOAKTIVNOSTI SVINJSKOG MESA TEHNOLOŠKO - KULINARSKIM POSTUPCIMA

- Kratak sadržaj -

U cilju izučavanja najpodognijih tehnološko-kulinarskih postupaka za smanjenje prirodne radioaktivnosti mesa, izvršena su ispitivanja na svinjskom mesu postupkom kuvanja pod pritiskom sa promenom tečne faze. Uzorkovanje mesa je izvršeno od životinja sa teritorije SR Srbije. Postupak kuvanja je vršen na temperaturi od 120°C pod pritiskom od 2 Atü u vodi za piće 2 puta po 15 minuta. Na osnovu izvršenih ispitivanja radioaktivnosti svinjskog mesa metodom merenja niske beta aktivnosti, utvrdjeno je da je ona uglavnom porekla radiokalijuma 40. Izvršeni tehnološko-kulinarski postupak pokazuje evidentan efekat smanjenja prirodne radioaktivnosti mesa, a on zavisi od procesa zrenja mesa i temperature hladjenja.

Animalna proizvodnja u svakoj tehnološkoj etapi predstavlja u opštim crtama mnogofazni fiziko-hemisjki sistem, koji je karakterističan po neravnomernoj distribuciji radioaktivnosti komponenata svakog sistema ponaosob. Zbog toga je moguće delovati na translokaciju radionuklida odvojeno u svakom sistemu, menjajući parametre, sastojke ili uvodeći nove dopunske komponente u sistem. Na taj način je, primenom tradicionalnih ili specijalnih načina obrade animalnih produkata moguće smanjiti

sadržaj prirodnih i veštačkih radionuklida.

Meso predstavlja jednu od dominantnih namirnica u animalnoj proizvodnji čija se potrošnja u ishrani ljudi neprekidno povećava. Sastavljeno od nekoliko tkiva: mišićnog, masnog, vezivnog i koštanog, meso vezuje različite količine radionuklida, a pored toga sadrži značajne količine kalijuma - oko 200 mg% (1) odnosno radiokalijuma 40 (2). Sa gledišta radijacione higijene veliki značaj ima ne samo translokacija radionuklida iz životne sredine u animalnu proizvodnju, već i njihov sadržaj u namirnicama animalnog porekla kojima se hrane ljudi. Zbog toga smo sebi postavili zadatak da ispitamo metodu koja ima odredjen dekontaminacioni efekat na prirodnu radioaktivnost mesa, koja traje kratko vreme, koja ne oštećuje meso kao namirnicu i koja ne zahteva posebnu pripremu.

## Materijal i metod rada

Uzorci mesa bez kostiju uzimani su od najbolje vaskularizirnih mišića (m. biceps femoris - ruže) belih svinja, polovina uzorka je bila autokontrola drugoj polovini koja je bila podvrgnuta kuvanju pod pritiskom (seriju uzoraka je sačinjavalo 11 individualnih).

Kuvanje pod pritiskom je vršeno u loncu "Alupret-Kukta" na 120°C, pod pritiskom od 2 Atü, potapanjem mesa u 2 l hladne vode, zatim kuvano 15 minuta, potpuno zamenjena voda svežom (takodje 2 l) i kuvano još 15 minuta.

Kontrolni i ogledni uzorci mesa su sušeni pa spaljeni do mineralnog ostatka (pepelnost je 0,8%) iz koga je odredjivana prirodna radioaktivnost, odnosno efikasnost njenog smanjenja.

Radiometrijska merenja ukupne beta aktivnosti vršena su na brojačkom uredjaju za merenje niske aktivnosti IOLA-4 proizveden u IBK Vinči.

Rezultati su prikazani kao specifična beta aktivnost mesa i numerički odnosi koji pokazuju efikasnost smanjenja prirodne aktivnosti mesa ovom tehnološkom metodom (% SA i FD).

## Razmatranje rezultata

Rezultati radiometrijskih merenja pokazuju da svinjsko meso sadrži 1.711 ± 102,7 pCi/kg ukupne prirodne beta aktivnosti. Posle dekontaminacionog tretmana kuvanjem u mesu je ostalo 510 ± 102,5 pCi/kg, tako da je procenat skinute aktivnosti 70,2% a faktor dekontaminacije 3,35.

Po literaturnim podacima (3) kod kulinarskih obrada mesa kontaminiranih $^{134}Cs$, utvrdjeni su dekontaminacioni efekti 19% kod prženog mesa i 53% kod kuvanog govedjeg mesa, pri čemu se pH kretao od 5,5 - 6,4. U našim ranijim istraživanjima (4) pri kojima smo koristili tehniku kuvanja pod pritiskom sa manjim vremenima (2 X 10 minuta), takodje sa promenom tečne faze imali smo $SpA_{zaostala}$ = 840 ± 126 pCi/kg, odnosno FD = 2,03 i procenat skinute aktivnosti 50,7%. Ovo govori da je za smanjenje prirodne radioaktivnosti svinjskog mesa potrebno izabrati vreme tzv zrenja mesa, tj 24 - 48 h nakon klanja, kao i da treba primeniti metodu frakcioniranog kuvanja pod pritiskom sa izmenom tečne faze, pri čemu su vremenski intervali kuvanja dovoljno dugi. Samo u takvim uslovima možemo računati na efikasno smanjenje prirodne radioaktivnosti mesa svinja do 70% od početne aktivnosti, što ističe ovu metodu kao veoma efikasan dekontaminacioni postupak.

## Zaključci

Na osnovu izvršenih ispitivanja može se zaključiti da je metoda kuvanja pod pritiskom svinjskog mesa u konzumu (48 h nakon klanja), veoma efikasan način za smanjenje prirodne radioaktivnosti u mesu, a time i pouzdan način za smanjenje radijacionog opterećenja čoveka iz jedne faze (proizvodnje sirovog mesa) animalne proizvodnje.

# POSSIBILITIES OF REDUCING NATURAL RADIOACTIVITY OF PORK BY TECHNOLOGICAL - CULINARY PROCEDURES


## - S u m m a r y -

With the aim of studying the most suitable technological-culinary procedures for the reduction of natural radioactivity of meat, the procedure of pork cooking under pressure - with the change of liquid phase - was examined. Meat samples were taken from animals within the territory of the Socialist Republic of Serbia. The cooking procedure was carried out at 120°C, under pressure of 2 Atü for 15 minutes two times in drinking water. On the basis of pork radioactivity examinations performed by measuring the low beta activity, iz has been established that the radioactivity originates mostly from radiopotassium - 40. The technological-culinary procedure performed by the method of pressure cooking shows an evident effect on the reduction of natural radioactivity, the effect being dependent on meat ageing process and freezing temperature.


## Bibliografija


1. Oluški V.: Prerada mesa, 697 str., 1973, JITM Beograd
2. Djurić G.: Magistarski rad, 1973, Beograd
3. Anenkov B. et al.: Radiobiolcgija i radioekologija seljskohozjaintsvenih životnih, 220 str., 1973., Atomizdat Moskva.
4. Izveštaj po projektu 3 a 13/c za 1976.godinu.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. - 3.VI.1977.

Šmelcerović M., Muždeka S., Djurić Gordana, Petrović B.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča
Katedra za radiologiju, Veterinarski fakultet, Beograd

# BRZA PROCENA SPECIFIČNE BETA AKTIVNOSTI HRANE I DRUGOG MATERIJALA NA UREDJAJU LARA - GS

- Kratak sadržaj -

U radu su dati rezultati merenja, opis metode i opis uredjaja LARA-GS . Merene vrednosti specifične beta aktivnosti su na nivou prirodne aktivnosti i na nivou prosečno kontaminiranih namirnica . Merenje se obavlja u vremenu od 1000 s, a rezultat se izražava u jedinicama Bq/kg za ekvivalent K-40. Metoda merenja je takva da u slučaju kontaminacije smešom fisionih produkata ili nekim od dugoživećih izotopa iz smeše, greška merenja ne prelazi 50% od izmerene vrednosti .

Odredjene službe u okviru svojih delatnosti obavljaju rutinsku kontrolu namirnica i hraniva na nivo kontaminacije radioaktivnim materijama . Praćenjem statističkih podataka o radu pojedinih službi dolazi se do zaključka da vreme za ocenu nivoa kontaminacije treba da bude svedeno na 10 do 30 minuta . Iz toga razloga neophodno je imati merne uredjaje koji omogućavaju merenja specifične aktivnosti potencijalno kontaminiranog materijala za odredjeno vreme . Pored mernog uredjaja neophodno je ustanoviti granice merenja koje odredjuju dalji postupak sa ispitivanim uzorkom . Naravno da se ove gra-

nice mogu odrediti samo na osnovu merenja velikog broja uzoraka različite vrste uz odgovarajuću statističku obradu rezultata merenja .

Pri koncipiranju metode za brzu procenu SpA namirnica i hraniva , pošlo se od sledećih uslova :

- Metoda pripreme uzoraka mora biti brza;
- Merenje brzine brojanja uzoraka mora da traje kratko;
- Meri se specifična beta aktivnost - SpA (Bq/kg);
- Merenje u predselekciji može da bude relativno , a mora da postoji i mogućnost apsolutnog merenja;
- Rukovanje uredjajem može da se prepusti kadrovima koji nisu profesionalno obrazovani za radijacionu kontrolu, što implicira da postupci moraju da budu jednostavni .

Zahtevi za jednostavnošću i brzinom pripreme uzoraka impliciraju da je jedino prihvatljiva metoda merenja na "debelom" uzorku, kada se ne traži preciznost u odmeravanju uzorka . Podsetimo se da se pri merenjima beta aktivnosti pod "debelim" uzorkom podrazumeva uzorak koji je deblji od nekoliko debljina poluabsorpcije . Pripremljen uzorak se postavlja pod GM brojač sa vrlo tankim prozorom (2 mg/cm$^2$) i brojanje impulsa iz brojača se meri u odredjenom vremenu . Prethodno izmerena brzina brojanja usled prirodnog zračenja se smatra konstantnom i precizno odredjenom veličinom . Ukoliko se po izvršenom merenju zapazi povećanje brzine brojanja za odredjen iznos, radi poboljšanja statističke pouzdanosti rezultata, merenje se vrši u dužem vremenskom intervalu (10 000 s), rezultati se unose u listu evidencije, a uzorak se šalje na dopunska merenja .

Kako su pri merenjima za razne nosioce aktivnosti različiti koeficijenti samoapsorpcije, jasno je da je bilo neophodno izvršiti klasifikaciju granica tolerantnih vrednosti brzine brojanja prema vrsti merenog uzorka . Merenja su pokazala da uz tolerisanje nešto veće greške veliki broj uzoraka može da se svrsta u dve grupe . Posebnu grupu predstavljaju uzorci koji su dehidrirani (napr. riblje ili mesno brašno, mleko ili surutka u prahu i sl.) i koji imaju nešto veće vrednosti prirodne aktivnosti zbog većeg sadržaja $^{40}K$ .

Priprema uzoraka i postupak merenja

Uzorci za merenje nivoa kontaminacije pripremaju se tako što se materijalom koji se ispituje napuni čanče do 1 mm od gornjeg ruba. Bolji rezultati merenja postižu se ukoliko se materijal isitni i homogenizuje, što za neke vrste uzoraka nije jednostavno (zrnasta,sušena i kabasta hraniva) . Ovako pripremljen uzorak se postavlja u policu i po zatvaranju iste započinje se merenje, koje se obavlja u vremenu od 1000 s .Rezultat merenja je dat na instrumentu kao broj registrovanih impulsa u jednoj sekundi (na pr. 0,350 imp/s) . Od dobijenog rezultata oduzima se nivo osnovnog zračenja (fon), koji za prosečnu laboratoriju iznosi 0,220 imp/s . Za svaki uredjaj LARA-GS potrebno je pri postavljanju istog na odredjeno radno mesto odrediti nivo osnovnog zračenja serijom od najmanje 10 merenja za vremensku jedinicu od 1000 s, jer isti zavisi od lokalnih uslova . Kao fon za korekciju rezultata merenja usvaja se srednja brzina brojanja osnovnog zračenja . Pre svake serije merenja, a bar jednom dnevno, potrebno je merenjem proveriti da li je fon konstantan , što neće biti ako je u radu došlo do kontaminacije uredjaja .

Ako je brzina brojanja uzorka ($R_u$), korigovana za fon ($R_o$) jednaka :

$$R_u = R_{iz} - R_o \qquad \ldots\ldots\ldots /1/$$

gde je-

- $R_{iz}$ = izmerena brzina brojanja uzorka

veća za d puta od fona, raspodela verovatnoće da će biti registrovano u jednom merenju Ni N dogadjaja je

$$P(N_i \leq N_m) = \frac{1}{\sigma_i\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{N_m} e^{-\frac{[N_i - M(N_i)]^2}{2\sigma_i^2}} dN_i = \frac{1}{2}\left\{1 - \Phi\frac{[N_i - M(N_i)]}{\sqrt{2}\cdot\sigma_i}\right\} \ldots /2/$$

gde je-

- $M(N_i) = T_M \cdot R_{iz} = (d+1)R_o T_M$ , očekivana vrednost odbroja u intervalu merenja $T_M$ ;
- $\sigma_i \simeq \sqrt{M(N_i)}$ , standardna devijacija raspodele u slučaju da se ona može aproksimirati normalnom, što je zadovoljeno za uslov da je $T_M$= 1000 s;

- $N_m = \frac{1}{K}(M(N_i)$, granica u odnosu na koju se računa verovatnoća da pri merenju na aktivnom uzorku neće biti registrovan broj dogadjaja manji od $N_m$ ;
- $N_i$ = statistička promenljiva .

Verovatnoća da će pri merenju na neaktivnom uzorku biti registrovan broj dogadjaja $N > KM(R_oT_M)$ je data izrazom

$$P[N>KM(R_oT_M)] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\left[1-\int_{-\infty}^{KM(R_oT_M)} e^{-\frac{[N-M(R_oT_M)]^2}{2\sigma_i^2}}\right] = \frac{1}{2}\left[1-\Phi(x)\right] \quad /3/$$

sa oznakama-

- $x = \frac{N - M(N)}{\sqrt{2}\sigma}$ , promenljiva Laplasovog integrala ;
- $\sigma \approx \sqrt{R_oT_M}$ , standardna devijacija raspodele fona .

U tabeli 1 prikazane su vrednosti pomenutih verovatnoća za razne vrednosti K i d . Izračunavanja su izvršena za "prosečnu" laboratoriju tipa GS , koja u intervalu vremena $T_M$ = 1000 s ima odbroj $R_oT_M$ = 225 imp .

Tabela 1 PARAMETRI ZA OCENU KVALITETA MERENJA

| K | 1,05 | | | | 1,1 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P[N>KM(R_oT)]$ | 0,228 | | | | 0,0655 | | | |
| d | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 |
| $P(N_i \leq N_m)$ | 0,772 | 0,238 | 0,2144 | 0,2055 | 0,9345 | 0,061 | 0,057 | 0,0505 |

| K | 1,2 | | | | 1,0 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P[N>KM(R_oT)]$ | 0,00135 | | | | 0,5 | | | |
| d | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 |
| $P(N_i \leq N_m)$ | 0,0013 | 0,001 | 0,0008 | 0,0005 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Tabela 2 REZULTATI MERENJA UZORAKA

| VRSTA UZORKA | POREKLO | SREDNJA VREDNOST BRZINE BROJANJA (imp/s) | $\sigma$ | $\sigma_s$ |
|---|---|---|---|---|
| RIBA | SSSR | $13,4 \times 10^{-3}$ | $10 \times 10^{-3}$ | $0,3 \times 10^{-3}$ |
| | N D R | $12,6 \times 10^{-3}$ | $8,9 \times 10^{-3}$ | $0,6 \times 10^{-3}$ |
| | POLJSKA | $14,7 \times 10^{-3}$ | $9,6 \times 10^{-3}$ | $1,05 \times 10^{-3}$ |
| RIBLJE BRAŠNO | MAROKO | $38 \times 10^{-3}$ | $15 \times 10^{-3}$ | $2,6 \times 10^{-3}$ |
| | DANSKA | $85 \times 10^{-3}$ | $26 \times 10^{-3}$ | $4,8 \times 10^{-3}$ |
| | ISLAND | $54 \times 10^{-3}$ | $20 \times 10^{-3}$ | $1,6 \times 10^{-3}$ |

Tabela 3 BRZINA BROJANJA UREDJAJA LARA-GS USLOVLJENA BETA AKTIVNOŠĆU DEBELOG UZORKA

| AKTIVNOST | BRZINA BROJANJA $R_u = R_{iz} - R_o$ (imp/s) | VRSTA UZORKA | |
|---|---|---|---|
| | | Namirnice | Hraniva |
| Zanemarljiva | 0,01 - 0,050 | zapisuje | ø |
| Niska | 0,051 - 0,150 | šalje uzorak | zapisuje |
| Srednja | 0,151 - 0,400 | zadržava | šalje uzorak |
| Visoka | preko 0,401 | zadržava | zadržava |

Tabela 4 GRANICE BRZINE BROJANJA KOJE ODREDJUJU POSTUPAK

| $R_u$ (imp/s) | Specifična aktivnost ( Bq/kg ) | | |
|---|---|---|---|
| | $^{40}K$ | $^{90}Sr - ^{90}Y$ | $^{137}Cs$ |
| 0,01 | 60 | 40 | 140 |
| 0,05 | 300 | 200 | 700 |
| 0,15 | 900 | 600 | 2100 |
| 0,4 | 2400 | 1600 | 5600 |
| 1 | 6000 | 4000 | 14000 |

Odnos verovatnoća $P[N_i \leq N_M]$ i $P[N > kM(R_o T)]$ daje meru kvaliteta merenja . Tako na primer, ako je materijal toliko aktivan da je d=0,1 tada je za izmerenu vrednost k=1,1 odnos verovatnoća 7,7 . Za d=1,05 odnos je 1 itd . Znači, iz jednog merenja čiji je rezultat iznad označivane vrednosti fona k puta , može se reći da potiče od kontaminacije uzorka sa datim odnosom verovatnoća . Ukoliko je k takvo da je rezultat merenja izvan 3σ u odnosu na raspodelu fona, može se sa pouzdanošću 0,999 reći da potiče od kontaminacije uzorka (granica za $T_M$ = 1000 s od 0,050 imp/s ).

Na osnovu ovakve ocene kvaliteta merenja i rezultata merenja na velikom broju uzoraka, od kojih su neki dati u tabeli 2, ocenjene su granice brzine brojanja uredjaja LARA-GS, koje su date u tabeli 3. Iz pomenute tabele vidi se da se na osnovu predložene klasifikacije primenjuje jedan od postupaka:

- rezultat merenja se zapisuje, a dozvoljava se upotreba kontrolisanih namirnica i hraniva;
- rezultat se zapisuje i uzorak se šalje na dalja merenja,ali se dozvoljava upotreba kontrolisanih namirnica i hraniva;
- rezultat se zapisuje, uzorci se šalju na dalja merenja, a promet kontrolisane namirnice i hraniva se zadržava do konačne odluke .

Na osnovu merenja odredjeni su koeficijenti $F_k$ na osnovu kojih se može odrediti specifična aktivnost $A_s$ po izrazu

$$A_s = F_k \cdot R_u \qquad \ldots\ldots /4/$$

Za neke izotope vrednosti koeficijenta $F_k$ date su u tabeli 4 ; u istoj tabeli date su i vrednosti graničnih brzina brojanja izražene u Bq/kg merenog materijala .

## S u m m a r y

In this paper the equipment LARA-GS and its method of measurement are described, together with results obtained by measuring the radioactivity of food and animal food . The measured values of specific beta activity were at the level of natural activity,and at the average level of contaminated food. The measurements are performed in 1000 second periods,and the results are being expressed in Bq/kg units, in respect to K-40 equivalent. In case of contamination by a fission product mixture,or by any of the long-lived isotopes from the mixture,the error of the measuring method does not exceed 50% of the measured value.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.V 1977.

R. Tasić, R.Vulović

Institut "Boris Kidrič",Vinča

# STRUJNA JONIZACIONA KOMORA ZA ODREDJIVANJE KONCENTRACIJE ČESTICA AEROSOLA

Konstruisan je jednostavan model za odredjivanje koncentracije čestica aerosola dobijenih iz generatora aerosola(polidisperzioni aerosol, prečnik čestica u opsegu 0.5/u). Tačno merenje koncentracije čestica ima veliku ulogu pri odredjivanju praga pobude kod jonizacionog tipa detektora gasova oslobodjenih sagorevanjem. Dobijena je linearna zavisnost jonizacione struje u funkciji gustine čestica. Slaganje kod ovih merenja je u granicama 7%, za koncentracije čestica $<10^7 cm^{-3}$. Homogenost koncentracije postignuta je u specijalnom kanalu u kome je strujanje vazduha (0.2± 0.04)m/s.

## Princip rada

Tendencija čestica aerosola da za sebe vežu jone vazduha, otkrio je Schweidler (1) još 1918 godine, što su kasnije koristili H.Siegmann i D. Hasnclever(2,3) za razvoj aparata za merenje i registrovanje prašine. Naime, ako u vazduhu imamo jedan konstantan izvor zračenja, naprimer alfa ili beta emiter, dolazi do formiranja"lakih" jona (kombinacija jonizovanih molekula vazduha sa neutralnim molekulima). Ukoliko se ovako formirani joni nadju u električnom polju dolazi do njihovog kretanja prema elektrodama. Pored ovoga postoji takodje i gubitak jona usled zapreminske rekombinacije kao i usled difuzije jona na česticama aerosola ukoliko ih ima u vazduhu. Difuzija jona na česticama aerosola dovodi do stvaranja "teških" jona koji su slabo pokretljivi. Formiranje "teških" jona zavisi od veličine čestica kao i od polariteta samih jona. Ova dva mehanizma, stvaranje i gubitak jona su u ravnoteži ukoliko se u slobodnoj zapremini formiranih sekundarnih jona ne pojave čestice aerosola koje deluju kao izolovane površine za difuziju sekundarnih jona oba polariteta umanjujući polje u zavisnosti od pokretljivosti pojedinih "teških" jona. Formiranje prostornog naelektrisanje usled prisustva"teških" jona, slabljenje polja kao i zapreminska rekombinacija, proporcio-

nalna kvadratu gustine jona, smanjuju struju merenu na elektrodama. Ova promena struje jonizacije uz dovoljno pojačanje može da služi kao mera za koncentraciju aerosola.

Aparatura

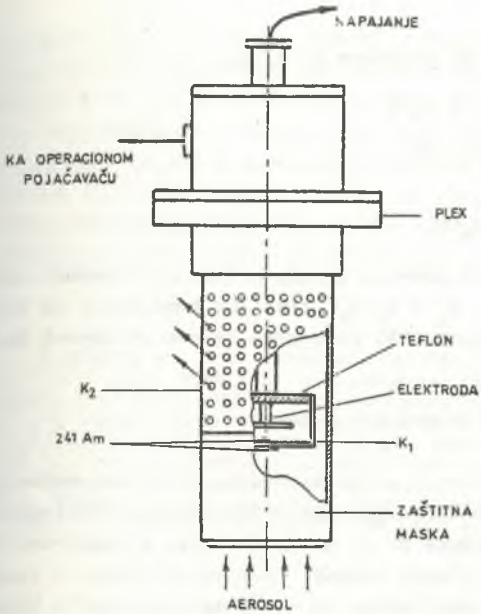
Merenje koncentracije čestica aerosola vrši se u specijalno konstruisanom kanalu (4) koji omogućava homogenu raspodelu čestica unutar celog kanala. Kanal je elipsoidnog oblika sa kružnom cirkulacijom vazduha (0.2±0.04) m/s. Unutar kanala postoji grejač sa termoparom koji održava konstantnu temperaturu. Filtriranje jona stvorenih u vazduhu vrši se sa dva specijalna sita suprotno polarisana (100-200 V).

Aerosol koji se koristi kod ovih merenja dobija se iz generatora ATI, TDA-4A koji obezbedjuje u pogledu reproduktivnosti čestice sledećih karakteristika: pravilne granulometrije, maksimalne veličine čestica 0.5-1 μm, koncentracije, pravilnog oblika i odredjene Bricard-ove konstante. Brzina porasta koncentracije čestica kod ovih merenja je približno $0.5.10^4$ $cm^{-3}s^{-1}$.

Za merenje koncentracije aerosola konstruisana je specijalna komora (Sl.1). Zatvorena komora $K_1$ služi kao konstantan izvor struje. Jačina struje kao i polaritet mogu se tačno podešavati prema zahtevima merenja (veličina čestica aerosola, koncentracija). Otvorena komora $K_2$ je zaštićena od jakog strujanja vazduha, usled čega bi se jonizaciona struja smanjila, zaštitnom maskom. U obe komore smešten je dugoživeći alfa emiter $^{241}Am$(1μCi i 10 μCi). Za strujno pojačanje korišćen je operacioni pojačavač. Promena struje usled prisustva čestica aerosola direktno se očitava na pisaču.

Odnos izmedju jonizacione struje i koncentracije čestica aerosola.

Da bi se odredila koncentracija čestica aerosola potrebno je naći relaciju izmedju jonizacione struje i koncentracije čestica. Ako jonizaciona komora radi u oblasti zasićenja (5) dobija se linearna veza izmedju logaritma odnosa struje bez prisus-




Slika 1.

tva čestica aerosola $I_o$ i struje I u prisustvu čestica i koncentracije čestica N(T $cm^{-3}$)

$$\ln\left(\frac{I_o}{I}\right) = C\ T_s\ R_s\ N \qquad (1)$$

gde je:

C - konstanta Bricarda

$T_s$- srednje vreme sakupljanja jona

$R_s$- prečnik čestica aerosola.

Vreme sakupljanja može se izračunati znajući geometriju komore i obrnuto je proporcionalno naponu na komori i pokretljivosti jona. Vrednost konstante Bricarda po Green-u i Lane-u(6) je $C=0.33 cm^2/s$.

Ako izraz (1) napišemo u obliku

$$I = I_o e^{-C T_s R_s N} \quad (2)$$

i razvijemo u red dobijamo

$$\frac{\Delta I}{I_o} = C T_s R_s N \quad (3)$$

tj. linearnu zavisnost promene struje u funkciji koncentracije $\Delta I = k. N$, gde je $k = I_o C T_s R_s$ približno konstantno za date uslove merenja. Na slici (2B) prikazana je ova zavisnost za razne vrednosti k.

Merenje koncentracije aerosola

Pored standardne merne komore(sl.1) za ova merenja koristile su se i proizvoljno odabrane diferencijalne jonizacione komore koje su sve podešene da za približno iste koncentracije aerosola daju odredjeni strujni impuls. Merenja su vršena u razmaku od 30 dana, vodeći pri tome računa da u obe serije merenja budu postavljeni isti uslovi. Na slici (2A) vidi se serija od šest uporednih merenja. Na ordinati očitavaju se direktno vrednosti jonizacione struje I, standardne merne komore, dok je na apscisi dato vreme porasta koncentracije. Početna vrednost struje $I_o=7.10^{-12}$A, odnosi se samo na prvo merenje kada u kanalu nije bilo čestica aerosola. Početne vrednosti ostalih pet merenja imale su struju $I_p<I_o$ zbog nedovoljne ventilacije izmedju pojedinih merenja. Na slici se vide šest paralelnih tragova(ravne linije) što je rezultat konstantnog povećanja koncentracije u svih šest merenja $0.5.10^4 cm^{-3}s^{-1}$.Testeraste linije odgovaraju diferencijalnoj jonizacionoj komori kod koje je podešen prag osetljivosti na tačno odredjenu koncentraciju. Vrednost praga može se lako izračunati iz preseka vertikalne linije (momenat aktiviranja) i odgovarajuće linije koja kontinuirano beleži koncentraciju aerosola u kanalu. Za dati slučaj dobijena vrednost iznosi $N = 2.82 (\pm 0.20) . 10^6 T/cm^3$.

Na slici (2B) prikazana je serija od četiri merenja koja je usledila nakon trideset dana. Za iste uslove dobijena je ista početna vrednost $I_o$, što znači da se ceo sistem vrlo stabilno

ponaša.Ovde se vrednosti praga pobude za četiri različite komore, od kojih svaka ima različitu vrednost za k, nalaze u okviru $\Delta N = 0.92\ (\pm\ 0.20).10^6 T/cm^2$. Na istom grafiku može da se vidi odstupanje od paralelnosti jedne linije koja direktno prati koncentraciju. Promena nagiba je posledica sporijeg povećanja koncentracije čestica aerosola. Dobijeni rezultati kod merenja deset proizvoljno odabranih diferencijalnih komora se dobro slažu sa vrednostima koje mogu da se nadju u izveštaju (7).

A simple model is developed to determine koncentration of aerosol particles from aerosol generator (semidispersion aerosol 0.5 to 1 $\mu$ radius). Precise measurement of particles concentration is very important for the determination of the threshold for ionization chamber smoke detector. Linear relation was found for ionization current in function of particles concentration. Agreement for six measurements is 7%, for particles concentration $< 10^7 cm^{-3}$. Homogenity of particles concentration was made in special channel, in which velocity of air flow was constant (0.2±0.04) m/s.

(1.) Schweidler, V. Wieuer Ber. Vol. 127,str. 953(1918)

(2.) Hasenclever, D. i Siegmann H. Staub Vol. 20, str. 212 (1960).

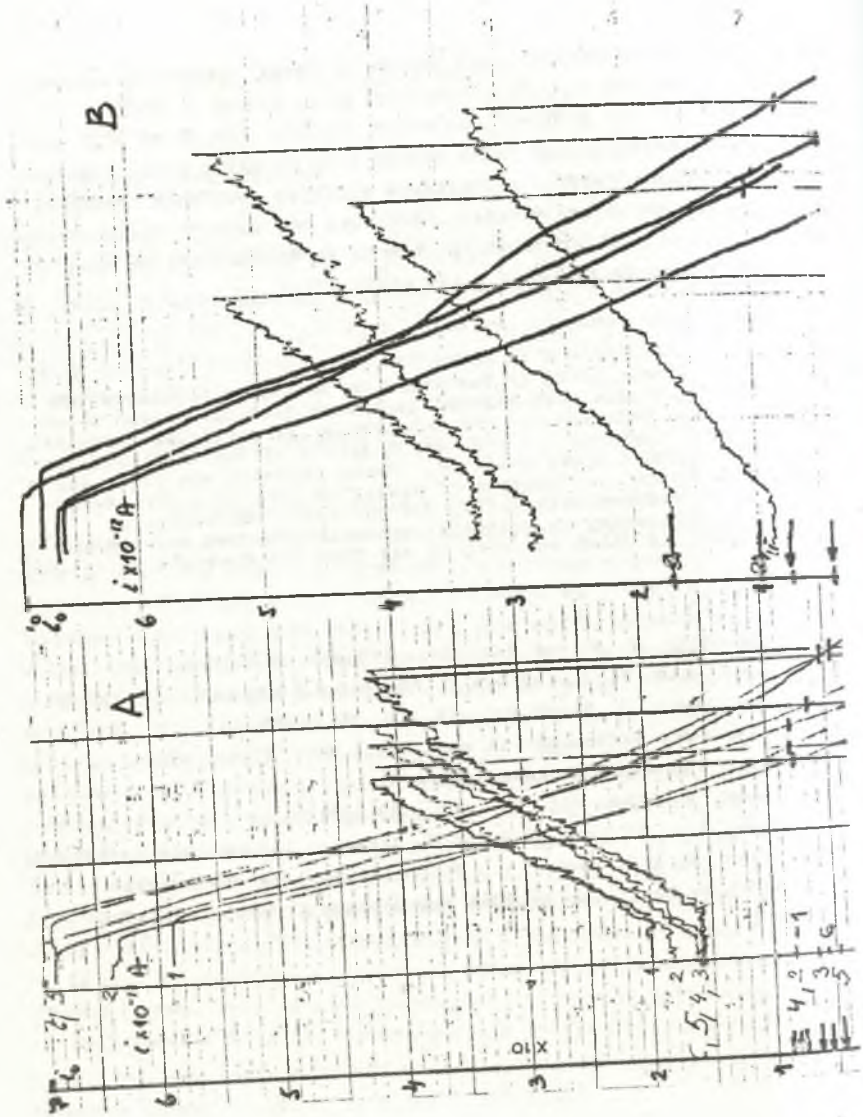
(3.) Hasenclever, D. Staub Vol. 19,str. 37 (1959).

(4.) Verband der Sadvericherer e.v. Köln, Richtlinicu für automatische Braudmeldeanlagen.

(5.) Coenen, W. Staub Vol. 23, str. 119 (1963).

(6.) Green, H.L. i Lane, W.R., F.N. Spon LTD,London, str. 371(1957).

(7.) Gilson, H. i Hosemann, R., Forschnngsbericht des Landes Nordrhein Westfalen Nr.2336 Westdeutscher Verlag, Opladen 1973.




Slika 2.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

A.M.Koturović, D.D.Damljanović, P.Kosić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

# DIGITALNI ALARMNI MONITOR ZRAČENJA MZ - D1

Rezime

Prikazano je jedno novo rešenje merno-alarmnog instrumenta za radioaktivno zračenje, zasnovano na korišćenju savremene tehnologije. Izloženi su principi koji su usvojeni za metodu merenja i organizaciju instrumenta. Instrument ima podešljiv alarmni nivo u granicama mernog opsega, koje su odredjene mogućnostima upotrebljenog GM brojača.

## U v o d

Savremena tehnologija u izradi elektronskih komponenata donela je takve rezultate koji svakog dana se manifestuju u obogaćivanju asortimana instrumenata sa instrumentima novih mogućnosti, novih karakteristika i osobina koje su nekada mogle biti samo predmet maštanja. Tome svakako najviše doprinosi stalni razvoj integrisanih kola, gde se preko velikih integrisanih kola dolazi do veoma složenih funkcija u neverovatno malom prostoru i sa veoma malom potrošnjom energije.

Instrument koji je razvijen, koristi upravo elemente nekih od tih novih dostignuća. Upotrebljena su tzv. MOS integrisana kola, pošto takve komponente dozvoljavaju da se za napon napajanja ne mora ostvariti velika stabilnost, njihov temperaturni radni opseg je širok a pouzdanost vrlo velika, Upotreba digitalnih integrisanih kola omogućila je da se realizuje zamisao da se napravi digitalni instrument za merenje zračenja i on predstavlja jedan od koraka u digitalizaciji instrumentacije za zaštitu od zračenja. Povoljne karakteristike integrisanih kola upravo su i sugerirale da se sa njima napravi instrument za kontinualni nadzor - monitor radioaktivno-

sti ambijenta i kontaminacije.

Pogodnosti ili nedostaci digitalne instrumentacije za primenu u sistemima za zaštitu od zračenja trebali bi da budu predmet posebnih razmatranja, medjutim, ovde će se naglasiti da i ovaj instrument ima pogodnosti koje pruža digitalna instrumentacija: jednostavno i sigurno tačno očitavanje rezultata merenja, veoma siguran i pouzdan rad instrumenta, ne postojanje potrebe za povremenim podešavanjem i kalibracijom itd.

Upotreba velikog integrisanog kola za osnovnu funkciju u instrumentu dozvolila je da se u malom prostoru dobiju sve mogućnosti koje su za instrument ove vrste potrebne: jednostavno i brzo podešavanje alarmnog nivoa, sistem zvučnog alarma kada merena vrednost predje unapred zadati nivo, zvučna indikacija dolazećih impulsa iz detektora itd.

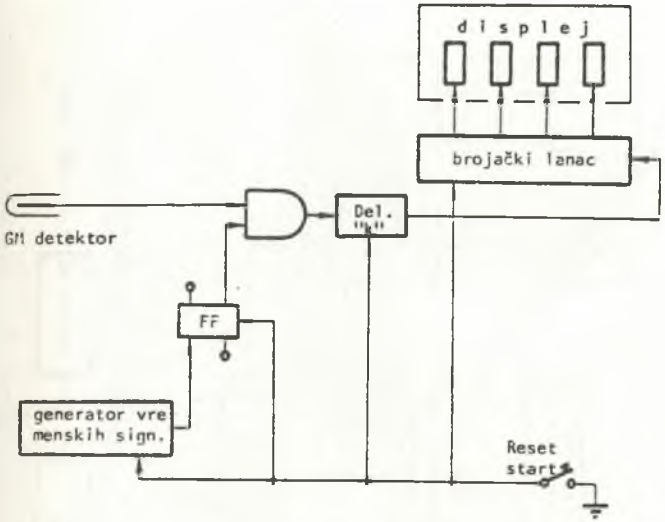
## Osnovni principi korišćeni u instrumentu

Na sl.1, data je šema osnovnog principa na kome bazira struktura razvijenog instrumenta (1,2). Kao detektor koristi se GM brojač koji daje broj impulsa srazmeran nivou zračenja, tj. iz detektora se dobija K imp/sec/mR/h ili K imp/sec/R/h, zavisno od osetljivosti detektora.

Pomoću generatora vremenskih impulsa može se merenje vršiti u toku odredjenog intervala, na primer, za vreme 1 s i tada će povorka impulsa koja će prethodno biti deljena deliteljem modula "K" biti akumulirana u brojački lanac i njegova sadržina prikazana na displeju, na kraju merenja označavaće nivo zračenja.

Jasno je da će tačnost očitanog rezultata zavisiti od broja pridošlih impulsa, pa bi se za veću tačnost merenje moralo obavljati duže, na primer, 10 s.

Mogućnost da se izbor vremena merenja vrši proizvoljno podešavanjem generatora vremenskih signala omogućava da se izbegne složeniji delitelj modula "K" pa da se uvodi delitelj modula "10", ili da se direktno ide sa impulsima iz detektora u brojački lanac, a da se rezultat koji se dobija na kraju perioda merenja dobija u željenim jedinicama. Izborom vremena merenja, dakle, može se jednostavno odrediti i minimalna tačnost datog tipa instrumenta. Jasno je da zahtev povećane tačnosti utiče na to da se produžava vreme merenja.



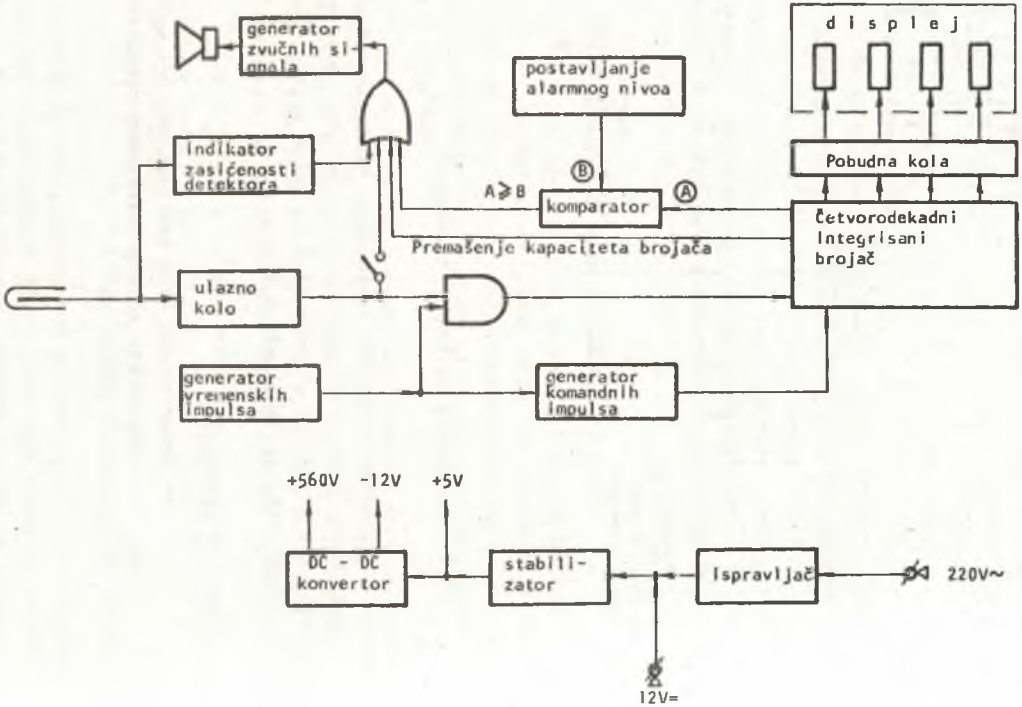

Sl.1. Principijelna šema instrumenta

Medjutim, i pored onoga što bi se moglo smatrati nedostatkom ovaj princip merenja je veoma pogodan pošto koristi veoma jednostavnu strukturu a daje tačnost koja je i na nižim vrednostima već zadovoljavajuća, što se lako može uočiti.

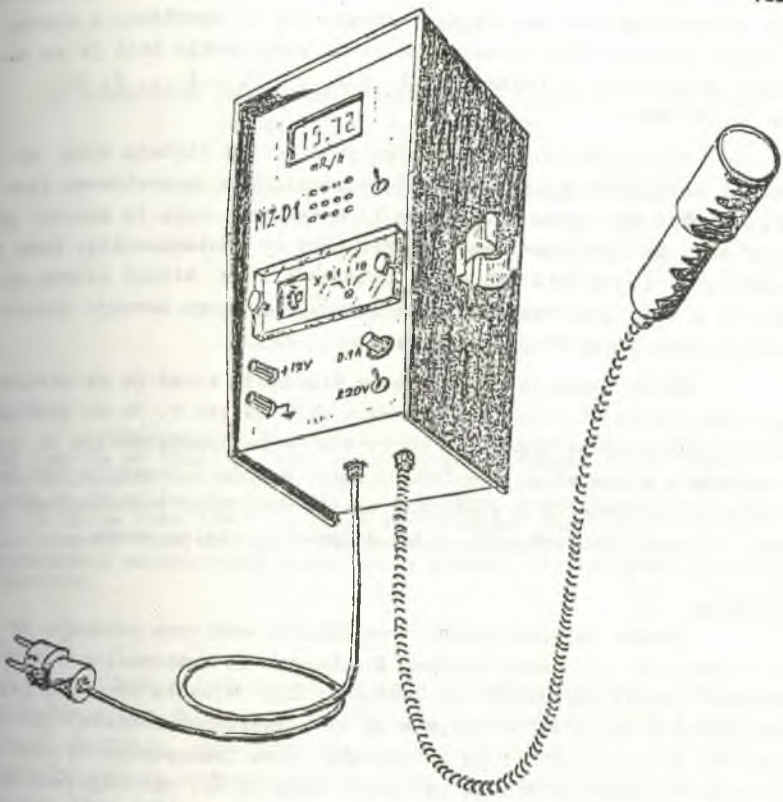
Funkcionalna šema instrumenta

Na sl.2 data je funkcionalna šema instrumenta. Ona dozvoljava da se sagledaju sve mogućnosti kojima instrument raspolaže i metode kojima su te mogućnosti ostvarene.

Kako se vidi, funkcionalna šema sadrži princip merenja dat na sl.1. Dodatni elementi dozvoljavaju da se pre svega preko indikatora zasićenosti detektora obezbedi siguran rad monitora i van gornje granice predvidjene za normalan rad upotrebljenog detektora jer se tada dobija signal alarma, bez obzira na koji nivo zračenja je postavljen sistem alarmnog nivoa samog instrumenta. Postavljanje alarmnog nivoa na kome će monitor davati znak opasnosti vrši se u




Sl. 2. Funkcionalna blok šema




Sl. 3. MONITOR MZ-D1
realizovan kao stacionarni viseći
instrument

slučaju digitalnog instrumenta, kao što je i ovaj, veoma jednostavno, numeričkim biračem. Sistem komparatora je uprošćen, i sveden na minimalnu strukturu usvajanjem nivoa komparacije koji je sa dekadnim skokovima: na primer,: 0.1, 0,2... 0.9, 1.2 ... 9, 10, 20, ... 90 mR/h.

Zvučni signal alarma pojavljuje se i u slučaju kada se premaši kapacitet upotrebljenog četvorodekadnog integrisanog brojača. Zbučna registracija impulsa iz detektora, koja je posebno pogodna kada se instrument koristi kao monitor kontaminacije, može se jednostavno isključiti ako unosi neželjenu buku. Signal alarma ne može se u radu instrumenta uopšte isključivati, on nestaje jedino sa nestankom njegovog prouzrokovanja.

Treba zapaziti da je sistem napajanja takav da se instrument može napajati bilo iz mreže napajanja od 220 V, 50 Hz bilo iz izvora jednosmernog napona od 12 V, što je najjednostavnije da bude akumulator, ali u slučaju nužde to mogu da budu i baterije jer je potrošnja instrumenta u granicama do 100 mA. Izvor jednosmernog napona, kao pomoćni, može svo vreme da bude paralelno vezan.

## Zaključak

Iznete karakteristike i mogućnosti monitora pokazuju da je to jednostavan ali veoma pogodan instrument za kontinualnu kontrolu radioaktivnosti ambijenta ili kontaminacije. Njegova izvedba, prikazana crtežom na sl.3, dozvoljava da se jednostavno montira, ili postavi na pogodno mesto i da po potrebi veoma jednostavno od monitora zračenja u ambijentu u kome se nalazi može da se, zahvaljujući pokretnoj sondi na elastičnom kablu u kojoj je detektor, koristi kao monitor kontaminacije površina.

## Summary

The new solution for digital gamma radiation alarm monitor, realized with modern tecnology, is presented. The principles, adopted for the measuring method and instruments structure, are given. The alarm level can be preset in the measuring range defined by the possibilities of GM tube used as detector.

## Literatura

1. GAUTHIER,G. Ictometre numerique automatique a "precision constante" et correction de temps mort, Rapport CEA-R-4769,Saclay, 1976.
2. SINCLAIR,K.F., HEIMAN,W.J.: Subminiature Digital Ratemeter and Dosimeter using MOS Technology,Health Phisics,v.27,1974,pp.97-102.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Mr Dragoljub D.Damljanović, dipl.inž.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

# INDIKATOR ZRAČENJA SA KVAZIPERIODIČNIM ZVUČNIM SIGNALOM - STRAŽAR - 3

Rezime

Prikazuje se rešenje indikatora zračenja koje se zasniva na tome da se koristi svaki n-ti impuls iz detektora za pobudu zbučnika. Dobijeni zvučni signal je sličan periodičnom a učestanost mu je srazmerna intenzitetu zračenja. Zahvaljujući tome moguće je da se uhom izvrši procena intenziteta. Instrument može neprestano da bude uključen više meseci sa istim baterijama. To je postignuto zahvaljujući specijalnoj koncepciji i primeni CMOS komponenata.

## U v o d

Ideju o indikatoru zračenja sa kvaziperiodičnim zvučnim signalom autor je objavio prvi put na konferenciji ETAN-a 1974. godine[1]. Medjutim, praktično rešenje koje je tada bilo predloženo imalo je izvesne nedostatke te taj uredjaj, mada realizovan kao prototip, nije doživeo proizvodnju. Sada se predlaže rešenje bazirano na istoj osnovnoj ideji ali znatno boljih performansi. Ono sadrži neka kola koje ranije rešenje nije imalo a ona koja su tamo već bila sada su poboljšana i osavremenjena uvodjenjem CMOS komponenata.

Osnovna ideja na kojoj bazira ovaj indikator zračenja se sastoji u tome da se zvučnik pobudjuje svakim n-tim impulsom iz detektora a ne svakim kao što je to uobičajeno. Ako se zvučnik pobudjuje svakim impulsom dobija se aperiodična povorka impulsa koja se pri većem zračenju sliva u šum. Na osnovu ovakvog zvučnog signala čovek ne može lako da razlikuje razne intenzitete zračenja. Ukoliko se zvučnik ne pobudjuje svakim impulsom iz detektora već tek svakim n-tim dobijena povorka impulsa podseća na periodičnu povorku a čovek mnogo lakše razlikuje razne intenzitete zračenja. Ukoliko je

taj faktor deljenja n veći utoliko je dobijeni signal bliži periodičnom.

Ako se radi o zvučnim impulsima koji se približno periodično ponavljaju uho može da prati ovakav signal u opsegu od oko pet redova veličine. Recimo impulsi se mogu ponavljati jedan na svakih deset sekundi a mogu i 10.000 u jednoj sekundi. Zahvaljujući tome korišćenjem ovakvog instrumenta čovek može sluhom da procenjuje intenzitet zračenja u opsegu od pet dekada. Ako recimo fonu od 10 μR/h odgovara jedan impuls na deset sekundi onda bi se pri 10.000 imp/s radilo o zračenju od 1 R/h. Naravno treba izabrati odgovarajući detektor i moduo deljenja.

Ovde će biti prikazane blok šema i detaljna šema indikatora sa opisom pojedinih blokova bez ulaženja u detalje u vezi funkcionisanja pojedinih elektronskih kola.

Blok šema indikatora

Blok šema ovog instrumenta prikazana je na sl.1. Ona sadrži sedam celina:

- detektor sa radnim otpornikom; u našem slučaju to je GM brojač ali može biti i neki drugi impulsni detektor;
- štedno kolo za stvaranje visokog napona za napajanje detektora. Zove se štedno zato što radi sa minimalnom potrošnjom baterija, što je postignuto zahvaljujući specijalnoj koncepciji;
- ulazno kolo sa pomoćnim oscilatorom;
- generator veštačkog fona;
- ILI kolo za pobudu štednog kola;
- delitelj impulsa;
- kolo zvučne indikacije.

Štedno kolo za stvaranje visokog napona je razvijeno ranije u vezi malog džepnog indikatora zračenja MLZ-3. Ono je dovoljno objašnjeno u jednom drugom članku[2]. Ovde ćemo reći samo toliko da se visoki napon stvara bez kontinualnog rada nekog konverora kako je to inače uobičajeno. Detektor se napaja iz jednog kondenzatora koji se dopunjava pod uticajem impulsa iz detektora. Što je zračenje veće detektor više prazni kondenzator ali se češće vrši i dopunjavanje tako da se visoki napon održava.

U uslovima kada je zračenje vrlo malo impulsi iz detektora su vrlo retki te se vrlo retko vrši dopunjavanje kondenzatora. Po-

trošnja iz baterija je tada vrlo mala. Medjutim, pored pražnjenja kondenzatora kroz detektor postoji pražnjenje i kroz druge odvodnosti recimo kroz ispravljačku diodu. Pošto je dopunjavanje retko može se desiti da visoki napon opadne ispod dozvoljene granice te da se instrument ugasi. Da bi se ovo sprečilo uvedeno je jedno pomoćno kolo koje je nazvano generator veštačkog fona. To kolo proizvodi impulse dovoljno retke tako da se potrošnja baterija neznatno povećava ali ipak dovoljne učestanosti da se obezbedi stalno dopunjavanje kondenzatora te da se visoki napon održava tako da detektor u svakom trenutku može da detektuje pojavu zračenja.

Štedno kolo se dakle pobudjuje bilo impulsima iz detektora bilo iz generatora veštačkog fona. U tu svrhu je i uvedeno ILI kolo. Ono na svome izlazu daje impuls pod uticajem impulsa bilo iz detektora bilo iz generatora veštačkog fona. Ovim impulsom se pobudjuje štedno kolo.

Delitelj impulsa se pobudjuje iz ulaznog kola a na svome izlazu daje po jedan impuls na svakih n impulsa na ulazu. Predvidjena je mogućnost izbora modula deljenja izmedju 10 i 90 u skokovima po 10. Za dati GM brojač se izabere odgovarajući moduo deljenja tako da se pri zračenju koje je blisko onome pri kome se brojač zagušuje generiše zvuk koji se jasno može čuti. To može biti zvuk učestanosti izmedju 1.000 Hz i 3.000 Hz. Detektor se bira prema opsegu koji treba da se pokrije.

Kada je zračenje vrlo veliko moglo bi se desiti da se impulsi iz GM brojača sliju u jednu jednosmernu struju te da isčeznu kao impulsi tako da izčezne i zvuk. Da bi se to sprečilo ulazno kolo je malo prošireno sa jednim pomoćnim oscilatorom. U slučaju da GM brojač počne da se zagušuje stupa u dejstvo ovaj oscilator i on nastavlja da generiše impulse te se zvučni signal održava. Učestanost oscilatora se podešava tako da se pri datom modulu deljenja dobije zvučni signal pogodne učestanosti.

Kolo zvučne indikacije ima za zadatak da pobudjeno impulsom iz delitelja generiše impuls pogodne širine za pobudu zvučnika. Ako se na primer, želi da maksimalna frekvencija bude 2 KHz širina impulsa za pobudu zvučnika može da bude 0,25 mS.

## Detaljna električna šema

Na slici 2. prikazana je detaljna električna šema razvijena

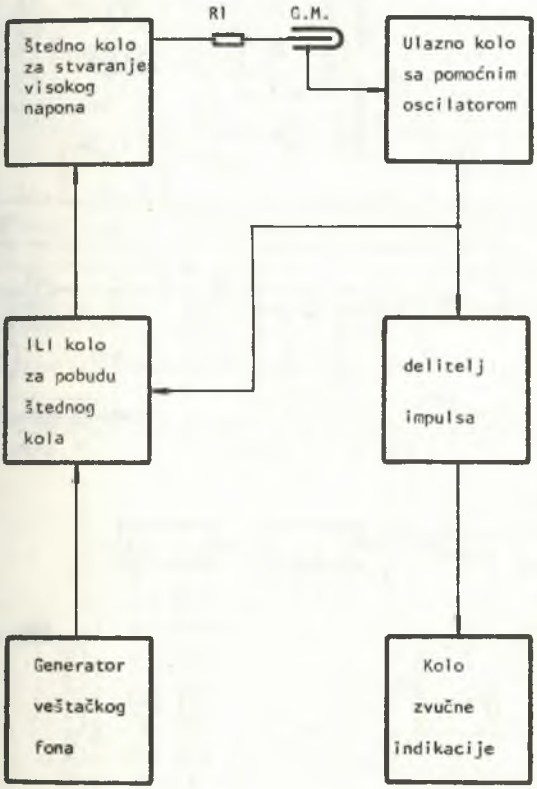
na osnovu blok šeme sa sl.1. Ona sadrži i jedan blok koji nije prikazan blok šemom. On nije od osnovnog značaja za instrument ali ima svoju ulogu. To je kolo optičke indikacije. LED dioda proizvodi po jedan svetlosni impuls za svaki impuls iz detektora pri fonu i pri nižem zračenju. Pri velikom zračenju dioda svetli kontinualno. Ostala kola funkcionišu u skladu sa objašnjenjem datim u vezi blok šeme.

Merena je potrošnja struje iz baterija zavisno od intenziteta zračenja. Pri normalnom fonu ona je bila oko 20 μA a pri zračenju koje skoro zagušuje brojač bila je oko 50 mA. To znači da u normalnim uslovima, kad nema povišenog zračenja iznad prirodnog, ovaj instrument sa baterijama od 2 Ah može da neprestano radi 2 Ah : 20 μA = 100 000 časova. Da nije spontanog propadanja baterija jedne baterije bi mogle da služe više godina. Zato za mesta gde ovakav instrument treba da bude neprestano uključen treba obezbediti kvalitetne baterije. Instrument će biti u svakom trenutku spreman da indicira pojavu radioaktivnog zračenja. Ako ne dolazi do pojave zračenja baterije treba sistematski menjati u pravilnim vremenskim razmacima recimo na svakih šest meseci a ako se zračenje pojavljuje onda i češće stim da se s vremena na vreme vrši i njihova provera.

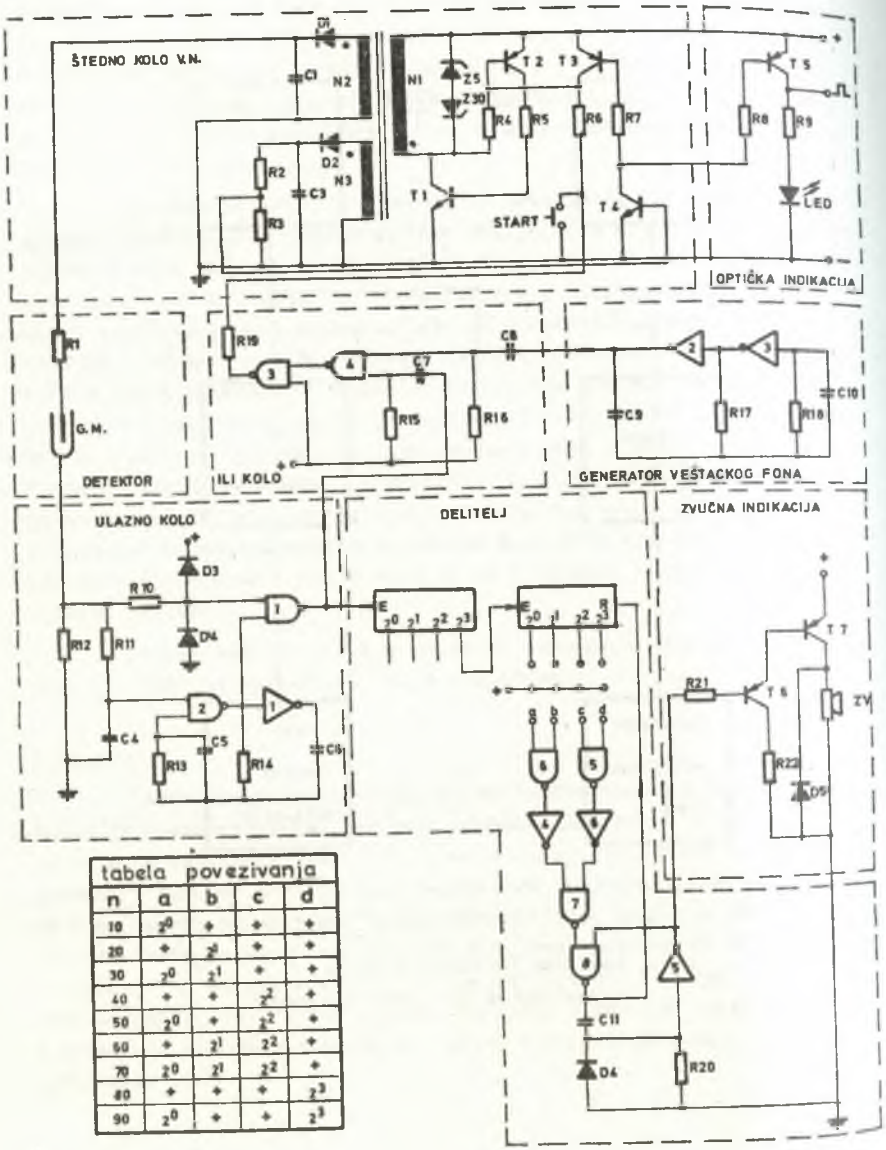
Autor želi da istakne doprinos tehničara Djanter Karla koji je radio na realizaciji ovog instrumenta.

## Zaključak

Nova varijanta instrumenta za indikaciju radioaktivnog zračenja kvaziperiodičnim zvučnim signalom ima takve performanse da se može pristupiti serijskoj proizvodnji. Instrument ima malu potrošnju tako da može da bude neprestano uključen tokom više meseci sa jednim baterijama. Opseg radioaktivnog zračenja koji se može indicirati se može izabrati izborom odgovarajućeg GM brojača. Pogodan je da se postavi u svakoj prostoriji gde bi moglo da se pojavi zračenje, kao recimo u laboratorijama u okolini jakih izvora i reaktora, na odgovarajućim mestima u specijalizovanim medicinskim ustanovama itd.




Sl. 1. Blok šema indikatora zračenja sa kvaziperiodičnim zvučnim signalom.




| tabela povezivanja | | | | |
|---|---|---|---|---|
| n | a | b | c | d |
| 10 | $2^0$ | + | + | + |
| 20 | + | $2^1$ | + | + |
| 30 | $2^0$ | $2^1$ | + | + |
| 40 | + | + | $2^2$ | + |
| 50 | $2^0$ | + | $2^2$ | + |
| 60 | + | $2^1$ | $2^2$ | + |
| 70 | $2^0$ | $2^1$ | $2^2$ | + |
| 80 | + | + | + | $2^3$ |
| 90 | $2^0$ | + | + | $2^3$ |

SL. 2 STRAŽAR-3
DETALJNA ŠEMA

Summary

A radioactive radiation indicator uses each n-th pulse from detector for a speaker excitation is described. The obtained audio-signal seems to a periodical one having frequency proportional with the radiation intensity. This fact makes it possible to estimate the intensity by ear. The instrument may be ON several months with one battery pack. This is achieved by using a special electronic circuit diagram and CMOS technology.

Reference

1. Damljanović D.D.: "Uredjaj za indikaciju radioaktivnog zračenja kvaziperiodičnim zvučnim signalom" XVIII jugoslovenska konferencija ETAN-a, Ulcinj, 3-6 juna 1974., str. 318.

2. Damljanović D.D.: "Micropower radioactive radiation detector", Electronic Engineering, May 1976, p.17.

3. Motorola Semiconductors, McMOS Handbook, 1973, pp.8.22-8.26.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI. 1977.

Dr A.M.Koturović, dipl.inž.
Mr D.D.Damljanović,dipl.inž.
A.D.Milošević, tehn.

Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# DIGITALNI MERAČ ZRAČENČJA ZA ŠKOLSKU UPOTREBU - DIGITIN

Rezime

Iznosi se koncepcija realizovanog instrumenta koji treba pre svega da posluži u nastavi za demonstraciju karakteristika radioaktivnih izvora i radioaktivne kontaminacije. Medjutim, isti instrument se može primeniti i za prava merenja kontaminacije uzoraka i površina. Može se koristiti i u laboratoriji i na terenu jer se može napajati sa 220 V ili iz akumulatora od 12 V.

## U v o d

Postoji raznovrsna instrumentacija za merenje radioaktivnog zračenja. Razvijani su instrumenti za razne vrste zračenja i za razne vrste merenja od najjednostavnijih indikatora do analizatora. Medjutim, dobar deo tih instrumenata je nedostupan širem krugu korisnika bilo zbog cene bilo zbog potrebnog nivoa znanja za njihovo korišćenje da ne razmatramo realnost potrebe za takvim instrumentima. U ovom radu se prikazuje jedan instrument koji je namenjen širem krugu korisnika za šta je prilagodjen i svojim mogućnostima a takodje i cenom.

Ovakvi pokušaji za "popularizacijom" instrumenata za merenje radioaktivnog zračenja su činjeni i ranije [1-4] a sada se predlaže rešenje koje ima neke svoje specifičnosti.

## Koncepcija instrumenta

"Digitin" je digitalni instrument koji broji i indicira zvučnim signalima impulse koje dobije iz Gajgerovog brojača. Njegova blok šema je prikazana na sl.1. Impulsi iz GM brojača se

uobličavaju i dovode na ulaz četvorodekadnog integrisanog brojača gde se broje a zatim dobijeni broj prikazuje na displeju.

Integrisani brojač spada u tzv. kola velike integracije koja čine najnoviji prodor na planu elektronskih komponenata. Displej takođje predstavlja veoma savremenu komponentu ove vrste i sačinjen je na bazi korišćenja galijum- arsenidnih svetlećih dioda.

Impulsi iz detektora se dovode i na kolo za pobudu zvučnika gde se uobličavaju i pojačavaju. Ovo kolo se može isključiti zato predvidjenim prekidačem bilo radi uštede energije bilo radi isključivanja zvučnih impulsa koji nekad nisu poželjni. I kod displeja je predvidjena mogućnost isključivanja ali ovde samo radi uštede energije.

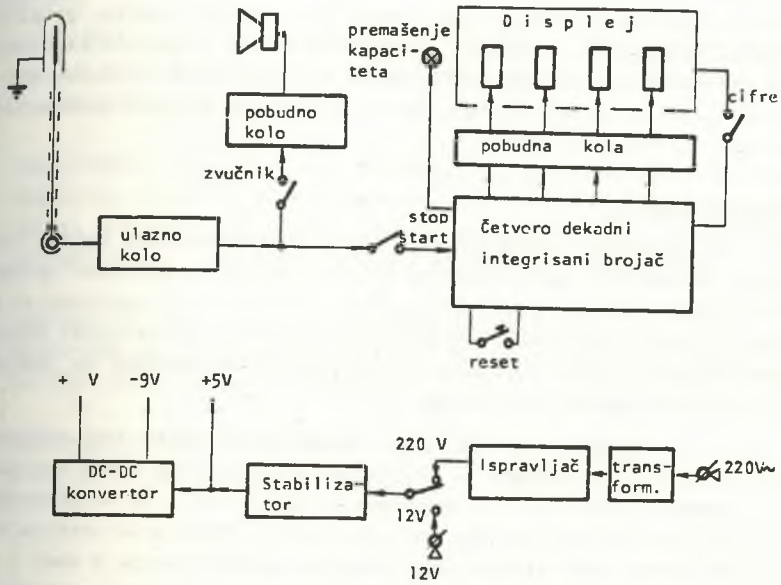
Gajgerov brojač se napaja iz jednog jednostavnog DC-DC kovertora čija se stabilnost zasniva na stabilnosti ulaznog napona. Ovaj ulazni napon iznosi 5 V a dobija se preko integrisanog stabilizatora koji na ulazu može da podnosi nestabilan napon od 8 V do 14 V. Ovaj jednosmerni napon se dobija ili iz akumulatora odnosno baterija ili iz mrežnog ispravljača.

DC-DC konvertor proizvodi i negativni napon potreban za pomenuto veliko integrisano kolo.

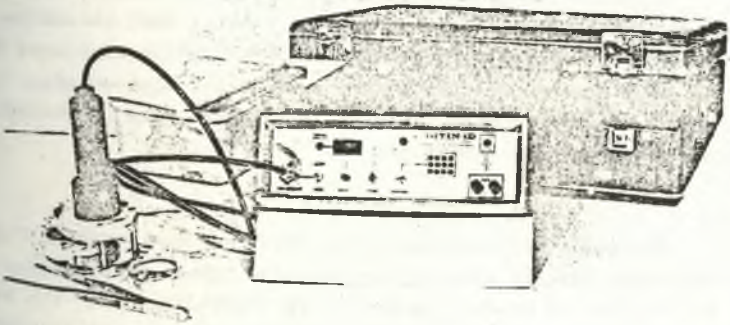
Kada se instrument uključi u rad pali se lampica, LED dioda, koja incidira da je instrument u radu. Pored ove diode postoji još jedna svetleća dioda koja se upali čim se mrežni kabl uključi na 220 V. Prekidač za uključivanje instrumenta u rad funkcioniše tako što uključujeili dovod napona sa mrežnog ispravljača ili za akumulatora. Pretpostavlja se da nikada oba napona neće biti prisutna te je pri jedhom položaju prekidača instrument uvek isključen. Medjutim, iako bi se desilo da istovremeno budu priključena oba izvora napajanja ne postoji opasnost od oštećenja uredjaja. Jedino što bi se desilo to je da bi on radio pri oba položaja prekidača za uključenje.

Spoljašnji izgled instrumenta

Fotografija digitina je prikazana na sl.2. Ovde je on prikazan u okviru jednog kompleta koji se zove LARA-1D. Vidi se da na prednjoj ploči nema mnogo komandi niti priključaka. Sadržaj brojačkog kola se briše pritiskom na taster "reset" a zvučnik i displej se isključuju sa po jednim prekidačem. Pored displeja postoji LED




Sl.1. Blok šema digitalnog merača zračenja DIGITIN



Sl.2. Izgled kompleta LARA-1D kome je digitin osnovni deo

dioda koja se pali u slučaju da broj impulsa premaši kapacitet displeja odnosno brojačkog kola. Desno je otvor za zvučnik, priključak za akumulator, prekidač mreža-akumulator i indikatorska dioda za 220 V. Na sredini prednje ploče se nalazi LED dioda koja indicira da je instrument u radu. Dovod impulsa se prekida odnosno dozvoljava prekidačem "start".

Komplet LARA-1D

LARA-1D je komplet koji kao glavni instrument sadrži Digitin. Pored toga predvidjen je osnovni pribor za pripremu uzoraka čija radioaktivnost treba da se meri, izvestan broj posudica za merenje, stalak za postavljanje uzorka i sonde u odgovarajući medjusobni položaj i nešto potrošnog materijala. Ceo komplet se pakuje u ručnu torbu pogodnu za nošenje.

U školama, u fizičkim kabinetima, ovaj instrument odnosno komplet, može da posluži da se učenici na očigledan način upoznaju sa osnovnim osobinama radioaktivnog zračenja ali i da se osposobe da u odredjenim okolnostima mogu da izvrše elementarna merenja kojima će barem moći da ustanove prisustvo kontaminacije u vodi i hrani itd., te da se tako spreči unošenje radioaktivnih izotopa u organizam. Kao komponenta sistema za zaštitu od zračenja ovaj komplet može da odigra značajnu ulogu jer je jednostavan i relativno jeftin i kao takav može da bude masovan.

Zaključak

Prikazani instrument "digitin" i komplet LARA-1D čiji je on deo, predstavljaju sredstvo namenjeno za širi krug korisnika. Mogu se koristiti u školskoj nastavi, za upoznavanje slušalaca sa osnovnim osobinama radioaktivnog zračenja, ali i šire od toga. U odredjenim uslovima on može poslužiti i za prava merenja ukoliko se ne raspolaže drugim sredstvima.

Summary

The described instrument "DIGITIN" and the assembly "LARA-1D" including it, are intended for a large number of customers. Thay may be used in school leactures, for familliarizing with basic characteristics of radioactive radiation, but for other purposes too. Under certain circumpstances thay may be applied for the real measurements if another instruments are not availabe.

Reference

1. DAMLJANOVIĆ D.D. "Minijaturni lovac zračenja" IV jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, Baško Polje 2-30 maja 1969. strana 389-392.

2. DAMLJANOVIĆ D.D., KOVAČ B., DJANTAR K., "Direction and intensity radiation monitor", Second European congress on radiation protection, Budapest 1972, proc. "Health physics problems of internal contamination", Hungarian academy of sciences, pp.639-643.

3. DAMLJANOVIĆ D.D. "Uredjaj za indikaciju radioaktivnog zračenja kvazi-periodičnim zvučnim signalom" Konferencija ETAN, Ulcinj 3-6.jun 1974. zbornik, str. 318.

4. DAMLJANOVIĆ D.D. "Radioactive radiation "degre-meter"", članak primljen za publikovanje u časopisu "Health Phisics".

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

A.M.Koturović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

# KALKULATORSKI ELEMENT U INSTRUMENTACIJI ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

## REZIME

Izlažu se osnovne karakteristike i mogućnosti kalkulatorskog elementa u obliku integrisanog kola. Iznose se mogući principi primene takvog elementa u instrumentaciji za zaštitu od zračenja. Razmatraju se mogućnosti i ograničenja u primeni takvog elementa u instrumentaciji za zaštitu od zračenja:ocenjuju se kvalitetne promene u instrumentaciji koje mogu da nastanu njihovom primenom.

## UVOD

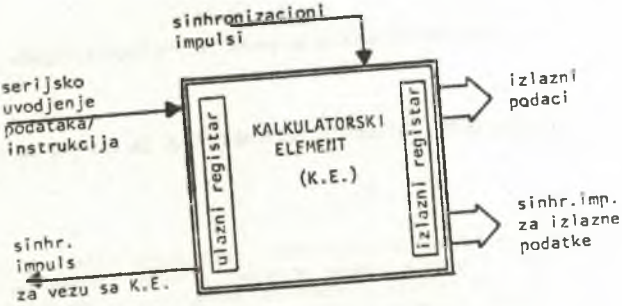
Od 1967. god. kada je patentiran prvi model kalkulatorskog sklopa sa četiri funkcije, integrisan u jedno integrisano kolo (1), elementi takvog tipa veoma su evoluirali u svakom smislu. Postignuta su velika tehnološka poboljšanja, cena je opala, njihova masovnost u primeni je prešla sve očekivane granice - nebrojeni ručni kalkulatori sa njima su napravljeni, a uneti su i kao sastavni deo mnogih instrumenata. Složenost i raznovrsnost njihove strukture sada je takva da se ne može definisati jedinstveni princip koji bi prikazao sva rešenja. Ipak za tipičan kalkulatorski element može se reći da je to ustvari mikroprocesor koji ima ugradjen mikro program kojim obavlja aritmetičke funkcije. Prema tome, za jednostavno numeričko izračunavanje nije potrebno boriti se sa svim problemima koje upotreba mikroprocesora donosi. Takav element ćemo mi posmatrati: upoznati njegove osnovne mogućnosti a zatim i primenu tog elementa u instrumentaciji za zaštitu od zračenja, pokušavajući da naznačimo nešto od toga što bi njegova primena mogla doneti.

## KALKULATORSKI ELEMENT I NJEGOVA UPOTREBA

Iz mnoštva na tržištu postojećih kalkulatorskih elemenata za naredna razmatranja vezaćemo se za jedan odredjen: to je TMC0117 NC Texas Instrument.

Za razliku od većine drugih, ovaj 10-to cifarski kalkulatorski element radi sa BCD kodom kako kod ulaznih podataka tako i kod izlaznih. Osim toga ovaj tip je već našao niz primena u instrumentaciji.

Sl.1 prikazuje veoma pojednostavljeno posmatrani element, a Tabela I sadrži neke od instrukcija - funkcija koje se ovim kalkulatorskim elementom mogu ostvariti.




Sl.1

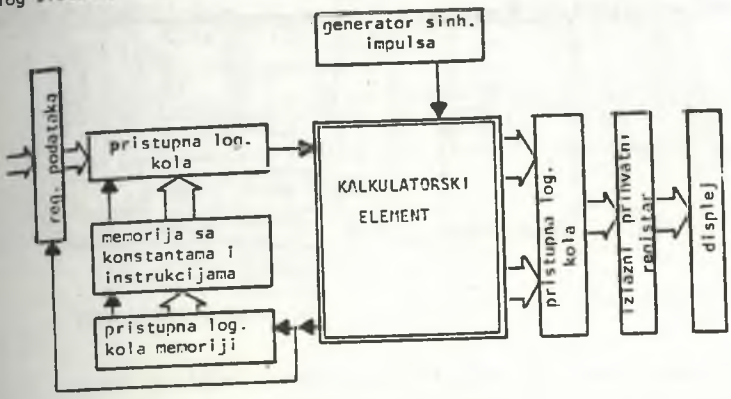
TABELA I

| | |
|---|---|
| Pomnožiti | Množi se sadržina izlaznog registra (multiplikand) sa poslednjim unetim podatkom (multiplikator) i rezultat se unosi u izlazni registar |
| Podeliti | Deli se sadržina izlaznog registra sa poslednjim unetim podatkom i rezultat se unosi u izlazni registar |
| Sabrati | Dodati poslednji uneti podatak sadržini izlaznog registra |
| Oduzeti | Oduzima se poslednji uneti podatak od sadržine izlaznog registra |
| Pomeraj levo | Pomera se sadržina izlaznog registra za jedno mesto prema cifri najvećeg značaja |
| Jednakost | Čini da ostvaruje zadata instrukcija |
| itd... | |

Da bi se kalkulatorski element upotrebio, da bi se u njega uneli potrebni podaci, instrukcije, dobili rezultati i upravljalo njegovim radom, potrebna su dodatna kola. Globalan prikaz dodatnih kola i kalkulatorskog elementa u sklopu koji bi mogao da bude potreban za primenu kalkulatorskog elementa u instrumentaciji, dat je na sl.2.

Pristupna logička kola kalkulatorskom elementu omogućavaju da se

podaci iz registra podataka ili podaci, tj. instrukcije iz memorije unose u kalkulatorski element. Memorija sadrži potrebne stalne podatke - konstante, instrukcije za potrebne operacije, a sve se to u memoriju upisuje pri formiranju celog sistema, kada se znaju detalji njegove namena i funkcionisanja.



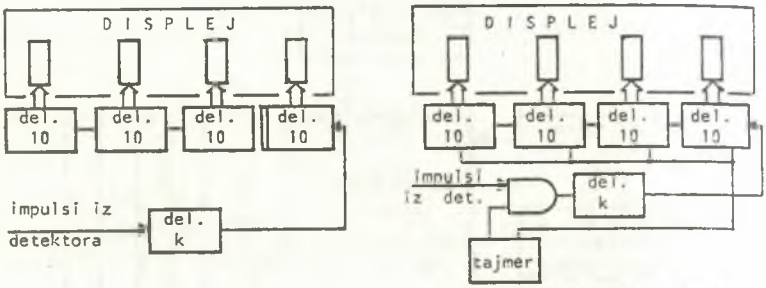

Sl.2

Generator sinhronizacionih impulsa čini bitan deo sklopa, pošto sinhronizuje rad njegov i pokreće pojedine korake u funkcionisanju njegovom. Preko odgovarajućih pristupnih kola unose se podaci u kalkulatorski element, definiše sektor memorije koji se u pojedinim epizodama rada koristi, i dobijaju rezultati iz kalkulatorskog elementa koji se zatim preko pogodnog sistema displeja prezentiraju korisniku.

Da bismo tretman ograničili na obim koji se može smatrati razumnim, moramo posmatrati u dozimetarskoj instrumentaciji jednu odredjenu familiju instrumenata iz skupa svih instrumenata gde bi primena kalkulatorskih elemenata mogla da nadje primenu. To će biti digitalni instrumenti za merenje integralne doze i za merenje brzine doze. Posmatraćemo odredjen tip instrumenata te vrste: informacija o nivou zračenja dobija se u vidu povorke impulsa čija gustina je srazmerna tome nivou. Pri tome nije za naše razmatranje bitno, da li se ti impulsi dobijaju iz detektora koji su toga tipa da im je izlazni signal takav, kao napr. GM-cevi, ili su to impulsi dobijeni digitalizacijom kontinualnog signala, kao napr. iz jonizacione komore.

Blok šeme instrumenata koji nas interesuju, a koje su u upotrebi i poznate, prikazane su na sl.3 (2). Da bi se dobio cifarski rezultat u jedinicama izabranim za veličinu koja se meri, pošto izmedju broja impulsa u jedinici vremena i nivoa zračenja i postoji veza data kao karakteristika detektora u

vidu broja k impulsa u jedinici vremena po jedinici brzine doze(napr. k imp/sec/mR/h), mora se pre uvodjenja impulsa u sistem displeja, izvršiti deoba pridolazećih impulsa deliteljem sa faktorom deljenja jednakim k ili njegovom umnošku, kako je to i na pokazanim blok šemama naznačeno.




a.) MERENJE DOZE b.) MERENJE BRZINE DOZE

Sl.3

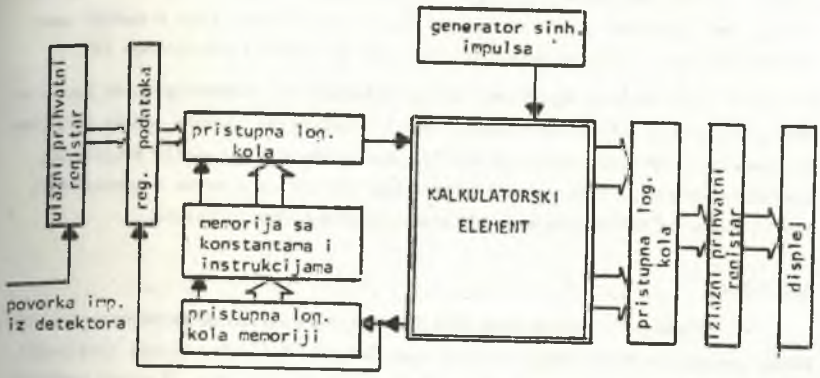
Zapazimo neke karakteristike ovakvih instrumenata koje se mogu smatrati nedostatcima. Pre svega, sve dok je broj impulsa u ovakvim sistemima manji od k na izlazu iz sistema ne postoji nikakva informacija. Sa druge strane, broj impulsa koji je u delitelju k registrovan nepoznat je, pa to, i kada je broj pristiglih impulsa veći od k, čini da se povećava greška prikazanog rezultata.

Treba uočiti da u prikazanom tipu instrumenta za merenje brzine doze treba čekati da protekne izabrani period vremena merenja da bi se rezultat uopšte dobio.

Sada je zanimljivo videti da li uvodjenje kalkulatorskog elementa u ovakve jednostavne tipove instrumenata unosi zanimljive rezultate.

Nije teško zaključiti da bi globalna blok šema za oba tipa posmatranih instrumenata, kada bi se koristio kalkulatorski element mogla da izgleda kao na sl.4.

Povorka impulsa koja dolazi iz detektora dovodi se u ulazni prihvatni registar, da bi se mogla unositi u registar podataka, u trenucima koji su odredjeni radom sistema. Sada se svi pristigli impulsi registruju u jedinstvenom registru, a odatle se vrši njihova obrada: množenje odredjenim faktorom, pa sabiranje sa već ranijim rezultatom - u slučaju instrumenta za merenje integralne doze, ili direktnim prezentiranjem dobijenog rezultata množenja na displej instrumenta, pri merenju brzine doze.




Sl.4

Sada se, dakle, bez obzira na broj pristiglih impulsa, uvek dobija rezultat, a otklanja se i greška zbog gubitaka impulsa u ranije potrebnom delitelju modula k. Već se, znači, direktnim uključivanjem kalkulatorskog elementa rad mernog instrumenta može poboljšati. Medjutim, uvodjenjem kalkulatorskog elementa poboljšanje rada instrumenta može da bude i znatno veće. Može se učiniti da se ubrzo po uključivanju instrumenta dobija informacija. Jasno, ona tada može biti data sa velikom greškom, ali u odredjenim situacijama i to je bolje nego informacijom ne raspolagati do završetka perioda merenja. No, jednostavno je ostvariti i to da se zna sa kolikom greškom je rezultat prikazan, s tim što će se greška kod merenja integralne doze stalno smanjivati, a kod merenja brzine doze konačna greška bi se po želji mogla birati i menjati, prema tome za koliko vreme merenja se korisnik odlučuje. Prikazivani rezultat pri merenju integralne doze može da se ažurira sa proizvoljnom učestanošću, tako da svaka promena može vrlo dobro da se prati, od samog trenutka uključivanja.

Izneta prethodna razmatranja, predstavljaju već više od samo poboljšanja instrumenta; tu se već mogu naslutiti elementi onoga što bi se moglo nazvati formiranje kvalitativno novih tipova instrumenata.

Uočava se da za svaki od instrumenata, čak i trivijalno uvodjenje kalkulatorskog elementa znači poboljšavanje kvaliteta toga instrumenta.

Kalkulatorski element se može koristiti u jednoj složenijoj vezi kao što je ona čija struktura je data na sl.4, ili u nešto izmenjenoj u izvesnim detaljima koja bi napr. dozvoljavala da se vrši korekcija dobijenog rezultata pri merenju brzine doze na mrtvo vreme detektora (3). Medjutim, kalkulatorski

element se može koristiti i u znatno uprošćenijoj varijanti. Tj. može se koristiti već ugradjeni kalkulatorski element u ručni kalkulator a dodati samo minimum potrebnih kola uz detektor i za vezu sa ručnim kalkulatorom (4).

Kombinacija mogućnosti da se kalkulatorski element koristi kao element instrumenta, ali u isto vreme i kao kalkulatorski element ručnog kalkulatora kojim bi operator mogao da obavlja sve standardne operacije svojstvene takvom kalkulatoru, može da se razmatra kao zanimljiva a možda i svrsishodna ako se imaju na umu obrade dobijenih podataka merenjem.

## ZAKLJUČAK

Globalno i jednostavno prikazani primeri upotrebe kalkulatorskog elementa ukazuju na poboljšanja koja se mogu dobiti. Medjutim, daleko interesantnije je da se može naslutiti da se upotrebom kalkulatorskog elementa može dobiti mnogo više od onoga što je prikazano, i da upravo u dobijanju kvalitetno novih vidova rezultata leži i budućnost upotrebe kalkulatorskog elementa u instrumentaciji za zaštitu od zračenja.


## SUMMARY

The basic characteristics and capabilities of the integrated calculator chip are shown. Possible principles of the application of such an element in the health phisics instrumentation are presented. Possibilities and limits in the application are considered: qualitative changes, that may appear when this element is used in the health phisics instrumentation, are estimated.


## REFERENCE


1. Mc WHORTER,E.W.:The Small Electronic Calculator, Sci.American, Mart 1976, pp. 88-98.

2. SINCLAIR,K.F.,HEIMAN,W.J.:Subminiature Digital Ratemeter and Dosimeter using MOS Technology, Health Phisics, v.27,(July) 1974,pp.97-102.

3. GAUTHIER,G. : Ictometre numerique Automatique a "Precision Constante" et Correction de Temps Mort, Rapport CEA-R-4769.

4. GRÜTER,H.:Faschenrechner als Digital Anzeigendes Strahlungsmessgrät. Elektronik 1976,№.12, pp. 65-66.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

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

# KOLO ZA MERENJE MALIH JEDNOSMERNIH STRUJA SA LINEARNOM INDIKACIJOM BEZ UPOTREBE VISOKOOMSKIH OTPORNIKA

Rezime

U radu je opisana metoda za merenje malih jednosmernih struja sa linearnom indikacijom. Realizovano kolo omogućava merenje ovih struja bez upotrebe visokoomskih otpornika a prebacivanje strujnih linearnih opsega se vrši na niskoj impedanci bez korišćenja visokoomskih relea. Kolo ima male tranziente, dobru linearnost i dobru temperaturnu stabilnost. Opseg merenja je $10^{-11}$A do $10^{-6}$A. Temperaturna stabilnost je bolja od 0,1%/$^{o}$C. Dat je način za samokalibraciju kola u radnim uslovima.

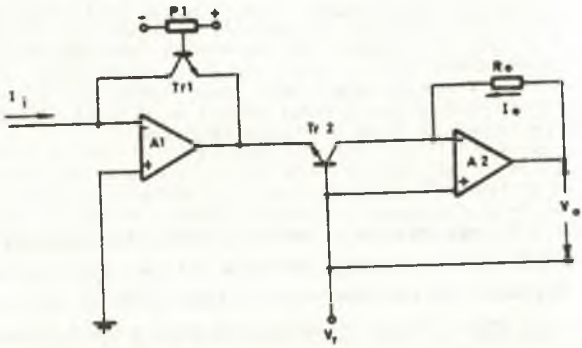
## 1. Uvod

Postoji niz metoda za merenje malih jednosmernih struja iz jonizacionih komora u cilju merenja jačine ekspozicione doze zračenja. Najčešće se koriste rešenja kod kojih se mere naponi koje male struje stvaraju na visokoomskim otpornicima poznatih otpornosti. Poslednjih godina u svetu se aktivno radi na primeni nelinearnih tranzistorskih elemenata u merenjima malih struja |1-3|.Da bi se ostvarile zadovoljavajuće karakteristike nelinearni elementi se termostatiraju sa stabilnošću boljom od 0,1$^{o}$C |3|.

U ovom radu je opisano kolo koje omogućava korišćenjem nelinearnih elemenata linearno merenje malih struja u opsegu od više dekada, sa automatskom temperaturnom kompenzacijom. Kolo ne zahteva upotrebu visokoomskih otpornika ni visokoomskih relea. Svi otpornici u kolu su stabilni žičani otpornici relativno malih otpornosti. Prebacivanje opsega se vrši na niskoj impedanci bez tranzienata. Greška u merenju struja se povećava sa smanjenjem merene struje i kod struje $10^{-11}$A je najveća i iznosi 2%. Temperaturna stabilnost je bolja od 0,1%/$^{o}$C. Kalibracija kola je jednostavna a može se izvršiti i u radnim uslovima.

## 2. Opis rada i analiza osnovnog kola

Osnovno kolo za merenje malih jednosmernih struja prikazano je na slici 1. Ovo kolo je ostvareno modifikacijom kola za merenje malih jednosmernih struja sa simultano logaritamskom i linearnom indikacijom |1-3|. Sastoji se od serijske veze logaritamskog i eksponencijalnog pojačavača kod kojih su kao nelinearni elementi upotrebljeni tranzistori $T_{r1}$ i $T_{r2}$ u jednom hermetički zatvorenom kućištu. Kada je referentni napon $V_r = 0$, ulazna struja u logaritamski pojačavač $A_1$ približnoje jednaka struji $I_o$ u povratnoj sprezi eksponencijalnog pojačavača $A_2$. Finim podešavanjem potenciometrom P, može se ostvariti da je $I_o = I_i$. Dovodjenjem na bazu tranzistora $T_{r2}$ referentnog napona $V_r > 0$ povećava se napon $v_{eb2}$ izme-




Sl.1. Osnovno kolo za pojačanje i merenje malih jednosmernih struja

dju baze i emitera tranzistora $T_{r2}$ tako da se u povratnoj sprezi pojačavača $A_2$ dobija struja $I_o >> I_i$. Izlazna struja se može odrediti na osnovu relacije $I_o = V_o/R_o$, gde se izlazni napon meri izmedju izlaza pojačavača $A_2$ i "+" ulaza ovog pojačavača. Kako su zadovoljeni uslovi $v_{eb1} = v_{eb2} = 0$, na osnovu jednačina (5) i (6) iz reference |2| i poznavanja relacije $v_{eb2} = v_{eb1} + V_r$, može se izračunati da je struja u povratnoj sprezi pojačavača odredjena izrazom

$$I_o = I_i \exp\left(\frac{qV_r}{kT}\right) \qquad (1)$$

gde je: q - opterećenje elektrona ; k - Boltzmann-ova konstanta; T - apsolutna temperatura.

Dovodjenjem na bazu tranzistora $T_{r2}$ referentnog napona $V_{r1} = \frac{kt}{q} \ln 10$ u povratnoj sprezi pojačavača se dobija struja $I_{o1} = I_i \, 10^1$, koja je za red veličine od ulazne struje i koju je zbog toga lakše meriti. U opštem slučaju dovodjen na bazu ovog tranzistora referentnog napona $V_{rm} = \frac{mkT}{q} \ln 10$ (gde je m = 1,2,3, 4,...) može se u povratnoj sprezi pojačavača $A_2$ dobiti struja

$$I_o = I_i \, 10^m \tag{2}$$

Struja $I_o$ može biti i za nekoliko redova veličine veća od ulazne merene struje $I_i$. Faktor pojačanja je označen sa $10^m$. Tačnost i stabilnost struje $I_o$, odnosno tačnost i stabilnost faktora pojačanja $10^m$, zavisi od karakteristika upotrebljenih pojačavača i karakteristika nelinearnih elemenata. Ovi uticaji, razmatrani u radovima |2,5| mogu se u potpunosti primeniti i za ovde opisano kolo.Kao što je pokazano ovi uticaji se mogu smanjiti na prihvatljiv nivo. U ovom radu će biti analiziran uticaj promene temperature nelinearnih elemenata koji je i najbitniji uticaj.

Merena struja $I_o$, odnosno faktor pojačanja $10^m$, je jako promenljiva sa temperaturom. Relativna promena merene struje $I_o$ je odredjena izrazom

$$\frac{\Delta I_o}{I_o} = - \frac{qV_r \Delta T}{kT^2} \tag{3}$$

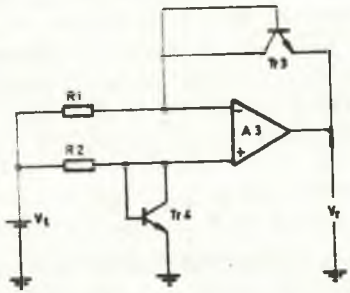
gde je: T - temperatura na kojoj je izvršena kalibracija kola; $\Delta T$ - promena temperature nelinearnih elemenata posle kalibracije.

Kako su greške neprihvatljivo velike,čak i u uskom temperaturnom intervalu, predvidjeno je kolo za kompenzaciju uticaja promene temperature.

## 3. Kolo za kompenzaciju uticaja promene temperature

Da bi se ostvarila kompenzacija uticaja promene temperature referentni napon treba linearno da se poveća sa povećanjem temperature. Ovaj napon je dobijen kolom čija je šema prikazana na slici 2, |4|. Kao temperaturno osetljivi elementi upotrebljene su diode ostvarene od sparenih tranzistora ($T_{r3}$,$T_{r4}$) istoga tipa kao što su tranzistori u kolu za merenje malih struja. Izlazni napon pojačavača $A_3$ odredjen izrazom

$$V_r = \frac{kT}{q} \ln \frac{R_1}{R_2} \tag{4}$$




Sl.2. Kolo za kompenzaciju uticaja promene temperature

Da bi se ostvarila dobra temperaturna kompenzacija potrebno je da tranzistori ($T_{r1}$,$T_{r2}$) i diode ($T_{r3}$,$T_{r4}$) budu na medjusobno približno istim temperaturama. Na osnovu izraza (1) i (3) može se izračunati da je posle ostvarene kompenzacije, greška u merenju struja odredjena izrazom

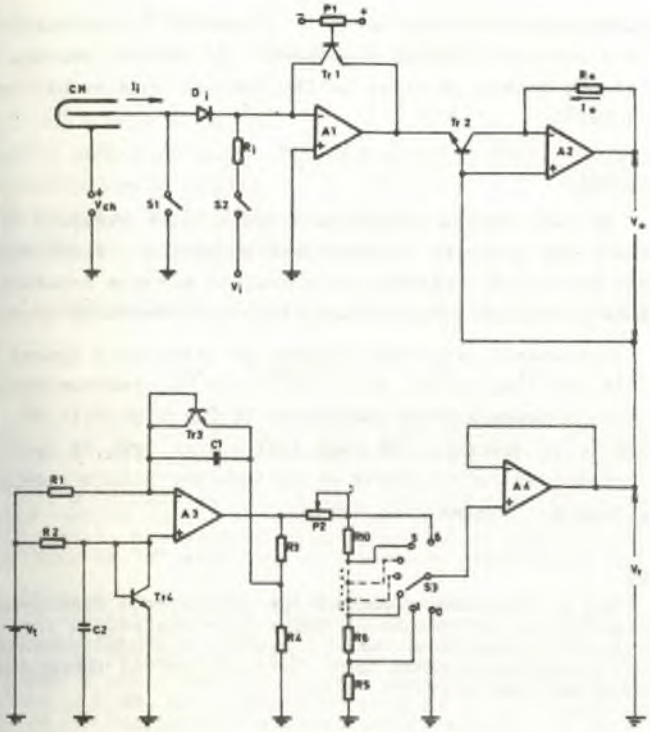
$$\frac{\Delta I_o}{I_o} = m \frac{\Delta T}{T} \ln 10 \qquad (5)$$

gde je: T - bilo koja temperatura na kojoj se nalaze tranzistori posle kalibracije; $\Delta T$ - razlika temperature spojeva na toj temperaturi.

Iz jednačine (5) se vidi da se održavanjem $\Delta T = 0.02^{o}C$, što je lako ostvariti, može postići strujno pojačanje od $10^5$ sa stabilnošću boljom od 0,08%.

## 4. Kompletna šema temperaturno stabilnog kola za merenje malih struja

Realizovana šema merača malih jednosmernih struja prikazana je na slici 3. Upotrebljene su sledeće komponente: a) Pojačavači: $A_1$, tip K302; $A_2$, tip AD523; $A_3$, tip AD523, $A_4$ tip AD508. b) Otpornici: $R_i$=1Mom; $R_o$=1Mom; $R_1$=1Mom; $R_2$=10 kom; $R_3$=1 kom; $R_4$=2,2 kom; $R_5$=$R_6$=$R_7$=$R_8$=$R_9$=$R_{10}$ = 1 kom; $P_1$ = 10 kom; $P_2$ = 1 kom. Referentni otpornik $R_o$ = 1Mom je žičani otpornik tačnosti 0,01%.Svi ostali otpornici su temperaturno stabilni otporni elementi tačnosti 10%. Sa velikom tačnošću je poznat odnos otpornosti $R_5/R_6$=$R_6/R_7$=...=$R_9/R_{10}$= 1 $\pm$ 0.0001. c) Kondenzatori: $C_1$=0,1 μF, $C_2$=1 μF. d) Neline-




Sl.3. Kompletna šema merača malih jednosmernih struja

arni elementi: dva para tranzistora ($T_{r1}$,$T_{r2}$; $T_{r3}$,$T_{r4}$) istoga tipa AD818 smešteni u zajedničko metalno kućište da bi se obezbedilo da stalno budu na približno istim temperaturama.

Kolo za kalibraciju u radnim uslovima izvedeno je sa elementima $D_i$, $R_i$, $S_1$, $S_2$ i $V_i$. $A_1$ i $A_2$ su redno vezani logaritamski i eksponencijalni pojačavač. $A_3$ je pojačavač koji na svom izlazu daje napon linearno srazmeran sa temperaturom. $A_4$ je razdvojni stepen. Kalibracija kola se vrši potenciometrom $P_2$ kada su prekidači $S_1$ i $S_2$ uključeni a prekidač $S_3$ se nalazi u položaju "1". Kolo omogućava izborom položaja prekidača $S_3$ ostvarivanje strujnog pojačanja od 10, $10^2$, $10^3$, $10^4$ ili $10^5$. Jedini otpornik koji je potrebno poznavati sa velikom tačnošću u kolu je otpornik $R_o = 10^6$ oma, ta-

čnost 0,01% Strujnim opsezima od $10^{-11}$A do $10^{-6}$A odgovaraju struje od $10^{-6}$A u povratnoj sprezi pojačavača $A_2$. Tačnost merenja struja u opsegu od pet dekada je bolja od 2%. Temperaturna stabilnost je bolja od 0,1%/°C.

## 5. Zaključak

Opisana metoda omogućava merenje malih struja u opsegu od šest dekada bez upotrebe visokoomskih otpornika i visokoomskih relea. Male struje se prethodno pojačavaju a merenje pojačanih struja se vrši na preciznom žičanom otporniku relativno male otpornosti.

Očitavanje rezultata merenje je linearno a opsezi merenja su: $10^{-11}$A, $10^{-11}$A, $10^{-9}$A, $10^{-8}$, $10^{-7}$A, $10^{-6}$A. Tačnost merenja je bolja od 2% a temperaturna stabilnost je bolja od 0,1%/°C. Kalibracija kola je jednostavna, za svih šest opsega vrši se samo u jednoj tački. Predloženo je i rešenje za kalibraciju kola u radnim uslovima, bez skidanja jonizacione komore.


## Abstract

It is described a method for low current measurement with linear indication not requiring high-ohmic resistors. The realized circuit has low transients, good linearity and good temperature stability. The measuring range are: $10^{-11}$A to $10^{-6}$A. Temperature stability is better than 0.1%/°C.


## Literatura


|1| ŠOBAJIĆ V.M., "A simultaneous logarithmic-linear dc amplifier", Conference IMEKO V, D-MA-59, Versailes, 1970.

|2| ŠOBAJIĆ V.M., "A possibility of simultaneous Logarithmic-linear direct current measurement", Nuclear Instruments and Methods, Vol.125, pp.401-412, 1975.

|3| SMITH D., "High-performance electrometer systems for gas chromatography", Edvances in Chromatography, Vol.12,pp.177-222, June, 1974.

|4| ŠOBAJIĆ V.M., "A circuit for high resistance measurement", IEEE Proceedings Letters (prihvaćeno za publikovanje u 1977.).

|5| ŠOBAJIĆ V.M., "Jedna mogućnost generisanja malih jednosmernih struja", Predloženo za izlaganje na XXI jugoslovenskoj konferenciji ETAN-a, Banja Luka, 1977.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V do 03.IV 1977.

Novković D., Mirić P. Ilić R.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, Beograd
OOUR Laboratorija za fiziku
OOUR Laboratorija za zaštitu od zračenja
Vojnotehnički institut, Beograd

# VAZDUŠNO - EKVIVALENTNE SMEŠE ZA IZRADU JONIZACIONIH KOMORA

## REZIME

Za izgradnju jonizacionih komora sa šupljinom namenjenih za merenje ekspozicione doze gama-zračenja, neophodni su materijali koji imaju isti koeficijent apsorpcije energije kao i vazduh. Ovi "vazdušnoekvivalentni" materijali mogu se dobiti bilo punjenjem komercijalnih plastika elementima sa većim rednim brojem od vazduha ili njihovim jedinjenjima (Al, $Al_2O_3$,KCl itd.), ili kombinacijom osnovnih plastika, i plastika ojačanih sa "E" staklom, koji se mogu nabaviti na tržištu.

Predloženo je nekoliko vazdušnoekvivalentnih smeša za izradu jonizacionih komora: 91% Polycarbonate + 9% "E" staklo, 91% Polyphenileneoxide + 9% "E" staklo i 92% Polybutyleneterephtalate + 8% "E" staklo, koje imaju isti koeficijent apsorpcije energije kao i vazduh u energetskom opsegu 10-3000KeV u granicama ± 2,5%. Svi predloženi materijali su termoplastici, koji se već koriste za masovnu izradu predmeta široke potrošnje, tako da se jonizacione komore mogu izraditi injekcionim livenjem.

## U V O D

Jonizacione komore sa šupljinom, namenjene za merenje ekspozicione doze gama-zračenja, imaju zidove od grafita, ili od materijala koje nazivamo "vazdušnoekvivalentnim". Grafitne komore najčešće se koriste kao laboratorijski uredjaji za merenje ekspozicione doze, a često služe i kao nacionalni etalonski uredjaji za merenje ekspozicione doze gama i X-zračenja energije veće od 400 keV. Medjutim, zbog loših mehaničkih karakteristika grafita, on je neprimenljiv za jonizacione komore koje rade u "nelaboratorijskim" uslovima. Pored toga, koeficijent apsorpcije energije grafita i vazduha za energije

manje od 100 keV znatno se razlikuju medjusobno, zbog čega je grafitna komora neprimenljiva za merenje ekspozicione doze mekšeg gama-zračenja.

Druga vrsta materijala, od kojih se prave jonizacione komore namenjene za merenje ekspozicione doze gama-zračenja su "vazdušnoekvivalentni" materijali, t.j. oni koji imaju isti koeficijent apsorpcije energije kao i vazduh, a takodje i zaustavnu moć. Vazdušnoekvivalentni materijali mogu imati odlične mehaničke karakteristike, a komore pravljene od vazdušnoekvivalentnog materijala predstavljaju najpovoljnije rešenje za merenje ekspozicione doze.

1. Važnost vazdušnoekvivalentnog materijala za merenje ekspozicione doze gama-zračenja

Merenje ekspozicione doze pomoću jonizacione komore čiji su zidovi naprevljeni od vazdušnoekvivalentnog materijala zasnovano je na Fano-ovoj teoremi (1) koju ćemo navesti bez matematičkog dokaza:

"U sredini date hemijske kompozicije, izloženoj uniformnom fluksu primarnog zračenja (X-zračenje ili neutroni), fluks sekundarnog zračenja je takodje uniforman i ne zavisi od gustine sredine, niti od varijacije gustine od tačke do tačke".

Jonizaciona komora sa zidovima koji ima istu hemijsku kompoziciju kao i gas u šupljini (napr. komora sa zidovima od polietilena napunjena etilenom) može se posmatrati kao jedinstven medijum sa promenljivom gustinom. U skladu sa Fano-ovom teoremom, fluks sekundarnog zračenja je isti u zidu komore i u gasu šupljine i ne postoji nikakvo ograničenje u pogledu dimenzije šupljine. Odnos apsorbovanih energija po jedinici mase u jedinici vremena zida i gasa jednak je jedinici.

Sa aspekta merenja ekspozicione doze, Fano-ova teorema ima, takodje, praktičan značaj, mada povezivanje ekspozicione doze sa Fano-ovom teoremom nije tako jednostavno kao u navedenom primeru. Ekspoziciona doza, po svojoj definiciji, odredjuje da radni gas u jonizacionoj komori bude vazduh, a čvrst materijal iste hemijske kompozicije kao i vazduh, koji bi se mogao koristiti kao zid komore, ne postoji. Medjutim,

kao dobro približenje uslovima pri kojima Fano-ova teorema važi u potpunosti je da svi preseci za interakciju gama-zračenja i elektrona budu isti u zidu komore i vazduhu. Makroskopski izraz jednakosti svih preseka u vazduhu i zidu jeste jednakost njihovih masenih apsorpcionih koeficijenata i zaustavnih moći. Materijal koji ima isti maseni apsorpcioni koeficijent kao i vazduh i istu zaustavnu moć za elektrone naziva se "vazdušnoekvivalentni" materijal. Vazdušnoekvivalintna jonizaciona komora predstavlja najbolje rešenje za merenje ekspozicione doze gama-zračenja.

## 2. Metod proračuna vazdušnoekvivalentnog materijala

U energetskom opsegu od 10-3000 keV tri procesa integracije gama-zračenja sa materijom imaju veći značaj. To su foto-efekat, Compton-ov efekat i proces stvaranja parova. Jedan materijal biće ekvivalentan vazduhu ako su zadovoljavane sledeće jednačine:

$$\begin{aligned} \sum_i p_i\,(\mu ph)_i &= (\mu ph)_v \\ \sum_i p_i\,(\mu c)_i &= (\mu c)_v \\ \sum_i p_i\,(\mu p)_i &= (\mu p)_v \\ \sum_i p_i &= 1 \end{aligned} \qquad (1)$$

U gornjem sistemu indeks ph označava da se radi o fotoefektu, c - Compton-ovom efektu, p - stvaranju parova, $p_i$ je učešće i. komponente (koja ne mora da bude element, već može da bude jedinjenje ili grupa elemenata) u vazdušnoekvivalentnoj smeši, indeks v označava vazduh. Prva jednačina daje jednakost apsorpcionih koeficijenata vazdušnoekvivalentne smeše i vazduha za foto-efekat, druga za Compton-ov efekat, treća za proces stvaranja parova, dok četvrta jednačina znači da zbir učešća svih komponenti u smeši mora biti jednak jedinici. U sistemu (1) $p_i$ su nepoznate, a koeficijenti uz nepoznate $p_i$ su apsorpcioni koeficijenti koji se mogu naći u tablicama. Za ovaj zadatak korišćene su tablice iz ref.2. Jednostavnija varijanta, istog ovog metoda proračuna je da se rešava sledeći sistem jednačina:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i |\mu_a(E_j)|_i = |\mu_a(E_j)|_v \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$$

$$j = 1, 2, \ldots n-1$$

gde $\mu_a$ $(E_j)$ označava totalni apsorpcioni koeficijent za fiksiranu energiju gama-zračenja $E_j$. U odredjenom energetskom intervalu gama-zračenja za koji proračunavamo vazdušnoekvivalentni materijal, možemo uzeti proizvoljno veliki broj fiksiranih energija $E_j$. Njihov broj mora da bude n-1, gde je n ukupan broj komponenti koji ulaze u vazdušnoekvivalentni materijal. Sistem (2) ima jedinstveno rešenje, koje, medjutim, ne mora da bude i stvarno rešenje problema, jer mogu se dobiti i negativna rešenja za $p_i$. Zato su prihvatljiva samo ona rešenja, koja su nenegativna.

Kod rešenja sistema (2) važan je izbor fiksiranih energija $E_j$ za koje uzimamo iz tablica apsorpcione koeficijente. Prilikom izbora $E_j$ moramo uvek imati u vidu u kojem energetskom opsegu, koji proces interakcije je dominantan proces. Kod vazduha, do 50 keV je foto-efekat, oko 1000 keV je dominantan Compton-ov efekat a kod 3000 keV Compton-ov efekat i stvaranje parova igraju važniju ulogu. Zato se kod proračuna uvek uzimaju te tri energije a ako se proračunava materijal sa većim brojem komponenti uzima se i veći broj energija.

## 3. Rezultati proračuna i izbor materijala

Materijali dobijeni na osnovu proračuna a koji imaju svojstvo vazdušnoekvivalentnosti (tabela 1) su termoplastici sa odredjenim procentom "E" stakla (koji se inače koristi za ojačanje svih termoplastika). To su: polycarbonate, polyphenileneoxide i polybutileneterephtalate. Ovi materijali u čistom obliku nemaju svojstvo vazdušnoekvivalentnosti, pošto im je maseni apsorpcioni koeficijent za gama-zračenja za energije manje od 100 keV manji nego što je kod vazduha. Medjutim, korišćenjem plastika koje sadrže u sebi staklo, može se postići jednakost koeficijenata apsorpcije energije u širem energets-

Tabela 1

| MATERIJAL | HEMIJSKI SASTAV | KOMERCIJALNI NAZIV KOMPONENATA I NJIHOV ODNOS | PROIZVODJAČ |
|---|---|---|---|
| 91% polikarbonat<br>9% E-staklo | $(C_{16}H_{14}O_3)n^+$<br>E-staklo | 55% makrolon 3100 natural +<br>45% makrolon 8020 natural | Bayer |
| | | 55% lexan 141-111 natural +<br>45% lexan 3472 natural | General electric plastics |
| | | 10% lexan 141-111 natural +<br>90% lexan 500 natural | General electric plactics |
| 91% polifenilenoksid<br>9% E-staklo | $(C_8H_8O)n^+$<br>E-staklo | 10% noryl se 1 natural +<br>90% noryl gen 1 natural | General electric plastics |
| 92% polibutilen tarftalat<br>8% E-staklo | $(C_{12}H_{12}O_4)n^+$<br>E-staklo | 73,33% celanex 2001 natural +<br>26,67% celanex 3300 natural | Celanese plastics Co. |

E- staklo sastav: 54% $SiO_2$; 1% $Al_2O_3$; 1% $Fe_2O_3$; 1% $Na_2O$ + $K_2O$; 1% $TiO_2$; 15% CaO; 5% MgO; 8% $B_2O_3$.

kom opsegu (10-3000 keV). Tako napr. smeša od 91% polycarbonate i 9% "E" stakla ima svojstvo vazdušnoekvivalentnosti u energetskom opsegu 10-3000 keV. Pošto se navedeni termoplastici prodaju ojačani sa 10%, 20% i 30% "E" stakla (a ne sa 9%), gornja smeša je ekvivalentna smeši: 55% čist polycarbonate + 45% polycarbonate ojačan sa 20% "E" stakla. Oba ova tipa polycarbonate-a mogu se naći na tržištu i zahtevaju skoro identične uslove prerade, tako da dobijanje jonizacione komore injekcionim livenjem predstavlja rutinski posao.

Pošto razne firme u svetu proizvode navedene termoplastike pod različitim komercijalnim imenom, u tabeli su navedeni komercijalni nazivi komponenti vazdušnoekvivalentnog materijala kao i vazdušnoekvivalentne smeše prema njihovom hemijskom i komercijalnom nazivu. Svi navedeni materijali prerađuju se injekcionim livenjem. Navedeni materijali su izolatori a provodna površina, neophodna sa unutrašnje strane komore, dobija se naparavanjem aluminijuma ili premazivanjem sa provodnim lepkom koji sadrži u sebi grafit.

## ABSTRAKT

Cavity ionization chambers designed for gamma rays exposure measurements should be made from materials whose mass absorption coefficient coincide with that of air. These materials are obtained either by adding to commercial plastics elements (or compands) having the mean atomic number higher than that of air (Al, $Al_2O_3$, KCl,...) or by using a mixture of basic plastics and plastics reinforced by "E" - glass.

It was obtained that the following mixtures can be proposed as air equivalent materials

a) 91% Polycarbonate + 9% "E" glass,
b) 91% Polyphenylenoxide + 9% "E" glass,
c) 92% Polybutylenetherephtalate + 8% "E" glass.

All of proposed materials are inexpensive thermoplastics commercially available.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Bojović Tomislav, Higijenski zavod VMA - Beograd
Pejušković Božidar, Higijenski zavod VMA - Beograd
Šmelcerović Miodrag, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Djurakić Dušan, Higijenski zavod VMA - Beograd
Milovanović Milisav, Higijenski zavod VMA - Beograd

# ODREDJIVANJE STEPENA KONTAMINACIJE VODE MERENJEM POLJA GAMA ZRAČENJA RAZLIČITIM TIPOVIMA PRENOSNIH DETEKTORA GAMA ZRAČENJA

Za brzo odredjivanje stepena kontaminacije vode u vanrednim uslovima upotrebljavaju se prenosni detektori gama zračenja - monitori. Rezultat kontrole zavisi od geometrije merenja, veličine i oblika uzorka, te upotrebljenog monitora. Zbog važnosti kontrole vode u vanrednim uslovima, izvršen je niz komparativnih merenja sa monitorima koji su kod nas u širokoj upotrebi: DR-M3, KOMO-TM, DP-5, NS-115, za različite starosti fisionih produkata i ustanovljeni su odnosi pokazivanja monitora i specifične beta-aktivnosti vode.

## Uvod

Primena različitih tipova brojača u raznim tipovima monitora, kao i izvedba elektronskih kola /vremenske konstante/ uslovljavaju različite nivoe specifične aktivnosti koje se mogu meriti odnosnim tipom monitora. Za dozimetriju u vanrednim uslovima, zavisno od starosti smeše fisionih produkata dozvoljene su i različite specifične aktivnosti materijala kontaminiranog fisionim produktima koji su namenjeni za ljudsku ishranu /2/. Geometrija merenja i tip monitora uslovljavaju različita pokazivanja na instrumentu, te je bilo neophodno eksperimentalno odrediti pomenuti tip korelacije.

Kod svih monitora je sonda napravljena tako da se na pogodan način može postaviti "zastor" ispred prozora brojača. Namena ovog "zastora" je odredjivanje beta komponente zračenja u mešanom polju, kako je i polje smeše fisionih produkata.

## Materijal i metode

Za merenja monitorima napravljen je vodeni rastvor soli smeše fisionih produkata nastalih ozračivanjem $U_3O_8$ u reaktoru, specifične aktivnosti As=6,51 . $10^3$ Bq/kg računato na starost od 100 dana. Bliže karakteristike uslova ozračivanja date su u /1/. Pri merenjima sa monitorima paralelno je vršena provera specifične aktivnosti radiometrijskom laboratorijom /LARA-10/ apsolutnom metodom merenja na debelom uzorku /2/.

Geometrija merenja je, iz praktičnih razloga tako odabrana da se stara i nova porcija /vojnička/ pune do propisanog sadržaja kontaminiranom vodom. Sonda je postavljena na 1 cm iznad površine tečnosti a merenja su vršena sa otvorenom i zatvorenom sondom.

Pokazivanje instrumenta /mR/h/ je deljeno sa poznatom specifičnom beta aktivnošću. Ovim je dobijen "koeficijent skale" za odredjeni tip instrumenta u funkciji starosti smeše fisionih produkata. Rezultati merenja su dati u tabelama 1-4.

Uslovi eksperimenta /vreme ozračivanja i pripreme uzorka/ nisu omogućili merenja za smešu "mladju" od 15 dana. Kako se za ocenu upotrebljivosti zahteva poznavanje starosti smeše u intervalima: 0-10 dana, 10-30 dana, 30-100 dana itd. smatramo da su rezultati prihvatljivi.

## Rezultati i diskusija

Poredjenjem rezultata iz tabela 1-4 se vidi da "koeficijent skale" bitno ne zavisi od starosti smeše fisionih produkata, a kako se ovim merenjima ne može odrediti starost smeše, već se podatak o starosti mora saznati iz drugih izvora, to se merenja mogu smatrati dovoljno tačnim za pomenutu upotrebu.

Uzimajući u obzir fon instrumenta, kao i opseg vrednosti na skali instrumenta u kome se može očitati mereni rezultat,

odredjena je "čitljiva" vrednost na skali svakog instrumenta.

Tabela 1.

REZULTATI MERENJA ZA ZATVOREN PROZOR I STARU PORCIJU

| Starost smeše [dana] | Tip instrumenta jed. $\left[\frac{mR/h}{Bq/kg}\right]$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | DR-M3 | DP-5A | NS-115 | KOMO-TM |
| 15 | $1,22.10^{-6}$ | $3,28.10^{-6}$ | - | $2,4.10^{-6}$ |
| 18 | $1,33.10^{-6}$ | $3,75.10^{-6}$ | $0,38.10^{-6}$ | $2,8.10^{-6}$ |
| 26 | $2,54.10^{-6}$ | $5,77.10^{-6}$ | $0,69.10^{-6}$ | $4,7.10^{-6}$ |

Tabela 2.

REZULTATI MERENJA ZA OTVOREN PROZOR I STARU PORCIJU

| Starost smeše [dana] | Tip instrumenta jed. $\left[\frac{mR/h}{Bq/kg}\right]$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | DR-M3 | DP-5A | NS-115 | KOMO-TM |
| 15 | $1,33.10^{-6}$ | $4,5.10^{-6}$ | - | - |
| 18 | $1,78.10^{-6}$ | $5,2.10^{-6}$ | $0,41.10^{-6}$ | $10.10^{-6}$ |
| 26 | $2,8.10^{-6}$ | $8,5.10^{-6}$ | $0,73.10^{-6}$ | $12.10^{-6}$ |

Tabela 3.

REZULTATI MERENJA ZA ZATVOREN PROZOR I NOVU PORCIJU

| Starost smeše [dana] | Tip instrumenta jed. $\left[\frac{mR/h}{Bq/kg}\right]$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | DR-M3 | DP-5A | NS-115 | KOMO-TM |
| 15 | $0,84.10^{-6}$ | $2,3.10^{-6}$ | - | $1,8.10^{-6}$ |
| 18 | $1,3\ .10^{-6}$ | $3,3.10^{-6}$ | $0,3.10^{-6}$ | $2,4.10^{-6}$ |
| 26 | $1,5.10^{-6}$ | $2,0.10^{-6}$ | $0,26.10^{-6}$ | $2,3.10^{-6}$ |

Tabela 4.

REZULTATI MERENJA ZA OTVOREN PROZOR I NOVU PORCIJU

| Starost smeše [dana] | Tip instrumenta jed. $\left[\frac{mR/h}{Bq/kg}\right]$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | DR-M3 | DP-5A | NS-115 | KOMO-TM |
| 15 | $0,89.10^{-6}$ | $3,2.10^{-6}$ | - | - |
| 18 | $1,4\ .10^{-6}$ | $5,3.10^{-6}$ | $0,37.10^{-6}$ | $8,8.10^{-6}$ |
| 26 | $1,6\ .10^{-6}$ | $5,4\ .10^{-6}$ | $0,38.10^{-6}$ | $6,9.10^{-6}$ |

Tabela 5.

MINIMALNE VREDNOSTI SPECIFIČNE AKTIVNOSTI MERLJIVE POJEDINIM TIPOVIMA INSTRUMENATA U NOVOJ PORCIJI

| Starost smeše [dana] | Tip instrumenta | "Čitljiva" vrednost na skali mR/h | Merljiva vrednost As [Bq/kg] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | otvoren prozor | zatvoren prozor |
| 15 | DR-M3 | $2,5.10^{-2}$ | $2,8.10^{4}$ | $3,0.10^{4}$ |
| | DP-5A | $2,5.10^{-2}$ | $0,78.10^{4}$ | $1,1.10^{4}$ |
| | NS-115 | $1.10^{-2}$ | $3,3.10^{4}$ | $3,8.10^{4}$ |
| | KOMO-TM | $6.10^{-3}$ | $0,1.10^{4}$ | $0,55.10^{4}$ |
| 26 | DR-M3 | $2,5.10^{-2}$ | $1,5.10^{4}$ | $1,7.10^{4}$ |
| | DP-5A | $2,5.10^{-2}$ | $0,5.10^{4}$ | $1,25.10^{4}$ |
| | NS-115 | $1.10^{-2}$ | $2,6.10^{4}$ | $3,8\ .10^{4}$ |
| | KOMO-TM | $6.10^{-3}$ | $0,08.10^{4}$ | $0,26.10^{4}$ |

Shodno tome i rezultatima merenja formirana je tabela 5. u kojoj su prikazane "merljive" vrednosti specifične aktivnosti za pojedine tipove instrumenata i za dve starosti fisione smeše. Kako je nivo dozvoljenih kontaminacija pri upotrebi do jedne godine, materijala koji su kontaminirani sa smešom fisionih produkata "mladjih" od 3o dana As=$4.10^{4}$ Bq/kg, to se iz tabele 5 vidi da

praktično svi instrumenti omogućavaju ocenjivanje pomenutog nivoa specifične aktivnosti u fonu prirodnog zračenja. Pri merenjima u fonu zračenja od 0,5 mR/h, nivo dozvoljenih specifičnih aktivnosti se praktično može meriti samo sa tipom instrumenta KOMO-TM. Dalje se vidi da je za povećanje efikasnosti merenja pogodna upotreba GM brojača sa tankim prozorom /na pr. 18536 ili 18506 "Philips"/, koji su upotrebljeni kod monitora KOMO-TM, a da upotreba poluprovodničkih detektora kod instrumenta NS-115 nije dala nekre prednosti.

Uredjaj tipa KOMO-TM je tako konstruisan da se u stanju "otvore prozor na sondi" dobija, pri opisanom tipu merenja, mnogo veći odbroj nego pri "zatvorenom prozoru na sondi". Ovo sugeriše da monitori, namenjeni kontroli specifične aktivnosti materijala kontaminiranih smešom fisionih produkata, moraju imati vrlo tanak prozor i dovoljnu površinu detektora. Sa druge strane prozor detektora može se iskoristiti za poboljšanje energetskih karakteristika pri merenju polja gama zračenju. Iz tabele se dalje vidi da je "hod" efikasnosti sa promenom starosti smeše mali pri upotrebi brojača sa tankim prozorom.

Zaključak:

Na osnovu dela eksperimenata, koji su navedeni u radu, može se zaključiti da se monitorima mogu meriti specifične aktivnosti materijala kontaminiranih smešom fisionih produkata do dozvoljenog nivoa. Proističe dalje da se za korišćenje rezultata merenja mora znati i starost smeše fisionih produkata. Ukoliko je podatak o starosti smeše nepoznat, rezultat merenja može da bude od -70% do +300% za smeše mladje od 3o dana. Kako je već rečeno, pri konstrukcijama narednih monitora treba upotrebljavati /ako je to moguće iz drugih razloga/ GM brojače sa tankim prozorima i ostvariti takvu konstrukciju sonde, da se zatvaranjem zastora,

pri opisanoj geometriji merenja, pokazivanje instrumenta menja u odnosu 1:3.

DETERMINATION OF THE DEGREE OF CONTAMINATION OF WATER MEASURING FIELDS OF GAMMA RADIATION BY VARIOUS TYPES OF PORTABLE DETECTORS

For quick determination of the degree of contamination of the water in emergency conditions, portable detectors /monitors/ for gamma radiation are used. The results of such control depend on the geometry of the measurement, size and form of the sample and used monitor. Considering importance of such detection we performed a series of comparative measurements of water contamination with apparatusses used commonly as: DR-M3, KOMO-TM,DP-5A, NS-115.

We established relations of measurements of beta-actvity of the water for various ages of fission products on each monitor.

Literatura:

1. Šmelcerović M., et al.; Odredjivanje starosti smeše fisionih produkata apsorpcionom metodom; Rad će biti saopšten na IX simpozijumu Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja; Jajce, maja 1977.

2. Muždeka S., et al.; LARA-10, Uputstvo za rukovanje; Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, 1972.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Šmelcerović Miodrag, Institut "Boris Kidrič" - Vinča
Ilić Radovan, Vojnotehnički institut - Beograd
Bojović Tomislav, Higijenski zavod VMA
Pejušković Božidar, Higijenski zavod VMA

# ODREDJIVANJE STAROSTI SMEŠE FISIONIH PRODUKATA APSORPCIONOM METODOM

Za ocenu upotrebljivosti materijala namenjenih ljudskoj ishrani koji su kontaminirani fisionim produktima neophodno je poznavanje starosti smeše fisionih produkata. Primenom GM brojača za detekciju beta čestica iz smeše fisionih produkata, uz upotrebu apsorbera, moguće je odrediti starosti. U radu se saopštavaju rezultati odredjivanja pogodnih filtera i njihova primena u radiometrijskoj laboratoriji LARA-10.

Merenja su vršena na vodenom rastvoru soli fisionih produkata. Eksperimentalne mogućnosti u zemlji diktirale su upotrebu smeše fisionih produkata nastale ozračivanjem uranijuma u reaktoru. Vreme ozračivanja bilo je 3 dana a uzorak je sadržavao 0,2957 g $U_3O_8$ pri čemu je uran bio neobogaćen. Posle ozračivanja uzorak je rastvoren u $HNO_3$ i dovéden na zapreminu od 25 ml. Računska vrednost specifične aktivnosti rastvora trebala je da bude $9,8 \cdot 10^8$ Bq/kg. beta aktivnosti stotog dana od ozračivanja. Merenja apsolutnom metodom na debelom uzorku /LARA-10/ dala su vrednost od $2,5 \cdot 10^8$ Bq/kg. Pri pripremi uzoraka za merenja na laboratoriji pravljeni su rastvori takve specifične aktivnosti da je postignut optimalni rezultat merenja sa statističkog stanovišta i da pri tome nije bilo potrebno vršiti korekciju aktivnosti u funkciji vremena.

Merenja su obavljena na taj način da je propisno pripremljen uzorak meren bez filtra i sa filtrima i nalaženi su odnosi ta dva odbroja. Specifična aktivnost je na osnovu tih rezultata merenja izračunavana prema postupku datom u referencama /1 i 2/.

Prema ranijim iskustvima u radu sa laboratorijom /3/ evidentno je da se koeficijenti smanjenja brzine brojanja iz uzorka pri upotrebi odredjenog filtra menjaju u zavisnosti od odnosa izotopa u smeši. Ako je prinos pojedinog izotopa u smeši $P_k$ (t) čija je aktivnost u funkciji od vremena $A_o$ (t), tada je specifična aktivnost jednog izotopa u smeši:

$$A_k(t)=P_k(t)\cdot A_o(t) \qquad (1)$$

odbroj iz uzorka u intervalu vremena T je:

$$N_k(t)=M_k\cdot A_k(t)=M_k P_k(t)\cdot A_o(t) \qquad (2)$$

ukupan odbroj za smešu je:

$$N_u(t)=\sum_{k=1}^{m} M_k\cdot P_k(t)\cdot A_o(t)=A_o(t)\cdot\sum_{k=1}^{m} P_k(t)\cdot M_k \qquad (3)$$

m - broj praćenih izotopa.

Pri upotrebi k-tog filtra odbroj za jedan izotop je:

$$N_{kn}=M_{kn}\cdot P_k(t)\,A_o(t) \qquad (4)$$

sa oznakama:

$M_{kn}$ - koeficijent zavisan i od upotrebljenog n-tog filtra.

Ukupan odbroj pri upotrebi n-tog filtra je:

$$N_{un}(t)=\sum_{k=1}^{m} M_{kn}P_k(t)\cdot A_o(t)=A_o(t)\sum_{k=1}^{m} M_{kn}P_k(t) \qquad (5)$$

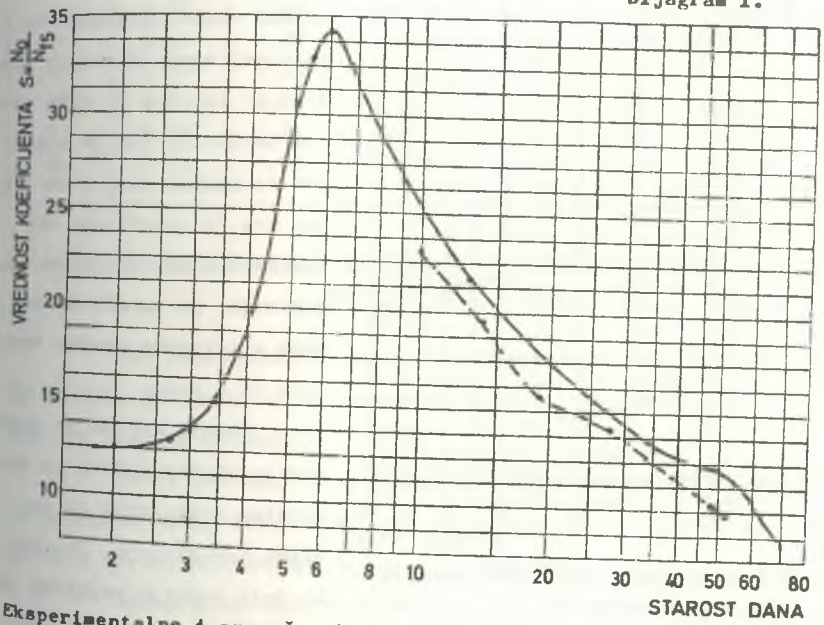
Odatle sledi da će odnos odbroja pri merenju bez filtra i sa filtrom biti:

$$n_n(t)=\frac{N_u(t)}{N_{un}(t)}=\frac{\sum_{k=1}^{m} P_k(t)M_k}{\sum_{k=1}^{m} P_k(t)\,M_{kn}} \qquad (6)$$

Iz jednačine 6 sledi da je za poznati izotopni sastav smeše u trenutku nastajanja [poznato $P_k$ (t)] moguće izračunati vrednost koeficijenta $M_n$(t) . Pri ovom izračunavanju praktično je vršiti izračunavanje samo za one izotope kod kojih je $P_k$(t) za datu vrednost t veće od $10^{-4}$. Kako nije bilo moguće izvršiti merenja vredno-

sti za $M_k$ i $M_{kn}$ za sve beta aktivne izotope koji se nalaze u smeši fisionih produkata, to se pri izračunavanjima može usvojiti pretpostavka da je koeficijent $N_k$ sličan za izotope sa sličnim beta spektrom. Ako se želi odredjivanje starosti smeše fisonih produkata apsorpcionom metodom, jasno je da će rezultati biti bolji na tanjem uzorku. Opisana pojava je posledica činjenice da se u debelom uzorku, zbog uslova rasejanja, vrši usrednjavanje energije što smanjuje promenu $N_k$ u funkciji vremena.

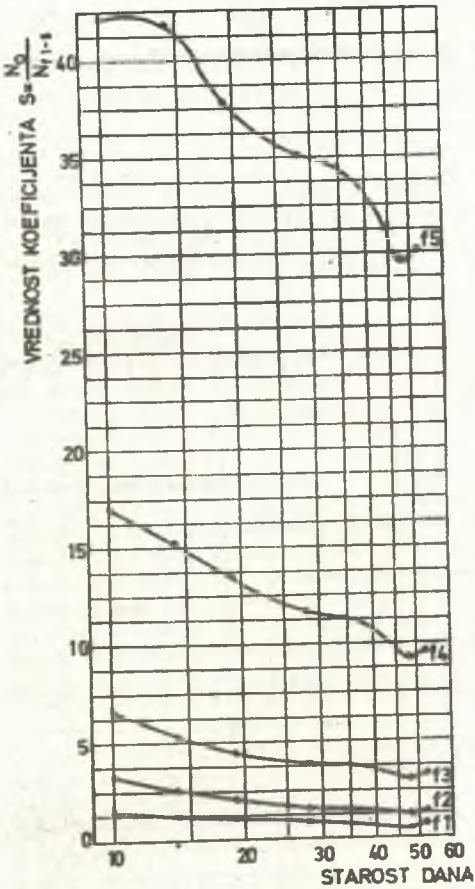
Dijagram 1.




Eksperimentalne i proračunate vrednosti koeficijenata $M_k$ i $M_{kn}$ za tanak uzorak.

Merenjima su odredjene vrednosti koeficijenata $M_k$ i $M_{kn}$ za tanak uzorak i izvršen je proračun za filter n=5. Rezultat proračuna je prikazan na dijagramu 1. Isprekidanom linijom na istom dijagramu prikazani su rezultati merenja na tankom uzorku. Na dijagramu 2. prikazani su rezultati merenja na debelom uzorku uz

Dijagram 2.




**Eksperimentalni rezultati merenja na debelom uzorku**

primenu 5 filtera iz kompleta laboratorije LARA-10. Poredjenjem se uočava prednost merenja sa debljim filtrom i prednost merenja na tankom uzorku kao što je ranije i opisano.

U tabeli 1. dati su koeficijenti slabljenja dobijeni eksperimentalno na opisanoj smeši fisionih produkata. Kao što se vodi eksperimentalni rad je započet sa smešom starom 10 dana. Ovo je uslovljeno eksperimentalnim razlogom tj. materijal je ozračivan tri dana a priprema uzorka trajala je 4 dana.

Ocenjujemo da je najranije moguće početi sa merenjima 4-tog dana od početka ozračivanja. Ukoliko se želi tačniji rezultat merenja, potrebno je upotrebiti obogaćenu smešu urana i ozračivanje obaviti u što je moguće kraćem vremenu.

Kako se za davanje mišljenja o upotrebljivosti materijala kontaminiranih fisionim produktima, koriste podaci o starosti smeše u intervalima: 0-10 dana, 10-30 dana i 30-100 dana može se

oceniti da je prikazani metod merenja zadovoljavajući.

Tabela 1.

KOEFICIJENTI SLABLJENJA DOBIJENIH EKSPERIMENTALNO

| STAROST U DANA | KOEFICIJENTI SLABLJENJA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Debeo uzorak | | | | | Tanak uzorak |
| | Filter 1 | Filter 2 | Filter 3 | Filter 4 | Filter 5 | Filter 5 |
| 10 | 1,28 | 1,61 | 2,33 | 4,37 | 9,38 | 23,1 |
| 14 | 1,23 | 1,48 | 2,08 | 4,05 | 9,37 | 19,4 |
| 19 | 1,18 | 1,39 | 1,88 | 3,67 | 8,55 | 15,7 |
| 28 | 1,15 | 1,32 | 1,75 | 3,30 | 7,97 | 14,0 |
| 35 | 1,14 | 1,31 | 1,74 | 3,24 | 7,89 | 12,4 |
| 47 | 1,10 | 1,24 | 1,59 | 2,86 | 6,88 | 10,2 |
| 51 | 1,12 | 1,27 | 1,63 | 2,90 | 7,00 | 9,76 |

## AGE DETERMINATION OF A MIXTURE OF FISSION PRODUCTS BY ABSORPTION METHOD

For evaluation of the use of human food, contaminated by fission producta, it is necessary to know the age of the mixture of fission products.

It is possible to determine the age of mixture of fission products using GM counters for detection of beta particles emitted by the mixture and by use of absorbers.

Authors are reviewing the results of determination of adequate filters and their use in the radiometric laboratory LARA-10.

Literatura:

1. Muždeka S., et al.; LARA-10, uputstvo za rukovanje,izdanje Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča, 1972.

2. Bojović T., et al; Prepoznavanje i odredjivanje specifične aktivnosti beta aktivnih izotopa merenjem na debelom uzorku; Zbornik materijala VIII simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi, 20-23. maj 1975.

3. Šmelcerović M., et al; Odredjivanje parcijalnih specifičnih aktivnosti iz smeše poznatih beta emitera; Zbornik radova VII simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Kaštel Stari, 1973.

4. Šmelcerović M.; Metode merenja specifične aktivnosti materijala kontaminiranih smešom fisionih produkata; IBK - 1084, 1974.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja.
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

J. Vuković, J. Simonović i R. Antanasijević

Institut za fiziku Medicinskog fakulteta u Beogradu
Institut za fiziku, Beograd

# ALFA AUTOHISTORADIOGRAFIJA S POLIMERNIM NUKLEARNIM DETEKTORIMA TRAGOVA - PNDT

PNDT - nitrocelulozni (NC) film korišćen je za detekciju alfa zračenje iz parafinskih i bojenih histoloških rezova bubrega i pluća eksperimentalnih životinja kontaminiranih polonijumom-210. Dvo vrste NC filmova, firme Kodak, stavljane su na gornje rezove. Posle ekspozicije od 4 do 10 dana filmovi su odvajani od rezova i nagrizani u 10% rastvoru NaOH za vreme od 30 do 180 min na temperaturi od 60°C. Na osnovu posmatranja dobijenih tragova alfa čestica pomoću mikroskopa može se zaključiti o povećanoj koncentraciji Po u korteksu bubrega, dok je kod pluća evidentno prisustvo agregacija atoma ovog izotopa. U radu je predložen metod za nagrizanje polimernih detektora za autohistoradiografiju bez njihovog odvajanja od histološkog reza.

## Uvod

U čvrstom stanju nuklearne detektore tragova (SSNTD) počeli smo da primenjujemo kod nas 1969. godine (1). Detekcione osobine različitih vrsta nitrocelulosnih (NC) filmova domaće i Kodak proizvodnje za primenu u autoradiografiji prikazane su na VIII Simpozijumu društva 1975.g. (2). Prve aplikacije na parafinskim histološkim rezovima bubrega kontaminiranih životinja alfa zračenjem iznete su na V Simpozijumu „Strenljenja i novine u medicini", 1976.g. (3). Tom prilikom prezentirani su različiti metodi posmatranja detektovanih alfa tragova pomoću optičke i elektronske mikroskopije. Dat je brzi način autoradiografije parafinskog reza u cilju prisustva alfa zračenja, ocene vremena ekspozicije i obrade, što može poslužiti kao pouzdani metod kod uporednog rada s autohistoradiografijom pomoću nuklearnih emulzija. Pokazana je i evidentna lokalizacija $^{210}Po$ u korteksu bubrega.

Specifičnost obrade (razvijanje-nagrizanje)ozračenih

PNDT sastoji se u delovanju jakim bazama na površinu detektora, odnosno na mesta ulaza jonizujuće čestice u detektor. Zbog toga je za vreme obrade potrebno odvojiti detektor od histološkog reza. Za pravu autohistoradiografiju nije moguće vratiti detektor posle obrade u identični prvobitni položaj na histološkom rezu, u cilju strukturne lokalizacije mesta radioaktivnog izotopa na nivou ćelije. Imajući u vidu tu činjenicu predložili smo metod nagrizanja detektora-polimernog NC filma, ukoliko je on pogodno tanak, sa suprotne njegove površine, odnosno sa one strane koja nije u kontaktu s rezom i sa koje alfa čestice izlaze iz detektora (4). U ovom slučaju detektor bi za vreme obrade ostao u intimnom kontaktu s histološkim rezom, a s druge strane postao bi 100% efikasan za registrovanje svih alfa čestica prirodnih emitera nezavisno od njihove energije, pošto nagrizanje počinje od mesta zaustavljanja jonizujuće čestice, gde je specifična jonizacija najveća.

Cilj ovog rada je bio da obojeni histološki rezovi bubrega i pluća, zaštićeni tankim slojem kanada balzama koji ujedno smanjuje energiju alfa zračenja posluže kao autoradiografski izvori, zatim da se ispitaju detekcione karakteristike dva tipa komercijalnog NC - Kodak filma kao i mogućnost nanošenja NC detektora iz rastvora na pomenute histološke rezove. Učinjen je predlog metode za termostatsku obradu reza i NC filma zajedno, ali samo na površini koja nije u kontaktu s rezom, na 40 i 60°C, uz permanentno praćenje pojave tragova mikroskopom u cilju kontrolisanja vremena nagrizanja i njegovog tačnog određivanja. To je od posebne važnosti kako sredstvo za nagrizanje ne bi prodrlo na sam rez i oštetilo ga.

## Eksperimentalni rad

Za istraživanja u ovom radu korišćen je crveno obojen nitrocelulozni film Kodak LR-115 tip II, debljine 12 μm, na nosećem neobojenom inertnom filmu od poliestera debljine 100 μm. Isto tako upotrebljen je i rose obojen nitrocelulozni film Kodak CA 80-15, debljine 100 μm. Ovaj film je poslužio i za dobijanje nitroceluloznih filmova željene debljine putem njegovog rastvaranja u amil acetatu, i raslivanjem u Petri šolju odgovarajućeg prečnika i ravne površine dna.

Eksperimentalne životinje su kontaminirane polonijumom

-210. Rastvor polonijuma u 3 normalnom $HNO_3$ neutralisan je sa 3 normalnim rastvorom NaOH pre upotrebe a zatim pomoću fiziološkog rastvora razblažen do specifične aktivnosti od 1,48 GBq/l (4 μCi/ml). Ovako načinjen rastvor aktivnosti 74 kBq, odnosno 0,74 GBq/l ubrizgan je intratrahijalno u pluća pacova. Životinje su žrtvovane posle 30 dana.

Na neobojene (parafinske) i bojene (H.E.) rezove bubrega i pluća debljine 5 μm, stavljeni su nitrocelulozni filmovi posle 4 i 6 meseci od žrtvovanja životinje, i eksponirani 4 do 10 dana. Radi maksimalnog intimnog kontakta rezova i detektora isti su stavljani u polietilenske vrećice koje su zatvarane i vakumirane. Po eksponiranju detektori su nagrizani u vertikalnom položaju u 10% vodenom rastvoru NaOH na temperaturi od 60°C za vreme od 90 min + 30 min + 30 min za film LR-115 i 30 min za CA 80-15. Posle ispiranja u tekućoj vodi i sušenja analiza je vršena golim okom a tragovi posmatrani pomoću mikroskopa „Amplival" sa objektivima 20x i 40x.

Za mikroskopsko termostatsko nagrizanje NC bez odvajanja od radioaktivnog reza adaptirali smo Koflerov „topli sto" firme Reinchart.

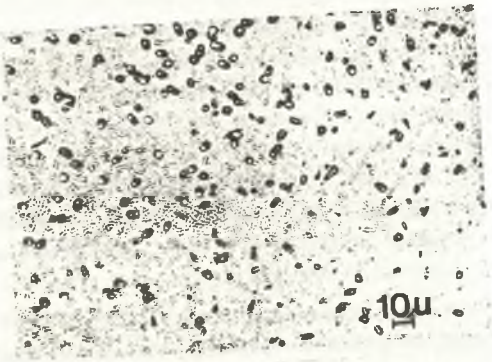
## Rezultati i diskusija

Obradjena kako tanka NC tako i debela pokazuje i vizuelno vidljivu makrolokalizaciju izotopa $^{210}Po$ u korteksu bubrega te ocrtava konturu celog reza (Sl.1). Uticaj tankog zaštitnog

Sl.1. Alfa autoradiogram reza bubrega na NC filmu LR-115

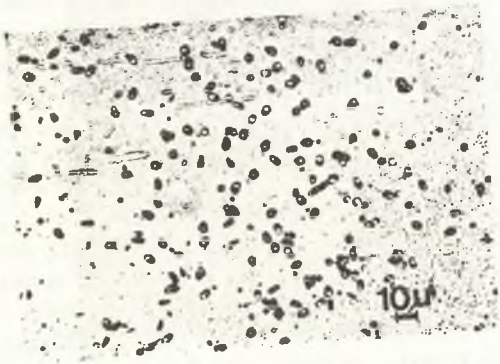
sloja kanada balzama je takav da uvećava ukupni broj registrovanih tragova, pošto je broj alfa čestica sa energijom manjom od 4 MeV veći. Do ovog zaključka smo došli upoređivanjem broja tragova alfa čestica iz neobojenog reza.

Pokazalo se da unutar regije korteksa bubrega nema izdvojenih mesta koncentracije $^{210}Po$(Sl.2). Kod crveno obojene NC,



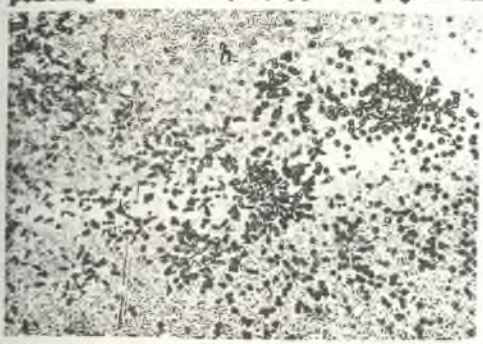

Sl.2. Alfa tragovi iz reza bubrega u NC LR-115, nagrizanje 90min

koja je nagrizana 90 min, zapažen je veći procenat tragova s karakterističnom konusnom formom. Tek posle nagrizanja od 120 min ovog detektora zapaža se veći broj tragova u obliku sfernih rupa, svetli kružni otvori na Sl.3.




Sl.3. Alfa tragovi iz reza bubrega u NC LR-115, nagrizanje 120min

Na detektoru s reza pluća jasno se ocrtavaju mesta nagomilavanja polonijuma - 210 (Sl.4). Ova pojava može navesti na



Sl.4. Alfa tragovi iz reza pluća u NC LR-115.

zaključak da je u rezovima pluća kontaminirani izotop u vidu pseudokoloida, što je donekle logično jer i sam inicirani rastvor pokazuje agregacije atoma $^{210}Po$. Posebno je pitanje zašto se ove agregacije ne pojavljuju i kod rezova bubrega.

Tanki slojevi NC, debljine 15-25 $\mu$m pravljeni iz rastvora filma CA 80-15 u amil acetatu, ozračivani alfa česticama iz $^{241}Am$, nisu pokazali promene u njihovoj osetljivosti kao ni u kvalitetu strukture alfa tragova.

Autori duguju zahvalnost Dr V. Vlinjiću kao i njegovim saradnicima iz Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu Dr Dragomir Karajović" u Beogradu, za dobijene histološke rezove i korisne diskusije.

Reference

1. Jeković J., Antanasijević R. I Jugoslovenski simpozijum o elektronskoj mikroskopiji, 12, 1969, Institut „J.Stefan", Ljubljana
2. Antanasijević R., Simonović J., Vuković J. VIII simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Zbornik radova (dodatak), 1975, Herceg Novi
3. Vuković J., Simonović J., Antanasijević R. V simpozijum „Strujanja i novine u medicini, 1976, Medicinski fakultet u Beogradu. Rad primljen za štampu u „Medicinska istraživanja"

4. Vuković J., Simonović J., Antanasijević R. Godišnji sastanak nuklearnih fizičara Jugoslavije, 1976, Portorož. U štampi za „Fizika supll."

Summary

ALPHA AUTORADIOGRAPHY BY POLYMER NUCLEAR TRACK DETECTORS - PNTD

PNTD for alpha radiation from parafin and staining histological sections of kidney and lung from experimental rats contaminated with $^{210}Po$ was used. The Kodak LR-115 and CA 30-15 cellulose nitrate films are applicated. The tracks (etch pits and holes) are dispersed over cortex kidney, but for lung sections there are evidance about pseudocoloidal state of $^{210}Po$.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI. 1977.

J. Vuković, R. Milinković i N. Cajlan
Institut za fiziku Medicinskog fakulteta u Beogradu
Laboratorija za elektronsku mikroskopiju Univerziteta u Beogradu

# TEM AUTOHISTORADIOGRAFIJA KONTRASTIRANIH REZOVA URANIL ACETATOM

Ultra tanki histološki rezovi /300-400Å/ mozga kalupljeni u metilmetakrilatu kontrastirani su pre kalupljenja i posle sečenja uranil acetatom za transimisisku elektronsku mikroskopiju /TEM/. Mono sloj AgBr nuklearne emulzije Ilford L4 nanešen je na rezove umakanjem u otopljenu emulziju /45°C/. Posle 45 dana razvijena je emulzija /ID19-1:3/ i niti srebra nemaju diferencijalnu lokalizaciju mada je kontrast elektronske mikrografije znatan. Eksperiment je preliminaran radi ultrastrukturne autohistoradiografije tkiva kontaminiranih sa Po, U i Pu.

Kako je u planu rad na alfa autohistoradiografiji sa elektronskom mikroskopijom tkiva eksperimentalnih životinja kontaminiranih polonijumom, uranom ili plutonijumom to smo preuzeli kao preliminarne probe jednostavnije kontaminiranje struktura ultra tankih rezova alfaemiterom. Kontrastiranje /elektronsko „bojenje"/ bioloških ultra tankih rezova se standardno vrši u vodenom ili alkoholnom rastvoru uranil acetata kao supstanci sa teškim atomima, koji znatno rasejavaju elektrone. No s druge strane time dobijamo alfa radioaktivni izvor u obliku ultra tankog reza i mogućnost ispitati njegov autoradiogram.

Kontrastiranje se postiže vezivanjem teških uranil jona sa nukleinskim kiselinama i nukleoproteinima. Time se povećava kontrast inih organela gde su ove supstance dominantne, pa stoga i čitave elektronske mikrografije. Mi smo se nadali da će se zbog ovog primetiti veća aktivnost u oblasti jedra, ma da sam uranil acetat nije toliko specifično kontrastno sredstvo. Tek specijalnim izborom njegove koncentracije i dužine kontrastiranja moguće je diferencijalno kontrastirati DNK nekih virusa /1/.

Svesni smo bili teškoća u vezi alfa autoradiografije za

elektronsku mikroskopiju zbog velike energije zračenja te se ne može uporedjivati sa standardnom autoradiografijom pomoću nisko energetskih elektrona /3 H-timidinom/. Medjutim, ako je alfa emiter vezan za čestice /uranska ili silicijumska prašina/ sigurno je od interesa a i moguće lokalizovati i jedne i druge uz kompletnu ćelisku ultrastrukturu.

Eksperimentalni rad

Patološka moždana bela masa u cilju nekih drugih istraživanja, korišćena je kao biološko tkivo za kontrastiranje uranil acetatom. Fiksiranje tkiva vršeno je u osmijumu i glutaraldehidu a zatim kontrastirano u 3% uranil acetatu. Posle dehidratacije kalupljenje je vršeno u metilmetakrilatu koji je polimerizovan na 45°C. Posle trimovanja kalupa pravljeni su rezovi debljine 300-400Å na Ultratom-u III /LKB/.

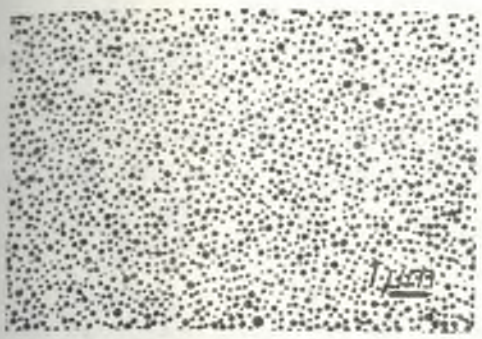
Rezovi su prebačeni na mikroskopsku pločicu prevučenu tankim slojem formvara a zatim je nanešena nuklearna emulzija Ilford L4 /neki rezovi su pre nanošenja emulzije predhodno pregledani sa TEM-om i ponovo kontrastirani uranil acetatom/. Gel emulzija je razblažena toplom vodom /45°C 1:10/. U vertikalnom položaju su pločice lagano uvlačene u emulziju do polovine pločice i isto tako lagano izvlačene da bi se dobio što uniformniji monosloj zrna AgBr emulzije. U vertikalnom položaju pločice su čuvane za vreme ekspozicije od 45 i 75 dana.

Emulzija je razvijana u ID19 /1:3/ razvijaču 2 min na 20°C, zatim provučena kroz vodu i fiksirana uobičajeno, isprana i osušena. Tek po sušenju površina je isparana iglom da bi odvojili formvar sa rezom i emulzijom umakanjem pločice u kosom položaju u vodu i uhvatili na mrežice-nosače preparata za TEM.

Emulzija je razvijana i fizičkim razvijačem /parafenilendiamin/ ali za ovu vrstu preparata zrna srebra koja su kompaktna ali vrlo mala teško se raspoznaju.

Zaključci

Monosloj zrna emulzije L4 dobijen gornjom pojednostavljenom metodom /2,3/ prikazan je na sl. 1. Sloj je dovoljno uniforman ali zrna nisu maksimalno pakovana.

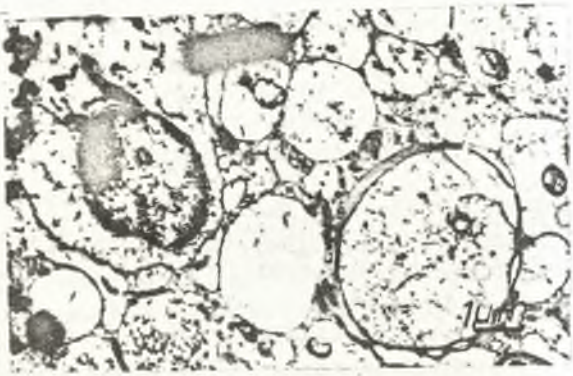


Sl.1. Monosloj zrna emulzije L4

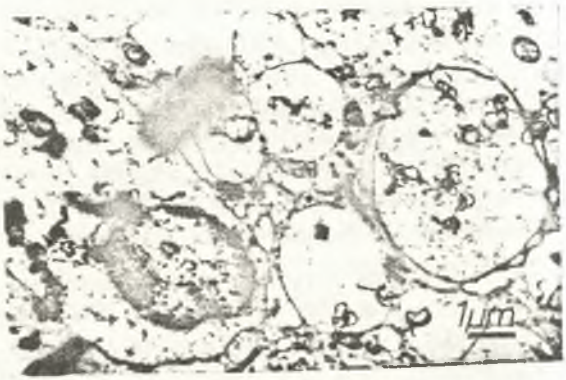
Na slikama 2, 3 i 4 prikazan je isti rez u njegove sve tri faze. Prvo posle sečenja /Sl.1/ zatim posle kontrastiranja direktno na mrežici /Sl.2/ gde se uočavaju mikrokristali uranil acetata i neznatno povećani opšti kontrast. Na sl. 3 po razvijanju vide se niti srebra. Nije se moglo iz ostalog eksperimentalnog materijala nešto isključivo zaključiti u pogledu lokalizacije urana. Neka tehnička pitanja treba rigoroznije rešiti kao i izbor razvijanja sa manjim fonom i kompaktnijim zrnima.

U zaključku bi hteli da istaknemo da uran koji je više hemiski toksičan nego radiaciono što se tiče ovog drugog takodje treba obratiti pažnju jer se sve više upotrebljava u ne radiološkim laboratorijama.

Sl.2. Elektronska mikrografija moždanog tkiva. Kontrastirano pre kalupljenja




Sl.3. Elektronska mikrografija kao na sl. 2 kontrastirano dodatno




Sl.4. Elektronska mikrografija auto radiografije tkiva sa slika 2 i 3

Summary

TEM AUTOHISTORADIOGRAPHY OF SECTIONS STAINING BY URANIL ACETATE

Ultra thin histologic sections /300-400AU/of the brain tissu embeding in metilmetacrylathe and staining before embending and after for transsmision electron microscopy /TEM/are prepared. Monolayer of emulsion L4 was applicated. After developing silver graainc are random dispersed.

Reference

1. Morgan C., Rifkind A., Rose M. Cold Spring Harbour Simpozia on Qant. Biol. 27/57,1962/.

2. Salpeter M.,Bachman., 22/1964/ J.Cell. Biol.

3. Vuković J., Simpozijum autohistoradiografija pomoću tricijum spojeva, 78,1964, Institut za nuklearne nauke "BK", Beograd

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Predrag Popović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

# MIKROTALASNO-RADARSKO ZRAČENJE

Kratak sadržaj:

Osnovne karakteristike radarskog zračenja, njegovo štetno dejstvo, kao i maksimalno dopuštene norme ozračivanja i opšti principi zaštite od radarskog zračenja.

## U v o d

Dvadeseti vek se odlikuje velikim otkrićima i dostignućima u mnogim oblastima nauke i tehnike. Medju njima po značaju, jedno od prvih mesta zauzimaju uspesi u otkrićima, istraživanjima i primeni elektromagnetskih talasa, širokog diapazona frekvencija. U ovom širokom opsegu najveću primenu imaju elektromagnetski talasi radio-frekvencija, jer se oni najbolje prostiru. Intenzivna mikrotalasna polja već su veoma rasprostranjena u modernom svetu uz izrazitu tendenciju daljnjeg širenja.

## Osnovne karakteristike

Mikrotalasi čine deo spektra elektromagnetskog zračenja, prekrivajući područje frekvencija od $3x10^2$ do $3x10^5$ MHz, odnosno talasnih dužina od 100 do 0,1 cm. U radarskoj tehnici koriste se mikrotalasi talasnih dužina reda nekoliko santimetara. Efekt refleksije mikrotalasa je iskorišćen u radarskoj tehnici za indentifikaciju fizičkih prepreka, odnosno objekata koji se nadju na pravcu u kome je usmeren radarski predajnik, odnosno prijemnik. Zbog ovakvih svojstava mikrotalasi su našli široku primenu u nauci i tehnici uopšte, a posebno u savremenoj vojnoj tehnici.

Štetno dejstvo

Vrlo visokofrekventno elektromagnetsko polje radarskog zračenja može da izaziva u organizmu termičko i netermičko, ili tzv. "specifično dejstvo".

Biofizika toplotnog dejstva je dovoljno eksperimentalno ispitana i predstavlja tako reći završenu oblast ispitivanja, dok u vezi "specifičnog dejstva" postoji mnogo biofizičkih hipoteza, koje predstavljaju pokušaje da se objasne fenomeni netermičkog dejstva. Ni jedna od tih hipoteza do danas nije dobila eksperimentalnu potvrdu, a njihova raznovrsnost govori o tome da je još daleko do prave teorije o objašnjenju netermičkog dejstva.

Termičko dejstvo je uslovljeno pretvaranjem elektromagnetske energije, upijene tkivom, u toplotnu. Pod ovim dejstvom, u ozračenom tkivu dolazi do oscilovanja jona i dipolnih molekula, i to uglavnom molekula vode, što i čini suštinu pretvaranja elektromagnetske energije u toplotnu. Zbog toga se najviše zagrevaju tkiva s velikim sadržajem tečnosti kao i krv, limfa i mišići, dok se tkiva s malo vode sporije zagrevaju (masno tkivo). Prema tome termički efekt ima potvrdjenu i definitivnu vrednost. U tom pravcu je razmatrana mogućnost oštećenja delova koji su bogati tečnošću ili siromašni krvnim sudovima. Iz ovoga se nameće zaključak da je pod udarom stalne kontrole bilo prvenstveno oko, i mnogi radovi govore o mogućnosti oštećenja očnog sočiva pri ekspoziciji velikim dozama radarskog zračenja.

Specifični efekti mikrotalasnog zračenja prema Letavetu i V.N.Gurjeva, prvih nedelja i meseci rada u elektromagnetskom polju mikrotalasne radijacije, kod oko 70% radnika, primećuje se pogoršanje opšteg stanja: glavobolja, sanjivost i sniženje radne sposobnosti. Ponekad se zapažaju polpitacije srca i bol u predelu srca koji ne reaguje na nitroglicerin, ali brzo izčezava po izlasku iz zone dejstva. Pominje se još niz funkcionalnih poremećaja. Oštećeni osećaju: prekomernu razdražljivost, povećan umor, nesanicu ili sanjivost, neraspoloženje, glavobolju, teško disanje, lupanje srca, neprijatan osećaj oko srca i bol u predelu srca.

Maksimalno dopuštene norme

Intenzitet ozračivanja organizma izražava se veličinom gustine snage, tj. količinom energije koja pada u 1 sekundi na

površinu od 1 $cm^2$.

Treba reći da kod nas još nisu doneti propisi o maksimalno dozvoljivim nivoima mikrotalasnih zračenja, već se pridržavamo najstrožijih normi koje druge zemlje u svetu primenjuju.

Treba konstatovati da još uvek nepostoji neko medjunarodno telo, koje daje preporuke za norme nejonizirajućeg zračenja, u koje spada i radarsko.

IRPA (Medjunarodna organizacija za zaštitu od zračenja) je organizovala grupu koja radi na problemu nejonizirajućeg zračenja i sprema preporuke koje će biti razmatrane i najverovatnije usvojene na narednom Kongresu IRPA, aprila 1977.

Na priloženoj tabeli br. 1 iznete su maksimalno dozvoljivi nivoi u SAD i SSSR-u. Ovi nivoi se mnogostruko razlikuju. U SSSR-u su zahtevi u pogledu nivoa mnogo strožiji i uzima se u obzir dužina ekspozicije.

TAB. br. 1

Tabela MDN u SAD i SSSR-u

| S A D | S S S R |
|---|---|
| <1mW/$cm^2$ dozvoljena neograničena ekspozicija | Za sedam časova rada MDN 0,01 mW/$cm^2$ |
| 1-10 mW/$cm^2$ bezopasna za kratkotrajnu ekspoziciju | Za 24 časa rada MDN 0,1 mW/$cm^2$ |
| >10 mW/$cm^2$ potencijalna opasnost | Za 15-20 minuta rada MDN 1 mW/$cm^2$ |

Iz navedene tabele se vidi da u SAD maksimalno dozvoljivi nivo iznosi 1 mW/$cm^2$, a u SSSR-u 0,01 mW/$cm^2$. U prvom slučaju norme su definisane na osnovu termičkih povreda, a u drugim na osnovi povreda centralnog nervnog i kardiovaskularnog sistema. U novije vreme razmatraju se i genetski efekti mikrotalasa, koji još nisu dokazani, ali se očekuju. Neki američki eksperti misle da treba prihvatiti norme Sovjetskog Saveza.

## Opšti principi zaštite

Sprečavanje prekomernog ozračivanja postiže se korišćenjem tri osnovna principa, koji su opšte primenljivi u zaštiti od zračenja:

- udaljavanjem od izvora
- skraćivanjem vremena boravka u polju zračenja
- korišćenjem specijalne zaštitne opreme i sredstava za individualnu ili opštu zaštitu.

Prvi i delimično drugi princip primenjivi su za stanovništvo koje živi u okolini snažnih radarskih postrojenja, dok se drugi i treći u celini odnose na profesionalno osoblje koje radi u pogonu i na održavanju ovih uredjaja.

U okviru opšteg pokreta u svetu za zaštitu čoveka i njegove okoline, osnovni problem kod odredjivanja uputstva za zaštitu pri radu u radarskim stanicama i u opšte zaštite od mikrotalasnog zračenja, jeste nedostatak i nepostojanje bilo kakvih zakonskih propisa u našoj zemlji u vezi sa radarskim zračenjem.

Abstract

The purpose of this work is to describe the basis characteristics of radar radiation, its possible damaging effects on human organism and maximum allowable radiation doses in the USA and USSR, as well as general principles of protection from radar radiations.

Literatura

1. Rubin M.: Radar the Electronic Eye, 1963 - New York
2. Palmisano W., Peszenik A.: Military medicina - 1966., 131.,7.
3. Czerski P.: Avijacionaja medicina - specijalnij normer, 1965.
4. Krilov V.A., Jočenkova T.V.: Zašita ot elektromagnetnih izlučenia, Moskva, 1972.

IX. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

Dr Slobodan Milićević, san.ppuk.
Djordjević Dragomir, viši med.lab.

Odeljenje za medicinu rada, HHI
Higijenski zavod VMA - Beograd

# DEJSTVO LASERSKOG ZRAČENJA NA UNUTRAŠNJE ORGANE ČOVEKA

U radu se iznose literaturni podaci o dejstvu laserskog zračenja na pojedine unutrašnje organe. Navode se i lična iskustva o nalazu promena vrednosti nekih parametara kod eksponiranog ljudstva laserskom zračenju. Na osnovu nadjenih podataka zaključuje se da postoje funkcionalne promene nekih unutrašnjih organa.

## Uvod

Konstrukciju prvog lasera ostvario je Majman 1960. godine i od tada se porodica laserskih uredjaja mnogostruko povećava. Takodje je i primena lasera našla široke mogućnosti u mnogim oblastima ljudske delatnosti. Od prvih dana rada sa laserskim zračenjem zapažen je njegov biološki efekat. Kao i uvek, ovaj efekat može biti koristan, ali u praktičnom - profesionalnom radu češće i štetan, što nameće primenu odredjenih mera zaštite.

Osnovne karakteristike laserskog zračenja su opisane u tehničkoj literaturi /1,2/. Mehanizam dejstva na biološko tkivo takodje je obradjen u mnogim medicinskim radovima /3,4,5/. Oštećenja biološkog tkiva nastaju kako od direktnog zračenja, tako i od reflektovanog - ogledalastog ili difuznog /6/. Najosetljiviji organ čoveka je oko, a posle njega dolazi koža. Medjutim, moguća su oštećenja i drugih unutrašnjih organa i tkiva, bez povreda oka i kože, o čemu govore mnogi radovi /7,8,9/. Posledice dejstva laserskog zračenja mogu biti primarne i sekundarne, odnosno akutne i hronične.

Efekti laserskog zračenja na unutrašnje organe

Pri dejstvu laserskog zračenja na površinu grudnog koša ili trbušnog zida utvrdjene su povrede na unutrašnjim organima kontuzionog karaktera. Pri tome je serozni omotač u grudnoj i trbušnoj duplji ostao netaknut. Kontuzioni karakter povrede zavisi od doze energije zračenja. Laseri visoke energije daju takve promene na tkivima koje su slične elektro-koagulacionoj nekrozi. Karakteristično je nejednako oštećenje tkiva po dubini. Ovo se objašnjava pojavom tzv. "hladnih" i "vrućih" tačaka, što nastaje usled nejednake prelomne moći pojedinih ćelija i tkiva,što daje mestimično pojačanje ili slabljenje samog zračenja. Sigurno je da ovde dolazi do izražaja i tzv. samofokusiranje laserskog zračenja. Medjutim, pored ovog čisto termičkog efekta utvrdjena su i netermička dejstva laserskog zračenja, koja se manifestuju u vidu različitih funkcionalnih oštećenja i promena imunih mehanizama, o čemu će biti kasnije više rečeno. Sigurno je utvrdjeno da sadržaj melanina uslovljava selektivnu apsorpciju i stepen maksimalnog oštećenja.

Do odredjene energije /oko 3oo dž/ promene na dubokim tkivima i organima su iste od fokusiranog i nefokusiranog zračenja. Posle ovoga nivoa veća su oštećenja dubokih tkiva /pri istim energijama/ od nefokusiranog zračenja zbog rasipanja.

Efekti istih talasnih dužina zavise od gustine energije ili snage na jedinicu površine, kao i od dužine vremena ekspozicije.

Krvni elementi su istorijski prvi biološki oblici na kojima su primenjeni opiti sa mikrozračenjem lasera. Impulsno zračenje rubina energije od loo m dž razara eritrocite. Pri tome prvo nastaje otvor odredjenog dijametra /u mikronima/, a onda

hemoliza. Oksihemoglobin ima karakterističan maksimum apsorpcije rubinskog zračenja u dijapazoni talasne dužine 542o do 576o Å, a hemoglobin na oko 556o Å. Još bolju apsorbciju hemoglobin ima prema sivo-zelenom zračenju argona /48oo-5145 Å/. Pored ovoga u eritrocitima dolazi pod dejstvom zračenja do pojave niza netermičkih efekata, što može imati za posledicu funkcionalne promene udaljenih organa i tkiva od mesta zračenja.

Leukociti su nešto otporniji od eritrocita. Hronično delovanje laserskog zračenja dovodi do poremećaja u diferencijalnoj krvnoj slici. Trombociti su negde na sredini osetljivosti između leukocita i eritrocita.

Krvni sudovi postaju nekrotični pod dejstvom energija od 40 dž, pa naviše. Nastajanje tromba i upalnih reakcija u krvnim sudovima je posredno preko apsorpcije kvanta energije od strane krvnih i ćeličnih elemenata i od zidova krvnih sudova.

Jetra može biti oštećena primarno, što se manifestuje oštrinom kontura bez obzira na jačinu, energiju i fokusiranja zračenja. Sekundarne reakcije se manifestuju pojavom krvarenja, upalnih reakcija, pa je i granicu teško odrediti. Dejstvo laserskog zračenja se manifestuje obrazovanjem u parenhimu jetre ognjišta karakterističnog oblika. U nekim slučajevima nastaje subkapsularni hematom, koji vrši pritisak prema centru. Proučavana je fermentativna funkcija jetre kod majmuna, pri ozračivanju neodijumskim laserom energijama većim od 5o dž. U toku 8 nedelja posle ozračivanja ustanovljena je promena aktivnosti transaminaza, dehidrogenaze, alkalne fosfataze i dr.

Slezina je ispitivana od strane Fine-a i sar. /1965/. Ognjišta destrukcije u slezini imaju morfološku sliku koja je slična onoj na jetri. Pri direktnom ozračenju dominira znatno

krvarenje, koje dosta brzo spontano prestaje.

Bubrezi pod dejstvom rubinskog zračenja energije od 45 dž dobijeni izliv krvi ispod kapsule, a ponekad i u unutrašnjem tkivu. U ognjištu je bilo jasno izražena degenerativna promena epitela mokraćnih kanala, sa delovima uvećanih ćelija bez jedra - tzv. pustih ćelija. Utvrdjeno je jasno sniženje kisele fosfataze u epitelu mokraćnih kanala, kao i u zoni oštećenog tkiva.

Pluća reaguju već na 10 dž nefokusiranog neodijumskog zračenja subpleuralnim krvarenjem. Kavecki je pod dejstvom rubinskog lasera jačine od 45 dž utvrdio ognjišta u plućima, sa nekrozom ćelija medjualveolarnih zidova. U dubljim delovima plućnog tkiva on je nalazio ognjišta koja su slična kontuzionim povredama tkiva. To su i drugi autori potvrdili.

Srce takodje reaguje na lasersko zračenje. U kulturi tkiva utvrdjeno je usporenje ritmike skraćivanja, a pri većim energijama nastaje i potpuni prekid ritmike. Na EKG-u eksponiranih radnika utvrdjene su takodje promene.

Digestivni trakt je isto tako osetljiv na ovo zračenje. Eksperimentalne životinje su ugibale ozračenjem trbušnog zida neodijumskim zračenjem jačine od 50 dž. Pregledom su kod istih ustanovljavana skrivena intramularna krvarenja želudca i tankog creva.

Naše iskustvo

U toku 1974. godine izvršen je pregled 56 eksponiranih muškaraca, a od ovih u 1975. godini kod 37 ponovni pregled. Prosečna starost eksponiranih je 34 godine. Prosečan opšti radni staž je 9 godina, a specifični /ekspozicija laserskom zračenju/ 4 godine. Dnevna ekspozicija je 2-4 časa.

Mere zaštite se ne sprovode u dovoljnoj meri. Direktno

TAB.br.1.

| Vrsta analize | N | Godina | Srednja vrednost - ± standardna devija- cija | P.-dif. |
|---|---|---|---|---|
| Urea | 56 | 1974 | 36,3o ± 9,1o | < o,ool |
| | 37 | 1975 | 29,12 ± 6,17 | |
| Weltman. | 56 | 1974 | 6,81 ± o,58 | < o,o2 |
| | 37 | 1975 | 5,8o ± o,65 | |
| Holesterol. | 56 | 1974 | 193,oo ± 32,7o | < o,ool |
| | 37 | 1975 | 212,7o ± 32,9o | |
| Alk.fosfat. | 56 | 1974 | 37,17 ± 9,8o | < o,ool |
| | 37 | 1975 | 47,6o ± 14,26 | |

Reprezentativni rezultati biohemijskih analiza

ozračenje ruku je skoro uobičajno, a često i drugih delova tela. Od reflektovanog zračenja zaštita skoro da i ne postoji. Lična zaštitna sredstva se slabo koriste iz objektivnih i subjektivnih razloga.

Na tabeli 1. su prikazani reprezentativni biohemijski parametri pregledanog ljudstva,čija je razlika od visoke statističke značajnosti. Kao što se vidi, u toku jednogodišnje ekspozicije, utvrdjeno je smanjenje uree i Weltmana, dok su holesterol i alkalna fosfataza povećani.

Pored navedenog, utvrdjeno je i signjifikantno povećanje pulsa u 1975. god. /od 69 na 73/min./. Karakterističan je bio i povećani nalaz mladih lifocita od visoke statističke značajnosti /od 4% na 27% u 1975./.

Na osnovu analize ovih i drugih rezultata došli smo do zaključka da postoje neka oštećenja od laserskog zračenja kod eksponiranog ljudstva, kao i poremećaj funkcije unutrašnjih

organa - najverovatnije jetre i koštane srži. Ovo dejstvo na unutrašnje organe je po našem mišljenju posredno, preko krvnih elemenata, s obzirom na ekspoziciju perifernih delova tela - najviše ruku. O mehanizmu dejstva za sada je teško odredjenije tvrditi, mada postoji logična predpostavka.

Literaturni podaci,a i rezultati naših iskustva ukazuje na mogućnost funkcionalnih promena na unutrašnjim organima pri ekspoziciji laserskom zračenju manjih intenziteta, što ukazuje na neophodnost primene mera zaštite.


Summary

In the present paper it has been shown the data of the literature about action of laser rays to some internal organs: blood cells, liver, spleen, heart, lungs, etc. After one year observation, on the base of changes of some parameters in the people who were exposed to laser irradiation, the authors give their personal experience. Obtained findigs allow them to conclud that persist functional changes some internal organs in those people.


Literatura


1. Levine K.A.: Lasers, I, Marcel Denker,inc., New York, 1966.
2. Allen L., D.Jones: Principles of gas Lasers, London, Butterwarths, 1967.
3. Hromow M.B. i N.B.Frigin: Vestnik dermatologii i venerologii, 4, 14-24, 1969.
4. Kašuba A.V.: Gigiena i sanitarija, 8, 29-32, 1976.
5. Luizov A.: Voenii vestnik, 6, 118-121, 1973.
6. Semenov I.A.: Gigiena truda i profesionaljnije zaboljevanija, 8, 1-6, 1976.
7. Gamaleja F.N.: Lazeri v eksperimente i klinike, "Medicina", Moskva, 1972.
8. Kaveckii O. i sar.: Lazeri v biologii i medicine, "Zdorovja", Kiev, 1969.
9. Krilov V. i T.Jučenkova: Zaščita ot elektromagnetnih izlučenii, "Sovetskoe radio", Moskva, 1972.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Mr. Tomašević Miroslav, dipl. fiz.
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr. D. Karajović" - Beograd

# IZVORI MIKROTALASNOG ZRAČENJA KOJI SE KORISTE U DOMAĆINSTVIMA

Rezime

Od pre izvesnog vremena i u nas je počela da se širi primena uredjaja namenjenih domaćinstvima, koji koriste energiju elektromagnetnih talasa. Na prvom mestu to su takozvane "mikrotalasne peći" namenjene za pripremanje hrane.

Iz iskustva zemalja koje ih već proizvode i koriste poznato je da i pored brižljive konstrukcije i izrade dolazi do nepoželjnog efekta "curenja energije" u prostor van peći. Veličina ovog"curenja" u izvesnim slučajevima može biti i znatno viša od dozvoljenih vrednosti.

Kako u nas još nisu prihvaćene norme, koje se odnose na maksimalno dozvoljene vrednosti parazitskog mikrotalasnog zračenja, neophodno je da se što je moguće pre one usvoje i počnu primenjivati.

U većem broju zemalja definisan je opseg mikrotalasnog zračenja od 300 do 300.000 MHz. Izuzetak čine SAD, u kojima je ovaj opseg nešto drugačiji /1.2/. Ovaj široki opseg frekvencija koristi se za potrebe televizije, radija, radara za različite namene, a pored toga u ovom opsegu rade i izvesni uredjaji koji se koriste u medicini.

Energija mikrotalasnog zračenja koristi se i u domaćinstvima /1.2.3.4./ i na ovom mestu ovom vidu primene posvetićemo malo više prostora.

Mikrotalasne peći namenjene za spravljanje hrane u domaćinstvima ušle su u upotrebu u mnogim zemljama i njihov se broj iz dana u dan povećava /3.4.5./. Od prošle godine one se mogu videti i na našem tržištu. One uglavnom rade na frekvenciji od 2450 MHz, mada za ovu primenu može da se koristi i frekvencija od 915 MHz /4/. Njihova glavna prednost u odnosu na klasične peći za spravljanje hrane jeste u tome što je vreme kuvanja znatno smanjeno, čime se štedi i vreme i električna energija.

Medjutim početak primene ovih uredjaja postavlja nas pred jedan nov do sada nepoznat problem. Naime, postavlja se pitanje kako i na koji način zaštititi populaciju od parazitnog zračenja, koje pod izvesnim uslovima može da se oslobodi iz unutrašnjosti peći i da na taj način ugrozi lica u okolini peći. Da je uticaj ovog zračenja štetan po živi organizam, to je već opšte poznato, jer postoji niz radova koji to potvrdjuju /1.2.3.4.6. 7.8.9.10/. Iz tih razloga u mnogim zemljama neposredno po primeni ovih peći radilo se i na donošenju odgovarajućih zakonskih propisa i normi, koji regulišu ovu problematiku. Osim toga donose se i propisi u pogledu kontrole ovih uredjaja kao i u smislu instrumentacije koju treba koristiti /4.5.11./.

Prema zakonskim propisima SAD iz 1969. godine /4/ ograničeno je da gustina energije koja se oslobadja iz nove peći ne sme biti veća od 1 $mW/cm^2$, dok u periodu koji je pokriven garancijom ova vrednost ne sme preći 10 $mW/cm^2$. Medjutim, prema sadašnjim kriterijumima ova vrednost za peći puštene u eksploataciju ograničena je izmedju 1 $mW/cm^2$ za nove peći i 5 $mW/cm^2$ za peći koje se već nalaze u upotrebi.

Na našem tržištu je počela prodaja ovih peći, a nije tajna da se priprema i domaći prototip. Prema tome, možemo očekivati da se broj ovih peći u skoroj budućnosti poveća. Iz tog razloga želimo da upozorimo sve zainteresovane,a pre svih naše Društvo za zaštitu od zračenja,da se javlja nov problem sa kojim ćemo se suočiti u najskorijoj budućnosti.

Kako zakonski propisi koji bi regulisali ovu oblast nisu doneti i ne zna se kada će biti doneti, naša je dužnost da tražimo njihovo donošenje i u tome aktivno i učestvujemo. U našoj zemlji postoje institucije i stručnjaci, koji su u oblasti mikrotalasa postigli značajne rezultate, pa je neophodno da se isti angažuju na ovom poslu.

## Zaključak

Primena mikrotalasnih peći u domašinstvima postavlja nas pred jedan nov problem, mogućnost izlaganja populacije parazitskom zračenju. Kako mi ne raspolažemo sa zakonskim propisima iz ove oblasti, postavlja se pitanje na koji ćemo način regulisati ovu primenu mikrotalasa. Slepo prihvatanje normi istočnih ili pak zapadnih zemalja bilo bi nedopustivo, pogotovu kada znamo da i naši stručnjaci rade na ovom polju i postižu znatne rezultate. Zato se zalažemo da se u okviru Društva za zaštitu od zračenja organizujemo i učinimo sve u okviru svojih mogućnosti da se što pre donesu zakonski propisi koji bi regulisali ovu oblast. U ovaj rad moraju biti uključeni pre svega zdravstveni radnici, jer oni mogu najbolje da sagledaju ceo problem, ne samo sa tehničke već takodje i sa biološke strane, što je u ovom slučaju i mnogo važnije.

Što se tiče samih vrednosti o dopuštenom curenju energije iz peći mišljenja smo da se ne sme dozvoliti da u prodaju udju peći kod kojih je ovo curenje veće od 1 $mW/cm^2$. Takodje zahtevamo da se zabrani puštanje u prodaju svih peći, koje nisu kontrolisane od strane naših stručnih službi i koje ne ispunjavaju gore navedeni uslov. Smatramo takodje da je neophodno bar izvestan broj godina kontrolisati i prodate peći po istom principu kao što se vrši kontrola i drugih izvora zračenja.

Summary

MICROWAVE RADIATION SOURCES USED IN DOMESTIC ENVIRONMENT

The application of saving labour devices using electromagnetic waves has spread in this country lately. First of all, these are microwave ovens intended to preparation of food.

It is known from some experiences coming from different and various countries that had already used the mentioned devices, that there is beside utmost care some undesired effect of energy leaking outside the ovens. The quantity of this leaking in some cases can be higher than allowed.

With us the standards are not fixed and defined yet. So, it is necessary when parasitic leakages in question to fix the standards as soon as possible. The application of these fixed standards should be determined and not only determined but they are to come to life.

Literatura

1. VERNON E.R. et al : Evaluation and Control of Exposures in Repairing Microwave Ovens
American Ind.Hyg.Ass.Journal/mart-april 1969. str.137/.

2. SWANSON R.J. et al : A Review of International Microwave Exposure Guides
American Ind.Hyg.Ass.Journal/sept.-okt.197o. str. 623/.

3. MENNIE DON : Microwave Ovens : What is cooking ?
Spectrum /March 1975, str.34/

4. HARRY GILBERT: A study of microwave radiation leakage from microwave ovens
American Ind.Hyg.Ass.Journal/Nov.-Dec.197o. str.772/

5. WILLIAM H. OATES et al: Microwave Oven Survey Results in Arkansas During 197o
AJPH/March 1973, Vol63 No.3/

6. STEPHEN F. CLEARY: Uncertainties in the evaluation of the biological effects of microwave and radiofrequency radiation. Health Phys./Vol.25. Oct.1973, str.387-4o4/.

7. MICHAELSON M. SOL: Biomedical Aspects of Microwave Exposure
American Ind.Hyg.Ass.Journal/May 1971. str.338/.

8. KLASCIUS AL: Microwave Radiation Hazards around Large Microwave Antena

9. Health Hazards From Exposure to Microwaves
Health Physics /Vol. 28.Jan.1975. pp.69-73/.

10. D.BUSH: Health Hazards from Microwave Exposure
Health Physics /Vol.29.Sep.1975. pp.431-432/.

11. NARDA: Electromagnetic Leakage Monitor "Surveyor" Model 8looB /uputstvo za rukovanje/.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

Mr. Tomašević Miroslav, dipl. fiz.
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr. D. Karajović" - Beograd

# KONTROLA PARAZITNOG MIKROTALASNOG ZRAČENJA KOD MIKROTALASNIH PEĆI NAMENJENIH ZA SPRAVLJANJE HRANE

Rezime

U radu su izneti podaci koji nedvosmisleno ukazuju da je neophodna kontrola parazitnog mikrotalasnog zračenja kod peći namenjenih za primenu u domaćinstvima.

Dat je i prikaz instrumenta, kojim se takva kontrola obavlja kao i predlog da se što je moguće pre donesu zakonski propisi u vezi sa ovom problematikom.

Primena mikrotalasnih peći postavlja pred nas nov problem jer se pri njihovom korišćenju pod izvesnim uslovima oslobađa energija i u prostor oko peći.Kako je izlaganje ovom parazitnom zračenju štetno po zdravlje to je neophodno da se peći podvrgavaju dozimetrijskoj kontroli./1,2/ Kontrola mora da se vrši pre predaje peći kupcu ali i posle za vreme njenog korišćenja. Trenutno ne postoje zakonski propisi koji bi regulisali ovu problematiku. Zato je potrebno da se oni što je moguće pre donesu. U međuvremenu potrebno je da se osposobe i odgovarajuće stručne službe za zaštitu od zračenja koje bi se prihvatile obavljanja ovih merenja. Do sada merenja ove vrste nisu vršena te ne raspolažemo odgovarajućim mernim instrumentima.

Najprikladniji instrument za obavljanje kontrole parazitnog zračenja kod mikrotalasnih peći bio bi instrument NARDA model 8100 B, ne samo zato što je lak i zgodan za rukovanje, već i zato što je i specijalno konstruisan za ovu vrstu merenja. Predvidjen je za dve frekvencije i to 915 MHz i 2450 MHz. Uz instrument se isporučuju tri merne sonde, tako da se merni opseg instrumenta uz njihovo korišćenje prostire od 10 mikroW/cm$^2$ do 200 mW/cm$^2$. Kako su dozvoljene vrednosti za parazitno zračenje prema propisima u SAD 1 mW/cm$^2$ odnosno 5 mW/cm$^2$ /za koje se vrednosti i mi zalažemo/, to merni opseg instrumenta u potpunosti odgovara svojoj nameni /3/.

Summary

THE CONTROL OF MICROWAVE LEAKAGE RADIATION OF MICROWAVE OVENS INTENDED TO THE FOOD PREPARATION

The paper shows data which undoubtfully point to the necessity of microwave leakage radiation control. It is true with ovens intended to the domestic usage.

The characteristic of instruments which are needed for control is given. A proposition is also given referring to the necessity of urgent fixing of legal regulations concerning this problematic.

Literatura:

1. MICHAELSON M. SOL : Biomedical Aspects of Microwave Exposure American Ind.Hyg Ass.Journal /May 1971. pp.338-345/.

2. OATES H. WILLIAM : Microwave Oven Surwey Results in Arkansas During 197o /March 1973. Vol.63 No.3, pp. 193-198/ AJPH

3. GILBERT HARRY: A Study of Mikrowave Leakage From Microwave Ovens /Nov.-Dec.1970. pp. 772-778/ American Ind.Hyg.Ass.Journal

4. NARDA: Electromagnetic Leakage Monitor Model 8100 B Data sheet 19-6

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja,
Jajce,31.V. do 3.VI.1977.

Zoran Djordjević
Vazduhoplovnomedicinski institut u Zemunu

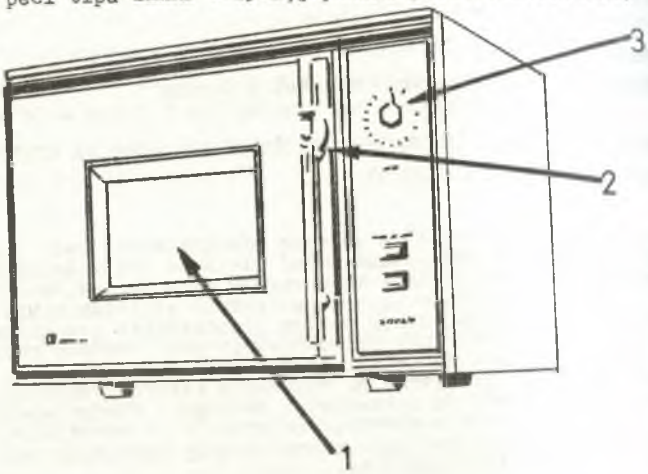
# MOGUĆNOSTI ZA AKCIDENTALNA OZRAČENJA PRI RADU SA MIKROTALASNIM PEĆIMA I ZAŠTITA

Kratak sadržaj: Sve šira primena mikrotalasnih peći u domaćinstvima uvećava potencijalni rizik da dodje do akcidentalnih ozračenja lica koja rukuju ovim pećima.Nedovoljno znanje korisnika ovih peći o štetnim efektima mikrotalasa,nekorektno rukovanje pećima i nedostatak organizovane kontrole ispravnosti mikrotalasnih peći uvećava probleme zaštite i može da uslovi štetne posledice.Ističe se potreba da se u uputstvima za rukovanje mikrotalasnim pećima, kupci upozoravaju na opreznost i na moguće štetne posledice pri nepropisnom rukovanju.Preporučuje se zavodjenje periodične kontrole zračenja mikrotalasnih peći koje su u eksploataciji u domaćinstvima.

Do nedavno,osoblje radarskih stanica je uglavnom predstavljalo populaciju koja se profesionalno izlaže mikrotalasnom zračenju. Razvoj elektronske tehnike u poslednjih deset godina učinio je da izvore mikrotalasnog zračenja ne nalazimo samo u radarskim stanicama,već i u kuhinjama hotela,restorana,pa sve više i u domovima gradjana. CLEARY(1) navodi da je do 1970 godine u SAD prodato više od 100.000 mikrotalasnih peći za domaćinstva. Poslednjih nekoliko godina proizvodnja ovih peći u svetu zabeležila je veliki porast(2,3,4). U toku 1975 i 1976 godine u našu zemlju je uvezeno više stotina mikrotalasnih peći.Kako se može pročitati u našoj dnevnoj štampi, Elektronska industrija iz Niša se priprema za proizvodnju mikrotalasnih peći.

Sasvim je izvesno da će pogodnosti koje pružaju mikrotalasne kuhinje ("brzo i čisto") primamiti veliki broj porodica da modernizuju svoje kuhinje mikrotalasnim pećima.

U toku 1976 godine u Vazduhoplovnomedicinskom institutu u Zemunu vršena su ispitivanja zračenja u okolini mikrotalasne peći tipa SHARP R-1501,japanske proizvodnje.(Sl.1)

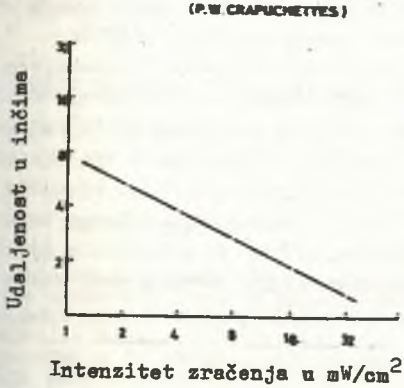



Sl.1 Mikrotalasna peć SHARP R-1501.
(1-2-3: područja gde najčešće dolazi do "curenja" mikrotalasnog zračenja)

Ova ispitivanja izvedena su pomoću detektora mikrotalasnog zračenja NARDA B86B3.Rezultati merenja zračenja pokazali su da u neposrednoj blizini okna,ivice vrata i satnog uredjaja dolazi do probijanja mikrotalasnog zračenja u spoljnu sredinu.Na odstojanjima do 10 cm od peći registrovano je zračenja intenziteta 1-4 mW/cm$^2$.Po našim propisima zaštite, koji važe za osoblje radarskih jedinica RV i PVO,zone u kojim se merenjima utvrde intenziteti veći od 1 mW/cm$^2$,smatraju se zonama "intenzivnog zračenja" i u njima se ograničava zadržavanje ljudstva (do 15 min. u toku 24 h.).Polazeći od toga,mi smo došli do zaključka da u neposrednoj blizini mikrotalasne peći koju smo ispitivali,nije poželjno duže zadržavanje ljudi. Na odstojanjima većim od 10 cm od peći,nismo utvrdili značajne intenzitete mikrotalasnog zračenja.

Slična ispitivanja zračenja sa mikrotalasnih peći vrše se rutinski u svetu.Na simpozijumu o biološkim efektima mikrotalasnog zračenja koji je održan 1969 godine u Richmondu (SAD),CRAPUCHETTES(5) i VOSS(6) su objavili rezultate svojih ispitivanja.

Na slici 2 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti intenziteta mikrotalasnog zračenja na različitim odstojanjima od jedne mikrotalasne peći koju je ispitivao CRAPUCHETTES(6).




Sl.2 Intenzitet mikrotalasnog zračenja u funkciji odstojanja od peći (po Crapuchettes-u)

Merenjem zračenja u neposrednoj blizini mikrotalasne peći utvrdjeno je da okno na vratima peći,prorezi gde se vrata uklapaju u zidove peći,kao i okolina osovinica vrata,predstavljaju kritična mesta na kojima najčešće dolazi do "curenja" mikrotalasnog zračenja u spoljnu sredinu.Pored toga,ispitivanja su pokazala da hermetičnost mikrotalasnih peći nije uvek ista kod istih tipova peći.

Na osnovu ovakvih ispitivanja utvrdjeno je da su moguća akcidentalna ozračenja pri rukovanju mikrotalasnim pećima. Budući da u skoro vreme treba očekivati široku primenu mikrotalasnih peći u domaćinstvima, preporučuju se sledeće mere prevencije akcidentalnih ozračenja mikrotalasima:

1. Proizvodjači mikrotalasnih peći treba da pruže detaljne informacije kupcima o biološkim efektima mikrotalasa, kao i instrukcije o merama bezbednosti pri rukovanju ovim pećima.

2. Pre slanja peći u prodaju, proizvodjači su dužni da izvrše kontrolu hermetizacije, kako se ne bi dogodilo da peći zbog greške u montaži, zrače u okolni prostor.

3. Periodična kontrola zračenja u neposrednoj blizini mikrotalasnih peći treba da bude organizovana kao deo servisne službe. Na taj način bi se onemogućilo da rashermetizovane peći u toku eksploatacije ugrožavaju okolinu.

Primenom navedenih preventivnih mera omogućio bi se bezbedan rad, kao i dalji razvoj mikrotalasne tehnike za domaćinstva. U suprotnom, moguća je pojava akcidenata, što bi sigurno brzo kompromitovalo primenu ovih inače vrlo korisnih sredstava savremenih kuhinja.

SUMMARY

The increasing use of microwave ovens in homes and restaurants suggests the need for a evaluation of the available informations concerning the harmful effects of microwave exposure. Legislation to protect the public from hazardous exposure to microwave has been proposed.

Literatura

1. CLEARY F.S.: Am.Ind.Hyg.Assoc.J., 31:1,52 ,1970.
2. SWANSON R.J., ROSE E.W., POWELL H.CH.: Am.Ind.Hyg.Assoc.J. 31:5,623,1970.
3. SILVERMAN CH.: Am.J.of Epidem., 97:4,219,1973.
4. MILROY C.W., MICHAELSON M.S.: Aerospace Med., 53:1,67,1972.
5. CRAPUCHETTES W.P.: Proc.Symp.Biol.Effects and Health Implic. of Microwave Rad.Richmond,Virginia,210,1969.
6. VOSS W.G.: Proc.Symp.Biol.Effects and Health Implic.of Microwave Rad., Richmond,Virginia,217,1969.

IX. simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31.V. - 3.VI.1977.

Petrović B., Djordjević Z., Lazarević Nada, Štaljonić N.

Katedra za radiologiju, Veterinarski fakultet,Beograd
Vazduhoplovno-medicinski institut , Zemun

# UTICAJ MIKROTALASNOG ZRAĆENJA NA PERIFERNU KRV I GLIKEMIJU PACOVA

- Kratak sadržaj -

U radu su prikazana ispitivanja promena nekih osnovnih parametara bioloških promena koje nastaju pod uticajem produženog izlaganja mikrotalasnog zračenja . Primenjivane su doze zračenja koje se koriste u fizijatrijskoj praksi (doza= 20 mW/cm$^2$ ; ekspozicija 30 minuta, svakodnevno u toku 40 dana) . Ispitivanja su obavljena na pacovima, a kao izvor zračenja je korišćen aparat za mikrotalasnu terapiju (2400 MHz ; λ= 12,4 cm). Utvrdjen je snažan termički efekt, hiperglikemija u toku zračenja i izvesne promene u nekim elementima krvne slike (eritropenija, leukocitoza) .

Mikrotalasi se koriste u terapijske svrhe, jer termički efekt mikrotalasnog zračenja (MT) ima biopozitivno dejstvo u lečenju niza oboljenja gde je regionalna hiperemija poželjna, naročito kada se radi o hroničnim oboljenjima mekih tkiva lokomotornog aparata . Medjutim , primena visokih doza MT zračenja može da dovede i do ozbiljnih oštećenja ozračenog tkiva, a opisane su i duboke opekotine kod pasa izlaganih MT terapiji . Danas se pouzdano zna da nekorektna primena MT u fizikalnoj terapiji može da izazove nepoželjne posledice, budući da fenomen dubokog zagrevanja pomoću MT može u odredjenim uslovima ekspozicije da dovede do lokalne hipertermije oz-

račivanog tkiva .

Hronično i frakcionisano ozračivanje mikrotalasima dovodi do poremećaja u hematopoezi i hemodinamici , što je dokazano brojnim eksperimentalnim radovima . Medjutim , zanimljivo je da su rezultati dosadašnjih istraživanja promena u perifernoj krvi izazvanih MT zračenjem često kontradiktorni , što je verovatno posledica različitih uslova ekspozicije u ovim eksperimentalnim radovima . Iz tih razloga želeli smo da ispitamo biološke efekte termičkih doza MT zračenja koje se najčešće koriste u fizioterapiji .

## MATERIJAL I METOD RADA

Ogledi su izvedeni na pacovima soja Wistar,muškog pola,težine 170-200 grama . U ogledu je bilo ukupno 20 pacova, od kojih je 10 životinja predstavljalo eksperimentalnu grupu i koje su ozračivane mikrotalasima, a drugih 10 životinja su bile kontrole . Sve eksperimentalne životinje bile su podjednako tretirane u odnosu na ishranu i smeštaj .

Životinje eksperimentalne grupe zračene su u specijalnom kavezu od pleksistakla, koje je transmisibilno za MT, čime je bio omogućen ravnomeran raspored gustine MT polja .Ekspozicija u polju MT zračenja bila je 30 minuta svakodnevno u toku 40 dana . Primenjena doza MT zračenja iznosila je 20 mW/cm$^2$ . Kao izvor zračenja korišćen je MT generator izlazne snage 200 W, frekvence 2400 MHz , koji emituje zrake talasne dužine 12,4 cm . Za emisiju energije MT zraka korišćen je okrugli zračnik sa dipolom . Odredjivanje i kontrola primenjene doze MT zračenja vršena je pomoću mernog uredjaja za MT zračenje, tipa Sperry, model B86B2 .

Pre početka ogleda, zatim posle 10., 20., 30. i 40. dana od početka ogleda uzimani su uzorci krvi od svih kontrolnih i ozračivanih životinja, radi ispitivanja krvne slike, leukocitarne formule i hematokrita . Krv za laboratorijska ispitivanja uzimana je iz repa pacova . Odredjivanje hematokrita vršeno je po Wintrobu, a broj leukocita i eritrocita odredjivan je u Bürker-Türkovoj komori. Poslednjeg dana ogleda,a u toku izlaganja pacova MT zračenju, registrovana je glikemija, koja je odredjivana brzom metodom, primenom Ames Reflec-

tance Meter-a.

Telesna temperatura oglednih životinja merena je pre, u toku i posle izlaganja životinja u polju MT zračenja, a pomoću električnog termometra firme Hartmann-Braun, koji ima termokupl za rektalnu primenu .

POSTIGNUTI REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu izvršenih sistematskih ispitivanja, rezultati koji su postignuti prikazani su na grafikonima 1-4 .

Na grafikonu 1. dat je prikaz srednjih vrednosti rektalnih temperatura pre, u toku i posle izlaganja u polju MT zračenja intenziteta 20 $mW/cm^2$ . Razmatranjem ovih rezultata može se zapaziti da je primenjena doza MT zračenja izazvala snažan termički efekt u organizmima eksperimentalnih životinja. Rektalna temperatura pacova porasla je za 2,5°C u toku polučasovnog izlaganja u MT polju . Po prestanku zračenja, rektalna temperatura zračenih životinja vraćala se na vrednost pre ozračivanja tek posle 30 minuta .

Na grafikonima 2. i 3. prikazane su srednje vrednosti broja leukocita i eritrocita u perifernoj krvi eksperimentalnih i kontrolnih životinja i to pre, u toku i posle izlaganja MT zračenju . Posmatranjem ovih rezultata može se odmah zapaziti da je već posle 10. dana od početka ozračivanja došlo do karakterističnih izmena u krvnim slikama ozračivanih životinja i to u smislu pojave leukocitoze i eritropenije . Vrednosti eritrocita uglavnom su se održavale u toku trajanja čitavog eksperimentalnog rada na nivou nešto nižem od nivoa pre ozračivanja . Što se tiče leukocita, može se zapaziti da je njihov broj progresivno rastao od početka pa skoro do kraja eksperimenta ; ovaj porast broja leukocita naročito je izražen u zadnjim fazama ogleda, tj posle 30. i 40. dana ozračivanja .

Zanimljivo je da se vrednosti hematokrita i hemoglobina nisu značajno menjale u toku 40. dnevnog izlaganja pacova MT zračenju . Takodje nisu utvrdjene statistički značajne razlike izmedju vrednosti ovih parametara eksperimentalne i kontrolne grupe .

Na grafikonu 4. prikazane su srednje vrednosti glikemije i rektalne temperature u pacova i to pre, u toku i posle izlaganja MT zračenju . Razmatranjem ovih rezultata može se zapaziti da polučasovno ozračivanje u MT polju intenziteta 20 $mW/cm^2$ dovodi do konstantnog porasta glikemije u pacova uporedo sa porastom telesne temperature . Vrednosti glikemije i telesne temperature u ozračenih životinja vraćaju se na početni nivo tek posle 30 minuta po prestanku zračenja .

**ZAKLJUČAK**

Utvrdjen je snažan termički efekt slabijih doza MT zračenja (20 $mW/cm^2$) kakve se koriste u fizioterapiji .

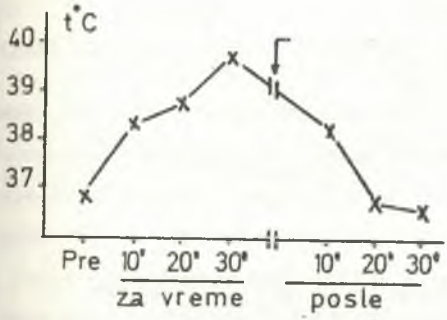
Poremećaji termoregulacije, praćeni izrazitom hiperglikemijom u toku zračenja, ukazuju da ove doze deluju kao značajan stresogeni faktor koji može da prevazidje kompenzatorne mogućnosti organizma izloženog MT zračenju .

Promene nekih uobličenih elemenata periferne krvi (leukocitoza, eritropenija) , koje su utvrdjene posle 40.dnevnog izlaganja MT zračenju , po našem mišljenju su posledica generalizovane stres reakcije, odnosno iritacije endokrinog sistema, a zatim i delimično redistribucije krvnih elemenata, usled periferne vazodilatacije i ubrzane cirkulacije krvi .

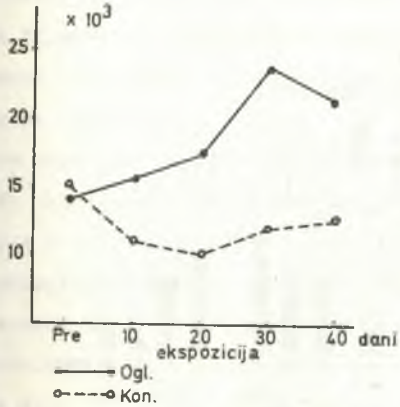
POPIS LITERATURE može se dobiti od autora .


S u m m a r y

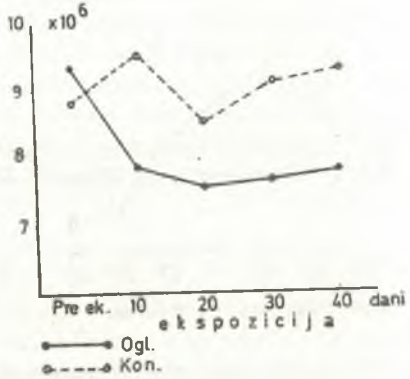
In this paper the investigation of some basic parameters of biological change caused ba prolonged exposure to the microwave radiation is presented . The radiation doses normally used in physical therapy (dose 20 $mW/cm^2$; exposure 30 min dayly, during 40 days) were applied . The investigations were performed on rats . The irradiation source was a microwave therapy equipment (2400 MHz ; = 12,4 cm) . - A strong thermal effect ,hyperglycemia during irradiation, and certain changes in some blood elements ( erithropenia,leukocytosis) were established.



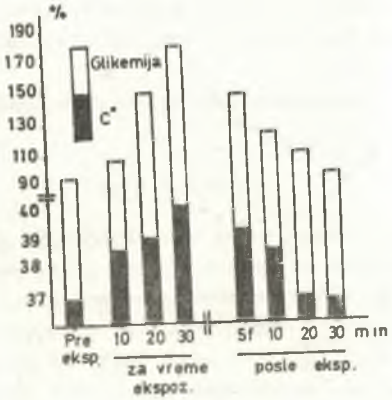

Graf.1 - Srednje vrednosti rektalne temperature pacova za vreme i posle ozračivanja mikrotalasima




Graf. 2 - Srednje vrednosti broja leukocita u perifernoj krvi pacova ozračivanih mikrotalasima




Graf. 3 - Srednje vrednosti broja eritrocita kontrolnih i pacova ozračivanih mikrotalasima




Graf. 4 - Srednje vrednosti glikemije i telesne temperature pacova ozračivanih mikrotalasima

# PRIMJENA FOTOGRAFSKIH FILMOVA ZA DOZIMETRIJU GAMA ZRAKA PRI TELETERAPIJI

T.IMAMI

Medicinski Fakultet - OOUR M.Z.Službe - Priština

Rendgeski film,kakav služi za dobivanje rendgenografskih snimaka za potrebe dijagnostike,ima dva na svijetlost osjetljiva emulziona sloja,jedna s jedne idrugi s druge strane prozirnog filma.To je potrebno za povećanje zacrnjenja.Apsorpcija u zacrnjenju prvog sloja zbraja se sa apsorpcijom u zacrnjenju drugog sloja.Povrh toga,mora rendgenski film imati dovoljno visoku osjetljivost.

Ako je rendgenski film izložen kobaltovoj gama radijaciji, mora biti pokriven slojemod 5 mm pleksiglasa,da bi se mogla uspostaviti elektronska ravnoteža.Zbog dvostrukog sloja i velike osjetlivosti postižu se onda velika zacrnjenja i sa razmjerno malim ekspozicijskim dozama.U stručnoj se literaturi zato ne preporučuje upotreba takvih filmova za dozimetrijske upotrebe.Preporučuju se specijalni filmovi inostranih tvornica do kojih je teško doći, budući da ih treba uvoziti.

Primjenom desenzibilizatora ("stabilizatora") može se znatno proširiti raspon ekspozicije rendgenskih filmova (5). Zahvaljujući tome da su nam prof.dr K.Kempni i Mr.M.Galešić stavili na raspolaganje recepturu za njihov noviji način desenzibilizacije rendgenskih filmova,mogli smo za potrebe našeg x ispitivanja distribucije doze gama-zraka radio kobalta upotrebiti rendgenski film "SANIX-90" domaće tvornice "FOTOKEMIKA" iz Zagreba.

Primjenili smo <u>pirokatehinski</u> razvijač,pripremljen u dvije otopine slijedećeg sastava:

Otopina A: pirokatehin ... ... ... ... 10,0 grama,
$Na_2SO_3$,sicc ... ... ... ... 20,0 grama,
Destilirane vode do vv. ...400 ml.

Otopina B: $Na_2CO_3$,sicc ... ... ... ... 22,0 grama
Destiliranae vode do .. ...400 ml.

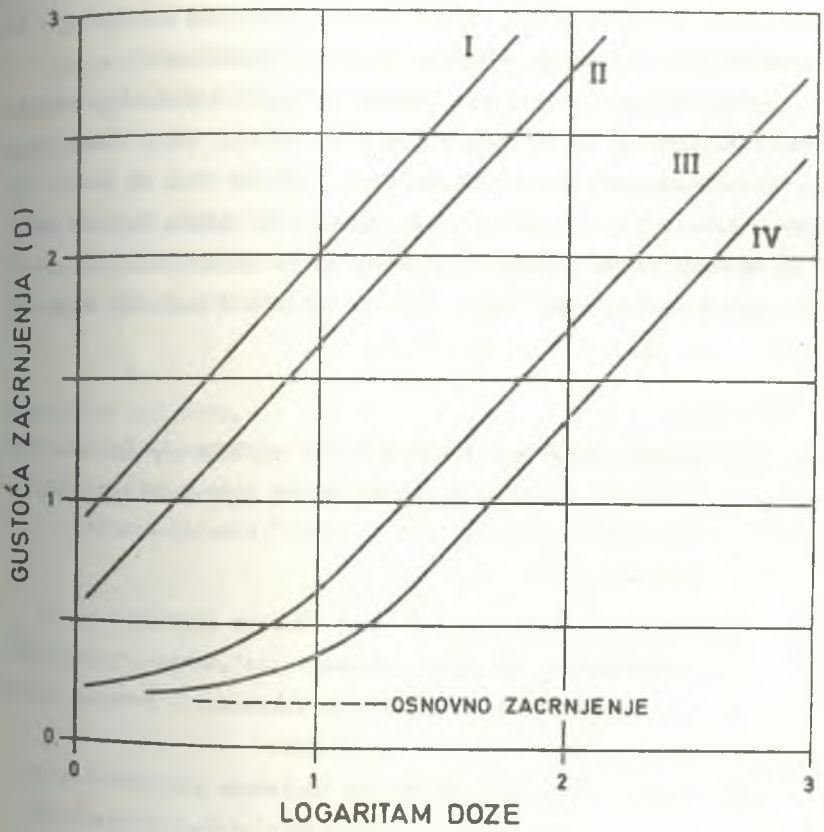
Neposredno prije razvijanja treba pomiješati otopinu A i otopinu B i nadoliti destilirane vode do 1000 ml.

Posebno treba pripremiti otopinu stabilizatora (desenzibilizatora).U tu svrhu se u 50-postotnom etanolu otopi 5(6)-nitrobenzimidazola.Otopina je koncentrirana uz moralnu koncentraciju od 0,02 x $10^{-2}$,što odgovara 0,45-postotnoj otopini.

Na sl.1 su četiri krivulje zacrnjenja koje su postignute opisanim razvijačem uz četiri različita stupnja desenzibilizacije.Za krivulju I razvijaču je bilo dodano:4 ml/l;za II: takodjer 4 ml/l ali je razvijač bio još vrlo slabo zakiseljen ocetnom kiselinom;za III je količina stabilizatora bila:6 ml/l; za krivulju IV: 8 ml/l.

Skala na osi apcisa obuhvaća logaritme doze od 0 do 3, čemu odgovaraju ekspozicijske doze izmedju 1 i 1000R.Maksimalno primijenjena ekspozicijska doza bila je oko 350R,pa su krivulje III i IV predugačko nacrtane.Razvijanje svih uzoraka trajalo je 5 minuta kod temperature razvijača koja je za uzorke serije I bila 19,6°C a za sve ostale serije 20°C.Pri tome su uzorci bili učvršćeni na staklene štapiće u prizmatskom razvijalu.Količina razvijača je bila po 3 $dm^3$.

Ovaj rezultat nam je omogućio primjenu raspoloživog filma za dobivanje distribucije doze.


GUSTOĆA ZACRNJENJA (D)
LOGARITAM DOZE
I
II
III
IV
OSNOVNO ZACRNJENJE
0
1
2
3

Sl.12.

ZAKLJUCAK

Ispitivanje distribucije doze može,za potrebe terapijskog obasjavanja radiokobaltskim izvorom,dati dragocijene podatke za donošenje odluke o izboru veličine polja i tehnike ozračivanja.

Primjena fotografskih filmova za takvo ispitivanje dolazi u obzir osobito za zračenje sa fotonskom energijom iznad 1 MeV,dakle i za gama-zračenje-kobalta Co-60.Ovdje smo pokazali kako se za tu svrhu mogu upotrebiti (inače preosjetljivi) rendgenski filmovi uz primjenu razvijanja u prisutnosti sredstva za desenzibilizaciju. Reproducibilna zacrnjenja filma mogu se postići u području ekspozicijski doza između 10 i blizu 500R.

LITERATURA

1. K.Kempni: "Uvod u senzitometriji",Fotokemika,Zagreb,1960.
2. K.Kempni: "Sigurnosna rasvjeta pri radu s fotografskim materijalima visoke osjetljivosti",Kem.Ind.Zagreb, 9(1960),5-16.
3. M.Tubiana,J.Dutreix,P.Jockey: "Basses physiques de la radiothérapie et de la radiobiologie",Masson,Paris,1963.
4. K.Kempni: "Proširenje područja ekspozicije rovdgen filmova" Kem.Ind.Zagreb, 13 (1964),891-898.
5. G.Marinello,C.Sliwinski:"Les émulsions photographiques et leurs aplications en desimétrie",J.Radiol.Electrol. 55 (1974),507-513.

## SUMMARY

The examination of distribution dose for terapeutic of iradiation with the radiocobalt saurce can give precious for making decision about the chose of the extent of the area tecnic of iradiation.

The aplication of photographic films such examication come into consideration especialy for iradiations with the energy above 1 MeV even for gamma-rays of the radio-cobalt -60.Here we have showed how to use for these purposes rentgen films through appliation of the developing in the presence of the cilities for desensibilisation. The reproducibility darkness of the film can be achieved in the are of the expositional doses

between 10 and 500R.

The possibility for use of our own rentgen-films represents a very big advantage of the presentet method.

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja

Jajce, 31.IV - 3.V 1977.

J. Vujnović

Vojna akademija - Beograd

# KONCENTRACIJSKI FAKTORI $^{226}Ra$, $^{210}Pb$ i $^{90}Sr$ U SISTEMU REKE SAVE

Radionuklide $^{226}Ra$, $^{210}Pb$ i $^{90}Sr$ dospele u vodu prihvataju organizmi vodenog sistema. Plankton, kao prva karika u trofičkom lancu, akumulira ih najviše i predaje sledećim karikama ekološkog lanca. Pošto ribe grabljivice predstavljaju najviše trofičke nivoe u ovom lancu, one imaju najniže vrednosti koncentracijskih faktora.

## UVOD

Mnogobrojni činioci utiču na koncentracijske faktore radionuklida u živom svetu rečnog toka. Pored niza hidro-ekoloških faktora, nehomogene distribucije radionuklida u reci i fizičko-hemijskog stanja radionuklida, od posebnog značaja su karakteristike biološke vrste i način ishrane.

Cilj nam je bio da odredimo koncentracijske faktore $^{226}Ra$, $^{210}Pb$ i $^{90}Sr$ za plankton, bentos, alge, belu ribu (planktofag), šarana (bentosofag) i za soma, štuku, smudja (grabljivice). Poredjenjem dobijenih koncentracijskih faktora mogu se konstatovati nivoi kontaminacije radionuklida u živom svetu rečnog toka koji čini lanac ishrane.

## METOD RADA

U jesen 1973. i u proleće 1974. godine uzeti su uzorci rečne vode, planktona, algi, bentosa, bele ribe i njene ikre, kao i uzorci ekonomski značajnih ribljih vrsta: šarana, soma, štuke i smudja. Uzorci su uzeti iz tri rečna područja u kojima su se mogle naći plemenite vrste riba; to su područja uzvodno od Sremske Mitrovice, Sapca i Beograda. Za analizu su korišćeni uzorci riba približne uzrasne strukture, četvrta godina života.

Plankton je izlovljen planktonskom mrežicom od "Miller" ga ze N° 22. Pod mikroskopom je konstatovano da je u jesenjim uzorcima preovladjivao fitoplankton, a u prolećnim zooplankton. Uzorci bentosa i mulja uzeti su bagerom tipa "Ekman" sa zahvatnom površinom dna od 1oo $cm^2$. U ovim uzorcima najviše su bili zastupljeni primerci oligoheta. Ikra je izvadjena iz polno zrelih jedinki bele ribe. Za analizu su korišćeni celi uzorci riba.

Princip metoda za odredjivanje aktivnosti $^{226}Ra$ bazira se na separaciji i merenju radijumovog potomka radona - 222 (1). Merenje je vršeno na alfa scintilacionom brojaču. Aktivnost $^{21o}Pb$ je odredjena merenjem aktivnosti visokoenergetskih čestica njegovog neposrednog potomka bizmuta - 21o (2). Merenje je vršeno na antikoincidentnom brojaču "Philips" sa niskim backgroundom. Aktivnost $^{9o}Sr$ odredjivana je preko njegovog radioaktivnog potomka itrijuma - 9o na GM antikoincidentnom brojaču "Philips" (3).

REZULTATI I DISKUSIJA

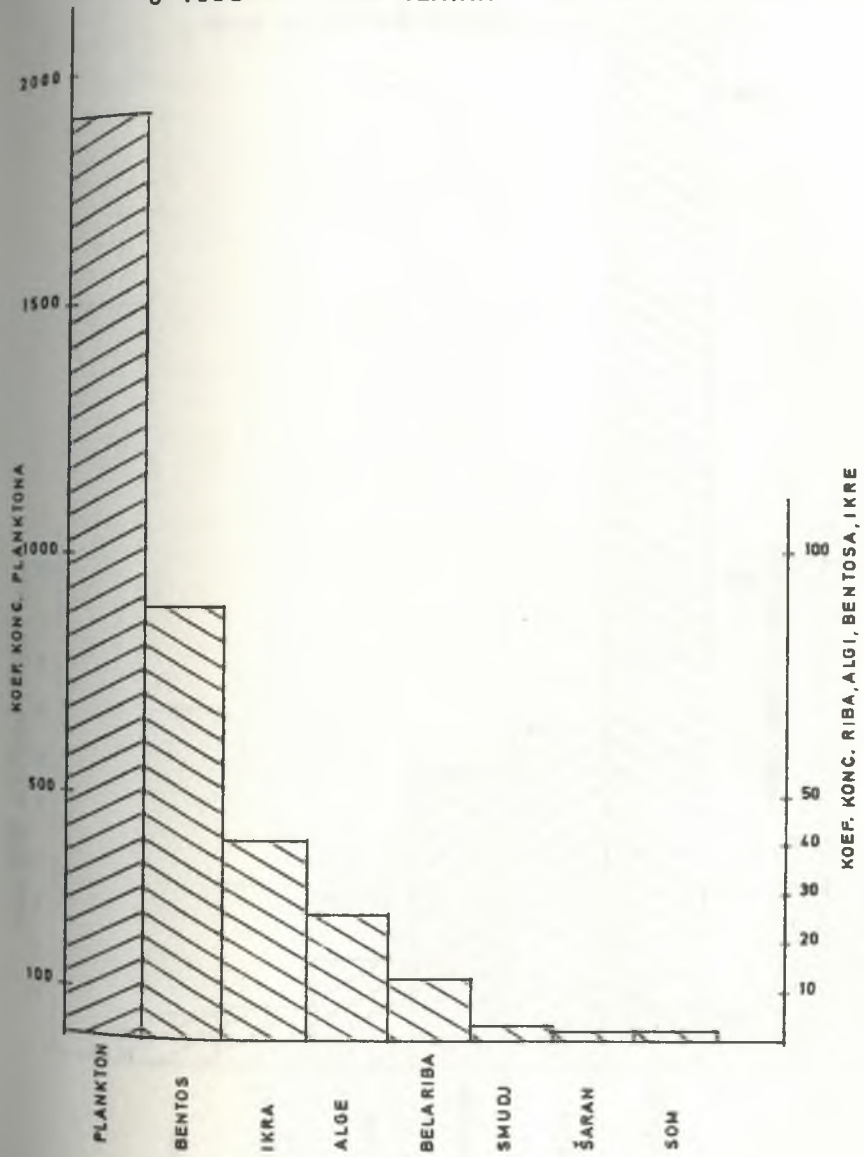
Sposobnost organizma da koncentriše radionuklide izražava se koncentracijskim faktorom (koeficijentom koncentracije) koji predstavlja odnos koncentracija radionuklida u organizmu i vodenom sistemu.

Na slikama 1, 2 i 3 predstavljeni su organizmi vodenog sistema prema svojim sposobnostima za akumuliranje radionuklida. Na slici 1 date su srednje vrednosti koncentracijskih faktora $^{226}Ra$ za organizme rečnog sistema. Poredjenjem koncentracijskih faktora može se konstatovati da plankton ima najveću srednju vrednost koncentracijskih faktora (blizu 2ooo), zatim bentos čija je srednja vrednost koncentracijskih faktora oko 9o, pa ikra bele ribe, alge, bela riba; smudj, šaran i som imaju približne vrednosti.

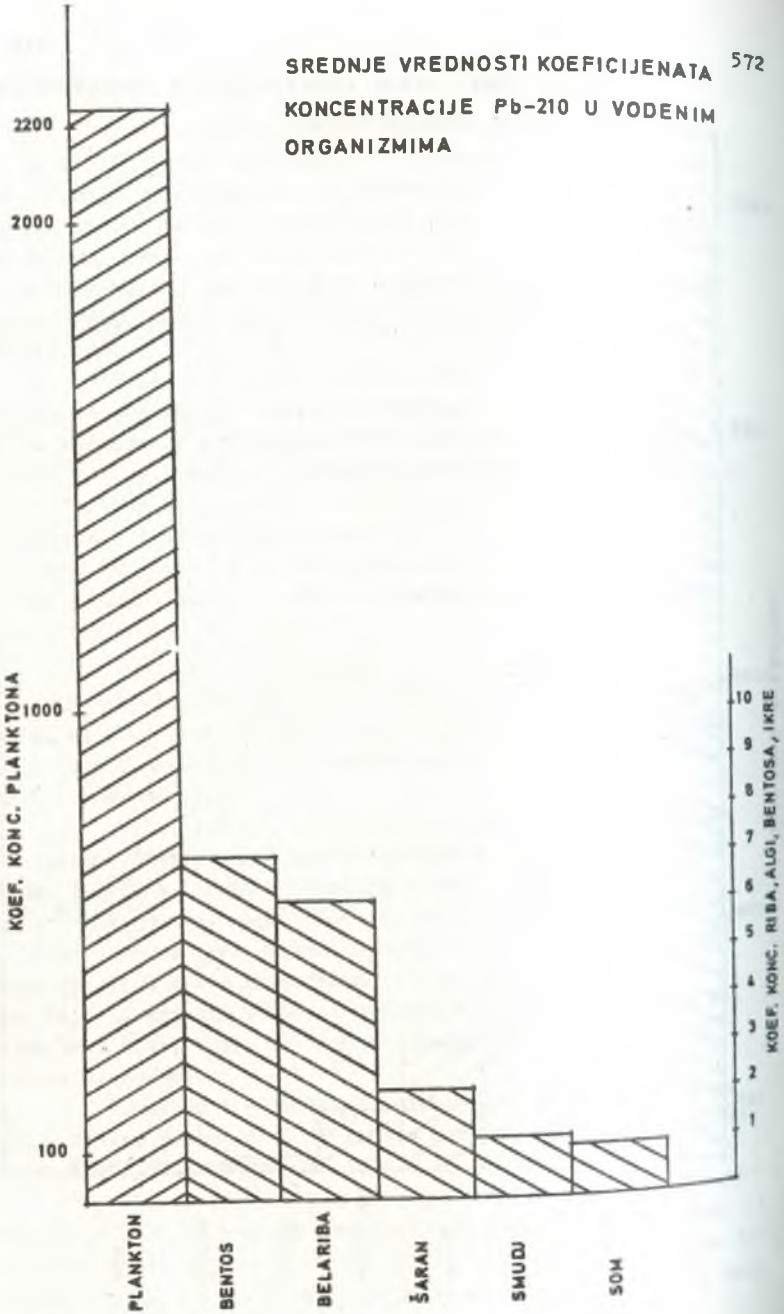
Srednja vrednost koncentracijskih faktora $^{21o}Pb$ za plankton iznosi preko 22oo, za bentos svega 7, a zatim dolazi bela riba, šaran i na kraju grabljivice.

Aktovnost $^{9o}Sr$ u planktonu iz jesenjeg ciklusa nije odredjivana, zato je srednja vrednost koncentracijskih faktora nešto niža (1524) u odnosu na radijum i olovo. Posle planktona dolaze alge; šaran i bela riba sa približnim vrednostima, zatim som, bentos, smudj i štuka.

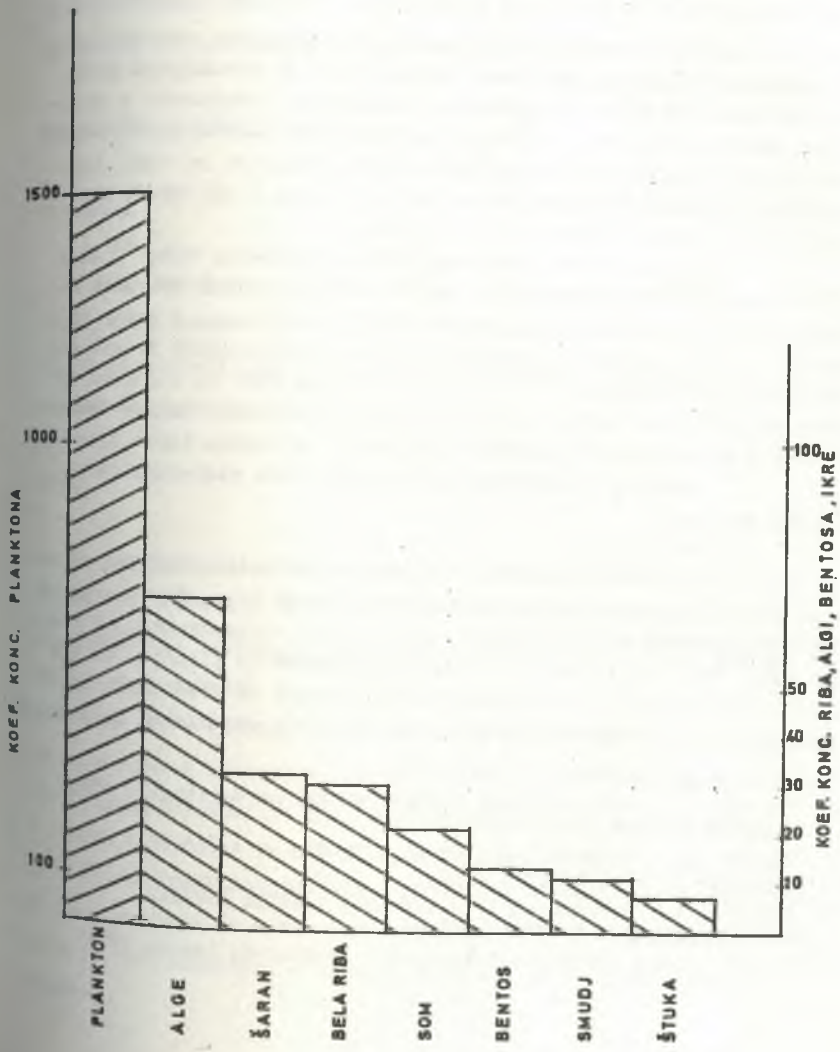
SREDNJE VREDNOSTI KOEFICIJENATA KONCETRACIJE Ra-226 U VODENIM ORGANIZMIMA



SREDNJE VREDNOSTI KOEFICIJENATA KONCENTRACIJE Pb-210 U VODENIM ORGANIZMIMA



SREDNJE VREDNOSTI KOEFICIJENTA KONCENTRACIJE Sr-90 U VODENIM ORGANIZMIMA



Iz dobijenih vrednosti koncentracijskih faktora konstatovali smo da su nivoi kontaminacije sva tri radionuklida najviši u planktonu, a najniži u ribama grabljivicama. U planktonu iz jesenjeg ciklusa bilo je dva puta više olova nego u proleće, radijuma takodje. Kako je u jesenjim uzorcima preovladjivao fitoplankton, a u proleće zooplankton, znači da fitoplankton, kao prva karika u trofičkom lancu, najviše akumulira radionuklide i predaje ih sledećim karikama. Fitoplankton se kontaminira površinskom adsorpcijom i obrazovanjem kompleksnih jedinjenja s anjonima teških metala (4). Organizmi zooplanktona poseduju filtracione mehanizme i aktivno apsorbuju radioaktivne materije iz vode. Zooplankton se hrani fitoplanktonom, a zatim i sam služi kao hrana beloj ribi i svim vrstama riblje mladji.

Bela riba kao planktofag akumulira znatno više $^{226}Ra$ i $^{210}Pb$ u odnosu na ostale ribe, dok $^{90}Sr$ ima približno kao šara n. Šaran se samo u prvoj godini života hrani planktonom, a zatim bentosom. U nuždi, sklon je kanibalizmu ili proždire mladj drugih riba. Nivoi kontaminacije $^{210}Pb$ i $^{90}Sr$ u šaranu veći su u odnosu na ribe grabljivice. Grabljivice imaju najniže koncentracijske faktore pošto koncentracija radionuklida zavisi od dužine lanca ishrane.

Ikra bele ribe akumulira znatno više radionuklida u odnosu na ribe.

SUMMARY

This work presents the results of identification of the concentration factor in the biota of the river Sava. Organisams of the water system have different abilities of concentration of radio nuclide. This ability is most highly expressed in plancton as the first link on the trophic chain. As the length of trat chain increases, the concentration of radionuclide in the organisams diminishes.

LITERATURA

1. Vukotić, M.: Radioekološka studija Ra-226 na teritoriji SRS, magistarski rad, Beograd 1973.
2. Horačić, Lj.: Radioekološka studija Pb-210 na teritoriji SRS, magistarski rad, Beograd 1971.
3. Brnović, R.: Stroncijum-90 u životnoj sredini čoveka, magistarski rad, Beograd 1972.
4. Percov, L.A.: Joniz.izluč.biosferi, Atomizdat, Moskva 1973.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V. do 3. VI. 1977
M.Pirš, M.Toplišek
Univerza v Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# MIGRACIJA RADIONUKLIDOV V TLEH

## Povzetek

V delu so opisane meritve migracije Cs-137, Sr-85-89 in Ru-106 v melju in sedimentih z lokacije nuklearne elektrarne Krško. Podani so distribucijski koeficienti in izračuni hitrosti migracije v odvisnosti pretoka vode.

## UVOD

Ko pridejo radionuklidi v stik z zemeljskim materialom z njim reagirajo. Procesi, ki se pri tem vršijo so: adsorbcija, absorpcija, ionska in izotopska izmenjava ter obarjanje. Preko teh procesov se radionuklidi vežejo na zemeljske delce. Meteorska voda jih potem izpira v globlje plasti in ko dosežejo talno vodo se gibljejo lateralno s hitrostjo, ki je odvisna od hitrosti gibanja talne vode, geološke sestave tal, koncentracije soli v vodi in pH.

Z določitvami migracije radionuklidov v tleh ali v talni vodi se je ukvarjalo že mnogo raziskovalcev (1-6). Raziskano je bilo gibanje radionuklidov v tleh „in situ" ali pa z laboratorijskimi poskusi.

Hitrost gibanja radionuklidov v talni vodi lahko izrazimo s poenostavljeno enačbo:

$$\frac{v_r}{v_w} \approx Kd \frac{P}{G}$$

kjer pomeni: $v_r$ = hitrost migracije radionuklidov

$v_w$ = hitrost gibanja talne vode

P = poroznost

G = gostota materiala

$K_d$ = distribucijski koeficient = $\frac{\text{sorbirani radionuklidi/g}}{\text{radionuklidi v raztopini/ml}}$

Navedena enačba velja samo za velik $K_d$, vendar smo jo uporabili za primerjavo rezultatov dobljenih z laboratorijskimi poskusi. Najvažnejši parameter gornje enačbe je $K_d$. Zavisi od pH raztopine, koncentracije radionuklidov in soli raztopljenih v vodi. Če držimo vse tri omenjene pogoje konstantne je treba za določitev $K_d$ izbrati tudi približno isto razmerje med raztopino in trdnim materijalom, ki obstaja v talni vodi. $K_d$ smo določili v razmerju 5:2, rezultati so navedeni v tabeli 1.

Avtorji se strinjajo v oceni, da se stroncij giblje najhitreje in sicer $v_r/v_w = 50-10^5$, za cezij pa je $v_r/v_w = 20-5.10^3$. Hitrost migracije redkih zemelj se nahaja v sredini. Kot vidimo so razponi zelo veliki, ker so parametri različni ter je treba hitrost migracije za vsak material posebej določiti.

EKSPERIMENTALNI DEL

Hitrost migracije smo določali v melju, ki smo ga vzeli na lokaciji NE Krško iz vrtine K-14/74 od cca 9-50 m globine in savskem sedimentu, ki smo ga vzeli na isti lokaciji na bregu Save. Melj je homogeno sestavljen in dobro propušča vodo. Pri vzorcu sedimenta pa smo uporabili samo delce večje kot 0,1 mm, ker se sicer kolone zamašijo. Granulometrijska analiza je navedena v tabeli 1.

TAB. št. 1

| Velikost zrn | Melj | Savski sediment |
|---|---|---|
| 0,5-0,3 | 4 | 24 |
| 0,3-0,1 | 15 | 57 |
| 0,1-0,07 | 12 | 7 |
| 0,075 | 69 | 12 |

Sejalna analiza vzorcev

IZVEDBA POSKUSA: Po 20 gr vzorcev smo stresali z raztopinami Cs, Sr in Ru nekaj ur. Vsi radionuklidi so bili v Cl obliki. Vzorce smo nato centrifugirali in izpirali z vodo toliko časa, da je bila izpiralna voda neaktivna. Vezane nuklide smo nato nasuli na vrh kolon cca 1 cm na debelo. Nato smo pustili teči preko kolon filtrirano savsko vodo s cca 10 NT. Efluente smo stalno kontrolirali vendar aktivnosti v njih nismo zasledili. V časovnih razdobjih smo poskušali s sondo, ki smo jo pomikali ob koloni, izmeriti razporeditev radionuklidov v koloni. Sonda je zaščitena z 1 cm svinca, ob strani pa ima okence. Te meritve so dale samo kvalitativne rezultate. Ozadje je previsoko, da bi lahko dobili točne

rezultate oziroma, kolone so prekratke. Na koncu poskusa smo odvzeli vzorce melja s cevjo, ki smo jo zabodli v melj, material izrinili in nato razrezali na 1 cm dolge kose ter izmerili aktivnost. Ti poskusi so dali razmeroma točne rezultate. Podatki o eksperimentih so razvidni iz tabele 2. Za Sr-85, 89 smo upoštevali tudi korekturo razpadanja. Poskusi so bili izvedeni v dveh paralelkah.

TAB. št. 2

| Materijal | Savski sediment | | Melj | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Vrsta izotopa | Sr-85, 89 | Cs-137 | Sr-85, 89 | Ru-106 | Cs-137 |
| Premer kolone cm | 4 | 4 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Dolžina plasti sedimentov cm | 22 | 25 | 27 | 25 | 25 |
| Množina eluirne vode l | 8,6 | 9,5 | 12,2 | 11,2 | 14,5 |
| Pretok l/dan | 0,215 | 0,237 | 0,21 | 0,293 | 0,25 |
| Čas eluiranja dnevi | 40 | 40 | 58 | 58 | 58 |
| Hitrost vode cm/dan | 17,2 | 19 | 13,2 | 12,1 | 15,7 |
| Poroznost | 0,25 | 0,25 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Gostota | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Množina izotopa mCi | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| Hitrost migracije v koloni cm/dan | 0,3 | 0,0525 | 0,33 | 0,2 | 0,04 |
| Pot izotopov v 40 -58 dneh cm | 12 | 2,1 | 19 | 12 | 2,5 |
| $K_d$ | 10 | 90 | 8 | 12 | 100 |
| Hitrost migracije po enačbi cm/dan | 0,22 | 0,028 | 0,26 | 0,16 | 0,02 |
| Izračunana pot izotopov v 40 -58 dneh cm | 8,8 | 1,1 | 15,1 | 9,1 | 1,4 |

Podatki o merjenju hitrosti migracije Cs, Sr in Ru v kolonah

## ZAKLJUČKI

Iz podatkov v tabeli 2 je razvidno, da je hitrost migracije radionuklidov v kolonah večja, kot jo dobimo po gornji enačbi. Pri Cs je ta razlika največja cca 45 %, dočim je pri Sr cca 20-30 %, ter isto pri Ru. Pri Cs je možna velika napaka pri meritvah, ker je pot radionuklidov kratka ter lahko smatramo, da je dejanska hitrost migracije radionuklidov cca 20-25 % večja kot izračunana. Zaradi tega smatramo, da se izmerjene hitrosti zadovoljivo ujemajo z izračunanimi.

Hitrost migracije stroncija je 40-60 krat, cezija 350-400 krat in rutenija 60 krat manjša, kot je hitrost talne vode. Te vrednosti veljajo le v primeru, če je material v talni vodi enake zrnavosti kot smo ga uporabili pri poskusu. Ker je material pri talni vodi različen ter je zaradi tega tudi hitrost talne vode različna, smemo hitrost migracije radionuklidov, za večje področje talne vode, sprejeti z rezervo, bodisi da hitrost določimo ali izračunamo.

## SUMMARY

Migration of radionucledes into the ground

The measurements of the velocity of the migration of Cs-137, Sr-85, 89 and Ru-106 in the sediments and fine sand from the location of nuclear power plant Krško are discribet. The distribution coefficients and the calculation of the velocity of the migration depending on the water flow are given.

LITERATURA

1. P.J.Parsons, Movement of Radioactive Wastes through Soil, III, Atomic Energy of Canada Ltd. rep. AECL-1325 (1961)

2. P.Cohen and C.Gailledreau, Equilibrium parameter of Sr-90 in Saclay soil, CEA-1728, France

3. C.Gailledreau, Adsorption of Cs-137 on Saclay soil, Energie nucl. 4 2, (1962) 120-23

4. D.W.Pearce et al., "A review of radioactive waste disposal to the ground at Hanford", Disposal of Radioactive Wastes II, IAEA, Vienna (1960) 345-63.

5. B.F.Hajek, USAEC, Contract AT (45-1)-1830

6. G.B.Stapleton, R.H.Thomas, The effect of sorption on the migration of Be-7, Water Research Pergamon Press. 1973, Vol. 7, 1259-1268.

IX simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V. do 3. VI. 1977
M.Pirš, M.Toplišek
Univerza v Ljubljani, Institut "Jožef Stefan"

# ODLAGANJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV

## Povzetek

V delu so opisani načini skladiščenja trdnih radioaktivnih odpadkov. Podani so nekateri kriteriji za izbiro lokacije skladišča.

## UVOD

Obenem z razvojem atomske energije so se pojavili tudi radioaktivni odpadki, ki jih moramo varno shraniti, da ne kontaminirajo okolice. Glede na aktivnost se navadno uporabljajo oznake: nizko, srednje in visoko aktivni odpadki in četudi je IAEA predlagala ekzaktno klasifikacijo po površinskem sevanju, večina držav uporablja zgoraj omenjene oznake. Pomen teh pa je relativen in lokalen. Pod visoko aktivnimi odpadki so navadno mišljeni: odpadki od reprocesinga v trdnem ali tekočem stanju. Ti so najbolj nevarni, shraniti jih je treba za geološko časovno razdobje in način predelave tekočih odpadkov v trdne ter shranjevanje le teh še ni v vseh podrobnostih raziskano. Rešitev tega problema je ključno vprašanje jedrske industrije. Shranjevanje srednje in nizkoaktivnih odpadkov, med katere spadajo odpadki elektrarn ne predstavljajo posebnih težav ter so za njih osvojeni različni načini odlaganja.

## 1. NAČINI ODLAGANJA TRDNIH RADIOAKTIVNIH ODPADKOV

Zakopavanje v zemljo je najcenejši način odlaganja radioaktivnih odpadkov. Če radionuklide zakopljemo jih lahko samo voda raznese z odlagališča. Če torej preprečimo, da voda ne pride v kontakt z zakopanim materialom, bodo radionuklidi ostali na mestu, kamor jih zakopljemo. Zaradi tega so suhe puščave zelo primerne za tovrstne deponije, v pokrajinah z vlažnim podnebjem pa moramo upoštevati množino padavin, globino talne vode, geološko sestavo tal, oddaljenost najbližjega črpališča vode itd. Teren mora biti konsolidiran, neinteresanten za poljedelstvo ali druge namene, mora biti lahko dostopen, oddaljen od naseljenih krajev in bližnje površinske vode. Po teh kriterijih so v USA izbrali 11 lokacij za odlaganje radioaktivnih odpadkov (1,2,3). Na teh lokacijah so v glavnem zakopavali nizko aktivne odpadke brez predelave: embalažo, razbito steklo, plastiko, zaščitne obleke, trupla živali uporabljenih za poskuse in kontaminirano opremo. Vendar pa tri odlagališča ne delujejo tako, kot je bilo planirano, vsa tri pa se nahajajo v vlažnih pokrajinah z preko 400 mm padavin letno. Radionuklidi so se pojavili v rekah, ki odvajajo vodo iz teh področij. V odlagališčih Maxey Flats in West Valley so zakopali cca 150.000 $m^3$ odpadkov s 7 $Ci/m^3$; med njimi se nahaja tudi plutonij, obogačeni uran in torij. Odpadke so zakopali v jarke 180 m dolge in 6 m globoke in jih pokrili z izkopanim materialom. Padavinska voda pa je skozi te pokrove prodrla v jarke, izlužila radionuklide in jih po neznanih podzemnih vodnih poteh odnesla v reke. Material na odlagališčih ima visoko ionsko izmenjalno kapaciteto, vendar se radionuklidi

niso zadržali na njem. Iz tega sklepajo, da odteka voda preko razpok ali pa je material nehomogen in mestoma visoko permeabilen. Voda West Valley se izliva v jezero Frie, kjer se zajema voda za cca 2 milijona prebivalcev. Individualna total body doza za prebivalce, ki uporabljajo to vodo je $3.10^{-4}$ mrem. Ta doza ne predstavlja nobene nevarnosti, vendar so bili podvzeti ukrepi za sanacijo odlagališč (4,5), dokazuje pa nesigurnost takega načina odlaganja v pokrajinah z povprečno množino padavin 400 mm letno. V suhih pokrajinah dosedaj migracije radionuklidov iz odlagališč niso zasledili.

V Evropi se odpadki tudi zakopavajo v jarke vendar se preje predelajo. V skladišču La Hague se nizko-aktivni odpadki prešajo, zalijejo s cementom, deponirajo v jarke in pokrijejo z izkopanim materialom. Jarki imajo urejeno drenažo in voda se stalno kontrolira. Srednje aktivni odpadki se pakirajo v železne sode in deponirajo v betonirane jarke, visoko kativni odpadki z nekaj 100 R sevanja na površini se zalijejo s cementom in bitumenom in se deponirajo v jaške. Od leta 1969 so v tem skladišču deponirali 87 000 ton odpadkov s 2000 Ci alfa sevalcev in 189.000 Ci beta, gama sevalcev. Difuzije radionuklidov dosedaj še niso zasledili (6).

## 2. ODLAGANJE V MORJE (7,8,9,10)

Nekatere obmorske države odlagajo radioaktivne odpadke v morje. Ta metoda je za ca. 20% dražja, kot zakopavanje v zemljo

in se še vedno intezivno raziskuje (11). Dosedaj so USA v Atlantskem in Pacifiškem oceanu v letih od 1946-1962 deponirali ca. 50 000 Ci radioaktivnih odpadkov poleg reaktorja s 33 000 Ci. Deponije v Atlantskem oceanu so bile 2800 in 3800 m globoko, v Pacifiškem oceanu pa 900 m globoko. Raziskave v zadnjih letih so pokazale kontaminacijo sedimentov s Cs-137 in Pu 238, 239, korozijo in poškodbo embalaže zaradi pritiska. Odlaganje v morje je v letu 1962 v USA nadomestila metoda zakopavanja (12).

## 4. ODLAGANJE V RUDNIKE SOLI

Ta metoda se je dosedaj izkazala kot najsigurnejša in najcenejša za deponiranje visoko aktivnih trdnih odpadkov. Države, ki take rudnike posedujejo, so si v njih uredile skladišča radioaktivnih odpadkov za geološko časovno razdobje. (13), (14). Prednosti, ki jih nudi skladiščenje v rudnikih soli so v glavnem: solni rudniki so brez vode, s tem odpade glavni faktor, ki povzroča difuzijo radionuklidov. V nekaterih rudnikih lahko za nekaj milijonov let nazaj ugotovimo, da ni bilo nobenih tektonskih premikov. Toplota, ki jo sprošča radioaktivni razpad, pospešuje plastično deformacijo soli. V nekaj 10 letih se kosi soli spet sprimejo v relativno nepremaknjeno, trdno, masivno formacijo, ki vsebuje radioaktivne odpadke.

Tako vskladiščeni radioaktivni odpadki so varno shranjeni za geološko časovno obdobje. Zaradi razmeroma velikih množin sproščene toplote pa moramo posamezne kontejnerje postaviti v razdalji najmanj 10 m, da temperatura soli ne preseže 300°C.

## 5. SKLADIŠČENJE V UMETNO ZGRAJENIH SKLADIŠČIH

Države, ki so gosto naseljene (Belgija, Švica) so za shranjevanje radioaktivnih odpadkov zgradile posebna skladišča, ki nudijo dovolj visoko stopnjo varnosti pred kontaminacijo okolice z radioizotopi. (15), (16). Zgradbe so iz ognjevarnega materijala, stene, streha in tla so gladka in nepropustna za vodo. Skladišče je opremljeno z žerjavi z daljinskim upravljanjem iz kontrolnega prostora, kontrola upravljanja pa se vrši s TV kamerami. V tako grajenih skladiščih naj bi se radioaktivni odpadki shranjevali do 50 let. Lokacijo za gradnjo pa je treba izbrati po istih principih, ki veljajo za lokacijo zakopavanja, ker obstaja potencialna nevarnost, da se radionuklidi pri pretovarjanju ali zaradi katerekoli nesreče raztresejo po okolici.

## ZAKLJUČKI:

Shranjevanje nizko in srednjeaktivnih odpadkov iz jedrskih elektrarn ni posebno težavno. Deponiramo jih lahko po eni izmed navedenih metod.

Problem predstavljajo visokoaktivni odpadki od reprocesinga, ki vsebujejo tudi dolgožive $\alpha$ sevalce. Shranjevanje leteh je na zemeljski površini samo začasno, ker vse kar lahko človek naredi vzdrži lahko samo nekaj stoletij. Verjetno je rešitev problema v separaciji nuklidov, ki so samo nekaj časa nevarni od nuklidov, ki jih je treba shraniti za geološko časovno razdobje in pa recikliranje v reaktorjih jedrskih elektrarn. (17). V literaturi je podan predlog definicije meje med dolgoživimi in kratkoživimi izotopi, ki naj

bi bila ca 300 let (18). Odpadke, ki bi po 300 letih ne bili več nevarni bi lahko shranili na površini zemlje, vse ostale pa bi morali shraniti v globokih geoloških formacijah. Kot najprimernejši material za shranjevanje se predlagajo glinasti materiali, ker je teh na zemeljski površini dovolj in jih človeštvo tudi v bodoče iz gobokih geoloških plasti ne bo uprabljalo.

Disposal of radioactive wastes

Summary

The methodes of storage of solid radioactive wastes are described. Some criteria for site selection are given.

LITERATURA

1. Proc. Symp. Aix-en Provence 1970, K.T. Thomes, IAEA-SM-137/38
2. Proc. Symp. Viena 1967, J.W.Enders, SM-93/3
3. Ibid, V.L. Marter, SM-93/7
4. Proc. Symp. Viena 1976, J.M.Matuszek et al IAE-SM-207/59
5. Ibid G.L.Mayer IAEA-SM-207/64
6. Ibid G.Bardet, IAEA-SM-207/39
7. Proc.Symp. Aix-en Provence 1970, J.L.Baas et al, IAEA-SM-137/33
8. Ibid R. Ichikawa, IAEA-SM-137/26
9. Ibid Y. Sousselier et al, IAEA-SM-137/63
10. Ibid W.G.Beller, IAEA-SM-137/61
11. Proc.Symp. Viena 1976, C.Machida, A.ITO et al IAEA-SM-207/16
12. Ibid R.S.Dyer, IAEA-SM-207/65
13. Stefan Krawczynski, Radioactive Abfälle, Thiemig Band 27
14. W.C.Mclain et al, Nucl.techn. 1974, 24 N3 p 398

15. Proc. Symp. Vienna 1967, P. Graf, SM-93/23

16. Nuclex 75, Colloguium D 3/6

17. H.Claiborne, Transmulation of high level radioactive waste, 6RNL-TM-3964

18. Health Phys. 1974, 27, pp 113-121.

IX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja
Jajce, 31. V do 3. VI 1977.

# TRANSLOKACIJA $^{137}Cs$ U GLAVNIM FAZAMA EKOLOŠKOG SISTEMA POD USLOVIMA HRONIČNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE

R.G. Radovanović

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr Dragomir Karajović"- Beograd

SADRŽAJ

U ovom radu dati su rezultati ispitivanja translokacija 137 Cs u glavnim fazama ekološkog sistema u životnoj sredini koja je u toku osam godina ispitivanja bila hronično kontaminirana ovim izotopom poreklom od nuklearnih eksplozija. Ispitivanja su vršena u ciklusima:vazduh-padavine-zemljište-biljke (trava, lucerka, pšenica, kukuruz, pasulj, luk, kupus, krompir i spanać) - goveče (kosti, meso i mleko)i dnevni obrok hrane-svinja(kosti, meso); dnevni obrok hrane (biljna hrana, hrana animalnog porekla) - čovek.
Sva ispitivanja vršena su u prirodnim uslovima na teritoriji SR Srbije. Na osnovu rezultata formulisan je prognostički model kontaminacije ispitivanih faza ciklusa animalne proizvodnje i čoveka koji koristi za ishranu produkte tih ciklusa. U radu je pokazano da u uslovima postojeće strukture ishrane stanovnika u SR Srbiji meso i mleko zadržavaju svoju radijaciono-higijensku ispravnost samo ako nivo kontaminacije životne sredine u kojoj se odvija ciklus njihove proizvodnje nije veći od 200 mCi/km$^2$ u zemljištu i 35 mCi/km$^2$ godišnje u padavinama.

Summary

This paper presents results of examination of 137 Cs translocations in main phases of ecologic system in the environment which was during eight-year examination chronically contaminated by this izotope of nuclear explosion origin.
The examinations were performed in the cycles: air- fall-out - soil-Plants /grass, lucerne, wheat, maize, beans, onion, cabbage, potatoes and spinach/ - cattle /bones, meat and milk/; daily meal - pig /bones, mest/; daily meal /vegetable food, food of animal origin/ - man.

All examinations have been performed in natural conditions in a territory of S.R Serbia. On the basis of results it is formulated a prognostic model of contamination of examined phases of cycles of animal production and man who uses products of these cycles for nutrition. In the paper it was shown that in conditions of existing structure of population nutrition in S.R. Serbia meat and milk keep their rightness only if contamination level of the environment in which the cycle of their production is developed is not higher then 200 mCi/km$^2$ in the soil and 35 mCi/km$^2$ yearly in fall-out.

UVOD

Kontaminacija životne sredine radioaktivnim materijama postala je jedan od značajnih problema savremene civilizacije. Usled izvršenih nuklearnih eksplozija od 1945. godine do 1971. godine u slobodnu prirodu je ubačeno 30 MCi izotopa 137 Cs. Nagli razvoj nuklearne energetike i sve značajnija količina otpadnih radioaktivnih materija koje sadrže ovaj izotop daje ovom problemu trajan karakter.

Radioaktivni izotop 137 Cs je beta emiter sa maksimalnom energijom beta zračenja od 0,51 MeV (92%) i 1,17 MeV (8%). Vreme poluraspada ovog radionuklida iznosi 30 godina. Produkt raspada 137 Cs je 137 $^{m}$Ba sa vremenom poluraspada od 2,67 minuta, koji uz emisiju gama kvanta energije 0,661 MeV prelazi u stabilni barijum 137 Ba. U životnoj sredini radionuklidi 137 Cs i 137m Ba praktično se uvek nalaze u stanju radioaktivne ravnoteže.

Zbog radijacione opasnosti koju izaziva prisustvo 137 Cs u životnoj sredini u svetu je nakupljen veliki broj rezultata merenja sadržaja ovog radionuklida u svim značajnim fazama raznih ciklusa ekološkog sistema.

Kao posledica prenosa radioaktivnih materija poreklom od nuklearnih eksplozija putem troposferskih i stratosferskih padavina došlo je do hronične kontaminacije životne sredine fisionim produktima, pa time i sa izotopom 137 Cs.

Prva sistematska merenja koncentracije ovog radionuklida u prizemnom sloju vazduha vršena su u Vašingtonu od 1952 do 1955. godine. U tom periodu srednja koncentracija 137 Cs u vazduhu bila je $5.10^{-18}$Ci/lit. Prisustvo 137 Cs u atmosferi uslovljava njegovo prisustvo i u padavinama. U toku 1958. godine u okolini Lenjingrada /N.G. GEDEONOV-1965/ sa padavinama je dospelo na zemlju 11,2 mCi 137 Cs/km$^2$.

Kao jedan od prvih podataka o prisustvu izotopa 137 Cs u ciklusu animalne proizvodnje može se uzeti podatak da je tokom 1956. godine koncentracija ovog radionuklida u mleku iz SAD bila

oko 36 pCi/lit, u mleku iz Argentine 13,5 pCi/lit i u mleku iz Engleske 38 pCi/lit /E.C.ANDERSON - 1957/.

Veoma veliki uticaj na intenziviranje izučavanja translokacije 137 Cs u ekološkom sistemu uopšte imali su podaci o merenjima njegove koncentracije u ljudskom organizmu /E.C. MILER, L.P. MARINELI - 1956/. Taj interes se još više povećao objavljivanjem podataka da se 137 Cs akumulira i u kostima /N.YAMAGATA, T.YAMAGATA - 1959/ sa efektivnim vremenom poluizvodjenja za čoveka od oko 19 godina.

Dalje radioekološka izučavanja 137 Cs su pokazala da je genetska opasnost od ovog izotopa u životnoj sredini daleko veća nego od ostalih dugoživećih fisionih produkata /I.ANDERSON-1962, L.A. BULDAKOV, Ju.I. MOSKALEV-1968/, što je posebno uticalo na povećanje značaja izučavanja ovog savremenog radijaciono-higijenskog problema.

Životna sredina u kojoj se odvija ciklus animalne proizvodnje je veoma složen sistem. Uprirodnim uslovima taj sistem se nalazi u stanju odredjene ravnoteže. Svaki faktor koji utiče nato ravnotežno stanje, u koliko se ne može kompenzovati nekim drugim faktorom ili grupom faktora, utiče na izmenu ekoloških karakteristika jednog ili više ciklusa ekološkog sistema.

Ciklus animalne proizvodnnje povezan je sa ekološkim sistemom povratnom spregom preko više zavisnih i nezavisnih veza. Svaka od tih veza predstavlja put toka materije izmedju ekološkog sistema i ciklusa animalne proizvodnje. Osnovna čovekova težnja sastoji se u naporu da taj prenos (translokaciju) materije učini kontrolisanim kako bi se došlo do optimalnog odnosa izmedju ekološkog sistema i razvoja samog ciklusa animalne proizvodnje.

Kontaminacija ciklusa animalne proizvodnje sa 137 Cs u uslovima hronične kontaminacije životne sredine ovim radionuklidom spada u grupu dinamičkih procesa. U ovom procesu sve komponente su promenljive u funkciji vremena čak i na istoj lokaciji. Na toj osnovi lako je razumeti što se u literaturi često govori o osnovnim karakteristikama translokacije ovog izotopa

kao što su koeficijent nakupljanja, faktor diskriminacije, ili koeficijent prelaza, kao o njihovim "ustanovljenim vrednostima". Poredjenje više "ustanovljenih vrednosti" iste karakteristike veoma je nepouzdano, jer one mogu reprezentovati veoma različite uslove za koje su dobijene. Da bi se izbegla ova teškoća pogodno je iskoristiti činjenicu da u uslovima hronične kontaminacije žigotne sredine za mnoge radionuklide, medju njima i za 137 Cs, dolazi do ravnotežnog nakupljanja i izlučivanja u fazama ciklusa animalne proizvodnje. Dakle, za ravnotežno stanje postoji mogućnost da se formuliše medel procesa kontaminacije ciklusa animalne proizvodnje u kome bi zavisne i nezavisne veze povratne sprege izmedju ekološkog sistema i ciklusa animalne proizvodnje, bile opisane izvesnim pouzdanim operatorima. Ideja kako da se učini doprinos poznavanju operatora koji karakterišu translokaciju 137 Cs u glavnim fazama ciklusa animalne proizvodnje u uslovima hronične kontaminacije životne sredine, u suštini je veoma jednostavna. Višegodišnjim sakupljanjem podataka o koncentraciji 137 Cs u životnoj sredini i glavnim fazama ciklusa animalne proizvodnje, što praktično znači radom u oblasti ravnotežnog stanja kontaminacije, mogu se odrediti operatori ravnotežnog modela kontaminacije. To daje mogućnost da ovaj model postane prognostički, čija se pouzdanost može proveri nastavkom merenja koncentracije 137 Cs u svim fazama koje ovaj model obuhvata.

## MATERIJAL I METODOLOGIJA

U uslovima hronične kontaminacije životne sredine izotopom 137 Cs, što je bio slučaj na teritoriji SR Srbije u periodu od 1965. godine do 1975. godine na koji se odnose ova istraživanja, koncentracija ovog izotopa u datoj fazi odredjenog ciklusa može se shvatiti kao polje kontaminacije koje u svakoj tački ima odredjenu vrednost. To polje je samo jedno od polja koja karakterišu taj ciklus, a koja sva medjusobno interaguju.

Sa eksperimentalnog radioekološkgo stanovišta ciklus animalne proizvodnje je beskonačno veliki u odnosu na mogućnost da se utvrdi vrednost bilo kog polja u svakoj tačci tog ciklusa.

Ako vrednosti kontaminacije sa izotopom 137 Cs za jednu fazu ciklusa ustanovimo na više tačaka u isto vreme ili u jednoj tačci u raznim vremenskim intervalima, dobija se diskretan uzorak podataka o elementima slučajne realizacije polja kontaminacije te faze. Ti podaci dati su nekim od statističkih zakona raspodele, što omogućava isključivanje pogrešnog podatka ili zahteva njegovo ponovno odredjivanje.

Sakupljanje uzoraka

Sakupljanje uzoraka aerosola vršeno je svakodnevno 24 časa na visini 1 m iznad tla metodom filtriranja. Srednji protok vazduha kroz filter "Schneider-Poelman"-plavi iznosio je 1000 $m^3/24$ h.

Uzorci svih padavina (fall-out) sakupljani su kontinualno svakog meseca na visini 1 m iznad tla sa sakupljačem čija je površina otvora $0,1m^2$ a koji se nalazio na istoj mikrolokaciji gde je vršeno sakupljanje aerosola (Beograd, Subotica).

Lucerka i nisko livadsko rastinje (trava) sakupljani su dva puta u toku svake godine u okolini Beograda (PK Beograd), Niša (Ekonomija "Bubanj") i Novog Sada (Rimski šančevi). Silaža i razne vrste koncentrata sakupljani su po istoj dinamici i sa istih lokacija kao lucerka i trava.

Namirnice biljnog porekla sakupljane su sa istih lokacija dva puta u toku svake godine.

Uzorci govedjeg i svinjskog mesa, kao i kostiju poreklom od ovih životinja koje su živele na navedenim lokacijama, a čija je hrana kontrolisana u odnosu na koncentraciju 137Cs, uzimani su i ispitivani dva puta u toku svake godine.

Ispitivanje koncentracije 137 Cs u mleku iz Beograda, Niša i Novog Sada vršeno je u srednjim mesečnim uzorcima sastavljenim od dnevnih uzoraka zbirne količine mleka od više krava.

Uzorci zemljišta sa lo mikrolokacija u okolini Beograda (PK Beograd) sakupljani su dva puta u toku svake godine sa dubina

0-5 cm, 5-10 cm i tako dalje do sloja 25-30 cm. Polovina uzoraka poticala je svake godine sa obradjivanog a druga polovina sa neobradjivanog zemljišta.

Priprema uzoraka

Uzorci atmosferskih aerosola sakupljeni na filtrima u toku mesec dana direktno su slagani u posudu za merenje tipa MARINELLI bez ikakve prethodne obrade.

Uzorci padavina su uparavani do suva a suvi ostatak zatim žaren na temperaturi od 370°C do 390°C u toku 3o minuta.

Uzorci namirnica, stočne hrane i kostiju su spaljivani infracrvenim zračenjem, a zatim dobijeni pepeo žaren na temperaturi 370°C do 390°C. Žareni ostatak je bio hermetizovan 3o dana pre odredjivanja 137 Cs.

Sušenje uzoraka zemljišta do konstantne težine vršeno je na temperaturi od 110°C. Nakon sušenja uzora, je homogenizovan prenošen u posudu za merenje i hermetizovan 3o dana pre merenja.

Merenje 137 Cs

Identifikacija i kvantitativno odredjivanje 137 Cs i 4o K u svim uzorcima vršeno je gamaspektrometrijskom metodom. Kao spektrometar služio je detektor sa kristalom NaI (Tl) i 400 kanalni analizator. Vreme merenja svakog uzorka iznosilo je 300 minuta.

Kvantitativno odredjivanje 137 Cs i 4o K iz složenih gama spektara vršeno je metodom simultanih jednačina uz pomoć elektronskog računara UNIVAC 1106 sa programom napisanim za ovu svrhu u programskom jeziku FORTRAN IV.

Tačnost svih rezultata merenja je statistički odredjivana.

## REZULTATI

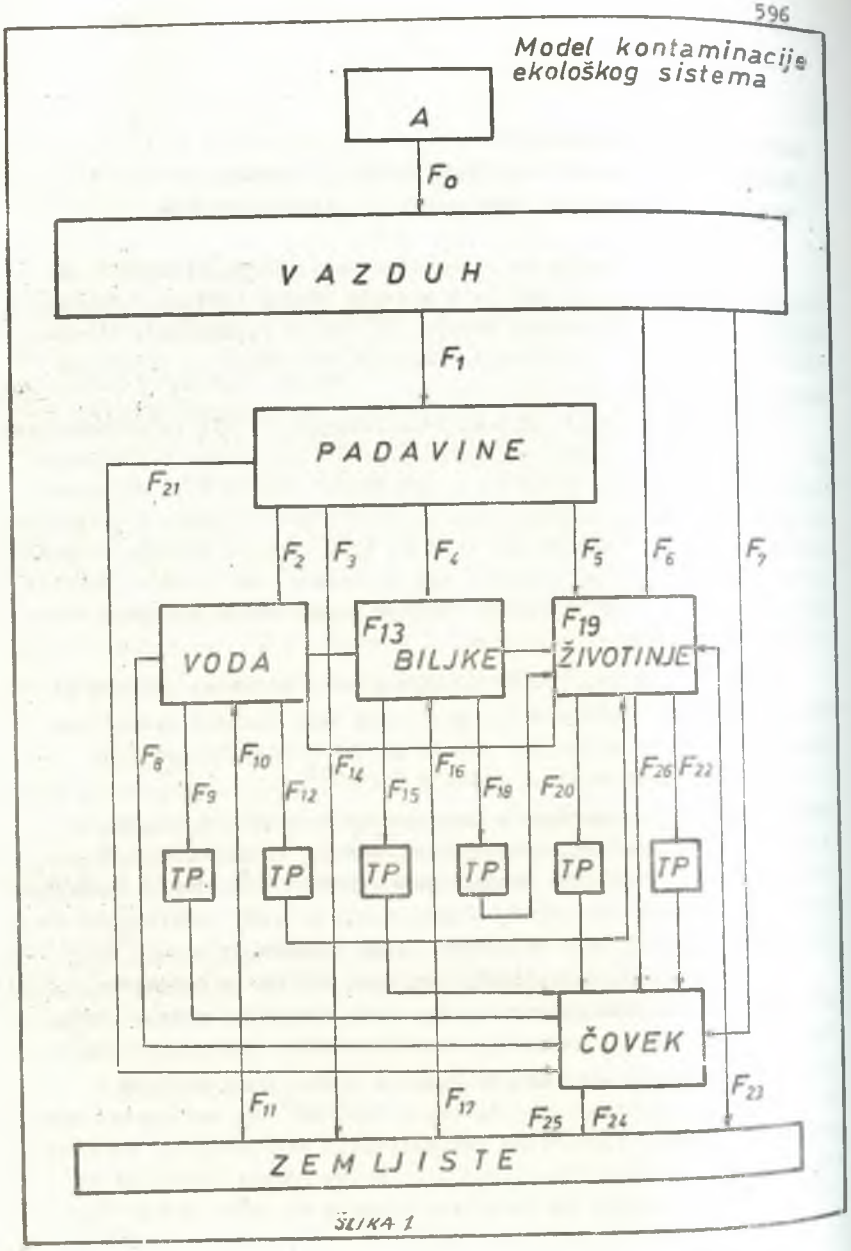
### Model kontaminacije ekološkog sistema izotopom 137 Cs pod uslovima hronične kontaminacije životne sredine

Granični slučaj sa stanovišta radijacione opasnosti od procesa translokacije 137 Cs u glavnim fazama ciklusa animalne proizvodnje je ravnotežno stanje. Na osnovu razmatranja literaturnih podataka i sopstvenog iskustvaa to stanje je prikazano modelom datim na slici 1.

Faktor $F_0$ koji opisuje translokaciju 137 Cs iz stratosfere u prizemni sloj vazduha na teritoriji gde su vršena ispitivanja može se odrediti iz podataka o aktivnosti 137 Cs koja se nalazi u stratosferi i podataka o koncentraciji ovog izotopa u prizemnom sloju vazduha. U periodu od 1966 do 1972. godine srednja vrednost ovog faktora (Fo) za lokaciju gde su vršena ispitivanja iznosila je 4,59 ± 0,35 ($10^{-18}$ Ci/lit vazduha za aktivnost 137 Cs u stratosferi od 1 MCi).

Translokacija 137 Cs iz atmosfere u padavine opisana je na slici modela faktorom $F_1$, koji daje vezu izmedju specifične kontaminacije padavina Ip( mCi/km$^2$god) i koncentracije ovog izotopa u prizemnom sloju vazduha $\bar{A}_v$($10^{-18}$Ci/lit) prosečno u toku godine. Rezultati merenja u uzorcima iz Beograda u periodu od 1966. do 1972. godine, pokazuju da izmedju veličina Ip i $\bar{A}v$ postoji visok pozitivan koeficijent linearne korelacije (r=0,96). Srednja vrednost faktora $F_1$ iznosi 0,483 ± 0,073 (mCi/km$^2$god za koncentraciju 137 Cs u prizemnom sloju vazduha $\bar{A}v$ = $10^{-18}$Ci/lit.).

Kontaminacija zemljišta izotopom 137 Cs iz padavina opisuje se faktorom-operatorom $F_3$. Ovaj faktor je ustvari količnik specifične kontaminacije zemljišta ovim izotopom(mCi/km$^2$ za ukupnu dubinu zemljišta do koje je prodro ovaj izotop) i specifične kontaminacije padavina I (mCi/km$^2$; za ceo period vremena pre merenja specifične kontaminacije zemljišta Z). Naravno neophodno je za veličinu I izvršiti odgovarajuće korekcije za radioaktivni raspad. Za rezultate merenja od 1966. godine do


Model kontaminacije ekološkog sistema
A
$F_0$
VAZDUH
$F_1$
PADAVINE
$F_{21}$
$F_2$
$F_3$
$F_4$
$F_5$
$F_6$
$F_7$
VODA
$F_{13}$
BILJKE
$F_{19}$
ŽIVOTINJE
$F_8$
$F_9$
$F_{10}$
$F_{12}$
$F_{14}$
$F_{15}$
$F_{16}$
$F_{18}$
$F_{20}$
$F_{26}$
$F_{22}$
TP
TP
TP
TP
TP
TP
ČOVEK
$F_{11}$
$F_{17}$
$F_{25}$
$F_{24}$
$F_{23}$
ZEMLJIŠTE

SLIKA 1

1972. godine vrednost faktora $F_3$ iznosi 0,861. Odnosno 86,1 % 137 Cs koji se nalazi u padavinama ostaje u zemljištu. Sudbina ostalih 14% aktivnosti ovog radionuklida predominantno je uslovljena faktorom $F_4$ iz modela koji opisuje prelaz ovog izotopa iz padavina direktno u biljke, zatim faktorom $F_{16}$ koji opisuje translokaciju 137 Cs iz zemljišta u biljke. Oddredjen doprinos u ovom slučaju ima faktor $F_{10}$ (translokacija 137 Cs iz zemljišta u vode) koji nije obuhvaćen ovim istraživanjima. Specifična kontaminacija neobradjivanog zemljišta ekponencijalno opada sa dubinom. 137 Cs koji je dospeo u zemljište oko dva puta sporije migrira iz istog nego 9o Sr.

U modelu kontaminacije ciklusa animalne proizvodnje izotopom 137 Cs pod uslovima hronične kontaminacije životne sredine stočna hrana je jedna od veoma bitnih faza. U ovim uslovima, po radijaciono-higijenskim karakteristikama bitno se razlikuju stajska ishrana i ishrana životinja ispašom.

Dnevno unošenje 137 Cs u organizam visokoproduktivnih rasa krava koje se koriste za proizvodnju mleka, u uslovima stajske ishrane kakva se ostvaruje na PK Beograd odredjeno je specifično kontaminacijom zemljišta Z ( $mCi/km^2$ za dubinu od 0 do 30 cm), specifičnom kontaminacijom padavina u prvom polugodištu tekuće godine $I_1$ i drugom polugodištu prethodne godine $I_2$ ($mCi/km^2$ za šest meseci), tako da je:

$$Q = 3.Z + 950\ (I_1 + I_2) \quad \ldots /1/$$

gde je Q - dnevno unošenje dato u pCi 137 Cs/dan.

U slučaju ishrane istih krava ispašom dnevno unošenje Q' iznosi:

$$Q' = 2{,}81.Z + 9731{,}7.\ I_1 + 2345\ .\ I_2 \quad \ldots /2/$$

Ako stajsku ishranu shvatimo kao ishranu hranom koja je prošla kroz odredjeni tehnološki postupak (P) u najširem smislu

te reči, onda faktor $F_{18}$ u modelu na slici 1, dat kao količnik izmedju dnevnog unošenja 137 Cs putem stajske ishrane i dnevnog unošenja putem ishrane ispašom (Q/Q'), iznosi u proseku 0,176.

Faktor $F_4$ koji u modelu opisuje folijarni put kontaminacije biljaka je složena veličina. Za nisko prirodno livadsko rastinje (trava) vrednost ovog faktora za specifičnu kontaminaciju padavina u prvom polugodištu tekuće godine $F_{4,I_1}$ = 278 pCi/kg trave za $I_1$ = 1 mCi 137 Cs/km$^2$ za šest meseci, dok je za specifičnu kontaminaciju padavina u drugom polugodištu prethodne godine od $I_2$ = 1 mCi/km$^2$ vrednost $F_{4,I_2}$ = 67 pCi/kg trave.

Specifična kontaminacija zemljišta do dubine od 30 cm od 1 mCi/km$^2$ uslovljava da je faktor $F_{16}$ za travu ravan 0,08 (pCi 137 Cs/kg trave/ mCi/km$^2$ u 30 cm).

Na analogan način odredjene su i vrednosti koeficijenata $F_4$ i $F_{16}$ za lucerku, pšenicu, zrna pasulja, krompir, kukuruz, kupus i luk. Koncentracija 137 Cs u kukuruzu, kupusu i luku opisuje se stepenom funkcijom specifične kontaminacije padavina, dok je za ostale vrste ispitivanih biljaka ta zavisnost linearna. Koeficijent nakupljanja 137 Cs iz zemljišta u biljke zavisi od površine korena biljke koja je u kontaktu sa kontaminiranim zemljištem.

## $^{137}$Cs u govedjem mesu i kostima

Koncentracija 137 Cs u govedjem mesu (pCi/kg) iznosi 1,58% od dnevno unete aktivnosti ovog izotopa sa hranom u organizam ove životinje. Koncentracija 137 Cs u telećem mesu veća je za 47% od koncentracije u mesu odraslog govečeta. U uslovima hronične kontaminacije životne sredine, radioaktivni izotop 137 Cs dostiže ravnotežnu koncentraciju u kostima govečeta za oko 5 godina, pa je u kostima životinja starijeg uzrasta koncentracija ovog izotopa veća nego u kostima životinja mladjeg uzrasta.

Koncentracija 137 Cs u kostima krava (za koje je koeficijent prelaza ovog izotopa iz hrane u kosti 1,12%),veća je za 2,5 puta od koncentracije u kostima teladi.

$^{137}$Cs u mleku

Koneentracija 137 Cs u mleku visokoproduktivnih rasa krava koje se stajski hrane menja se u toku godine po periodičnoj kosinusnoj faunkciji kao i koncentracija kalijuma umleku, s tim što su ove dve funkcije fazno pomerene za oko 6o dana. U uslovima kombinovane ishrane i različite dinamike uvodjenja krava u laktaciju koncentracije 137 Cs i kalijuma menjaju se u toku godine po složenim funkcijama, sastavljenim od dve (Novi Sad) ili više (Niš) periodičnih faunkcija kosinusnog oblika koje su fazno pomerene. Izlučivanje 137 Cs u mleku vrši se po dva parcijalna koeficijenta prelaza koji karakterišu frakcije ovog izotopa koje su u hranu krava dospele direktno iz padavina i iz zemljišta. Parcijalni koeficijent prelaza koji karakteriše frakciju unete aktivnosti 137 Cs, poreklom direktno iz padavina eksponencijalno opada od svoje maksimalne vrednosti (1,o5%) sa porastom dnevno unete aktivnosti i asimptotski se približava minimalnoj vrednosti od 0,2%, koja se verovatno zadržava sve dotle dok uneti nivo aktivnosti ne bude sposoban da izvrši bitne fiziološke promene u pogledu izlučivanja kod ove životinje.

Parcijalni koeficijent prelaza koji karakteriše frakciju unete aktivnosti koja je u stočnu hranu dospela iz zemljišta raste kao stepena funkcija sa povećanjem unete aktivnosti i asimptotski se približavajući vrednosti od 2%.

Na taj način srednja godišnja koncentracija 137 Cs u mleku Am (pCi/lit) iznosi:

$$Am = 10^{-2}\,(0{,}2 + 0{,}85\,e^{-0{,}00046\,Q_p})\,Q_p + 2.10^{-2}\,(1 - 10^{-0{,}0007\,Q_z})\,Q_z \quad \ldots \quad /3/$$

gde su:

$Q_p$ - dnevno unošenje 137 Cs poreklom iz padavina u hrani dato u jednačini 1 kao 950 $(I_1 + I_2)$ i

$Q_z$ - dnevno unošenje 137 Cs poreklom iz zemljišta u hrani dato u jednačini 1 kao 3.Z.

Koncentacija 137 Cs za odredjeni dan (t) u godini $A_{m,t}$ iznosi:

$$A_{m,t} = \bar{A}m + 0,26\ \bar{A}m \cos / \frac{4\pi}{360} (150 + t) / \quad \ldots /4/$$

gde je:

$\bar{A}m$ - srednja godišnja koncentracija 137 Cs u mleku data po jednačini /3/ i

t - približno redni broj dana u godini za koji se odredjuje koncentracija ovog izotopa u mleku $A_{m,t}$

Za frakciju aktivnosti 137 Cs koja u dnevnom obroku hrane krava potiče direktno iz padavina karakteristično je dnevno unošenje poluprelaza ( $Q_{p,1/2}$ = 1500 pCi/dan) pri kome parcijalni koeficijent prelaza ovog izotopa iz dnevnog obroka u mleko opada za polovinu razlike izmedju svoje maksimalne i minimalne vrednosti. Za frakciju unete aktivnosti 137 Cs koji u dnevnom obroku hrane krava potiče iz zemljišta, karakteristična je vrednost dnevnog unošenja $Q_{z,o,99}$ = 2857 pCi/dan, pri kojoj se postiže maksimalna vrednost koeficijenta prelaza od 2%.

$^{137}Cs$ u svinjskom mesu i kostima

Koeficijent prelaza 137 Cs iz dnevnog obroka hrane svinja u meso ovih životinja iznosi 8,4% do 17,7%, a u duge kosti od 5,7% do 13,4 %. U uslovima hronične kontaminacije životne sredine izotopom 137 Cs poreklom iz padavina koncentracija ovog izotopa u svinjskom mesu nije veća od koncentracije u govedjem mesu.

DISKUSIJA

Za izučavanje radijaciono-higijenskih karakteristika translokacije izotopa 137 Cs u ekološkom sistemu pod uslovima hronične kontaminacije polaznu osnovu dale su nuklearne eksplozije izvršene u svetu od 1945. godine do 1973.godine. Te eksplozije uslovile su kontaminaciju životne sredine na teritoriji SR Srbije od oko 160 mCi 137 Cs/$km^2$.

Prilikom zahvatanja aerosola koji sadrže 137 Cs sa kišom i snegom u okolini Beograda dolazi do koncentrisanja ovog izotopa tako da na 1 $m^2$ zemljišta u toku godine dospe $5.10^5$ veća aktivnost ovog izotopa nego što se sadrži u 1 $m^3$ vazduha. Na taj način u uslovima dozvoljenog nivoa kontaminacije vazduha može realno doći do nedozvoljenog nivoa kontaminacije biljaka i daljih faza raznih ciklusa ekološkog sistema. Ova činjenica zahteva preispitivanje dozvoljenih koncentracija radionuklida u atmosferi životne sredine.

Izotop $^{137}Cs$ prilikom akutne kontaminacije zemljišta putem padavina zadržava se u sloju dubine do 3 cm na većini vrsta zemljišta na lokacijama gde smo vršili ispitivanja. Srednja brzina prodiranja ovog izotopa u dubinu zemljišta u okolini Beograda iznosi oko 2 cm/god. Horizontalna distribucija 137 Cs na velikoj teritoriji data je zakonom normalne raspodele. Povećane koncentracije ovog izotopa po pravilu se nalaze na mestima gde se u toku zime formiraju snežni nanosi, kao i na mestima gde se sakupljaju kišni talozi.

Prisustvo 137 Cs u zemljištu uslovilo je na otvorenom prostoru u okolini Beograda jačinu ekspozicione doze gama zračenja od 89 mR/2o godina do 126 mR/2o godina (period od 1954 do 1973.godine.

Dnevno unošenje 137 Cs u ljudski organizam, na teritoriji gde su vršena ova istraživanja, putem namirnica biljnog porekla a za postojeću strukturu ishrane iznosi:

$$Q_D = 0,065.Z + 6,2 \cdot I_p^{1,55} \quad \ldots \quad /5/$$

gde su:

$Q_b$ - dnevno unošenje 137 Cs u ljudski organizam putem namirnica biljnog porekla, Z - specifična kontaminacija zemljišta ($mCi/km^2$) $I_p$ - specifična kontaminacija padavina u toku drugog polugodišta prethodne godine i u toku tekuće godine ($mCi/km^2$ 18 meseci).

Preko ciklusa animalne proizvodnje na teritoriji gde su vršena ispitivanja u ljudski organizam dospeva 8% do 25% aktivnosti 137 Cs od ukupno unete vrednosti putem hrane. Kod dece koja se pretežno hrane mlekom i mlečnim proizvodima ovaj udeo je znatno veći.

Na osnovu izvršenih ispitivanja interno ozračenje "standardnog čoveka" iz okoline Beograda usled prisustva 137 Cs u njegovom organizmu ocenjeno je na 63 mRema za period od 1954. godine do kraja 1973. godine. Od te vrednosti oko 11,5 mRema uslovljeno je translokacijom 137 Cs kroz ciklus animalne proizvodnje, dok je ostalo uslovljeno translokacijom ovog izotopa iz padavina i zemljišta u ljudsku hranu biljnog porekla.

Dakle, koristeći rezultate istraživanja glavnih karakteristika modela translokacije 137 Cs u fazama ciklusa animalne proizvodnje objektivno je moguće pouzdano prognozirati nivo kontaminacije tih faza za radijaciono-higijenski veoma nepovoljan slučaj ravnotežne kontaminacije tog ciklusa pod uslovima hronične kontaminacije životne sredine.
Mogućnost prognoziranja na osnovu modela datog na slici 1 praktično započinje od korišćenja faktora-operatora Fo i $F_1$.

Koristeći empirijski model o globalnoj distribuciji izotopa 9o Sr /K.R. PETERSON - 1970/ i rezultate naših istraživanja koji su pokazali da nema bitnih razlika izmedju globalne distribucije radionuklida 9o Sr i 137 Cs do njihovog dolaska na zemlju iz troposfere i stratosfere, u tabelama 1 i 2 dati su podaci o specifičnoj kontaminaciji padavina izotopom 137 Cs u okolini Beograda.

Tabela 1. Specifična kontaminacija padavina izotopom 137 Cs usled injektovanjem aktivnosti 1 MCi ovog izotopa u ekvatorijalnoj oblasti

($mCi/km^2$ polugodišnje u Beogradu)

visina injektovanja 17-24 km

| VREME EKSPLOZIJE (tromesečje) | GODINA EKSPLOZIJE | | I GOD. | | II GOD. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I_1$ | $I_2$ | $I_1$ | $I_2$ | $I_1$ | $I_2$ |
| I | 2,03 | 0,77 | 0,91 | 0,28 | | |
| II | 0,28 | 1,12 | 1,54 | 0,63 | | |
| III | - | 1,05 | 2,03 | 0,63 | | |
| IV | - | 0,14 | 1,12 | 0,63 | | |
| Visina injektovanja | 24-50 km | | | | | |
| I | 0,21 | 0,21 | 0,77 | 0,35 | 0,63 | 0,28 |
| II | - | 0,21 | 0,70 | 0,49 | 0,63 | 0,28 |
| III | - | 0,07 | 0,63 | 0,35 | 0,82 | 0,28 |
| IV | - | - | 0,42 | 0,28 | 0,82 | 0,35 |

Tabela 2. Specifična kontaminacija padavina izotopom 137 Cs usled injektovane aktivnosti ovog izotopa od 1 MCi u polarnoj oblasti
/mCi/km$^2$ polugodišnje u Beogradu)

Visina injektovanja 9-17 km

| VREME EKSPLO-ZIJE(tromesečje) | GODINA EKSPLOZIJE | | I GOD. | | II GOD. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I_1$ | $I_2$ | $I_1$ | $I_2$ | $I_1$ | $I_2$ |
| I | 5,39 | 1,05 | 0,82 | 0,21 | | |
| II | 1,40 | 2,17 | 4.13 | 0,56 | | |
| III | - | 1,05 | 5,53 | 0,63 | 0,77 | |
| IV | - | 0,77 | 6,30 | 0,77 | 0,35 | |
| visina injektovanja 17-50 km | | | | | | |
| I | 0,42 | 0,42 | 1,68 | 0,42 | 1,05 | 0,28 |
| II | 0,56 | 0,84 | 2,59 | 0,49 | 1,75 | 0,28 |
| III | - | 0,07 | 1,89 | 0,63 | 1,68 | 0,35 |
| IV | - | - | 1,12 | 0,49 | 1,75 | 0,35 |

Znajući vrednosti $I_1$ i $I_2$ i koristeći faktor-operator $F_3$ lako se nalazi specifična kontaminacija zemljišta Z. Na taj način po jednačinama /1/ i /2/ može se prognozirati dnevno unošenje 137 Cs u organizam krava putem stajske ishrane ili ishrane ispašom i u tom unošenju odrediti udeli direktne kontaminacije padavinama i udeo translokacije ovog izotopa iz zemljišta u hranu. Te veličine upravo su dovoljne da bi se po jednačinama /3/ i /4/ prognozirala koncentracija ovog izotopa u mleku, odnosno da bi se korišćenjem odredjenih koeficijenata prelaza za meso i kosti izvršila takva prognoza.

Isto tako znajući podatke o $I_1$ i $I_2$ lako je naći vrednost veličine $I_p$ iz jednačine /5/ i odrediti dnevno unošenje ovog izotopa u ljudski organizam putem hrane biljnog porekla, a uz podatak da dnevno unošenje 137 Cs u čoveka namirnicama animalnog porekla iznosi 8% do 25% od ukupnog unete aktivnosti ovog izotopa, može se naći i ukupno unošenje.

Pri nepromenjenoj strukturi ishrane ljudi iz okoline Beograda udeo ciklusa animalne proizvodnje u translokaciji 137 Cs u ljudski organizam opada sa povećanjem specifične kontaminacije padavina, u odnosu na ukupno unošenje ovog izotopa putem hrane. Dakle, ciklus animalne proizvodnje u uslovima hronične kontaminacije životne sredine sa 137 Cs ponaša se u odnosu na cillus biljne proizvodnje ljudske hrane kao barijera koja značajno diskriminiše prelaz ovog izotopa iz padavina u ljudski organizam.

Znajući vrednost dnevnog unošenja Q ovog izotopa u ljudski organizam putem hrane ravnotežna koncentracija u celom telu "standardnog čoveka" približno je

$$A_č = 1,7 \cdot Q \qquad \ldots /6/$$

gde je $A_č$ - dato u pCi 137 Cs/kg u čoveku a Q - dnevno unošenje 137 Cs u ljudski organizam putem hrane dato u pCi/dan.

Maksimalno dozvoljeno ozračenje stanovništva (ICRP-1959, NRB-69) iznosi 1,5 Rema/3o godina od internog i 0,5 Rema/3o godina od eksternog zračenja, odnosno 67 mRema/god. i 17 mRema/god. respektivno. Specifična kontaminacija zemljišta izotopom 137 Cs od oko 200 mCi/km$^2$ približno uslovljava maksimalno dozvoljenu dozu eksternog ozračenja stanovništva. Jedna cezijumova jedinica (pCi 137 Cs/gK) u telu čoveka daje 0,02 mRema/god. Da se postigne interno ozračenje od 67 mRema/god. dovoljno je da se u ljudskom organizmu nalazi 3350 pCi 137 Cs/gK. Pošto ciklus animalne proizvodnje na teritoriji gde su vršena ispitivanja učestvuje maksimalno sa 25% u unošenju 137 Cs u ljudski organizam to znači da sme da bude odgovoran maksimalno za oko 850 pCi 137 Cs/gK u čoveku. Imajući u vidu prvi ograničavajući faktor za specifičnu kontaminaciju zemljišta Z = 200 mCi/km$^2$ i koristeći jednačine /2/

i /3/, koeficijente prelaza iz stočne hrane u meso, uticaj tehnoloških postupaka pripreme obroka ljudske hrane i strukturu ishrane stanovnika dolazi se do maksimalno dozvoljene vrednosti specifične kontaminacije padavina izotopom 137 Cs pod uslovima hronične kontaminacije životne sredine od $(I_1 + I_2) = 35$ mCi/km$^2$ godišnje. Naravno, ako je životna sredina kontaminirana i drugim radionuklidima u isto vreme ove vrednosti moraju biti još niže.

LITERATURA


ANDERSON C.E. 1957. Science, 125, 1273

ANDERSON I 1962. Chem. Abstracts, 57, 9.

BULDAKOV A.L. MOSKALEV I. Yu. 1968. Problemi raspredelenija i eksperimentalnoj ocenki dopustimih urovnej 137 Cs, 9o Sr i 1o6 Ru. Atomizdat, Moskva.

GEDEONOV G. N. 1965. Radioaktivnie izotopi v atmosfere i ih ispoljzovanie v meteorologii. Atomizdat, Moskva.

ICRP PUBLICATION 2. 1959. Pergamon Press, London

NRB-69 197o. Atomizdat, Moskva.

MILER C.E. , MARINELI P.L. 1956. Science, 124,122.

PETERSON R.K. 197o. Health Physics, 18,4.

YAMAGATA N., YAMAGATA T. 1959. Report of the First Annual Meeting of the Japan Radiation Society.

IX SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA
ZAŠTITU OD ZRAČENJA

Jajce, 31. V do 3. VI 1977. god.

Petrović D., Panov D.
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr Dragomir Karajović" Beograd, Deligradska 29

# PROCENA OZRAČENOSTI STANOVNIŠTVA OD RADIOAKTIVNIH GROMOBRANA

## Rezime

Procena izvršena za ugradjene radioaktivne gromobrane EU - 152, 154 od 400 mCi, koje je ugradila "SLAVIJAELEKTRO" u toku 1976. godine.

U toku 1976. godine pod našom kontrolom Elektrotehničko i montažno preduzeće "SLAVIJAELEKTRO" iz Beograda, ul. Gavrila Principa br. - ugradila je na teritoriji Jugoslavije 162 radioaktivnih gromobrana (Eu-152, 154 od 400 mCi) i 25 radioaktivnih gromobrana na eksperimentalnom polju - Žabljak, zajedno sa preduzećem "ELIND" iz Valjeva (Co-60 od 200 mCi). Procena je izvršena za 162 radioaktivnih gromobrana (Eu-152, 154 od 400 mCi) ugradjenih na teritoriji Jugoslavije.

Tokom ovog perioda pod našom kontrolom se nalazio celokupan postupak sa radioaktivnim izvorima od podizanja izvora u Institutu za nuklearne nauke "BORIS KIDRIČ" do podizanja radioaktivnog gromobrana na odredjenom objektu i primopredaja istih. U toku navedenog perioda nismo imali ni jedan zabeleženi akcident ni incident prilikom podizanja, transporta, uskladištenja i ugradjivanja radioaktivnog izvora.

DOZVOLJENE BRZINE DOZE:

Na osnovu Pravilnika o tehničkim propisima o gromobranima (Sl. list SFRJ, br. 13/68 godine) maksimalno dozvoljena doza (brzina doze) iznosi na radioaktivne gromobrane 2,5

mr/h (milirentgena na čas) (član 8.14) Uvidjajući da ova granica ne odgovara savremenim shvatanjima radiološke zaštite na sastanku u Valjevu su doneti zaključci (21.decembra 1973. godine) da maksimalno dozvoljene doze kod gromobrana iznose 25 μr/h za naseljena mesta i 50 μr/h za radne organizacije, odnosno na mestima gde ljudi trajno borave ili rade (1).

Smatrajući i ovu granicu nedovoljnom, savetovanje održano u Arandjelovcu 21. maja 1976. godine je donelo zaključke o maksimalno dozvoljenim dozama za mesta gde ljudi trajno borave odnosno rade. Ove doze iznose 10 μr/h ne računajući spontanu brzinu doze za mesta gde ljudi trajno borave (stanbene prostorije) i 20 μR/h ne računajući spontanu brzinu doze za mesta gde ljudi trajno rade (službene prostorije).

U našem radu pri kontroli i merenjima mi smo se u potpunosti pridržavali ovih dogovorenih normi.

MERENJE BRZINA DOZA:

Merenje brzina doza kod montiranja radioaktivnih gromobrana vršeno je na sledećim mestima:

- prilikom preuzimanja radioaktivnog izvora merenja su vršena na površini transportnog kontejnera i na rastojanju od 1 m od površine kontejnera,
- prilikom ugradjivanja i podizanja radioaktivnog gromobrana vršena su merenja u podnožju stuba sa radioaktivnom glavom na visini od 1 metra od podnožja gromobrana na rastojanju od 1,2,3 i 4 m od radioaktivnog gromobrana,
- posle ugradjivanja u najbližoj radnoj ili stanbenoj prostoriji.

Merenja su vršena dozimetrom SGM - 29 proizvodnje Instituta "JOŽEF STEFAN" iz Ljubljane, koji je na savetovanju u Arandjelovcu prihvaćen kao odgovarajući dozimetar za ova merenja. U toku rada mi smo vršili merenja brzina doza na opisanim mestima i sa dozimetrom proizvodnje BAIRD-ATOMIC. Pošto se ova merenja dosta razlikuju i pošto će kasnije detaljno biti razmatrani rezultati merenja sa oba instrumenta iznećemo detaljno njihove karakteristike.

DOZIMETAR S G M - 29. proizvodnje Instituta "Jožef Stefan"- Ljubljana

Merno područje ovog dozimetra je podeljeno u dva opsega i to od 0,01 mR/h do 10 mR/h prvo područje i od 0,01 R/h do 10 R/h drugo područje. Tačnost ovog dozimetra iznosi ± 20 % na temperaturi od 10°C. Dozvoljena temperatura okoline je od -20 °C do +40 °C. Pri mernom području od 0,01 mR/h do 10 mR/h donja granica energije iznosi 150 KeV-a. Za područje od 0,01 R/h dom 10 R/h donja granica energije iznosi 50 keV-a (2).

Za detektor je upotrebljen vazduhu ekvivalentan plastični scintilator NE - 105 (Nuclear Enterprise) koji je više energetski linearan od drugih vazduhu ekvivalentnih scintilatora koji sadrže ZnS (Ag). Njegova energetska zavisnost data je na grafiku 1. U mernoj sondi se nalazi i fotomultiplikator sa 9 kaskada 9734 A fabrike EMI sa odgovarajućim otpornicima. Provera rada instrumenta se vrši sa etalonom, koji se nalazi u kutiji instrumenta i vrši se na mernom području od 0,01 mR/h do 10 mR/h i treba da iznosi 0,6 mR/h. Ako se u blizini ne nalazi nikakav izvor dozimetra treba da pokazuje osnovnu brzinu doze - fon - oko 0,01 mR/h, češće manje od 0,01 mR/h.

Pogodnost ovog dozimetra što se mogu s njime meriti i doze neposredno sa izvorima koji se koriste za radioaktivne gromobrane tzv. kontaktne doze. Njegova prednost je i u linearnoj zavisnosti odgovora scintilatora u odnosu na energiju zračenja. Njegova slabost je neosetljivost za doze ispod 0,01 mR/h tj. 10 μR/h što znači da meri samo prekoračenja doza prema sporazumu u Arandjelovcu od 21. maja 1976. godine. Sledeći nedostatak što ne može da izmeri pouzdano osnovnu brzinu doze - fon - na mestima ugradjivanja radioaktivnih gromobrana.

DOZIMETAR BAITRD-ATOMIC, proizvodnje RANKNUCLEONICS AND CONTROLS, England

Mogućnosti merenja su sledeće: sastoji se iz tri opsega merenja i to od 0 do 30 μR/h, zatim od 0 do 300 μr/h,

i od 0 do 3000 $\mu$R/h. Tačnost, odnosno greška merenja je data na grafiku 5. Kalibraciona greška je manja od - 25°C do + 55°C (3).

Energetski odgovor je dat na grafiku 2. Odmah vidimo iz ovog grafika da je osetljiv i za niže energije i to preosetljiv. Naime prema ovom grafiku 1 $\mu$R/h zračenja od 200 KeV-a pokazuje na ovom dozimetru 15 $\mu$R/h. Kao detektor služi kristal natrijum jodida koji je aktiviran talijumom. Snabdeven je sa fotomultiplikatorom EMI.

## G R E Š K A  M E R E N J A

Pored navedenih grešaka merenja ovde ćemo se zadržati na problemu slaganja grešaka kod naših merenja odnosno procena, da bi smo mogli da zaključimo sa kojom greškom možemo posmatrati krajnju dobijenu vrednost i sa kojom pouzdanošću možemo prihvatiti dobijene vrednosti.

Zbir dve Poisson-ove raspodele je takodje Poisson-ova raspodela. Devijacija i greška zbira se dobija prema (4):

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2$$

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$$

gde je s devijacija, odnosno greška zbira, a $s_1$ i $s_2$ devijacija odnosno greška odgovarajućeg sabirka.

Razlika dve Poisson-ove raspodele ne daje Poisson-ovu raspodelu. Devijacija i greška razlike je prema tome (4):

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2$$

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_1^2}$$

gde je s devijacija, odnosno greška razlike, a $s_1$ i $s_2$ devijacija, odnosno greška odgovarajuće raspodele.

Devijacija, odnosno greška proizvoda je malo komplikovanija zbog mogućih kombinacija pojedinih devijacija, odnosno greški i iznosi (5):

$$\frac{s_p}{P} = \sqrt{\left(\frac{s_1}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{s_2}{P_2}\right)^2 + \ldots}$$

gde je s devijacija, odnosno greška proizvoda P, a $s_1$ i $s_2$ odgovarajuća greška, odnosno devijacija članova proizvoda $P_1$, $P_2$, . .

PROCENA VREMENA EKSPOZICIJE:

Na primeru iznećemo princip na kome smo zasnovali procenu vremena ekspozicije.

Na primer Restoran društvene ishrane, pored koga je podignut radioaktivni gromobran tipa SERG 4 (Eu-152, 154 jačine od 400 mCi).

Doza u restoranu 13 /uR/h
Vreme ekspozicije 1 čas
Minimalna doza 1 /uR/h
Vreme ekspozicije 1 čas
Srednja doza 7 /uR/h
Vreme ekspozicije 1 čas
Broj zaposlenih 80
Neposredno koji rade ispod gromobrana 2
Vreme ekspozicije 8 časova
Broj ljudi koji svakodnevno dolazi u poseti R.O. 10
Vreme ekspozicije 1 čas

---

Ukupna doza /uR/h 2.436

Vreme ekspozicije za odredjeno radno mesto je 8 ± 2 časa
Vreme ekspozicije za odredjeni stanbeni prostor je 16 ± 4 časa.

PROCENA BROJA LJUDI:

Ukoliko je radioaktivni gromobran postavljen na radnom prostoru koji je na neki način na mestu gde komuniciraju svi

zaposleni, onda je uzet broj zaposlenih. Ukoliko je radioaktivni gromobran na odredjenom objektu, onda zaposleni u tom objektu.

Za stanbene prostorije uziman je broj soba neposredno ispod gromobrana - na prvoj etaži.

Često je ovaj broj procenjivan zbog toga što je radioaktivni gromobran montiran na novom objektu, koji još nije pušten u rad.

SPEKTAR ZRAČENJA RADIOAKTIVNOG GROMOBRANA:

Da utvrdimo tačnu dozu neophodno je poznavati i energiju zračenja koje merimo. U tom cilju mi smo na gama - spektrometru snimili spektar zračenja radioaktivnog gromobrana u realnim uslovima; izvor od 400 mCi se nalazio u kontejneru i vršeno je mrenje na rastojanju od 5 m. Ovi uslovi su bili i prilikom merenja sa prethodno opisanim dozimetrima. Na grafiku 3. i 4. prikazani su rezultati merenja. Označene energije strelicama su energije zračenja Eu-152,154 prema tabelarnim vrednostima (6). Odmah primećujemo da su prvobitni pikovi energija zračenja Eu-152.154 "zatrpani" ogromnom količinom sekundarnog, rasutog zračenja. Na sledećem grafiku 5. date su površine zračenja odredjenih energija iz tabela (6) i površine zračenja izmerenih. Izvesna proporcija postoji, ali ne i identičnost. Ceo ovaj problem je doslovce "zatrpan" rasutim zračenjem. Ovo je sasvim verovatno, s obzirom da je konstrukcija radioaktivnog gromobrana sva od metala, najčešće gvoždja. Medjutim odmah se nameće i jedan zaključak, a to je da je kontrolu radioaktivnog gromobrana neophodno vršiti sa dozimetrom koji je efikasan i za niske energije, energije rasutog zračenja.

EFIKASNOST DOZIMETRA:

Kod merenja ekspozicionih doza sa dozimetrom SGM -29 pitanje efikasnosti za primaran snop zračenja, s obzirom na grafik 1. nije sporno, pošto iznosi približno jedinici. Kod merenja sa BAIRD-ATOMIC dozimetrom, s obzirom na grafik 2. imamo problem preosetljivosti za niske energije.

Iznećemo ovde neke najdene faktore preosetljivosti raznim metodama:

Iz grafika 2. nadjen je faktor 3,41
Iz grafika 5. površina pod odredjenom energijom nadjen je faktor 3,10
Iz uporednih merenja sa dozimetrima SGM-29 i BAIRD-ATOMIC nadjen je faktor 4,2.

Iz ovih rezultata je očigledno da je izmerena vrednost sa BAIRD-ATOMIC dozimetrom je veća za približno nadjene faktore, ali je izmerena vrednost sa SGM-29 dozimetrom nešto niža od stvarne vrednosti.

## REZULTATI MERENJA

Rezultati merenja su dati na Tabeli 1, i to po rubrikama koje pojedinačno predstavljaju:

Rubrika 1. - Š I F R A - Pretstavlja oznaku preko koje može da se pronadje odgovarajući radioaktivni gromobran (RAG) i celokupna dokumentacija.

Rubrika 2. - Izmerena brzina doze. pretstavlja izmerenu brzinu doze na odgovarajućem RAG-u na mestu gde ljudi trajno borave (najčešće to je najbliža radna ili stanbena prostorija). Izmerene vrednosti su date u µR/h - mikrorentgeni po času.

Rubrika 3. - G R E Š K A - Pretstavlja grešku koja je data na grafiku 6. i ranije opisana. Data je u µR/h - mikrorentgeni na čas.

Rubrika 4. I Z M E R E N A B R Z I N A O S N O V N E D O Z E - pretstavlja izmerenu osnovnu brzinu doze na okolnom terenu gde je odgovarajući RAG montiran. Izmerene vrednosti su date u µR/h - mikrorentgeni po času.

Rubrika 5. - G R E Š K A - sa kojom je izmerena vrednost osnovne brzine doze. Greška je data iz grafika 6. i ranije opisana, a pretstavlja funkciju otklona na odgovarajućoj skali.

Rubrika 6. STVARNA BRZINA DOZE - pretstavlja razliku izmedju brzine doze i osnovne brzine doze.

Rubrika 7. - G R E Š K A - pretstavlja ukupnu gršku ovako dobijene vrednosti.
Disperzija i greška razlike je data:

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$$

Rubrika 8. - PROCENJENO VREME EKSPOZICIJE- pretstavlja procenjeno vreme boravka u zoni RAG-a koja je izmerena. Dobijeno je procenjivanjem maksimalnog vremena boravka u zoni sa maksimalnom brzinom doze, koja je izmerena, zatim isto vreme u zoni sa minimalnom brzinom doze i u zoni sa srednjom brzinom doze. Zbir ova tri vremena pretstavlja ovo vreme ekspozicije. Uzeto je za boravak u stanbenoj prostoriji vreme ekspozicije od 16 ± 4 časa, a boravak u radnoj prostoriji 8 ± 1 ili 2 časa. Ostali slučajevi su procenjivani svaki posebno.

Rubrika 9. - G R E Š K A - pretstavlja ranije spomenutu grešku žod procene vremena boravka. U ovom slučaju išlo se na maksimalnu gršku.

Rubrika 10.- PROCENJEN BROJ EKSPONIRANIH LJUDI- pretstavlja ocenjen broj ljudi koji će boraviti u odredjenoj zoni RAG-a odredjeno (procenjeno vreme).

Rubrika 11.- G R E Š K A - pretstavlja ocenjenu grešku kod procene broja eksponiranih ljudi. Takodje se išlo na maksimalnu grešku. U najvećem broju slučajeva je bila ± 50 %.

Rubrika 12. - UKUPNA DOZA- pretstavlja proizvod izmerene razlike brzina doza (rubrika 5.), procenjenog vremena boravka (rubrika 8.) i procenjenog broja eksponiranih ljudi (rubrika 10.).

Rubrika 13.- UKUPNA GREŠKA- pretstavlja ukupnu grešku prethodno spomenutog proizvoda. Distribucija rezultata i greška

proizvoda dve i više veličina:

$$\frac{s}{P} = \sqrt{\left(\frac{s_1}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{s_2}{P_2}\right)^2 + \left(\frac{s_2}{P_3}\right)^2 + \dots}$$

gde je "S" greška, odgovarajuća, a "P" odgovarajuća vrednost za koju se traći greška.

Rubrika 14.- STVARNA DOZA- Pretstavlja ukupnu dozu iz rubrike 12. podeljenu sa 3 - Odabranim faktorom za izračunavanje efikasnosti.

Rubrika 15. - DOZA PO 1 ČOVEKU - pretstavlja stvarnu dozu (rubrika 14) podeljenu sa brojem eksponiranih ljudi.

Na Tabeli 1., prethodno iznetoj dati su rezultati i procena za merenja izvršena BAIRD-ATOMIC dozimetrom.

Rezultati merenja sa SGM-29 dozimetrom nisu obradjeni zbog nemogućnosti merenja osnovne brzine doze.

Od 126 merenja ovim dozimetrom 41 rezultat je 10 $\mu$R/h, kod 15 merenja brzina zajedno sa osnovnom brzinom doze na mestu gde se trajno zadržavaju ljudi prelazi 10 $\mu$R/h, a u 70 slučajeva brzina doze iznosi ispod 10 $\mu$R/h.

## DISKUSIJA REZULTATA

Posmatrajući rubriku 14 i 15 Tabele 1. dobijamo rezultate doze ekspozicije za odredjeni broj eksponiranih ljudi. Greška ovakve procene prelazi retko $\pm$ 50 %, a često je ispod ovog procenta. Medjutim ovako data doza pretstavlja ukupnu vrednost za jednu odredjenu grupu. U našem slučaju posmatrani su 36 radioaktivnih gromobrana sa 1900 eksponiranih ljudi sa dozom od 4.483 $\mu$R/h. Prema zaključcima iz Arandjelovca dozvoljena doza je 10 $\mu$R/h ne računajući osnovnu brzinu dozefon.

4.483 μR/h : 1.900 ljudi = 2,46 μR/h/čoveku dnevno.

Ako uzmemo, što ne mora biti tačno, da je prema sporazumu iz Arandjelovca dozvoljena dnevna doza 24 časa x 10 μR/h = 240 μR/dnevno, odmah možemo videti da je ovako dobijena doza 100 puta manja ili tačno,1,025 %. Ovo je srednja vrednost.

Maksimalna vrednost iznosi 37,9 μR/dnevno po čoveku, što je još uvek ispod dozvoljene granice.

Minimalna vrednost iznosi 0,17 μR/dnevno po čoveku.

Računajući i sa greškom merenja od ± 100 % ovako dobijene vrednosti su ispod dozvoljene granice.

Ovako dobijene vrednosti su računate sa izmerenom dozom podeljenom sa 3 (faktor efikasnosti).

Medjutim i ako računamo samo sa izmerenim vrednostima, ne računajući pri tome efikasnost dozimetra, dobijene vrednosti ostaju u granicama koje su dogovorene u Arandjelovcu 21 maja 1976. godine.

## Z A K L J U Č A K

Na osnovu materijala smatramo da je moguće izneti sledeće zaključke:

- Najveći deo ekspozicionih doza dolazi od rasutog zračenja, a ne od primarnog snopa zračenja.
- Buduća merenja moraju se obavljati dozimetrima koji su osetljivi i na niže energije, energije rasutog zračenja.
- Merenja se obavezno moraju vršiti sa dozimetrima koji mogu meriti i prirodnu brzinu doze - fon. Ukoliko se merenja vrše sa različitim dozimetrima, obavezno voditi računa o osetljivosti dozimetra i energetskom pragu osetljivosti. Posebno je važno poznavati energetski spektar merenog zračenja u realnim uslovima.
- Dobijene vrednosti ranije opisanim postupkom ne prelazi ni u jednom slučaju dogovorene vrednosti.

---

Ovaj rad je uradjen zahvaljujući Elektrotehničkom i montažnom preduzeću "SLAVIJAELEKTRO" iz Beograda

# L I T E R A T U R A

1. Marković P. Zbornik radova sa savetovanja o ozračivanju stanovništva, Arandjelovac, 2o - 21 maj 1976. godine, str. 36.

2. Uputstvo za rukovanje - GAMA MONITOR SGM-29, Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Novembra 1970. godine.

3. Instruction manual RATEMETER TYPE NE 148A. Rank nuccleonics and controls, Welwyn garden city-Hertforshire-England.

4. Draganić I. Radiohemijski praktikum, Izd. Naučna knjiga, Beograd 1959. str. 85.

5. Friedlander-Kennedy: Nuklearna i radiohemija, Izd.Naučna knjiga, Beograd, 1962, str. 182.

6. Selinov I.P.; Izotopi II Spravočnie tablici Z + 62 - 105, Izd. "Nauka" Moskva 1970, str. 642.

| Šifra | $D_{ia.}$ | $\pm S_i$ | $D_{ex.}$ | $\pm S_e$ | ΣD | $\pm S$ | $t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| V-1 | 25 | ± 1,38 | 12 | ± 0,9 | 13 | ± 1,65 | 116 |
| V-2 | 40 | ± 4,8 | 20 | ± 1,2 | 20 | ± 4,95 | 97 |
| V-3 | 20 | ± 1,2 | 18 | ± 1,08 | 2 | ± 1,61 | 4 |
| V-4 | 15 | ± 0,96 | 8 | ± 0,72 | 7 | ± 1,2 | 52 |
| G-3 | 25 | ± 1,36 | 10 | ± 0,75 | 15 | ± 1,55 | 104 |
| D-6 | 15 | ± 1,05 | 10 | ± 0,75 | 5 | ± 1,29 | 112 |
| Ž-2 | 25 | ± 1,36 | 20 | ± 1,2 | 5 | ± 1,81 | 6 |
| Ž-7 | 14 | ± 0,98 | 10 | ± 0,84 | 4 | ± 1,29 | 480 |
| Ž-10 | 28 | ± 1,5 | 12 | ± 0,84 | 16 | ± 1,72 | 320 |
| K-2 | 20 | ± 1,2 | 13 | ± 0,91 | 7 | ± 1,51 | 240 |
| K- 3 | 30 | ± 1,6 | 10 | ± 0,75 | 20 | ± 1,77 | 1200 |
| K-8 | 20 | ± 1,2 | 15 | ± 0,96 | 5 | ± 1,54 | 120 |
| L-3 | 25 | ± 1,34 | 15 | ± 1,05 | 10 | ± 1,70 | 184 |
| Lj-1 | 30 | ± 1,62 | 7 | ± 0,63 | 23 | ± 1,74 | 200 |
| M-9 | 15 | ± 0,96 | 10 | ± 0,75 | 5 | ± 1,22 | 240 |

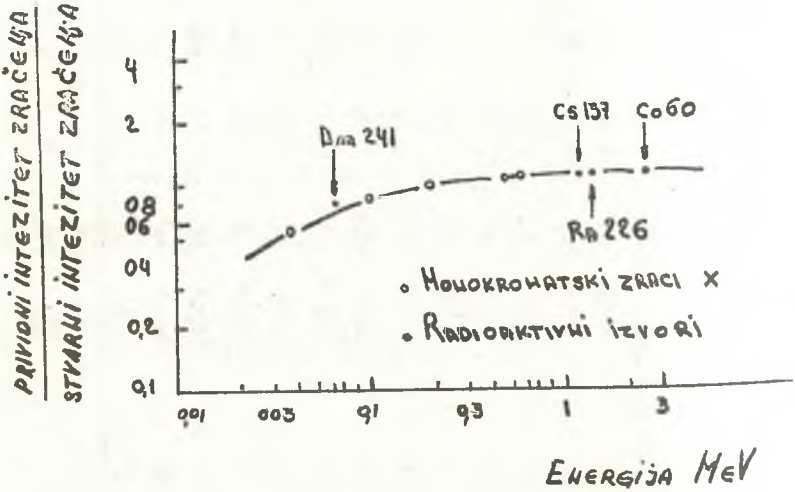
Tabela 1

| ± S | N | ± S | P | ± S | $\frac{\Sigma D}{B}$ | $\frac{\Sigma D}{SN}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ± 14,5 | 92 | ± 50 | 243,6 | ± 1,393 | 812 | 8,83 |
| ± 12,1 | 14 | ± 7 | 1161 | ± 663 | 387 | 27,64 |
| ± 1 | 4 | ± 1 | 8 | ± 7,03 | 2,7 | 0,68 |
| ± 11 | 7 | ± 4 | 219 | ± 138,6 | 73 | 10,43 |
| ± 13 | 13 | ± 5 | 720 | ± 300,5 | 240 | 18,46 |
| ± 14 | 8 | ± 3 | 177 | ± 83,6 | 59 | 7,38 |
| ± 3 | 6 | ± 3 | 18 | ± 9,8 | 6 | 1 |
| ± 120 | 30 | ± 15 | 1120 | ± 722,8 | 373,3 | 12,44 |
| ± 80 | 40 | ± 15 | 2080 | ± 963,7 | 693,3 | 17,33 |
| ± 30 | 30 | ± 15 | 960 | ± 536,4 | 360 | 12 |
| ± 250 | 300 | ± 30 | 7800 | ± 1930 | 2600 | 8,67 |
| ± 3 | 15 | ± 6 | 360 | ± 181,9 | 120 | 16 |
| ± 46 | 26 | ± 6 | 720 | ± 287,5 | 240 | 10,4 |
| ± 25 | 25 | ± 5 | 2840 | ± 703,4 | 946,7 | 37,9 |
| ± 30 | 15 | ± 6 | 720 | ± 749,2 | 240 | 16 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N-2 | 25 | ± 1,34 | 12 | ± 0,84 | 13 | ± 1,58 |
| N-4 | 30 | ± 1,62 | 18 | ± 1,17 | 12 | ± 2,0 |
| N-22 | 15 | ± 0,96 | 12 | ± 0,84 | 3 | ± 1,28 |
| N-12 | 12 | ± 0,84 | 7 | ± 0,63 | 5 | ± 1,05 |
| S-1 | 25 | ± 1,36 | 12 | ± 1,05 | 13 | ± 1,72 |
| S-8 | 15 | ± 1,05 | 9 | ± 0,75 | 6 | ± 1,25 |
| S-16 | 18,5 | ± 1,11 | 12 | ± 0,84 | 6,5 | ± 1,39 |
| Đ-1 | 25 | ± 1,38 | 7 | ± 0,63 | 18 | ± 1,52 |
| Ž-8 | 12 | ± 0,9 | 10 | ± 0,75 | 2 | ± 1,17 |
| Š-9 | 20 | ± 1,2 | 12 | ± 0,84 | 8 | ± 1,46 |
| B-6 | 30 | ± 1,62 | 14 | ± 10,98 | 16 | ± 1,89 |
| B-8 | 30 | ± 1,62 | 6 | ± 0,66 | 24 | ± 1,75 |
| A-1 | 25 | ±-1,36 | 16 | ± 1,04 | 9 | ± 1,71 |

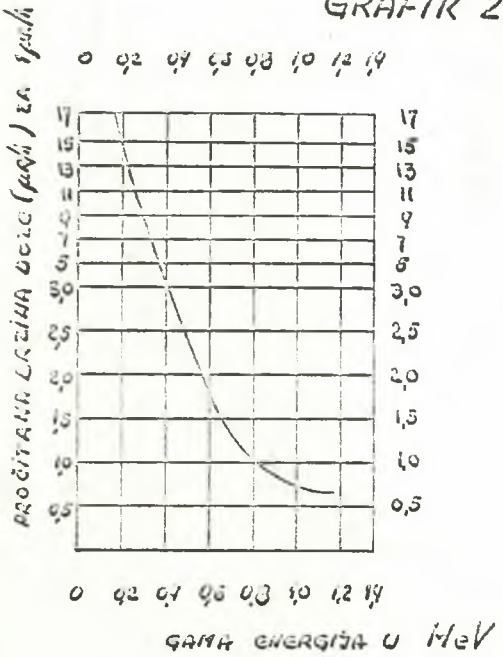
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | ± 11 | 11 | ± 4 | 616 | ± 248,4 | 204,3 | 18,7 |
| 32,8 | ± 8,8 | 508 | ± 102 | 264 | ± 69,3 | 88 | 0,17 |
| 240 | ± 12 | 15 | ± 6 | 480 | ± 281,8 | 160 | 10,7 |
| 192 | ± 48 | 12 | ± 5 | 576 | ± 304,9 | 192 | 16 |
| 160 | ± 20 | 20 | ± 4 | 680 | ± 183,9 | 226,7 | 11,36 |
| 320 | ± 40 | 20 | ± 4 | 880 | ± 276,9 | 293,3 | 14,67 |
| 155 | ± 21,5 | 160 | ± 17 | 470 | ± 129,8 | 156,7 | 0,98 |
| 3,000 | ± 750 | 1,500 | ± 750 | 28,000 | ± 15.830 | nedelj.doza | |
| 770 | ± 105 | 255 | ± 37 | 1530 | ± 945,5 | 510 | 2 |
| 240 | ± 35 | 15 | ± 9 | 1040 | ± 669,6 | 346,7 | 23,11 |
| 800 | ± 30 | 50 | ± 11 | 5440 | ± 1373,6 | 1813,3 | 36,3 |
| 320 | ± 26 | 40 | ± 18 | 4160 | ± 592,7 | 1386,7 | 34,6 |
| 320 | ± 26 | 40 | ± 18 | 1280 | ± 633,8 | 426,7 | 10,7 |

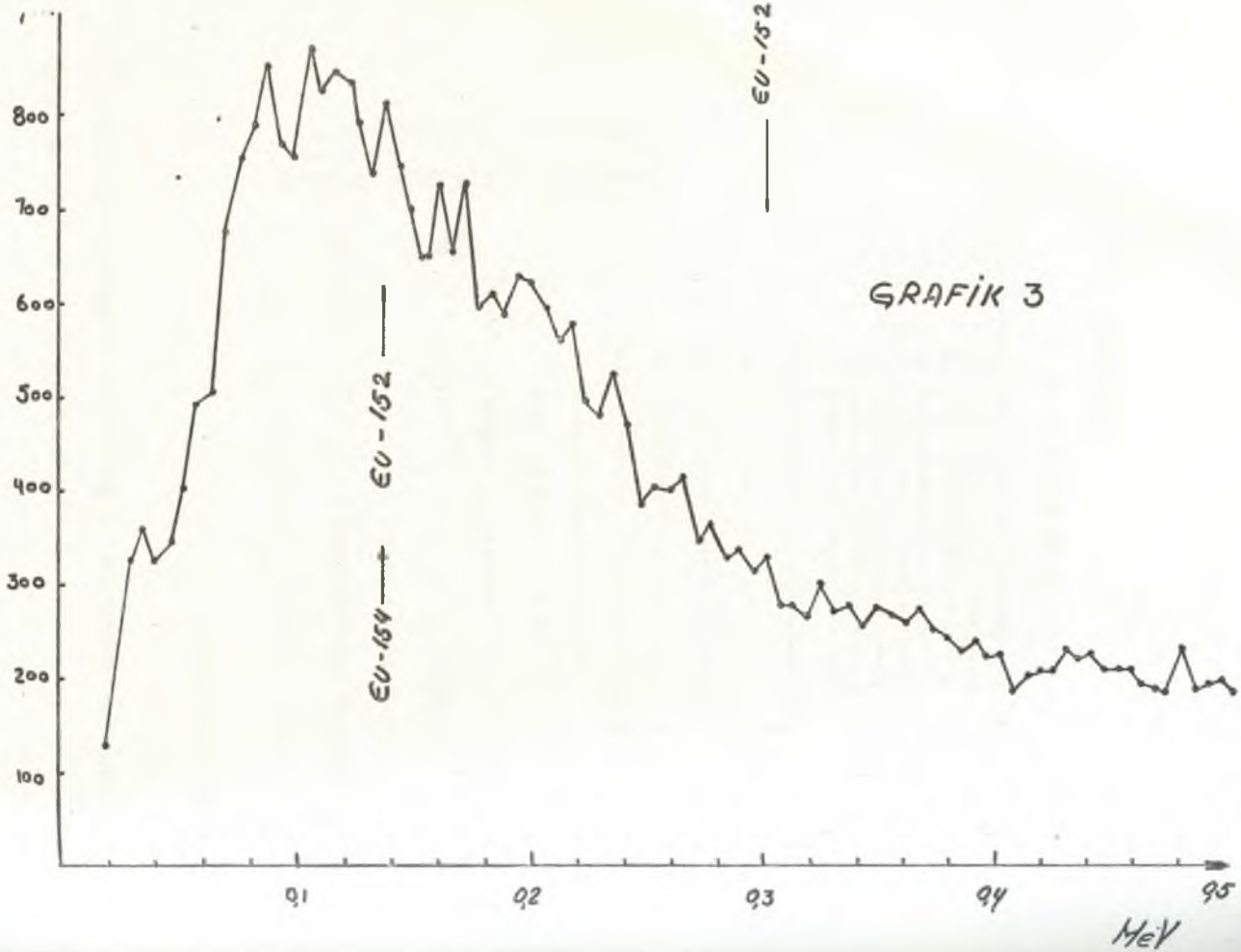
GRAFIK 1



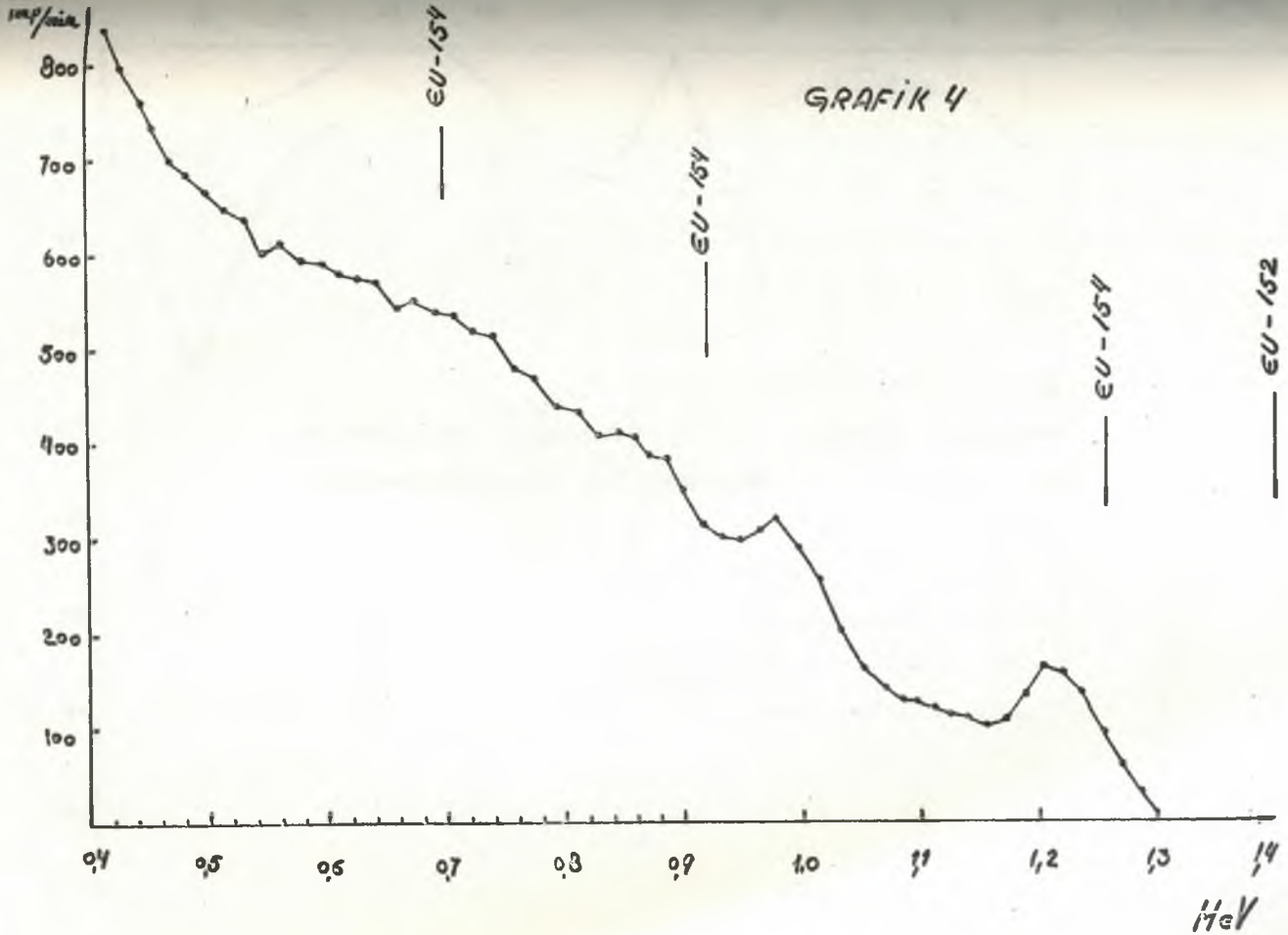

ENERGISKA ZAVISNOST ZA HE-105 PLASTIČKI VAZDUHU EKVIVALENTAN SCINTILATOR

GRAFIK 2


0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4
17
15
13
11
9
7
5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4
GAMA ENERGIJA U MeV


EU-152
EU-152
EU-154
800
700
600
500
400
300
200
100
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
MeV

GRAFİK 3


GRAFIK 4
imp/min
800
700
600
500
400
300
200
100
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
1,4
MeV
EU-154
EU-154
EU-154
EU-152