ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
JUGOSLAVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLOVANSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO PRED SEVANJI
ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ

ЗВОРНИК НА ТРУДОВИ

XII ЈУГОСЛОВЕНСКИ СИМПОЗИУМ ЗА ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ

КНИГА II

ОХРИД,
31 мај — 3 јуни 1983 год.

ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
JUGOSLAVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
JUGOSLOVANSKO DRUŠTVO ZA ZAŠČITO PRED SEVANJI
ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

XII ЈУГОСЛОВЕНСКИ СИМПОЗИУМ ЗА ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ

КНИГА II

ОХРИД,
31 мај — 3 јуни 1983 год.

XII ЈУГОСЛОВЕНСКИ СИМПОЗИУМ ЗА ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ
ОХРИД, 31 мај — 3 јуни 1983 г.

Организатори:

Југословенско друштво за заштита од зрачење

Друштво за заштита од зрачење на СР Македонија

Техничка организација:

Центар за примена на радиоизотопи во стопанството „Скопје“,

Скопје, пошт. фах 274

Организационен одбор:

Љ. Арсов, Ј. Арсовски, З. Ѓукиќ, Т. Имаии, Ѓ. Хорват, З. Календаров, С. Конеска, А. Марѓокиќ, А. Михајлов, У. Миклавжиќ, Б. Симиќ, А. Стефановски, Ѓ. Теодосиевски

Секретаријат:

Т. Ановски, Д. Качурков, Б. Минчева, Д. Неделковски, С. Поповски

Технички одбор:

Т. Јосифовски, Л. Лелифанова, Љ. Хациевски, М. Цветковиќ

Редакционен одбор:

Т. Аиовски, Д. Качурков, П. Марковиќ, Б. Момчиловиќ, Р. Радовановиќ

Издавањето на Зборникот финансиски го помогна Републичката заедница на научните дејности — Скопје, за што посебно сме благодарни

Редакциониот одбор не е одговорен за евентуалните технички и други пропусти во оние трудови чии што автори не се придржувале целосно на напатствијата за припремање на истите за печатење

С О Д Р Ж И Н А

I КНИГА

страница

I с е к ц и ј а : ОПШТИ ПРОБЛЕМИ НА ЗАШТИТАТА ОД ЗРАЧЕЊЕ 1

1. M.Mladjenović:
Neki društveni aspekti zaštite od zračenja 3

2. P.S.Bojović:
Osnova metode za ocene zaštite od zračenja 12

3. M.M.Ninković, J.Vujić:
Predlog naziva i bliže definicije SI-jedinice za ekspozicionu dozu 18

4. M.Zarić:
Istraživanje zaštite od jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja u okviru "Programa naučno istraživačke aktivnosti na zaštiti i unapredjivanju prirode i čovekove sredine u SR Srbiji" 24

5. S.Lulić:
ICRP publikacija 30 i jugoslovensko zakonodavstvo 30

6. B.Katušin-Ražem,D.Ražem,I.Dvornik,B.Briski:
Zakonski propisi o zračenju namirnica 34

7. Ž.Deanović,D.Petrović:
Kako naše zdravstvo prati izgradnju nuklearnih elektrana 41

8. V.Stančić,I.Bunji,B.Radjenović:
Sistematizacija i formatizovanje biblioteka nuklearnih podataka za primenu u zaštiti od zračenja i dozimetrije 47

9. R.Pavlović:
Obuka kadrova za primenu radionuklida i zračenja u centru za permanentno obrazovanje IBK 51

страница

II секција: РАДИОЕКОЛОГИЈА 57

10. M.Mihailović, A.Jeršić, K.Južnić, D.Brajnik, J.Štupar, P.Stegnar, I.Kobal, B.Smodiš, Z.Smerkolj:
Radioekološka ispitivanja u Sloveniji 59

11. M.Mihailović, M.Kanduč, M.Križman, I.Kobal:
Primena log-normalne analize na evaluaciju rezultata merenja aktivnosti i drugih karakteristika uzoraka iz okoline 63

12. D.Brajnik, M.Korun:
Identifikacija radionuklidov v okolici NEK 64

13. N.Horvatinčić, D.Srdoč, B.Obelić, I.Krajcar, A.Sliepčević:
Praćenje koncentracija aktivnosti tricija u širem okolišu NE Krško 68

14. I.Kobal, M.Škofljanec, F.Kaluža:
Radioaktivnost v okolju kot posledica fosfatne industrije 74

15. N.Ajdačić, M.Martić:
Uticaj pepelišta termoenergetskih postrojenja na stepen kontaminacije površinskih voda radioaktivnim materijama 80

16. B.Pucelj, R.Martinčić:
Koncentracija naravne radioaktivnosti v tehnološkem procesu 84

17. D.Hajduković:
Aktuelni problemi zaštite u neuranskim rudnicima zletovsko-kratovske oblasti 86

18. Т.Ановски, Р.Драшковиќ, Б.Минчева, Д.Качурков Љ.Хаџиевски:
Утврдување на радиоеколошките карактеристики на реката Вардар 92

19. D.Cesar, Dj.Stampf, A.Bauman:
Prirodna radioaktivnost u zraku 97

20. G.Marović, M.Bajlo, A.Bauman:
Odredjivanje ^{90}Sr u zraku 100

21. R.Kljajić, E.Horišić, Z.Milošević, A.Mihalj, D.Hasanbašić, L.Saračević:
Nivo aktivnosti Sr-90 i Cs-137 u lišaju i mahovini planinskog područja BiH 104

страница

22. D.Ražem, I.Dvornik:
Aktivacija namirnica kao posljedica ozračenja neutronima nuklearne eksplozije 108

23. B.Draganović, G.Djurić, G.Košutić:
Nivo aktivnosti radiokalijuma-40 i ostale beta aktivnosti u mleku, jogurtu i siru 116

24. J.Kovač, N.Lokobauer, A.Bauman:
Odredjivanje ^{239,240}Pu u nekim uzorcima tla 120

25. L.Saračević, A.Mihalj, R.Kljajić, D.Hasanbašić, E.Horšić , Z.Milošević:
Migracija Sr-90 i Cs-137 u tlu u zavisnosti od vrste tla i nadmorske visine 124

26. Lj.Knežević, O.Janković:
Procena parametara transporta radionuklida kroz zemljište primenom matematičkog jednodimenzionalnog modela 128

27. A.Mihalj, L.Saračević, D.Hasanbašić, R.Kljajić, Z.Milošević, E.Horšić :
Transfer Sr-90 u sistemu zemlja -trava -mlijeko -sir 132

28. E.Horšić , Z.Milošević, R.Kljajić:
Godišna doza ozračivanja populacije u lancu voda-riba-čovjek 136

29. R.Mitrović, S.Stanković, S.Bojović, B.Petrović, G.Djurić:
Ukupna alfa aktivnost u industrijski proizvedenim stočnim hranivima 142

30. S.Stanković, R.Mitrović, G.Djurić, B.Petrović:
Koeficienti nakupljanja biološki značajnih radionuklida u industrijski proizvedenim stočnim hranivima 148

31. Б.Жешков, М.Адамов, М.Паневска:
^{90}Sr и ^{137}Cs во водата, сеното и продуктите од говеда 154

32 Б.Жешков, М.Паневска, М.Адамов:
Присаство на некои природни радионуклиди во циклусот на говедарското производство 156

страница

33. G.Djurić, B.Petrović:

Funkcionalna zavisnost nivoa ukupne beta aktivnosti i aktivnosti ^{40}K, za živinsko meso i jaja 159

34. D.Patić, R.Smiljanić, Z.Gršić:

Uticaj vremenskih promena meteoroloških parametara na trajanje uzorkovanja u kontroli aerozagadjenja 163

35. R.Smiljanić, D.Patić:

Primena statističkih metoda za ocenu značajnosti uticaja padavina na sadržaj radioaktivnih materija u vazduhu 169

36. V.Kubelka, K.Kvastek, S.Lulić, I.Ružić:

Nanosi meandra kao jedan od mogućih puteva bržeg zagadjivanja podzemnih voda 175

III с е н ц и ј а : РАДИОТОКСИКОЛОГИЈА И БИОДОЗИМЕТРИЈА 183

37. M.Osmak, D.Petrović:

Popravak oštećenja u animalnim stanicama nakon neutronskog i gama zračenja 185

38. I.Vučenik, D.Grgičević, B.Vitale:

Aktivacija mehanizma zgrušavanja krvi u toku evolucije akutnog radijacijskog sindroma (ARS) u štakora ozračenih različitim dozama X-zraka i brzih neutrona 189

39. S.Levanat, Ž.Deanović:

Promjene aktivnosti nekih enzima u serumu različito ozračenih štakora 193

40. R.Kljajić, E.Horšić , Z.Milošević, D.Hasanbašić:

Hematološke promjene kod koza nakon akutnog ozračivanja visokoenergetskim X-zracima 197

41. Z.Milošević, R.Kljajić, E.Horšić , I.Selak Z.Marković:

Komparativna istraživanja akutnog radijacionog sindroma kod malih preživača 201

42. J.Pavelić, B.Vitale:

Regeneracija krvotvornog tkiva miševa nakon subletalnog zračenja. Ovisnost o dozi zračenja 205

страница

43. V.Gal, D.Trajković, R.Radovanović:

Uticaj jonizujućeg zračenja visokih doza na mikrotubularni sistem in vitro 209

44. K.Milivojević, D.Stojanović:

Efekat dekontaminacije na prevenciju ozračivanja u eksperimentalnim uslovima 216

45. B.Kargačin, K.Kostial:

Primjena kombinirane terapije kod interne kontaminacije mješavinom fisijskih produkata: 1. radioaktivni stroncij 222

46. N.Gruden:

Utjecaj različitih dijeta na transport ^{85}Sr kroz tanko crijevo štakora 226

47. B.Momčilović:

Utjecaj celuloze,lignina i aktivnog ugljena na apsorpciju radioaktivnog stroncija u neonatalnoj dobi 230

48. A.Milovanović, M.Ćosić:

Efikasnost cistafosa u zaštiti životinja od gama zračenja 233

49. A.Ferle-Vidović, Ž.Deanović:

Radioprotektivna aktivnost beta-hidroksiserotonina 239

50. V.Ninkov, D.Karanović, O.Milić, K.Savovski N.Pujić:

Simulativno dejstvo bioregulatora na postradijacione procese hematopoeze 243

51. D.Karanović, V.Ninkov, N.Radotić:

Delovanje ceruloplasmina na postradijacionu regeneraciju hematopoetskog tkiva 247

52. B.Jernej, S.Levanat, S.Miljanić:

Biodozimetrijski značaj praćenja ranih promena tjelesne težine ozračenih štakora 253

53. Ž.Ubović, Z.Červenjak, A.Živanović, M.Trajković:

Sadržaj prirodnog urana u urinu stanovništva 257

54. M.Maračić, M.Baumštark, N.Lokobauer, A.Bauman:

Odredjivanje Sr-90 u ljudskim kostima 261

страница

55. J.Kovač, M.Bajlo, A.Bauman:
^{210}Pb u ljudskom urinu radnika izloženih tehnološki proizvedenoj prirodnoj radioaktivnosti 266

56. P.Čremošnik-Pajić, R.Pece, N.Mačvanin, J.Ardeljan:
Izloženost malim dozama jonizujućeg zračenja i nalaz pojedinih elemenata pregleda zdravstvenog stanja 270

57. M.Besarabić,:
Somatski efekti kod hronične profesionalne ekspozicije jonizujućim zračenjima 276

58. D.Hasanbašić, Z.Milošević, E.Horišić, R.Kljajić:
Strukturne aberacije hromozoma u limfocitima nakon in vivo ozračenja 282

59. R.Črnivec, S.Modic:
Ocena upotrebljivosti pregleda: hromozomskih ozleda u limfocitima, binuklearnih limfocita i kapilaroskopije 286

60. Dj.Horvat, R.Rozgaj, J.Račić, V.Garaj-Vrhovac:
Analiza hromosomskih aberacija prije rada u zoni zračenja 292

61. R.Rozgaj, Dj.Horvat, J.Račić, V.Garaj-Vrhovac:
Citogenetska oštećenja u osoba zaposlenih na kliničkim odjelima nuklearne medicine 297

62. D.Kubelka, Dj.Horvat, M.Novanović, A.Hebrang
Citogenetska analiza dijagnostički ozračenih osoba 302

63. B.Pendić, N.Barjaktarović, V.Kostić, G.Joksić Z.Pendić, S.Andrić:
Hromosomske aberacije u biodozimetriji jonizujućih zračenja u parcijalnim akcidentalnim ozračivanjima 307

64. B.Markovic, D.Panov, M.Jeremić:
Hromozomske aberacije kod lica akcidentalno ozračenih Ir 192 313

65. J.Begović, D.Gajić, A.Zagorčić: 317
Delovanje alantoina na limfocite u kulturi ozračivanja X - zracima

страница

IV с е к ц и ј а : ДОЗИМЕТРИЈА 323

66. M.Orlić:

Z - distribucija neutrona u mekom tkivu 325

67. D.Nikezić, P.Marković, M.Danilović :

Izvodjenje izraza za predatu energiju ε jonizujućeg zračenja i računanje koeficijenta apsorpcije korišćenjem izraza za ε 331

68. J.Vujić:

Ocena osetljivosti gama-defektoskopije primenom metode Monte Karlo 335

69. P.Strugar, D.Altiparmakov, N.Dašić:

Proračun prostorno-energetske raspodele neutrona u vazduhu oko 14 MeV-skog neutronskog izvora 341

70. M.Pavlović, F.Boreli, M.Srećković:

Albedo gama zračenja telekobaltnog uredjaja u Kladovu 348

71. A.Stefanov, K.Velkov, D.Jovanovski, L.Nikolova

Zračenje kosih i neravnih površina telekobaltom 354

72. Dj.Ristić, S.Vuković, P.Marković:

Odredjivanje faktora slabljenja i poludebljina silikatnog stakla (ρ=2,50.10^3 kg/m^3) za široki snop X-zračenja, proizvedenog pri naponima od 50-300 kV 360

II КНИГА

IV с е к ц и ј а : ДОЗИМЕТРИЈА (Продолжение) 367

73. Dj.Ristić, P.Marković, S.Vuković

Odredjivanje faktora slabljenja i poludebljina baritnog betona (ρ=3,60.10^3 kg/m^3) za široki snop X-zračenja, proizvedenog pri naponima od 150-400 kV 369

74. D.Veličković, I.Mirić, D.Petrović, R.Smiljanić

Odredjivanje srednjeg sadržaja urana u različitim homogenim čvrstim uzorcima metodom trag - detektora 375

страница

75. Lj.Vasiljević, J.Simonović, I.Mirić, D.Veličković:
Procena praga za detekciju brzih neutrona celuloznim nitratima 379

76. G.Dražić, M.Trontelj.
Priprava in lasnosti sintranih TLD na osnovi $CaSO_4$-Dy 383

77. F.Drčar, G.Dražić, U.Miklavžić:
TL dozimetri iz CaF_2:Mn za okolje z geometrijskim filtriranjem 389

78. D.Novković, M.Orlić, D.Paligorić, Lj.Dobrilović, P.Mirić:
Merenje niskih ekspozicionih doza sa GM - brojačem 391

79. Lj.Dobrilović, D.Novković, M.Orlić, V.Drndarević, K.Kovačević, D.Paligorić:
Neke karakteristike Si detektora i fotodioda od značaja za merenja jačina absorbovanih doza 397

80. B.Stamenković, M.Šmelcerović:
Merenje jačine ekspozicione doze u polju zračenja promenljivog intenziteta sa adaptivnim vremenom merenja 403

81. I.Mirić, D.Veličković, M.Jeremić:
Odredjivanje nekih karakteristika dozimetrijskog generatora X-zračenja 409

82. S.Vuković, S.Marković:
Uticaj promene napona cevi RŌ aparata na veličinu radijacionog polja pri snimanju u industrijskoj radiografiji 413

83. D.Cesar, B.Ferber, Ž.Radalj:
Dvadeset jedna godina filmdozimetrije 417

84. D.Cesar, M.Novaković, E.Sokolović, H.Cerovac A.Bauman:
Ekspozicijske doze gama zračenja na području SR Hrvatske izmjerene termoluminiscentnim dozimetrima 420

85. D.Cesar, B.Ferber, Ž.Radalj:
Distribucija mjesečnih doza ozračenja osoba od 1962 do 1982 godine 423

страница

86. D.Križanović:

Mjerenje i analiza podataka o izloženosti jonizujućim zračenjima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja i ostalog stanovništva 428

87. S.Marković:

Procena absorbovanih doza zračenja osoba izloženih u akcidentu "Priboj" 432

88. B.Pucelj, R.Martinčić:

Iskanje izgubljenega izvora 438

89. B.Vekić, M.Ranogajec-Komor, I.Dvornik, S.Miljanić, A.Gregoran, Dž.Korenika:

Dozimetrijska mjerenja pri montaži izvora ^{60}Co aktivnosti 1.85 PBq 440

90. M.Novaković, H.Cerovac, A.Bauman:

TLD na području s povišenom prirodnom radioaktivnošću 446

91. J.Kristan:

Izvajanje sanitarnega nadzora v nuklearni elektrarni Krško v letu 1982 450

V секција: ДЕКОНТАМИНАЦИЈА И РАДИОАКТИВЕН ОТПАД 455

92. Ž.Vuković:

Trendovi razvoja tehnologija obrade i odlaganja radioaktivnih otpadaka i stanje u institutu "Boris Kidrič" u Vinči 457

93. R.Despotović, Lj.Despotović, S.Musić, B.Subotić:

Strategija obrade radioaktivnog otpada 468

94. I.Plećaš, A.Kostadinović, Ž.Vuković:

Ispitivanje mogućnosti primjene domaćih materijala za izradu betonskih kontejnera u tehnologiji solidifikacije radioaktivnih otpadnih materija 474

95. I.Plećaš, A.Kostadinović, M.Todorović:

Mogućnost primene domaćih materijala za izradu maltera za oblaganje i ispunu betonskih tranšeja u tehnologiji solidifikacije radioaktivnih otpadnih materija 480

страница

96. S.Bačić, Ž.Vuković, S.Lazić:
Migracija trasera ^{133}Ba u čvrstu fazu barijum karbonata po površini i duž medjubločnih granica 486

97. Lj.Despotović, R.Despotović:
Ekskluzija kao kontaminacioni proces 490

98. D.Mayer-Žitnik, R.Despotović:
Tenzidi u reakcijama dekontaminacije 496

99. N.Filipović-Vincković, D.Mayer-Žitnik:
O mehanizmima dekontaminacije iona 501

100. V.Tomašević, R.Despotović:
Mutualna djelovanja u sistemima za dekonminaciju 507

101. K.Južnič, T.Mohar
Adsorpcija Cs-134, Sr-85 in Ce-141 na sintetičnem ionskem izmenjalcu 511

102. S.Lazić, Ž.Vuković, A.Kostadinović:
Analiza procesa dekontaminacije vode koprecipitacijom
Eksperimentalno odredjivanje karakterističnih parametara u sistemu sa kontinualnim radom. 515

103. B.Tomić, B.Vojnović:
Gospodarenja radioaktivnim otpadom u razvijenim evropskim zemljama 521

104. M.Pirš, M.Toplišek, S.Drolje:
Izljužljivost Cs-137 iz perlit-cementa v primerjavi z vermikulit-cementom 528

VI секција: НЕЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ 535

105. D.Dramlić, J.Jovanović-Kurepa:
Mogućnosti primene nejonizujućeg zračenja lasera u detekciji aerozagadjenja 537

106. A.Janković-Zagorčić, G.Matić:
Eksperimentalno odredjivanje praga oštećenja kože pasa ozračenih helijum-neonskim laserom 543

страница

107. A.Janković-Zagoršić, D.Todorović:
Istraživanja efekta zračenja helijum-neonskim laserom na testese pasa 548

108. S.Milićević, S.Aničić:
Efekti laserskog zračenja na kardiovaskularni sistem pri profesionalnoj ekspoziciji 554

109. B.Petrović, B.Banovčanin, Z.Djordjević:
Dejstvo akutnog i hroničnog mikrotalasnog zračenja na testese kunića 560

VII с е к ц и ј а : ЗАШТИТА ОД ИЗВОРИ НА ЗРАЧЕЊЕ ВО МЕДИЦИНСКА ПРИМЕНА 567

110. J.Ardeljan, D.Križanović, D.Radočaj:
Kriteriji prilikom upućivanja na rentgen preglede u opštoj bolnici u Zrenjaninu 1982 godine 569

111. A.Hebrang, Z.Vidaković:
Izloženost radiologa rentgenskom zračenju kod izvodjenja modernih dijagnostičko-terapijskih metoda 575

112. P.Čremošnik-Pajić, R.Mudrinić:
Profesionalna izloženost jonizujućim zračenjima i skraćivanje punog radnog vremena kao mera zaštite 581

113. M.Tomašević, R.Radovanović, J.Simonović:
Struktura pacijenata i dijagnostičkih procedura u laboratorijama za medicinsku primenu radionuklida u SR Srbiji 587

114. M.Tomašević, J.Simonović, R.Radovanović:
Primena radionuklida ^{198}Au i ^{99m}Tc za scintigrafiju jetre 591

115. M.Tomašević, J.Simonović, R.Radovanović:
Doprinos scintigrafije mozga pomoću ^{99m}Tc srednjoj gonadnoj dozi stanovnika SR Srbije 595

116. M.Tomašević, D.Križanović, D.Petrović:
Ozračenost dojki pri mamografiji 599

117. U.Miklavžić, B.Pucelj, H.Udovč:
Koncentracija radioizotopov v zraku nuklearno medicinskega laboratorija 605

страница

VIII секција: МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА И МЕТРОЛОГИЈА 609

118. S.Muždeka, M.Šmelcerović:
Standardi primjenjeni na instrumente u oblasti zaštite od zračenja 611

119. A.Koturović:
Generelizovana struktura digitalnog rejtmetra i neke mogućnosti njene primjene u monitorima zračenja 615

120. S.Kostić, S.Muždeka, M.Nakićenović:
Uticaj zračenja na pouzdanost elektronskih komponenti visoke integracije 619

121. M.Šobajić, M.Obradović:
Merenje malih jednosmernih struja novom logaritamsko-eksponencijalnom metodom 624

122. T.Byrne, U.Miklavžić, M.Žele:
Alfa-spektrometersko določanje plutonijevih izotopov v padavinah in usadih 628

123. D.Srdoč, B.Obelić, I.Krajcar, N.Horvatinčić:
Mjerenje koncentracija tricija u području od 0.2 do 1 Bq/l bez elektrolitskog obogaćivanja 632

124. M.Šmelcerović, D.Paligorić, Lj.Dobrilović, R.Ilić, M.Simović, D.Glišović:
Merenja specifične alfa i beta aktivnosti metodom debelih izvora 638

125. A.Milić, M.Obradović:
Brojački komplet STV-4 644

126. R.Martinčić, B.Pucelj:
Mobilni ekološki laboratorij 648

127. V.Drndarević, A.Koturović:
Džepni monitor gama zračenja sa poluprovodničkim detektorom i digitalnom indikacijom 652

128. Ц.Гавровски, Т.Ановски, Д.Качурков:
Личен алармен уред за гама и X-зрачење со звучен сигнал 656

страница

129. S.Miljanić, I.Dvornik, D.Šunduković:

Spektrofotometrijska metoda odredjivanja doze dozimetara DL-M4 660

130. M.Novaković, H.Cerovac, D.Kubelka:

Mjerenje malih intenziteta ekspozicije termoluminiscentnim dozimetrima 667

IX с е н ц и ј а : ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ ВО НУКЛЕАРНАТА ЕНЕРГЕТИКА И ИНДУСТРИЈАТА 671

131. S.Lulić, K.Košutić, K.Kvastek, K.Lazarić:

Monitoring tekućih ispuštanja za NE Krško 673

132. R.Simović, V.Stančić:

Proračun prostiranja zračenja u nuklearnim reaktorima PA i RB primenom programa Sabine-3 678

133. D.Altiparmakov:

Efekti aproksimacije anizotropije rasejanja neutrona u multigrupnim proračunima zaštite od zračenja 684

134. A.Kocić·

Proširene mogućnosti Monte Karlo programa Transfer i Vinram 690

135. M.Pešić, D.Antić:

Radijaciona kontrola i sigurnost postrojenja sa brzim reaktorom 696

136. M.Pešić, H.Marković, M.Šokčić, I.Mirić, M.Prokić, P.Strugar:

Modifikovani gorivni kanal za ozračivanje uzoraka na reaktoru RB 701

137. S.Musić:

Korozija u nuklearnim električnim centralama Radiološki problemi uvjetovani korozijom 707

138. N.Kallay:

Brza filtracija radioaktivnog koloidnog materijala 715

139. J.Raičević, J.Bjelanović, M.Ninković:

Iskustva iz zaštite od zračenja kod postrojenja za radijacionu sterilizaciju 721

IV с е н ц и ј а : ДОЗИМЕТРИЈА (продолжение)

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid 31 maj - 3 jun 1983.

D.Veličković, I.Mirić, D.Petrović*,R.Smiljanić
*Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
Tehnološki fakultet, Beograd

ODREDJIVANJE SREDNJEG SADRŽAJA URANA U RAZLIČITIM HOMOGENIM ČVRSTIM UZORCIMA METODOM TRAG DETEKTORA

REZIME Čvrsti trag detektori se sve više primenjuju za odredjivanje sadržaja i prostorne raspodele elemenata u različitim sredinama, a posebno za odredjivanje vrlo niskih koncentracija urana.

U ovom radu je opisana metoda koja omogućava odredjivanje veoma niskih koncentracija urana u homogenim čvrstim uzorcima pomoću čvrstih trag detektora. Odredjen je sadržaj urana u uzorcima zemlje iz banja i oranica, kao i u veštačkom NPK djubrivu. Dobijeni rezultati su pokazali da se srednji sadržaj urana u zemljama iz banja ne razlikuje značajno jedan od drugog i da su vrednosti bliske vrednostima dobijenih za uzorke obradive zemlje, dok su vrednosti dobijene za srednji sadržaj urana u uzorcima veštačkog djubriva bile znatno više oko 50 puta.

UVOD

U Institutu "Boris Kidrič" u Vinči, u OOUR "Zaštita" razvijena je metoda za odredjivanje srednjeg sadržaja urana u homogenim čvrstim uzorcima koji su pripremljeni u obliku pastila /1,2/. Metoda se zasniva na eksperimentalnom odredjivanju veze izmedju broja fisionih tragova registrovanih u polikarbonatnim folijama i koncentracije urana u ispitivanom uzorku, ozračenom poznatim fluksom neutrona.

U ovom radu je odredjen sadržaj urana u uzorcima zemlje iz banja i oranica kao i u veštačkom djubrivu. Odredjivanje sadržaja urana u homogenim čvrstim uzorcima u obliku pastile sa glatkim površinama, izvodi se stavljanjem polikarbonatne detektorske folije u čvrsti kontakt sa ravnim površinama ispitivanih pastila i ozračivanjem u poznatom homogenom fluksu neutrona /2/. Fisioni fragmenti urana nastali ozračivanjem pastile stvaraju tragove u detektorskoj foliji, koji postaju vidljivi posle razvijanja u pogodnom hemijskom rastvoru, a najčešće se očitavaju optičkim mikroskopom.

Veza izmedju izmerenog broja tragova po jedinici vidnog polja i koncentracije urana u pastilama ozračenim poznatim fluksom neutrona uspostavlja se pomoću većeg broja "kalibracionih pastila" kojima je dodata poznata količina prirodnog urana, a napravljene su od istog materijala i na isti način kao i ispitivani uzorci.

Merenjem broja tragova u detektorskim folijama ozračenim u kontaktu sa "kalibracionim" pastilama uspostavlja se funkcionalna veza izmedju izmerenog broja tragova i koncentracije urana. Ova funkcionalna veza se koristi za odredjivanje srednjeg sadržaja urana u ispitivanim uzorcima. Da bi se veza izmedju koncentracije urana i broja fisionih tragova mogla da primeni na ispitivane uzorke, pridodate količine urana u "kalibracionim" pastilama treba da budu usaglašene sa koncentracijom urana u ispitivanom uzorku.

EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

Za odredjivanje srednjeg sadržaja urana u uzorcima zemlje korišćeni su uzorci zemlje uzeti iz banja Igalo, Trepča i Višnjica kao i oranicama iz sela Vinče i Ralje kod Beograda.

Polikarbonatnim detektorskim folijama proizvednje Bayer (Makrofol E) meren je srednji broj fisionih tragova na jedinici površine folije.

Pastile su izradjene po metodi opisanoj ranije /3/. Gustine pastila za svaki tip uzorka su bile u granicama od 1% iste.

Za odredjivanje koncentracije urana u zemljištu izradjeno je po pet pastila od "osnovnog" uzorka i po tri "kalibracione" pastile za svaku dodatu koncentraciju urana.

Na gornju i donju površinu pastile stavljene su polikarbonatne folije Makrofol E, koje se koriste kao detektori fisionih fragmenata. Zbog kratkog dometa fisionih fragmenata, kontakt izmedju pastile i detektora mora da bude veoma dobar.

Pripremljeni uzorci su ozračeni u homogenom polju termalnih neutrona ($6,1 \cdot 10^{16} m^{-2}$) u biološkom kanalu reaktora RA u Vinči. Uslovi ozračivanja su kontrolisani pomoću zlatnih folija koje su ozračene istovremeno sa pastilama zemlje.

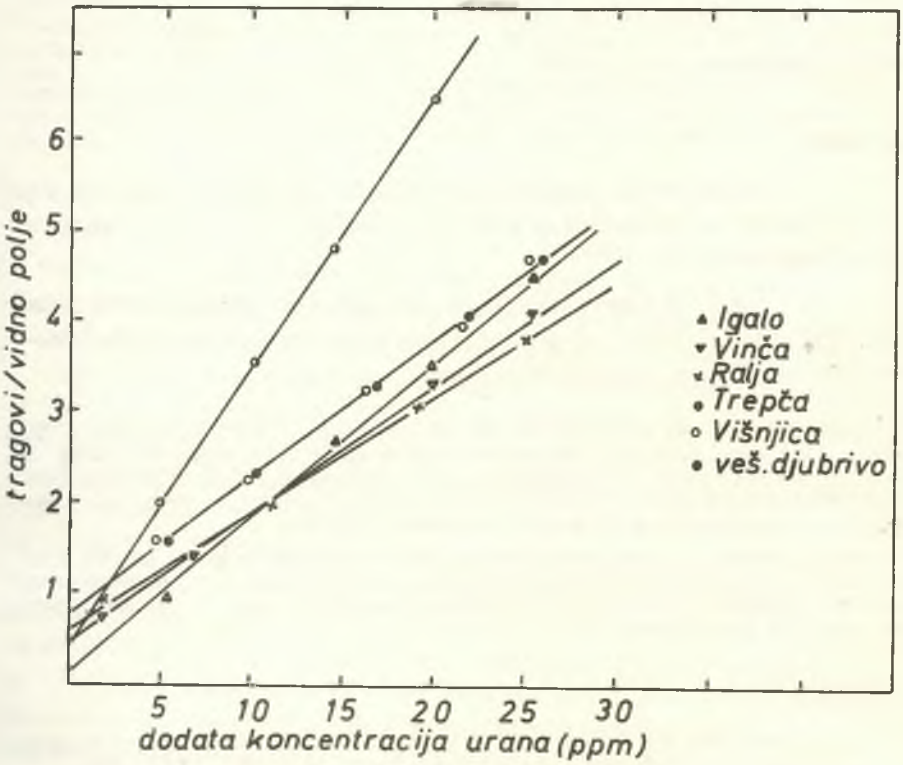
Posle ozračivanja Makrofol E je razvijen u 5,5 N rastvoru NaOH, na temperaturi od 333 K, u trajanju od 50 min.

Gustina fisionih tragova u detektorskim folijama brojana je pomoću optičkog mikroskopa firme Zeiss, sa uvećanjem 500 x, po standardnom postupku.

ODREDJIVANJE SREDNJE KONCENTRACIJE URANA

Homogenost raspodele urana u "osnovnim" i "kalibracionim" pastilana zemlje i veštačkog djubriva utvrdjena je preko kumulativne verovatnoće raspodele tragova za sve ispitivane uzorke i merenjem gustine tragova na gornjoj i donjoj površini pastile.

Kalibracione krive su dobijene merenjem gustine tragova na detektorskim folijama koje su ozračene sa "kalibracionim" pastilama pod istim uslovima kao i "osnovne" pastile. Na osnovu pročitanog broja tragova odredjen je oblik kalibracionih krivih metodom najmanjih kvadrata. Rezultati su prikazani na slici 1.



Sl.1. Kalibracione krive za merene uzorke zemlje i veštačkog djubriva.

Kalibracione krive date na slici 1 su korišćene za odredjivanje koncentracije urana, kao što se sa slike vidi, izmerene zavisnosti broja tragova po odredjenoj veličini vidnog polja od koncentracije urana je za sve uzorke zemlje slična, dok je za veštačko djubrivo oko 50 puta veća.

U tabeli 1 su prikazani rezultati dobijeni za srednju koncentraciju urana u pojedinim uzorcima kao i maksimalna odstupanja izmerena za pojedinačne uzorke.

Tabela 1. Izmerene koncentracije urana u uzorcima zemlje i veštačkog djubriva

Mesto uzimanja uzorka	Srednja koncentracija urana 10^{-6}kg U/kg	Odstupanje (%)
Igalo	1,0	± 0,3
Višnjica	4,3	± 1,0
Trepča	4,0	± 0,9
Vinča	2,9	± 0,4
Ralja	4,1	±0,8
Veštačko djubrivo	137	± 0,1

ZAKLJUČAK

Opisana metoda omogućava odredjivanje srednjeg sadržaja urana u materijalima koji se iz praškastog oblika presovanjem dovode u čvrsto stanje u oblik homogenih pastila.

Metoda je pogodna za odredjivanje vrlo niskih koncentracija urana u materijalima, a njena donja granica je odredjena sadržajem urana u polikarbonatnim detektorima i iznosi oko 10^{-3}ppm.

DETERMINATION OF URANIUM CONCENTRATION IN HOMOGENEOUS SOLIDS WITH TRACK DETECTORS - This paper describes the method which enables determination of very low uranium concentrations in homogeneous solids with solid state track detectors. The method is applied for determination of uranium contant in fertilizers as well as in earth samples from spas and plowed fields.

The results obtained show that the mean uranium content in earth samples from different spas does not differ appreciably, that they are close to those obtained for plowed fiel as, while the resukts for uranium content in fertilizers are about 50 times higher.

REFERENCE

1. Fleiscer, Price B.P., Walker R.H., "Nuclear Tracks in Solids, Principles and Applications" Univ. of California Press, Berkeley (1975), 489.

2. Veličković D., Mirić I., Mirić P., Bojović P., Proc. 11 th International Conf. on Solid State Nuclear Track Detectors, Bristol UK 7-12 Sept. 1981, Pergamon Press, 1982, 583.

3. Petermination of the (mean) of uranium in the diferent solid samples by means of the solid-state track detector , rad je pripremljen za štampu u časopisu "Journal of Energineering Physics, Tehnička fizika.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. jun 1983.

Lj. Vasiljević, Prirodno-matematički fakultet, Institut za fiziku, Kragujevac; J. Simonović, Medicinski fakultet, Institut za fiziku, Beograd; I. Mirić i D. Veličković, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" Vinča, OOUR Zaštita

PROCENA PRAGA ZA DETEKCIJU BRZIH NEUTRONA CELULOZNIM NITRATIMA

REZIME: U ovom radu izvršena je procena praga energije za detekciju brzih neutrona detektorima izradjenim od celuloznih nitrata proizvodnje "Milan Blagojević". Eksponirani su neutronima energije 3.2 MeV, 14.1 MeV i 15.0 MeV, kao i neutronima Am-Be spektra. Prag detekcije brzih neutrona procenjen je primenom krive energetske zavisnosti efikasnosti detekcije brzih neutrona ovim detektorima.

1. UVOD

Princip detekcije brzih neutrona celuloznim nitratima, kao i kod ostalih polimernih detektora, sastoji se u registrovanju individualnih putanja naelektrisanih čestica koje se dobijaju u interakcijama neutrona sa atomskim jezgrima samog detektora |1|.

Prag registracije jonizujuće čestice predstavlja gubitak njene energije po jedinici dužine puta u detektoru u kome se efikasnost registracije naglo menja od 0 do 1. On se može izraziti preko maksimalne energije jonizujuće čestice koja se sigurno sa 100% efikasnosti može registrovati pri odredjenim uslovima obrade detektora. U fizičkom smislu to predstavlja gubitak energije jonizujuće čestice koji je potreban za kidanje odredjenog broja hemijskih veza u polimeru (detektoru), odnosno koji je dovoljan za stvaranje primarnih defekata u detektoru |3|. Prag detekcije za brze neutrone zavisi od tipa interakcije neutrona sa jezgrima detektora, odnosno vrste i energije jonizujuće čestice dobijene u ovom procesu.

U jednom od ranijih radova |4| potvrdjeno je da efikasnost detekcije sva tri ispitivana tipa detektora zavise od energije neutrona prema relaciji |2,4|:

$$\varepsilon_d = a \cdot E_k^b \qquad (1),$$

gde je: ε_d efikasnost detekcije; E_k kinetička energija neutrona; a i b parametri koji zavise od uslova obrade detektora, odnosno sloja koji je skinut u procesu obrade.

2. EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

U ovom radu korišćeni su rezultati dobijeni ranije [4], kao i rezultati merenja izvršenih u okviru ovoga rada.

Detektori su eksponirani monoenergetskim neutronima dobijenim iz nuklearnih reakcija tipa T(d,n) i D(d,n) energije 15.0 MeV i 14.1 MeV, odnosno 3.2 MeV, kao i neutronima poznatog spektra iz Am-Be izvora čija srednja energija iznosi 4.4 MeV. Eksponirane detektorske folije podvrgnute su hemijskom nagrizanju u 2.5 N rastvoru natrijum hidroksida radi vizuelizacije tragova. Vreme nagrizanja odabrano je tako da je debljina skinutog sloja kod svih folija iznosila 2 μm. Da bi se odredila dužina vremena potrebnog za ovakvu obradu pojedinih tipova detektora, izmerena je brzina nagrizanja (v_b) neeksponiranih folija u napred navedenim uslovima (tabela 1). Potvrdjeno je očekivanje da je ova brzina funkcija viskoznosti celuloznog nitrata. Podaci za koeficijente viskoznosti [7] uzeti su prema navodima proizvodjača.

TAB. 1 Brzine hemijskog nagrizanja (v_b) neeksponiranog detektora

Tip detektora	η (mPas)	v_b ($m \cdot s^{-1}$)
NC - 650	4.99	1.3 ± 0.2
NC - 900	9.37	1.0 ± 0.1
NC -1800	18.21	0.8 ± 0.1

Očitavanje tragova vršeno je vizuelno optičkim mikroskopom "K. Zeiss" sa uvećanjem 500X. Brojani su tragovi čiji su dijametri veći od 1 μm.

Za fon ispitivanih detektora dobijene su vrednosti čiji je red veličine 10^7 trag/m^2.

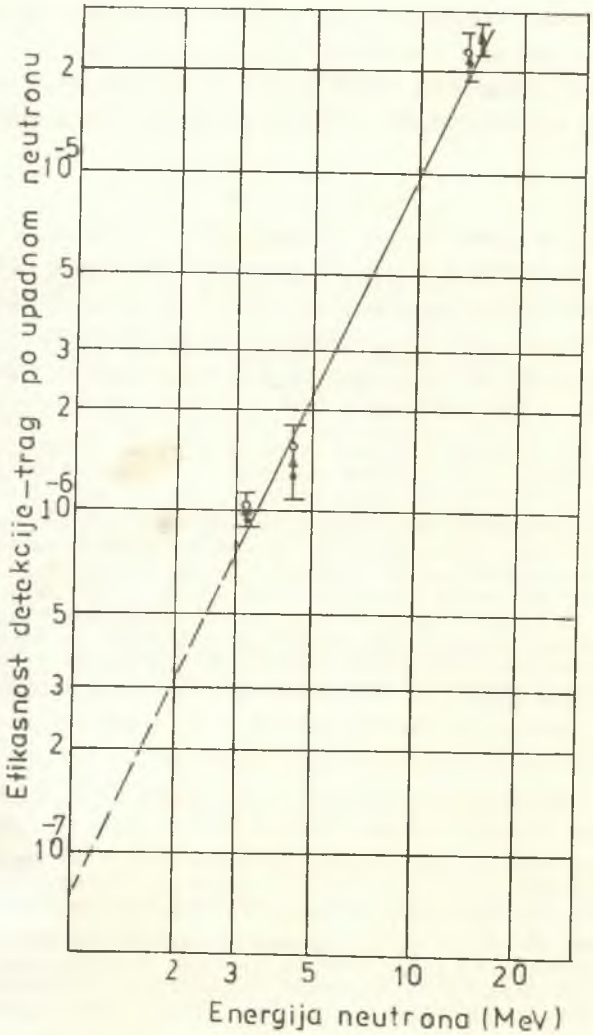
Efikasnost detekcije (ε_d) brzih neutrona ovim detektorima je funkcija energije neutrona. Tabela 2 sadrži do sada dobijene rezultate.

TAB. 2 Efikasnost detekcije brzih neutrona

Energija neutrona (MeV)	Efikasnost detekcije (trag/n) $\cdot 10^{-6}$ NC - 650	NC - 900	NC - 1800
15.0	24 ± 1	25 ± 2	23 ± 3
14.1	20 ± 2	22 ± 1	25 ± 3
4.4	1.3 ± 1	1.4 ± 1	1.6 ± 2
3.2	0.96 ± 0.09	0.98 ± 0.09	1.1 ± 0.1

Korišćenjem podataka iz tabele 2 i primenom metoda najmanjih kvadrata odredjeni su parametri a i b u relaciji (1). Na taj način dobijen je izraz (2) koji predstavlja efikasnost detekcije brzih neutrona u funkciji njihove energije i važi za primenjene uslove obrade detektora.

$$\varepsilon_d = 0.072 \cdot 10^{-6} E^{2.14} \qquad (2)$$



Sl. 1. Kriva energetske zavisnosti efikasnosti detekcije brzih neutrona detektorima NC-650, NC-900 i NC-1800

Ekstrapolacijom krive energetske zavisnosti efikasnosti detekcije (sl.1),kao i analitički primenom izraza(2),može se odrediti efikasnost detekcije za neutrone energije niže nego što su energije neutrona kojima su eksponirani detektori.

Ovim postupkom odredjena je efikasnost detekcije za neutrone energije od 3 MeV do 1 MeV u intervalima od po 0.2 MeV. Za neutrone energije iznad 1 MeV dobijene vrednosti su reda veličine 10^{-7} tragova po neutronu,dok za neutrone energije 1 MeV efikasnost detekcije ovim detektorima iznosi $7.2 \cdot 10^{-8}$ tragova po neutronu. Pri ovako niskoj efikasnosti detekcije broj tragova po kvadratnom metru detektorske folije ne prelazi vrednost fona ovih detektora.

Ovakva razmatranja ukazuju da energija praga za detekciju brzih neutrona detektorima NC-650, NC-900 i NC-1800 iznosi oko 1 MeV.

3. ZAKLJUČAK

Efikasnost detekcije brzih neutrona detektorima izradjenim od celuloznih nitrata je funkcija energije neutrona. Primenom funkcije energetske raspodele efikasnosti detekcije može da se proceni energija praga za detekciju brzih neutrona ovim detektorima. Opisanim metodom dobijeno je za prag detekcije brzih neutrona detektorima NC-650, NC-900 i NC-1800 oko 1 MeV.

SUMMARY

In this paper is presented the evaluation of treshold energy for the detection of fast neutrons by means of cellulose nitrate detectors produced by the domestic factory "Milan Blagojević", Lučani. The cellulose nitrates NC-650,NC-900 and NC-1800 have been exposed to the 3.2 MeV, 14.1 MeV and 15.0 MeV neutrons and to the Am-Be spectrum neutrons. The detection treshold of fast neutrons was evaluated by applying the curve of energetic dependence of detection efficiency of fast neutrons by these detectors.

LITERATURA

1. Fleischer, L.R., Price, P.B., Walker, M.R.,:Nuclear Trachs in Solids,University of California Press,1975.
2. Bassib,G.I.,Medweczky,L.,(1974):New Characteristics of Cellulose Nitrate Film as a Neutron recoil Track Detector Second Simp. on Neutron Dosimetry in Biol. and Med.,Neuherberg/München,535-547
3. Simonović J., Antanasijević, R., Vuković, J., (1975):Odredjivanje praga osetljivosti za alfa čestice u nekim vrstama celuloznih nitrata, Saopštenje na VI Kongresu Matematičara,Fizičara i Astronoma Jugoslavije,Novi Sad.
4. Vasiljević, Lj., Veličković, D., Mirić, I., (1981):Sensitivity of Cellulose Nitrate Track Detectors in Dependence on Neutron Energy.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. jun 1983

Goran Dražič, Marija Trontelj
Institut J. Stefan, Univerza E. Kardelj, Ljubljana

PRIPRAVA IN LASTNOSTI SINTRANIH TLD NA OSNOVI $CaSO_4$-Dy

IZVLEČEK - S sintranjem $CaSO_4$ in Dy_2O_3 z dodatkom anorganskega veziva smo pripravili trdne TL dozimetre. S to metodo smo se izognili kristalizaciji iz H_2SO_4 raztopine, kar je standardna metoda za pripravo $CaSO_4$:Dy dozimetrov in s tem smo se izognili nečistočam, ki jih vnesemo v mrežo $CaSO_4$ s kislino. Dozimetri pripravljeni iz p.a. kemikalij s sintranjem imajo bistveno ugodnejše razmerje med nizkotemperaturnim pikom (pri 150°C) in dozimetrijskim pikom (pri 200°C) kot pa dozimetri pripravljeni iz p.a. kemikalij s kristalizacijo. Dozimetri pripravljeni s sintranjem kažejo tudi izrazit pik pri 300°C. Poleg načina priprave trdnih dozimetrov s sintranjem, poročamo tudi o nekaterih lastnostih dozimetrov, kot so občutljivost, fading in ponovljivost.

UVOD

Običajna metoda priprave TL dozimetrov na osnovi $CaSO_4$:Dy je kristalizacija dozimeterske snovi iz H_2SO_4 raztopine pri povišani temperaturi ([1]). S tem dobimo kristalčke velikosti 0.1 do 1 mm, ki pa so nepriročni za rutinska merjenja. Z dodatkom različnih veziv, kot so teflon , magnezijev orto borat, LiF, lahko pripravimo dozimetre v obliki tablet ali ploščic, ki so mnogo bolj prikladne za uporabo kot kristálčki sami.

Osnovni problem pri pripravi TL dozimetrov $CaSO_4$:Dy s kristalizacijo, je čistoča izhodnih spojin ([2]). Če izhajamo iz nekaterih kemikalij čistoče p.a., dobimo glavni pik pri precej nizki temperaturi (okoli 150°C), kar ima za posledico velik fading že pri sobni temperaturi. Nizkotemperaturni pik je

verjetno posledica ugradnje nečistoč (predvsem alkalij) v mrežo $CaSO_4$ med kristalizacijo. Če izhajamo iz zelo čistih kemikalij (ultra pure), pa dobimo glavni pik pri temperaturi okoli 200°C, kar ima za posledico bistveno nižji fading dozimetra.

Namen našega dela je bil pripraviti dozimetre $CaSO_4$:Dy iz kemikalij,čistoče pa., ki bi imeli boljše razmerje pikov pri 200 in 150°C. To nam je uspelo s sintranjem prahov $CaSO_4$ in Dy_2O_3 ob prisotnosti anorganskega veziva.

EKSPERIMENTALNO DELO

Pripravili smo dve vrsti dozimetrov, v obliki tablet s premerom 6.5mm in debeline 0.5mm. Pri prvem tipu dozimetrov, "kristaliničnem", smo pripravili kristale $CaSO_4$-Dy s kristalizacijo iz H_2SO_4 raztopine pri temperaturi 300°C. Kristalčke velikosti 0.1 do 1 mm smo žarili 2 uri pri 700°C. Nato smo kristalčkom dodali 5 ut.% veziva ($Mg_3(BO_3)_2$ z dodatkom 10 ut.% Li_2SO_4), izoblikovali tablete in jih žgali pri temperaturah med 650 in 1250°C na zraku 1 do 2 uri. Povprečna gostota tablet je bila 2.43 x 10^3 kg/m^3, kar je približno 80 % teoretične gostote. Drugi tip dozimetrov "sintrani", smo pripravili s sintranjem mešanice prahov $CaSO_4$ x $2H_2O$ in Dy_2O_3 z dodatkom 5 ut.% veziva. Vezivo je bilo enako kot pri "kristaliničnih" dozimetrih. Sintrali smo pri temperaturah od 650 do 1150°C, 1 do 8 ur. Povprečna gostota sintranih tablet je bila 2.40 x 10^3kg/m^3. Koncentracija dodanega Dy pri obeh vrstah dozimetrov je bila 0.2 mol.%.

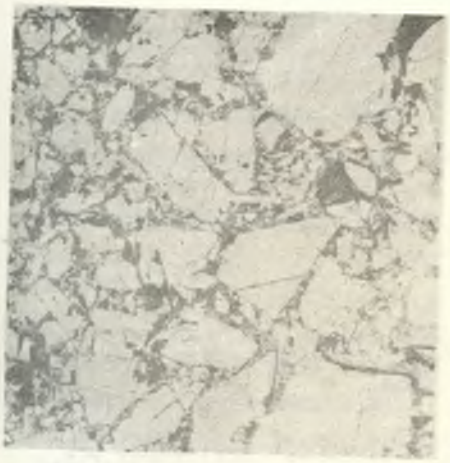
Mikrostrukturo dozimeterskih tablet smo opazovali na polirani površini pod optičnim in SE mikroskopom. Dozimetri so bili obsevani z ^{60}Co γ- izvorom, v posebnih nosilcih iz pleksi stekla. TL odziv je bil merjen na Harshaw 2000 A+B TLD čitalcu (integral žarilne krivulje v intervalu 110-300°C). Obliko žarilne krivulje smo posneli na rekorder in višino pikov določili z elektronskim planimetrom. Hitrost segrevanja dozimetra pri merjenju je bila 8°C/s in maksimalna temperatura 330°C. Med merjenjem fadinga pri sobni temperaturi so bili dozimetri shranjeni v temi.

REZULTATI

Na sliki 1 vidimo mikrostrukturo "kristaliničnega" dozimetra. Osnovni kristalčki $CaSO_4$-Dy, velikosti 50-300 µm so povezani z vezivom, med kristalčki so vidne tudi večje pore. Enakomernejšo mikrosttrukturo dobimo pri "sintranih" dozimetrih (sl.2). Zrna velikosti 30 µm vsebujejo vključke veziva, kar je značilno za mikrostrukturo, kjer je bila hitrost rasti zrn velika. Vloga veziva je v tvorbi tekoče faze, kar pospeši difuzijo Dy v mrežo $CaSO_4$.

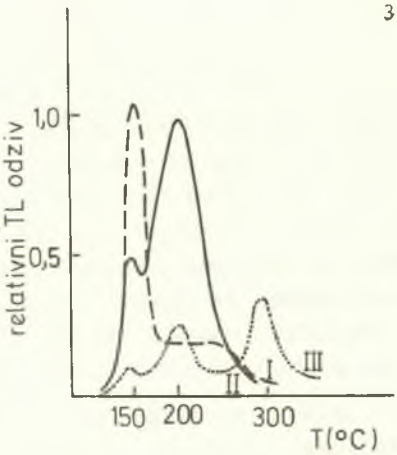
Na sliki 3 vidimo primerjavo žarilnih krivulj različno pripravljenih dozimetrov. Pri "kristaliničnem" dozimetru iz p.a. kemikalij(I) vidimo izrazit pik pri 150°C,kar je posledica nečistoč prisotnih v izhodnih spojinah. Če izhajamo iz ultra pure kemikalij (II) dobimo glavni pik pri 200°C in polovico nižji pik pri 150°C.

Pri "sintranih" dozimetrih (iz p.a. kemikalij) je razmerje pikov 200 in 150°C bistveno ugodnejše, pojavi pa se tudi izraziti pik pri 300°C (III). Občutljivost "sintranih" dozimetrov (integral 10-300°C) je petkrat manjša kot občutljivost "kristalinič-



Slika 1. Mikrostruktura "kristaliničnega" dozimetra.

Slika 2. Mikrostruktura "sintranega" dozimetra.

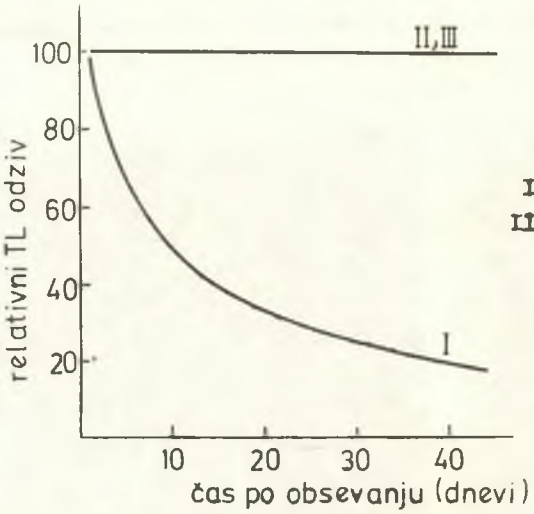


I. "kristalinični" dozimetri iz p.a. kemikalij

II. "kristalinični" dozimetri iz ultra pure kemikalij

III. "sintrani" dozimetri

Slika 3. Žarilne krivulje dozimetrov.
Vsi dozimetri so bili pripravljeni z žarjenjem pri 900°C, 1 uro

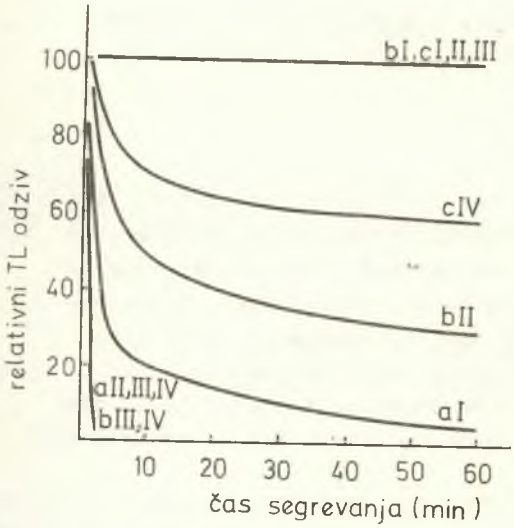


I. pik pri 150°C

II. pik pri 200°C

III. pik pri 300°C

Slika 4. Fading posameznih pikov "sintranih" dozimetrov pri sobni temperaturi. Dozimetri so bili sintrani pri 900°C, 2 uri.



a. pik pri 150°C
b. pik pri 200°C
c. pik pri 300°C

I. pri temperaturi 100°C
II. pri temperaturi 150°C
III. pri temperaturi 200°C
IV. pri temperaturi 250°C

Slika 5. Fading posameznih pikov "sintranih" dozimetrov pri povišani temperaturi. Dozimetri so bili sintrani pri 900°C, 2 uri.

nih" dozimetrov (iz ultra pure kemikalij). Toda še vedno so "sintrani" dozimetri vsaj 5 krat bolj občutljivi za γ žarčenje kot LiF (TLD-100 Harshaw Chem. Co.). Na sliki 4 vidimo fading posameznih pikov "sintranih" dozimetrov pri sobni temperaturi. Padec pikov pri 200 in 300°C po 40 dneh je znotraj ponovljivosti meritev (v intervalu 10%).
Fading posameznih pikov pri povišani temperaturi vidimo na sliki 5. Pik pri 300°C kaže tudi po enournem segrevanju dozimetra pri temperaturi 250°C še 60 % začetnega TL odziva.

ZAKLJUČEK

S sintranjem zmesi prahov čistoče p.a. smo se izognili kristalizaciji pri pripravi dozimetrov $CaSO_4$-Dy in s tem tudi nečistočam, ki jih vnesemo s kislino. Dobili smo dozimetre z žarilno krivuljo, pri kateri je razmerje pikov pri 200 in 150°C bistveno ugodnejše, kar ima za posledico nižji fading. "Sintrani" dozimetri imajo tudi boljše mehanske in optične (so bolj prosojni) lastnosti kot pa "kristalinični" dozimetri. Občutljivost "sintranih" dozimetrov je manjša od občutljivosti "kristaliničnih", še vedno pa vsaj 5x večja kot pri LiF. "Sintrani" dozi-

metri imajo izrazit pik pri 300°C, katerega se lahko uporablja za merjenje γ žarčenja v okoljih, kjer je temperatura povišana.

ABSTRACT

Hard and durable pellets were prepared by sintering $CaSO_4$ and Dy_2O_3 with the addition of an inorganic binder. By this method crystallization from H_2SO_4 is avoided and thus introduction of impurities from the acid is eliminated. Glow curves of dosimeters show a small peak at 150°C and high peaks at 200°C and 300°C. Comparison of this glow curve with the glow curve of dosimeters made by crystallization shows that the ratio of the 200 to 150°C peaks is much in favour of the sintered dosimeters.

LITERATURA

1. Yamashita T., Nada N., Onishi H., Kitamuro S., Proc. 2nd Conf. on Luminiscence Dosimetry, Gatlinburg, Tenesee (1968), p.4
2. Prokić M. Nucl. Inst. Meth. 151. 603 (1978)

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

F. Drčar, G.Dražič in U.Miklavžič
Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

TL DOZIMETRI IZ CaF_2:Mn ZA OKOLJE Z GEOMETRIJSKIM FILTRIRANJEM

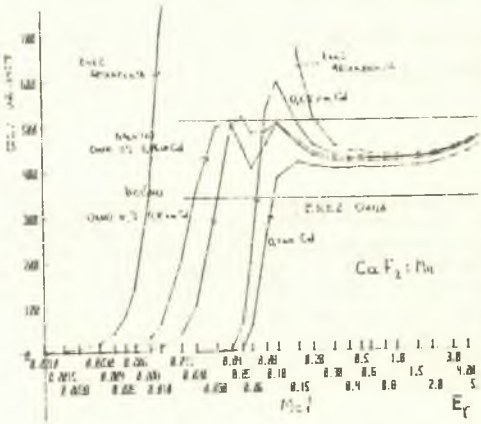
POVZETEK Zanemarljivo bledenje (fading) in visoka občutljivost z ustrezno energijsko odvisnostjo so bistvene zahteve, ki jih morajo izpolnjevati TL dozimetri za meritve v okolju. Računalniška analiza pokaže, da pri sicer najprimernejših TL materialih z visokim Z_{eff} ni mogoče z navadnimi absorberji izenačiti odziva v obsegu, kot ga zahtevajo znani standardi, da pa je to mogoče zelo dobro doseči z geometrijsko razporejenim filtrom. Rezultati take energijske filtracije so bili preverjeni na dozimetrih CaF_2:Mn - IJS, ki so bili posebej razviti za meritve v okolju in ki so v rabi v Sloveniji.

Obsežna knjižnica tabeliranih absorpcijskih koeficientov za energijsko območje fotonov od 1 keV do 3 MeV je bila sestavni del računalniškega programa, s katerim smo računali energijsko odvisnost odziva termoluminiscenčnih tablet CaF_2:Mn (IJS - TLD) pri različnih vrstah in debelinah energijskih filtrov. Program je bil zastavljen tako, da so bili rezultati računa prikazani grafično v obliki odzivnih krivulj. Na ta način je bila mogoča hitra optimizacija filtrov po metodi "trial and error". Dasiravno program v sedanji fazi zanemarja dejstvo, da delujejo absorpcijski filtri tudi kot konverterji za produkcijo elektronov, ki je različna od tiste v tkivih (oz. zraku) in je zatorej "filtrirana" odzivna funkcija le približek prave, pa so bile mogoče nekatere nedvoumne ugotovitve:

(i) Povečano odvisnost TL dozimetrov CaF_2 v območju pod 150 keV je mogoče dobro obvladati z materiali s srednje nizkim Z kot so Mo, Cd, medenina. Materiali z višjim Z so v tem območju zaradi povečanega fotoefekta premočni absorberji, materiali z nizkim Z pa obratno prešibki. Pri višjih energijah je učinek vseh absorberjev pri smiselnih debelinah zanemarljiv.

(ii) Iz točke (i) in računskih poizkusov sledi, da sendvičasti večplastni filtri iz različnih materialov (ob danih računskih predpostavkah t.j. zanemarjeni "produkciji" elektronov) ne morejo ustrezneje rešiti problema kot dobra izbira Z-ja enega samega filtra in so torej nepotrebna komplikacija.

(iii) Pod energijami 8 - 10 keV postanejo vsi absorberji praktično neprosojni za fotone in povzročijo nagel padec občutljivosti, z nebistvenimi razlikami za različne materiale s srednjim Z.



Slika 1.

Iz točke (iii) izhaja logična rešitev, da je potrebno TL tablete le delno pokriti z absorberjem, tako da je prispevek nefiltriranega dela nebistven v celem energijskem območju, razen v najnižjem, kjer postane absorber povsem črn in prevzame nepokriti del bistveno vlogo prepustnega okna. Na diagramih Sl. 1. so prikazani nekateri rezultati računa za tableto CaF_2 in Cd absorber.

Uvedba okna v absorberju tablete zahteva iz tehničnih razlogov tenke optimalne absorberje, kar nas omeji na približno ekvivalentna materiala Cd oz. Mo. Po drugi strani pa je račun pokazal, da je pri primernih dimenzijah tablete mogoče dobiti zadovoljiv odziv pri istem procentu okna tako pri naličnem obsevanju, kot pri bočnem. Iz tega pa sledi praktična možnost, da pri dozimetru z dvema ločenima tabletama eno filtriramo optimalno, druge pa ne - okno pa uvedemo računsko, kot določen procent doznega prispevka nefiltrirane tablete.

ABSTRACT Negligible fading and high sensitivity with adequate energy response are requirement which are paramouth for environmental TL dosimeters. The copmuter analysis has shown that with otherwise most adequate TL materials of high Z_{eff}, response equalization which iz requested by known standards cannot be obtained using simple absorbers, but can be very well achived by geometricaly distributed filters. The results of such energy filtration were proved on CaF_2:Mn - IJS dosimeters specially designed for environmental measurements which are in use in Slovenia.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

D.Novković, M.Orlić, D.Paligorić, Lj.Dobrilović, P.Mirić*
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
*Vojnotehnički institut - Beograd

MERENJE NISKIH EKSPOZICIONIH DOZA SA GM-BROJAČEM

REZIME. U radu su dati rezultati merenja sledećih karakteristika GM brojača ZP1451: energetska zavisnost odgovara detektora, temperaturska zavisnost, ugaona zavisnost i merni opseg. Ovi rezultati pokazuju da GM brojač ZP1451 može da se koristi za merenje jačina ekspozicionih doza na nivou prirodnog fona.

1. U v o d

Za merenje niskih jačina ekspozicione doze, reda pC/kg·s (red veličine prirodnog fona) koriste se često GM brojači, zbog njihove pouzdanosti, relativno visoke osetljivosti, male cene i jednostavne prateće elektronike. Osetljivost GM brojača je za nekoliko reda veličine veća od osetljivosti jonizacione komore iste zapremine. Osnovni nedostatak GM brojača za merenje jačine ekspozicione doze (ili jačine apsorbovane doze) je velika zavisnost odgovara detektora od energije gama-zračenja i mali merni opseg zbog velikog mrtvog vremena.

Sa jednim GM brojačem može da se prekrije merni opseg od prirodnog fona pa do nekoliko nC/kg·s. Jonizaciona komora koja bi prekrivala taj opseg, morala bi da ima zapreminu od 10 ℓ do 100 ℓ, što zavisi od elektrometra sa kojim se meri struja.

Izabrani GM brojač, čije osobine su ispitivane, bio je ZP1451 (Phillips), koji se koristi u instrumentima namenjenim za otkrivanje radioaktivnosti u poljskim uslovima i u raznim instrumentima za kontrolu jačine ekspozicione doze u prostorijama gde se radi sa zračenjem.

Karakteristike GM brojača koje su odredjene u našim ispitivanjima jesu energetska zavisnost odgovora detektora, ugaona zavisnost, temperaturska zavisnost, donja granica mernog opsega i gornja granica mernog opsega.

2. Energetska zavisnost odgovora detektora

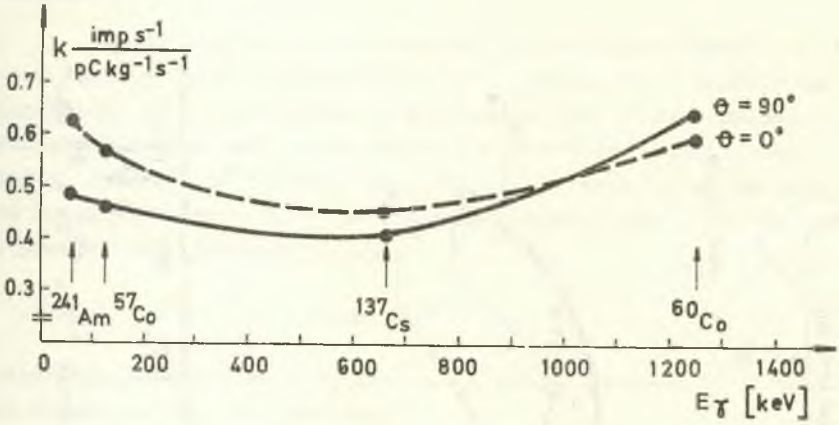
Zavisnost odgovora detektora (brzina brojanja normirana na jačinu ekspozicione doze ili jačinu apsorbovane doze) ispitivana je pomoću četiri izotopa: ^{241}Am (60 keV), ^{57}Co (122 keV), ^{137}Cs(661 keV) i ^{60}Co (1250 keV). Jačina ekspozicione doze od izvora ^{241}Am izmerena je pomoću jonizacione komore koja je baždarena u Nacionalnom birou za mere u Budimpešti /1/. Jačine ekspozicionih doza od preostala tri izvora izračunate su za dato rastojanje izvor - geometrijski centar detektora. Na sl.1 prikazana je zavisnost odgovora detektora od energije gama-zračenja za upadne uglove zračenja $\Theta = 0^{o}$ i $\Theta = 90^{o}$ za GM brojač ZP1451 koji je smešten u plastičnu sondu sa zidovima debljine do 4 mm. Na prozor brojača stavljena je bakarna pločica debljine 0,5 mm radi energetske kompenzacije. Odgovor detektora menja se za manje od $\pm$20% u energetskom intervalu od 0,06 MeV do 1,25 MeV.

3. Ugaona zavisnost

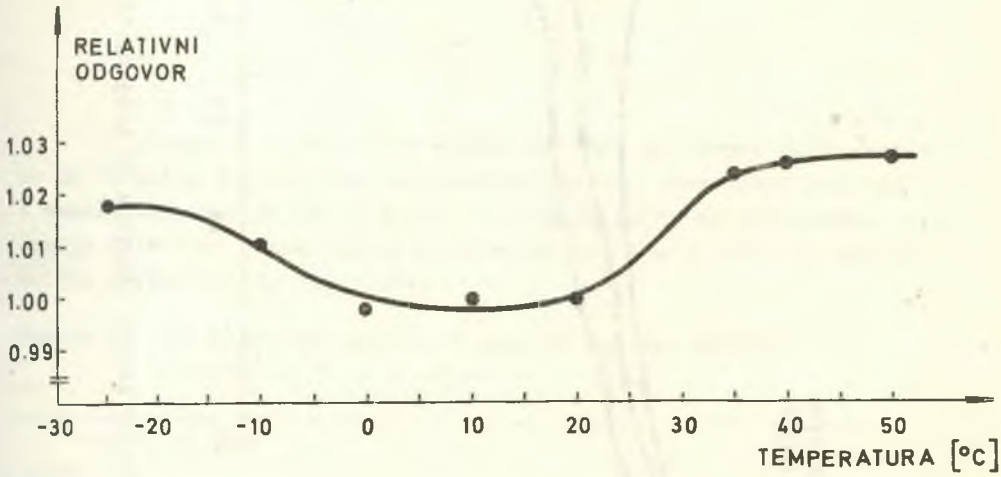
Ugaona zavisnost snimana je u intervalu uglova od 0° do 180° za zračenje ^{57}Co, ^{137}Cs i ^{60}Co (sl.2). Najveća zavisnost odgovora dobija se za zračenje ^{57}Co (u granicama $\pm$15% za uglove od 0° do 140°). Ugaona zavisnost odgovora detektora za zračenje ^{157}Cs i ^{60}Co je manja. Promena odgovora detektora nije veća od $\pm$10% za uglove od 0° do 150°.

4. Temperaturska zavisnost

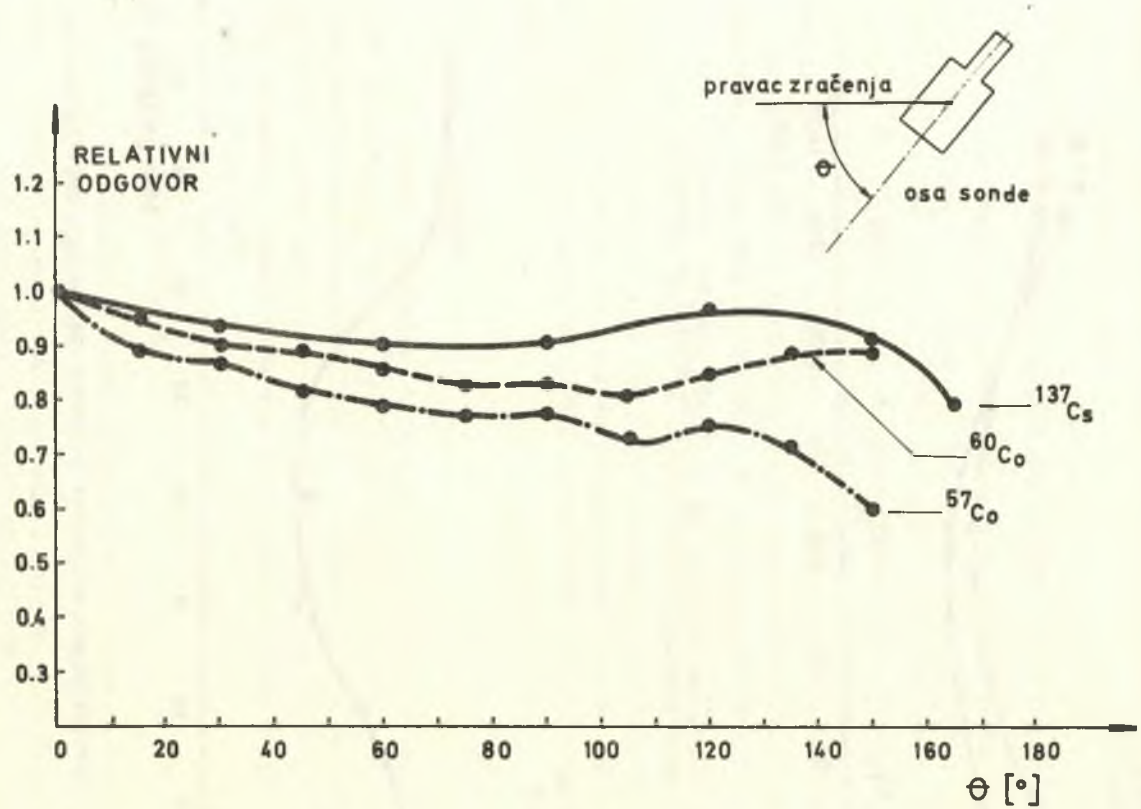
GM brojači su često ugradjeni u instrumente koji mere ekspozicionu ili apsorbovanu dozu na terenu, te se od njih zahteva da rade u širokom temperaturskom opsegu. Ispitivanja GM brojača ZP1451 vršeno je u temperaturskom intervalu od $-25^{o}C$ do $+50^{o}C$. Zavisnost odgovora detektora od temperature data je na sl.3. Odnos maksimalnog i minimalnog odgovora detektora iznosi 1,03, što znači da GM brojač spada u detektore koji su veoma temperaturski stabilni.



Sl.1. Zavisnost odgovora GM brojača ZP1451 od energije gama zračenja.



Sl.3. Temperaturska zavisnost odgovora GM brojača ZP1451.



Sl.2. Ugaona zavisnost odgovora GM brojača ZP1451 na zračenje ^{57}Co, ^{60}Co i ^{137}Cs.

5. Merni opseg

Donja granica mernog opsega kod GM brojača odredjeno je sa tri faktora: osetljivošću detektora, statističkom greškom sa kojom želimo da merimo jačinu ekspozicione doze i maksimalnim vremenskim intervalom koje je dozvoljeno za merenje. Osetljivost $k(imp \cdot s^{-1}/pC \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1})$ nekog detektora definisana je sa odnosom brzine brojanja $N(imp \cdot s^{-1})$ i jačine ekspozicione doze $\dot{\chi}(pC \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1})$ u linearnom delu karakteristike:

$$k = N/\dot{\chi} \qquad (1)$$

Statistička greška $\sigma(\%)$ povezana je sa brojem impulsa NT u vremenskom intervalu T(s) sa formulom:

$$\sigma = \frac{100}{\sqrt{NT}} \qquad (2)$$

Iz (1) i (2) dobija se:

$$\dot{\chi} = \frac{10^4}{\sigma^2 Tk} \qquad (3)$$

Donju granicu mernog opsega za dati GM brojač definisaćemo sa formulom (3) za datu statističku grešku, vremenski interval i osetljivost detektora. U tabeli 1 data je donja granica mernog opsega ZP1451 za vremenske intervale 1s, 5s. 10s i 100s, za statističke greške od 5%, 10% i 20%.

Tabela 1. Donja granica mernog opsega GM brojača ZP1451 $(pC \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1})$ za dato T i σ.

T(s) / $\sigma(\%)$	1	5	10	100
5	896	179	89,6	8,96
10	224	44,8	22,4	2,24
20	56,0	11,2	5,60	0,560

Za vremenski interval od 100 s i statističku grešku od 20% donja granica mernog opsega za GM brojač ZP1451 iznosi 0,56 $pC \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$, što je manje od prirodnog fona.

Gornja granica mernog opsega odredjena je mrtvim vremenom τ i osetljivošću GM brojača. Izmedju stvarne brzine brojanja N_o i merenje N važi sledeća relacija:

$$N = \frac{N_o}{1+N_o\tau} \tag{4}$$

Mrtvo vreme ne bi smelo da unosi dodatnu grešku veću od 10%, što znači da je $N/N_o = 0,9$, odnosno:

$$N_o\tau = 0,11 \tag{5}$$

Iz (5) i (1) dobija se za gornju granicu mernog opsega $\dot{X}_{max}$:

$$\dot{X}_{max} = \frac{0,11}{k\tau} \tag{6}$$

Prema našim merenjima mrtvo vreme ZP1451 iznosi $\tau = 60$ µs tako da se za gornju granicu mernog opsega iz (6) dobija $\dot{X}_{max} = 4,11$ nC/kg·s.

ABSTRACT

APPLICATION OF GM COUNTERS FOR MEASUREMENT OF LOW-LEVEL EXPOSURE RATES

D.Novković, M.Orlić*, D.Paligorić, Lj.Dobrilović, P.Mirić
Institute of Nuclear Sciencies "Boris Kidrič" - Vinča
*VTI - Beograd

The paper presents the results of the measurements of the following characteristics of ZP1451 GM counters: counter response vs. energy, counter response vs. temperature, angular dependance of the response, and the measuring range. These results show that ZP1451 counters could be applied for exposure rate measurements on the background level.

Literatura:

/1/ D.Novković, R.Tasić, Ionisation Chamber of the Response Indepedent of Gamma Radiation Energy, (biće publikovano u časopisu: Journal of Engineering Physics, Beograd, Yugoslavia).

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

Lj.Dobrilović, D.Novković, M.Orlić*, V.Drndarević, K.Kovačević**, D.Paligorić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
*IJS - Beograd
**Institut "Rudjer Bošković" - Zagreb.

NEKE KARAKTERISTIKE Si DETEKTORA I FOTO DIODA OD ZNAČAJA ZA MERENJE JAČINA APSORBOVANIH DOZA

U radu su dati rezultati ispitivanja karakteristika Si detektora i Si foto dioda i to: osetljivost na gama zračenje, energetska zavisnost i temperaturna zavisnost. Eksperimentalni rezultati su razmatrani sa aspekta primenljivosti Si detektora i foto dioda za merenje jačina apsorbovanih doza.

UVOD

Pri monitoringu okoline kao i pri akcidentalnim uslovima koriste se uredjaji za merenje jačina apsorbovanih doza. Pri ovim uslovima merenja uredjaji treba da omoguće merenje jačina apsorbovanih doza u širokom opsegu, da stabilno rade u širokom opsegu temperatura, imaju nezavistan odgovor od energije gama zračenja, male dimenzije, nizak napon napajanja, itd.

Da bi se zadovoljili gore navedeni uslovi neophodno je izvršiti izbor odgovarajućeg detektora, mernog sistema i optimizirati uslove rada ovakvog uredjaja. U ovom radu ispitane su karakteristike Si poluprovodničkih detektora i Si foto dioda (PPD) s aspekta njihove primenljivosti kao detektora u uredjajima za merenje jačina apsorbovanih doza.

APARATURA

Sva ispitivanja PPD vršena su sa aparaturom koja se sastojala od detektorskih sondi, izvora za napajanje detektora, niskošumnog predpojačavača naelektrisanja (PP), pojačavača, jednokanalnog analizatora, skaler - tajmera i višekanalnog analizatora proizvodnje CANBERRA (PPDU). Prilikom ispitivanja karakteristika PPD uslovi pojačanja su tako podešeni da ukupno pojačanje celog uredjaja bude isto za razne tipove PPD.

Detekcione sonde prilagodjene su različitim tipovima PPD čije su karakteristike prema proizvodjaču date u tabeli 1. Sonde su napravljene od crnog YUVIDURA debljine 1100 mg/cm^2 ekvivalenta Al koji predstavlja sigurni svetlosni apsorber i apsorber za beta zračenje energija do 2,25 MeV.

Za ispitivanje odgovora PPD na gama zračenje u intervalu energija od ~100 keV do ~1300 keV korišćeni su radionuklidi ^{57}Co E_{γ_2} = 122 keV (87,6%); E_{γ_3} = 136,4 keV (12,2%); ^{137}Cs E_γ = 662 keV (85%); ^{60}Co - E_{γ_4} = 1173,22 (99,89%); E_{γ_5} = 1332,51 (99,89%); $\bar{E}_\gamma$ = 1250 keV /1/. Radioaktivni izvori gama zračenja ^{137}Cs i ^{60}Co dobijeni su kapsuliranjem ovih izvora u Al kontejnere debljina zidova dovoljnih da apsorbuju beta zračenje ^{137}Cs i ^{60}Co od 511 keV i 318 keV respektivno.

TEMPERATURNA ZAVISNOST ODGOVORA PPD

Da bi se mogli definisati uslovi pri kojima se vrši diskriminacija korisnog signala od šuma PPD+PP detaljno je ispitana veličina i stabilnost šuma, naročito u oblasti povišenih temperatura. Za veličinu šuma uzeta je maksimalna amplituda šuma izražena u energetskim ekvivalentima, a odredjena je iz diferencijalnih spektara šuma za svaki sistem (PPD+PP).

Karakteristike šuma PPD+PP pri optimalnim naponima napajanja, temperaturi t=20°C i graničnoj vrednosti povišenih temperatura prikazana je u tabeli 2. Stabilnost veličine šuma pri neprekidnom izlaganju detektora graničnim povišenim temperaturama u toku nekoliko časova bila je sasvim zadovoljavajuća.

Rezultati ovih ispitivanja omogućili su da se definišu nivoi diskriminacije za svaki sistem PPD+PP čije su vrednosti bile jednake maksimalnoj amplitudi šuma za graničnu povišenu temperaturu.

Temperaturna zavisnost odgovora detektora ispitana je u intervalu temperatura od -25°C do +55°C. Rezultati ovih ispitivanja prikazani su na sl.1. Odgovor detektora na gama zračenje ^{137}Cs (integralna brzina brojanja iznad praga diskriminacije) za razne temperature (N_t) normiran je na odgovor detektora pri temperaturi +20°C (N_{20}). Iz rezultata ispitivanja može se zaključiti da temperaturna zavisnost odgovara u intervalu od -25°C do +55°C je manja od $\pm$10%.

ENERGETSKA ZAVISNOST ODGOVORA PPD

Zavisnost odgovora PPD (brzina brojanja normirana na jačinu apsorbovane doze) od energije gama zračenja ispitana je u energetskom intervalu od ~100 keV do ~1300 keV. Kao izvori gama zračenja korišćeni su radionuklidi

^{57}Co, ^{137}Cs i ^{60}Co. Sva ispitivanja vršena su na t = 20°C. Rezultati merenja energetske zavisnosti odgovora PPD prikazani su na sl. 2 i 3.

Analizirajući rezultate merenja može se zaključiti da odlučujući faktor za energetsku zavisnost odgovora PPD u oblasti gama energija ~100 keV predstavlja veličina maksimalne amplitude šuma. Za ispitivane PPD čiji prag diskriminacije iznosi preko 55 keV osetljivost na gama zračenje ^{57}Co i ^{137}Cs se razlikuje za faktor 2. Za detektore čija je maksimalna amplituda šuma ispod 55 keV razlika u osetljivosti na gama zračenje ^{57}Co i ^{137}Cs iznosi svega nekoliko procenata. U oblasti viših energija gama zračenja (od ^{137}Cs do ^{60}Co) ova zavisnost nije toliko izražena.

OSETLJIVOST PPD NA GAMA ZRAČENJE

Rezultati ispitivanja osetljivosti PPD na gama zračenje ^{137}Cs dati su u tabeli 3. Osetljivost - K, definisana je odnosom izmedju broja impulsa u sekundi ($imp \cdot s^{-1}$) i jačine apsorbovane doze u mekom tkivu ($Gy \cdot h^{-1}$). Iz tabele 3 se vidi da najveću osetljivost K imaju PPD ORTEC (1000 i 300) što se može očekivati s obzirom na njihovu najveću osetljivu zapreminu.

ZAKLJUČAK

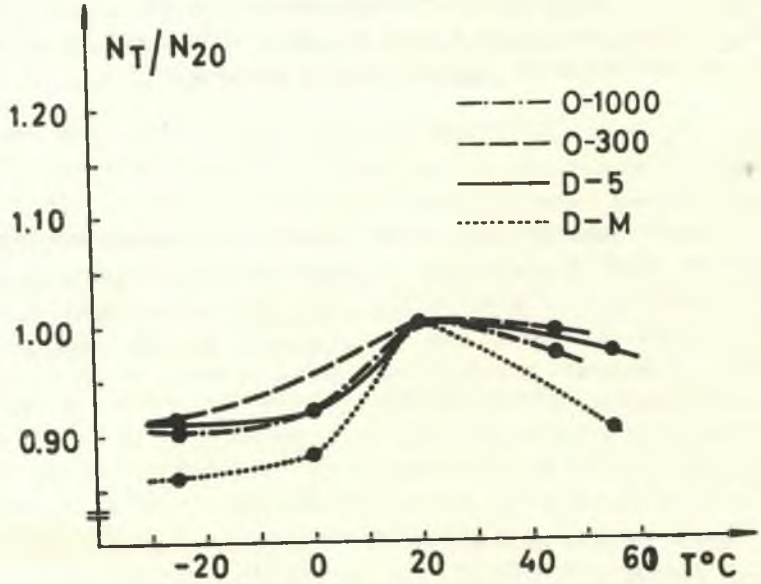
Ispitivanja pokazuju da se Si detektori i Si foto diode mogu uspešno koristiti kao detektori u uredjajima za merenje jačina apsorbovanih doza. Zbog razlike u osetljivosti Si detektori tipa ORTEC (1000 i 300) pogodni su za merenje niskih jačina apsorbovanih doza $\geq 0{,}1\ uGy \cdot h^{-1}$, dok foto diode tipa D-5 i D-M mogu se primeniti za merenje viših jačina apsorbovanih doza do 20 i 280 $cGy \cdot h^{-1}$ respektivno.

REFERENCE

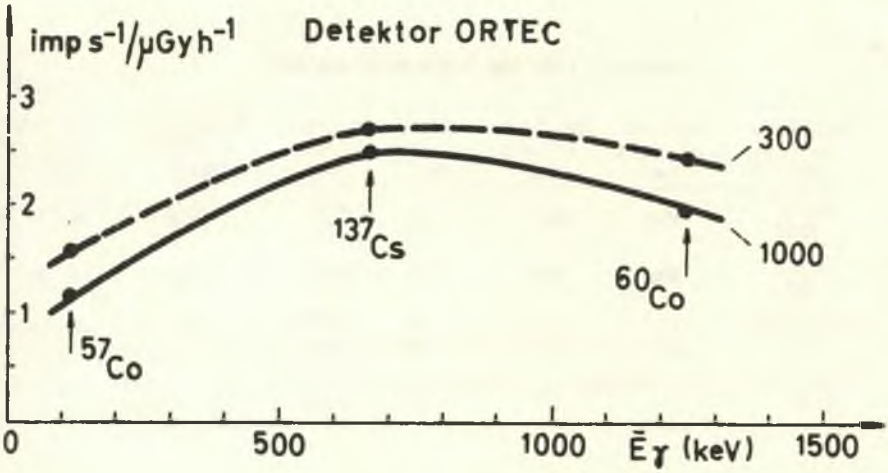
1. C.M.Lederer and all; Table of Isotopes; J.Wiley INC; New York, London, Sydney, (1967).

SOME CHARACTERISTICS OF SI DETECTORS AND PHOTO DIODES SIGNIFICANT FOR ABSORBED DOSES MEASUREMENTS

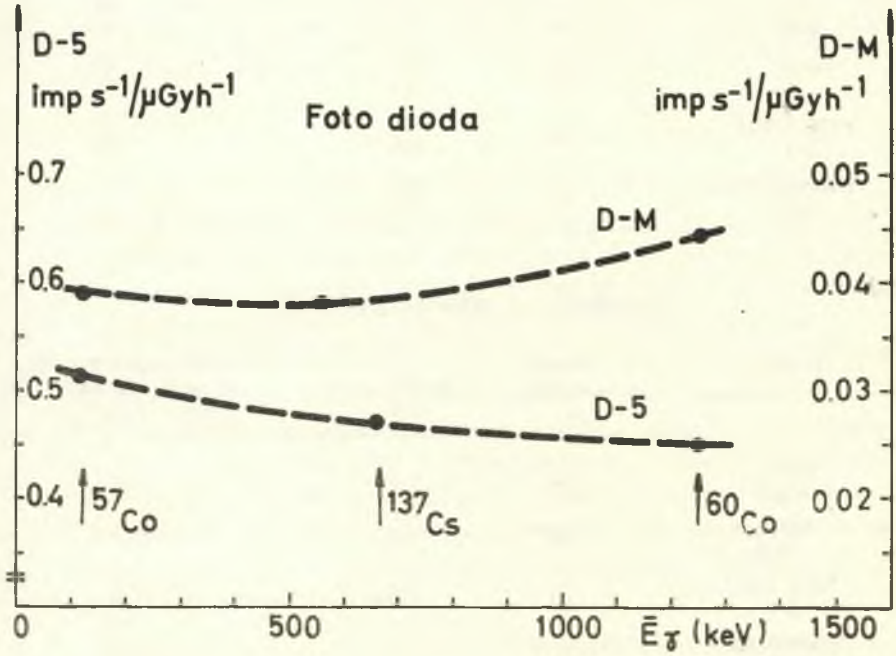
Si detectors and Si photo diodes characteristics such as gamma ray sensitivity, energy and temperature dependance were studied and the results are presented in this paper. The aim of the experiment was to find out if the Si detectors and photo diodes can be used for measurements of absorbed dose rate. Detectors of ORTEC (1000 i 300) types were suitable for measuring low absorbed dose rates above 0,1 $\mu Gy \cdot h^{-1}$ and the photo diodes of D-5 and D-M types can be used for measuring the higher absorbed dose rate, up to 20 and 280 $cGy \cdot h^{-1}$ respectively.



Sl.1. Temperaturna zavisnost odgovora PPD (ORTEC 1000, ORTEC 300, FOTO DIODA D-5, FOTO DIODA D-M) na gama zračenje ^{137}Cs.



Sl.2. Zavisnost odgovora PPD (ORTEC 1000, ORTEC 300) od energije gama zračenja.



Sl.3. Zavisnost odgovora PPD (FOTO DIODE D-5 i D-M) od energije gama zračenja.

TABELA 1.

KARAKTERISTIKE PPD PREMA PROIZVODJAČU

t=20°C

Red. broj	Oznaka u ispitivanju	Aktivna površina /mm²/	Debljina barijere /μm/	Radni napon /V/	Inverzna struja /μA/	Rezolucija α FWHM /keV/	Temperaturni opseg rada /°C/
1.	ORTEC 1000	150	1000	-150	0,51	17,4	-30 do +45
2.	ORTEC 300	300	300	-100	0,52	19,8	-30 do +45
3.	FOTO-DIODA D-5	100	100-200	- 20 - 50	0,075 0,1	~25	-40 do +70
4.	FOTO-DIODA D-M	5	-	- 10 - 45	0,018 0,05	-	-40 do +120

TABELA 2.

KARAKTERISTIKE ŠUMA PPD

Red. broj	Oznaka u istraživanju	Radni napon /V/	Radna temperatura /°C/	Maksimalna amplituda šuma /keV/
1.	ORTEC 1000	-150	+20 +45	42 105
2.	ORTEC 300	-100	+20 +45	48 90
3.	FOTO-DIODA D-5	- 24	+20 +55	25 53
4.	FOTO-DIODA D-M	- 12	+20 +55	18 32

TABELA 3.

RADIOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PPDU

Red. broj	Oznaka u ispitivanju	Radni napon /V/	Prag diskriminacije /keV/	Osetljivost K - PPDU na gama zračenje ^{137}Cs /imp·s^{-1}/μGy·h^{-1}/
1.	ORTEC 1000	-150	106	2,5
2.	ORTEC 300	-100	90	2,7
3.	FOTO-DIODA D-5	- 24	53	0,5
4.	FOTO-DIODA D-M	-12	32	0,04

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

B.Stamenković, M.Šmelcerović
Institut "Boris Kidrič" - Vinča

MERENJE JAČINE EKSPOZICIONE DOZE U POLJU ZRAČENJA PROMENJIVOG INTENZITETA SA ADAPTIVNIM VREMENOM MERENJA

REZIME Kod standardno izvedenih instrumenata za merenje jačine ekspozicione doze, baziranih na prostoj tačnosti i fiksnim vremenima merenja, dolazi do velike greške merenja pri promeni intenziteta polja zračenja.

U ovom radu izložene su osnovne postavke idejnog rešenja modula za merenje jačine ekspozicione doze sa adaptivnim vremenom merenja. Glavna karakteristika predloženog rešenja ogleda se u brzom reagovanju sistema na nagle promene jačine polja zračenja koje se meri. Rezultat merenja se dobija u najkraćem mogućem vremenu i pokazuje vrednost jačine ekspozicione doze blisku očekivanoj vrednosti na kraju mernog intervala vremena.

UVOD

Merenje jačine ekspozicione doze u polju gama i X zračenja promenjivog intenziteta u prostoru i vremenu, sa širokim opsegom merenja, nameće niz problema koje treba simultano rešavati. Pre svega da bi se pokrio široki opseg promena polja zračenja, neophodno je koristiti više GM brojača različitih osetljivosti, koji pokrivaju odredjene podopsege. Da bi rezultat merenja dao tačniju vrednost jačine ekspozicione doze u datoj tački prostora i trenutku očitavanja rezultata, definiše se maksimalno dozvoljeno vreme merenja koje je u neposrednoj vezi sa maksimalnim vremenom odgovora detektora. Zbog statističke greške neophodna je upotreba osetljivih detektora da bi se obezbedio statistički neophodan broj impulsa za dobijanje zahtevane pouzdanosti rezultata u okviru dozvoljene greške merenja. Sa druge strane, minimalno vreme merenja je u direktnoj zavisnosti od minimalnog vremena potrebnog za očitavanje rezultata, efikasnosti brojača i statističke greške.

Postoji više postupaka merenja jačine ekspozicione doze zračenja sa zadatim minimalnim $T_{min} = T_k$ i maksimalnim $T_{max} = T_d$ vremenom merenja. Jedna od osnovnih je metoda sa "prostom tačnošću" i fiksnim vremenom merenja iz koje

proističe iz varijanti. Jedna od varijanti dozvoljava samo dva vremena merenja i to samo kratkog T_k ili samo dugog T_d perioda. Pri tome se uočavaju sledeće specifičnosti izvedbe:

a) Ako je u toku perioda merenja koji je kratak, došlo do zahteva da se meri sa dugim vremenom merenja (intenzitet polja smanjen - upotreba osetljivijeg detektora), tada se merenje obavlja do isteka perioda T_d; i

b) Ako u toku perioda merenja koji je dug, dodje zahtev za merenje kratkim vremenom (nagli skok intenziteta polja i korišćenje manje osetljivog brojača) a nije istekao period T_k, merenje se završava sa periodom T_k. Medjutim, ako je period T_k istekao, tada se merenje obavlja do isteka perioda T_d.

Izložena varijanta sa fiksnim vremenima merenja ima nedostatak u brzini reagovanja, što implicira i znatnu grešku merenja.

U ovome radu biće izložene osnovne postavke idejnog rešenja modula za merenje jačine ekspozicione doze sa adaptivnim vremenom merenja, koji omogućava brzo reagovanje sistema na nagle promene intenziteta polja zračenja i prezentiranje rezultata u najkraćem mogućem vremenu T, pri čemu je $T_k \leq T \leq T_d$.

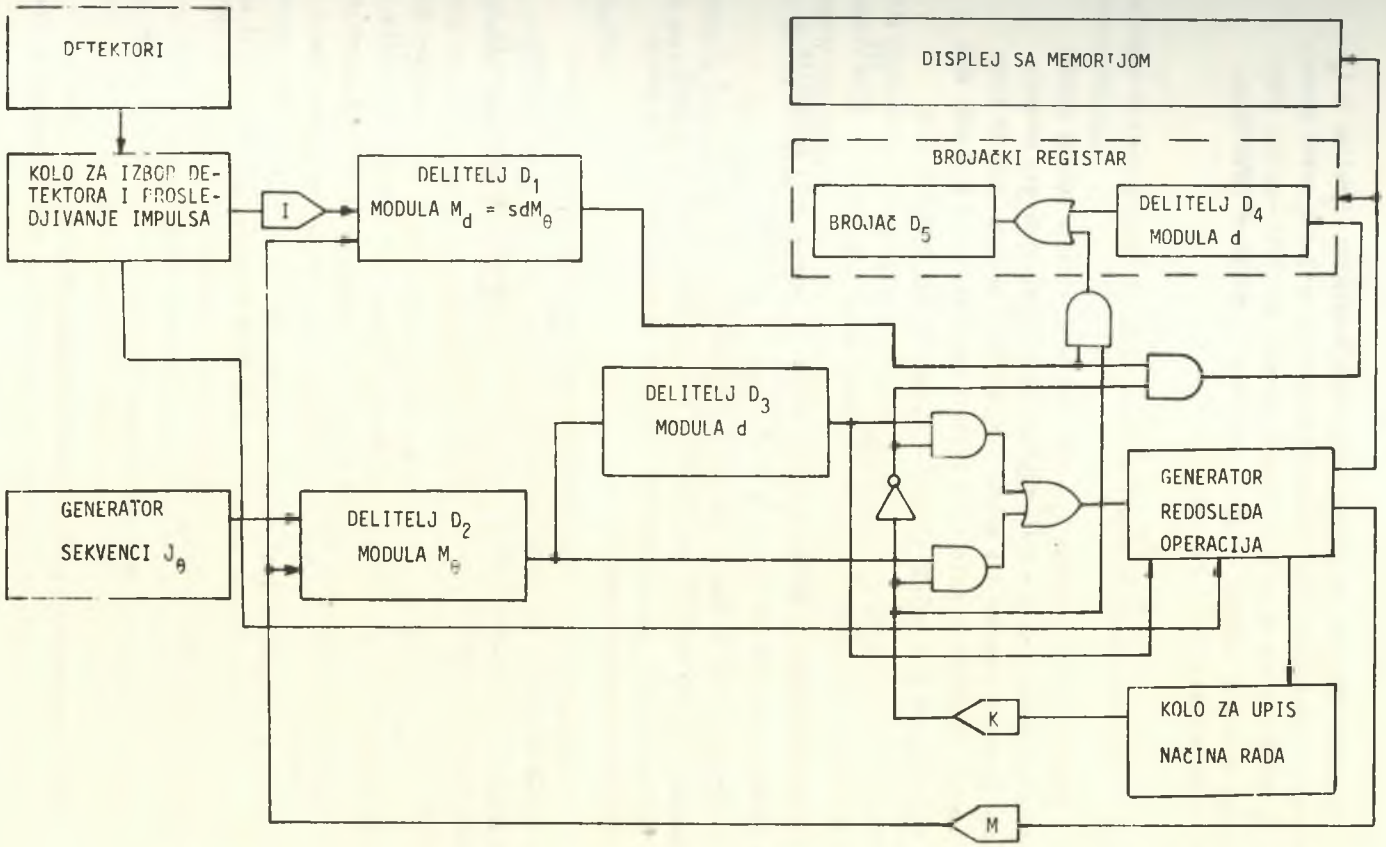
MODUO MERENJA JAČINE EKSPOZICIONE DOZE SA ADAPTIVNIM VREMENOM MERENJA

Princip rada modula zasniva se na postupku merenja srednje brzine brojanja sa adaptivnim vremenom merenja. Funkcionalno rešenje ovog sistema, prikazano na Sl.1., prilagodjeno je sledećim zahtevima:

(1) Impulsi iz generatora impulsa promenjive učestanosti vode se na delitelj D_1 modula M_d (ceo broj), pa ako se merenje vrši sa celovitim vremenom merenja $T_d = M_d J_t$, gde je J_t jedinica vremena, tada je po isteku vremena T_d sadržaj brojačkog registra $D_4 D_5$, označimo ga sa M_I, ujedno i brojna vrednost srednje brzine brojanja, odnosno $I_s = M_I J_I$, gde je J_I definisano relacijom $J_I J_t = 1$; i

(2) Ako se merenje obavlja sa celovitim vremenom $T_k = \frac{1}{d} T_d$, tada se impulsi iz delitelja modula M_d uvode u brojački registar direktno u brojač D_5 preko skretnice. Neka je M_{II} sadržaj brojača D_5 po isteku vremena T_k. Sledi da je u ovom slučaju srednja brzina brojanja $(II)_s = dM_{II} J_I$, jer je dM_{II} sadržaj brojačkog registra.

Primetimo da za signal konstantne učestanosti mora biti $I_s = (II)_s$



Sl. 1. Merenje srednje brzine brojanja sa adaptivnim vremenom merenja -- funkcionalno rešenje

Pretpostavimo sada da je brzina brojanja konstantna. Označimo sa t_k vreme merenja u toku koga se impulsi dovode direktno u brojač D_5 preko skretnice, a sa t_d vreme merenja za koje se impulsi dovode u brojački registar preko delitelja D_4, modula d. Sadržaj brojačkog registra će prikazati tačnu brojnu vrednost brzine brojanja ako i samo ako je:

$$\frac{t_k}{T_k} + \frac{t_d}{T_d} = 1. \tag{1}$$

Neka je $T_k = s\theta$, odnosno $T_d = sd\theta$, gde je θ trajanje osnovne vremenske sekvence pri merenju sa kratkim vremenom, $d\theta$ trajanje vremenske sekvence pri merenju sa dugim vremenom i s ukupan broj sekvenci merenja. Kako se svako merenje sastoji iz ukupno s dugih i/ili kratkih sekvenci, to za $t_d = kd\theta$ mora biti $t_k = (s-k)\theta$, pa je u opštem slučaju trajanje merenja dato sa

$$T = t_k + t_d = (kd+s-k)\theta, \tag{2}$$

gde je $0 \leq k \leq s$. Prema tome, u opštem slučaju, moguće je ukupno (s+1) različitih vremena merenja, pri čemu je $T_{min} = T_k = s\theta$ i $T_{max} = T_d = sd\theta$.

Očigledno je da ćemo u graničnim slučajevima za k = 0 ili k = s i pri promenjivoj brzini brojanja kao rezultat merenja dobiti brojnu vrednost srednje brzine brojanja, jer se dobijeni rezultati svode na one koji se dobijaju sa celovitim vremenima merenja.

U opštem slučaju sadržaj brojačkog registra nije brojna vrednost srednje brzine brojanja, ako je brzina brojanja promenjiva. Da bi smo to pokazali označimo sa I_{di} srednju brzinu brojanja u i-toj sekvenci vremena t_d, a sa I_{kj} srednju brzinu brojanja u j-toj sekvenci vremena t_k.

Definišimo

$$I_d = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} I_{di}, \quad I_k = \frac{1}{s-k} \sum_{j=1}^{s-k} I_{kj}. \tag{3}$$

Sadržaj brojačkog registra će biti

$$M_I = \frac{I_d t_d + I_k t_k d}{M_d} = [kI_d + (s-k)I_k] \frac{J_t}{s}, \tag{4}$$

pa je izmerena srednja brzina brojanja:

$$I_m = M_I J_I = \frac{1}{s} [kI_d + (s-k)I_k] \tag{5}$$

Za pravu srednju vrednost brzine brojanja nalazimo:

$$I_s = \frac{I_d t_d + I_k t_k}{t_d + t_k} = \frac{kdI_d + (s-k)I_k}{kd + s - k} . \qquad (6)$$

Uvodjenjem zamene

$$I_k = pI_d, \quad e = \frac{k}{s} , \qquad (7)$$

dolazimo do forme pogodne za analizu odnosa izmerene i prave vrednosti srednje brzine brojanja

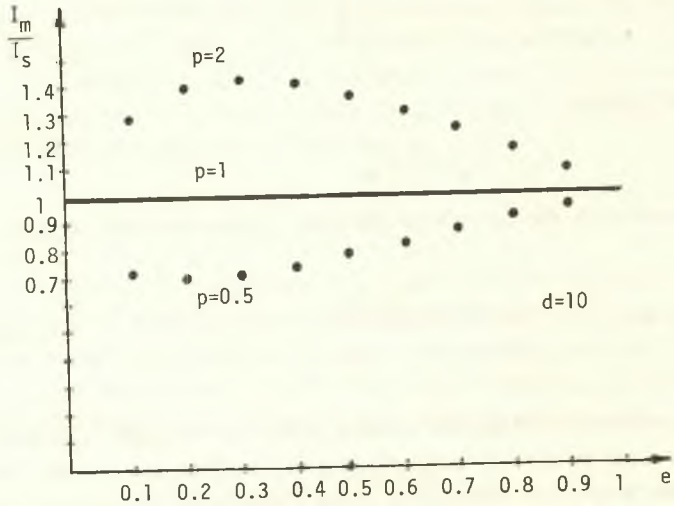
$$I_m = I_s \left[1 - \frac{e(e-1)(d-1)(p-1)}{e(d-p) + p} \right] . \qquad (8)$$

Na Sl.2. prikazana je izmerena vrednost ekspozicije u odnosu na srednju vrednost za slučaj da je d = 10. Izračunavanja su izvršena za vrednosti parametra $e \in [0, 1]$ i realne promene intenziteta polja zračenja pri inspekciji kontaminiranog zemljišta iz vozila, u kom slučaju je realno očekivati da važi $p \in [0,5, 2]$ za vreme jednog ciklusa merenja.

Pri inspekciji kontaminiranih površina prenosnim monitorima zračenja realno je očekivati manje promene intenziteta polja zračenja što implicira manju grešku merenja.

ZAKLJUČAK

Dozimetrija u akcidentalnim ili ratnim uslovima zahteva merenje jačine ekspozicije promenjivog intenziteta, jer se vrši prospekcija velikih površina u pokretu. Standardni instrumenti, sa bilo kojom vrstom detektora, obično omogućavaju merenja unutar jedne dekade promene merene veličine. Zbog velikih promena polja zračenja koja po intenzitetu mogu obuhvatiti i više od dve dekade, rezultat merenja standardnim instrumentima je sigurno pogrešan. Ovo se posebno odnosi na instrumente sa GM brojačima, jer je obično ispravan opseg rada GM brojača 1,5 dekada promene merene veličine. Navedeni problemi impliciraju potrebu za instrumentima koji će omogućiti dobijanje tačnog rezultata merenja i pri promeni polja zračenja unutar jedne sekvence merenja. Ovakav tip instrumenta, ako se koriste GM brojači, mora da ima kolo za automatski izbor brojača i za korekciju rezultata merenja. U slabim poljima zračenja vreme merenja sa postojećim GM brojačima mora biti veliko, što znači da se pri prospekciji terena dobijaju srednje vrednosti jačine ekspozicione doze u vremenu od oko 10 s. Ovakvi rezultati nisu pogodni, jer na delu terena koji se predje za to vreme mogu postojati depoi kontaminanta koje treba obeležiti. Zato je neophodno da u slučaju na-



Sl.2.

gle promene intenziteta polja zračenja monitor zračenja automatski reaguje i u što kraćem vremenu prezentira rezultat merenja, koji će ukazati na naglu promenu intenziteta zračenja.

U radu je opisana nova ideja kako takav instrument može da se realizuje a praktični rezultati ispitivanja instrumenata realizovanih na ovom principu potvrdili su očekivanja.

SUMMARY The basic concept for the exposure rate measurement with adaptable measuring time is presented. The main feature of the presented method is the possibility of obtaining the result for the minimum possible time between prescribed minimum and maximum time. A wide measuring range is obtained by using several GM counters of different efficiencies. Exposure rate measuring range is chosen by an automatic circuit depending on the radiation field intensity.

LITERATURA

1. A.M.Koturović, "Digitalni rejtmetri proste tačnosti - Kriterijumi projektovanja i ocena greški", IBK publikacija, IBK-1538, 1981

2. Elen F.Knol, "Radiation detection and measurement", John Wiley and Sons, New York, 1979.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

I.Mirić, D.Veličković i M.Jeremić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
"Zaštita" p.fah 522, 11001 Beograd

ODREDJIVANJE NEKIH KARAKTERISTIKA DOZIMETRIJSKOG GENERATORA X-ZRAČENJA

REZIME. U ovom radu prikazani su preliminarni rezultati dobijeni merenjem karakteristika generatora X-zračenja MG 320 Dosimetrie namenjenog za ispitivanje i kalibraciju dozimetrijske instrumentacije za ekspozicionu i apsorbovanu dozu elektromagnetskog zračenja.

Ispitivanja su obuhvatila odredjivanje veličine i homogenosti snopa, maksimalnih vrednosti jačine ekspozicionih doza koje se mogu realizovati uredjajem na rastojanju od 50 cm od fokusa cevi u zavisnosti od prečnika otvora dijafragme i stabilnost rada uredjaja.

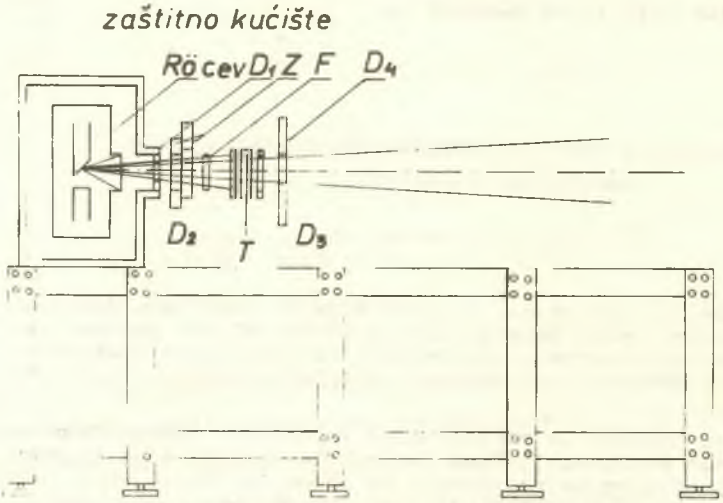
UVOD

Generator X-zračenja (MG 320 Dosimetrie) namenjen je za ispitivanje i kalibraciju dozimetrijske instrumentacije za ekspozicionu i apsorbovanu dozu elektromagnetnog zračenja u domenu energija X-zračenja koja odgovara naponima od 30 kV do 300 kV. Ovaj uredjaj ima visoku stabilnost u emisiji zračenja, tako da promene u energiji i intenzitetu treba da zadovolje uslove propisane standardom Medjunarodne organizacije za standardizaciju ISO Standard 4037.

U ovom radu prikazani su preliminarni rezultati dobijeni merenjem karakteristika ovog uredjaja.

KOMPONENTE RO"-UREDJAJA

Uredjaj se sastoji od: RO"-cevi (MCN 321) sa zaštitnim kućištem oko cevi; od sistema dijafragmi (D_1, D_2, D_3 i D_4) za ograničavanje snopa; zasuna (Z) za otvaranje i zatvaranje snopa; diska sa filtrima (F); kalibracione klupe dužine 8 m; kao i transmisione komore (T) preko koje se vrše praćenje intenziteta zračenja i referentna integracija ekspozicije (Sl.1).



Sl.1. Šematski prikaz RO"-uredjaja

Na kalibracionoj klupi se nalaze držači za precizno podešavanje rastojanja, vertikalnog i horizontalnog položaja dozimetrijske instrumentacije. Ovi držači su postavljeni tako da proizvode minimalno rasejano zračenje i nalaze se izvan korisnog snopa.

ODREDJIVANJE NEKIH KARAKTERISTIKA RO"-UREDJAJA

Za ispitivanje homogenosti i veličine snopa X-zračenja korišćeni su filmovi za industrijsku radiografiju "FIRIO" koji su se, saglasno preporukama proizvodjača, nalazili na rastojanju 70 cm od fokusa i ozračeni ekspozicionom dozom od $0{,}774 \cdot 10^{-4}$ C/kg pri naponu od 200 kV i sa filtracijom snopa koja se postiže kombinacijom filtara od: 4 mm Al; 2 mm Cu; 3 mm Su i 1 mm Pb. Pri eksponiranju je upotrebljen standardni fokus i dodatni par dijafragmi sa prečnikom od 6 cm.

Rezultati merenja su pokazli da prečnik snopa na rastojanju od 70 cm iznosi 11,8 cm, i da je centralna osa snopa X-zračenja paralelna sa radijacionom klupom i da se nalazi na visini 23 cm od radijacione klupe.

Preliminarna ispitivanja vrednosti jačina ekspozicionih doza koje se mogu realizovati na rastojanju 50 cm od fokusa cevi izvršena su bez filtracije snopa. Vrednosti doza su odredjene pomoću jonizacione komore proizvodnje PTW, a koja predstavlja sekundarni etalon za ekspozicionu dozu. Ove vrednosti su korelirane sa vrednostima koje pokazuje transmisiona komora za tri različita prečnika na dodatnim parovima dijafragmi.

Rezultati merenja su prikazani u tabelama u tab.1.

TAB.1 Karakteristike vrednosti jačine ekspozicionih doza za prečnik dijafragme od 6 cm

Napon kV	Struja mA	Pokazivanje trans. komore rel.jedinice	Doza C/kg·s 10^{-4}
30	15,23	0,027	0,011
60	15,23	1,373	0,345
100	10,01	3,405	0,891
150	10,01	7,384	2,079
200	8,05	9,996	2,977
250	5,36	9,933	3,074
300	3,75	9,738	3,093
Prečnik dijafragme 3 cm			
30	15,20	0,007	[illegible]
60	15,20	0,375	[illegible]
100	9,93	0,927	[illegible]
150	9,93	2,034	[illegible]
200	9,93	3,403	[illegible]
250	9,93	5,060	[illegible]
300	9,93	7,253	[illegible]
Prečnik dijafrgme 1,6 cm			
30	15,18	0,002	[illegible]
60	15,18	0,117	[illegible]
100	9,96	0,274	0,665
150	9,96	0,594	1,518
200	9,96	1,002	2,618
250	9,96	1,552	3,955
300	9,96	2,396	5,525

Maksimalne vrednosti jačina ekspozicionih doza su pri naponima cevi do 100 kV definisani mogućnostima izvora zračenja; na višim naponima gornju granicu jačine ekspozicione doze definišu ka-

rakteristike uredjaja koje ograničavaju da struja u cevi ne bude veća od 10 mA i karakteristika transmisione komore čiji je režim rada ograničen na odredjene struje jonizacije.

Transmisiona komora uslovljava da se maksimalne jačine ekspozicionih doza mogu da realizuju sa najmanjim prečnikom otvora dijafragme.

Stabilnost rada uredjaja je proverena ponavljanjem istih uslova ozračivanja deset puta u toku dana i merenjem jačine ekspozicione doze pomoću ranije opisane PTW jonizacione komore.

Srednje vrednosti izmerenih jačina ekspozicionih doza uporedo sa standardnom devijacijom date su u tab.2.

TAB.2 Stabilnost rada MG 320

Napon kV	Struja mA	Standardna devijacija
30	15,0	0,010 ± 0,000
60	15,0	0,277 ± 0,003
100	10,0	0,668 ± 0,000
150	10,0	1,524 ± 0,002
200	10,0	2,628 ± 0,003
250	10,0	3,971 ± 0,003
300	10,0	5,547 ± 0,010

Iz rezultata datih u tab.2 se vidi da je reproducibilnost rada prilikom preliminarnih ispitivanja bila u granicama od ±1%.

ZAKLJUČAK

Karakteristike dozimetrijskog generatora X-zračenja MG 320 sa pratećim elektronskim jedinicama ukazuju da će ovaj uredjaj posle karakterizacije njegovog polja moći na zadovoljavajući način da se koristi za ispitivanje i kalibraciju dozimetrijske instrumentacije.

SOME CHARACTERISTICS OF THE X-RAY GENERATOR MG-320 DOSIMETRIE.
This paper deals with the preliminary results obtained with the X-ray generator MG 320 Dosimetrie. The first investigations included determination of the dimensions and homogeneity of the primary X-ray beam, maximal values of the exposure dose rate in function of tube voltage, 50 cm from the focus as well as stability of emision.

REFERENCE

1. Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments IAEA Tehnical Reports Series No 133, IAEA 1971.
2. X and Gamma Reference Radiation for Calibrating and Determining the Energy Response of Dosimeters and Dose Ratemeters, ISO-4037, 1979.
3. Calibration of Dose Meters Used in Radiotherapy IAEA Technical Reports Series No 185, IAEA 1979.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Slobodan Vuković, Srpko Marković
RO Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita", o.fah 522., 11001 Beograd

UTICAJ PROMENE NAPONA CEVI RÖ APARATA NA VELIČINU RADIJACIONOG POLJA PRI SNIMANJU U INDUSTRIJSKOJ RADIOGRAFIJI

REZIME U radu su prikazane izodozne linije za jačine apsorbovanih doza zračenja 1,39 nGy/s i 6,95 nGy/s za napone 160 kV i 180 kV i struju 8 mA oko industrijskog rendgen aparata tipa "SEIFERT", na osnovu kojih su razmatrani problemi sprovodjenja mera zaštite od zračenja u praksi.

UVOD

Potreba za što bržom informacijom o kvalitetu zavarenih spojeva navela je znatan broj radnih organizacija da se opredeli za uspostavljanje svojih službi za radiografsku kontrolu. Pored drugih uredjaja, česta je upotreba i industrijskog rendgen aparata tipa "SEIFERT" maksimalnog napona do 200 kV i konstantne struje 8 mA. Sa ovim rendgen aparatom dosta je lako menjati mesto gde će se vršiti prozračivanje, što omogućuje njegova relativno mala težina i gabarit. Imajući u vidu da retko koja radna organizacija ima namensku prostoriju za radiografsko snimanje, ova se mogućnost u praksi najčešće primenjuje. Naime, radiografsko snimanje vrši se kako van tako i u proizvodnim halama. Takodje je česta opravdana potreba da se snimanje vrši direktno na konstrukciji ili nekom uredjaju u čijoj izgradnji učestvuju istovremeno i mnogi drugi radnici. U ovim slučajevima postoji mogućnost da se u radijacionom polju nadju radnici koji direktno ne učestvuju u radu na snimanju, pa i sami operatori na rendgen aparatu.

Namera ovog rada je da prikaže geometriju i intenzitet radijacionog polja oko navedenog rendgen aparata, što treba da poslu-

ži kao osnov za optimizaciju sistema zaštite od zračenja, kako profesionalnog osoblja, tako i šire okoline.

1. USLOVI MERENJA

U cilju dobijanja jasne informacije o veličini i obliku radijacionog polja izvršena su merenja jačina apsorbovanih doza zračenja oko Rö-aparata. Merenja su vršena pri radnim naponima od 160 kV i 180 kV i struji od 8 mA, prvo slobodnog snopa, a zatim delimično apsorbovanog u 6 mm debelom, čeličnom apsorberu. U slučaju napona od 180 kV debljina čeličnog apsorbera iznosila je 8 mm. Merenja su vršena u ravnoj geometriji, jonizacionom komorom sa zidovima debljine 300 mg/cm^2 tkivno-ekvivalentnog materijala, tipa "Babyline". Navedeni uslovi rada vrlo su česti u praktičnoj radiografiji.

2. REZULTATI MERENJA

Na osnovu rezultata merenja jačina apsorbovanih doza zračenja u vazduhu, na slikama 1. i 2. ucrtane su izodozne linije za vrednosti jačine apsorbovane doze od 1.39 nGy/s i 6.95 nGy/s, kako u direktnom snopu, tako i sa čeličnim apsorberima debljina 6 mm i 8 mm, koje su odgovarale naponima od 160 kV i 180 kV respektivno.

3. ZAKLJUČAK

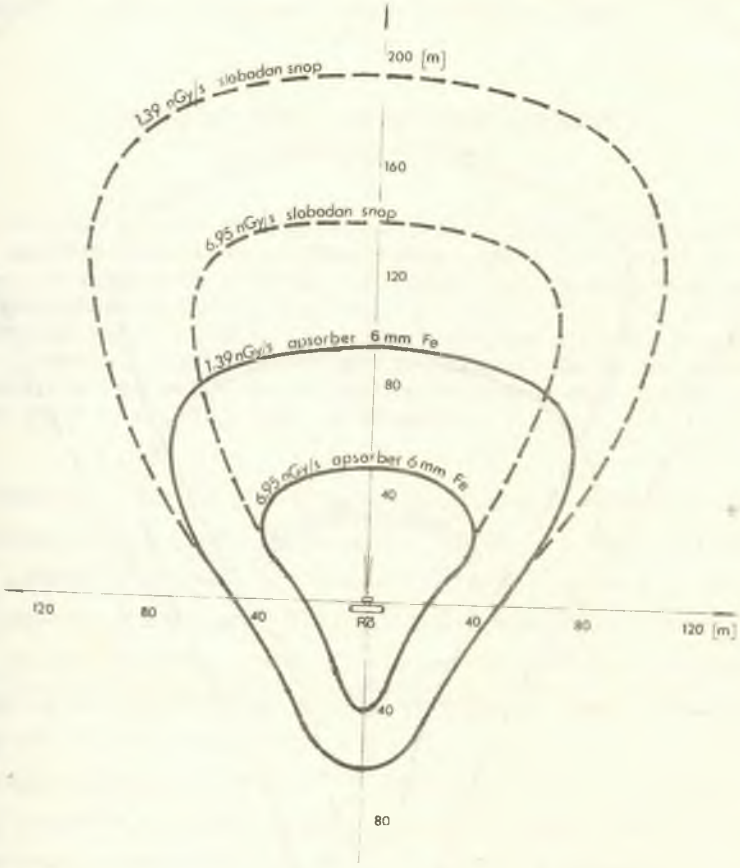
Iz dimenzija i oblika radijacionih zona, obuhvaćenih prikazanim izodoznim krivama, može se zaključiti sledeće:

- najpovoljniji položaj operatora, sa gledišta zaštite od zračenja, nije direktno u pravcu iza Rö uradjaja, već bočno, pod uglom od oko 110° u odnosu na smer direktnog snopa.
- kako operator, u realnim uslovima rada, za vreme eksponiranja, boravi u prostoru neposredno iza uredjaja, potrebno je predvideti - -improvizovati zaštitu operatora odgovarajućim paravanima.
- dimenzije zabranjene radijacione zone, pogotovu za povoljniju vrednost od 1.39 nGy/s, kojoj treba težiti, ukazuju da je zahteve zaštite od zračenja teško zadovoljiti u praksi, pogotovu u smislu onemogućavanja neovlašćenog pristupa u zabranjenu radijacionu zonu.

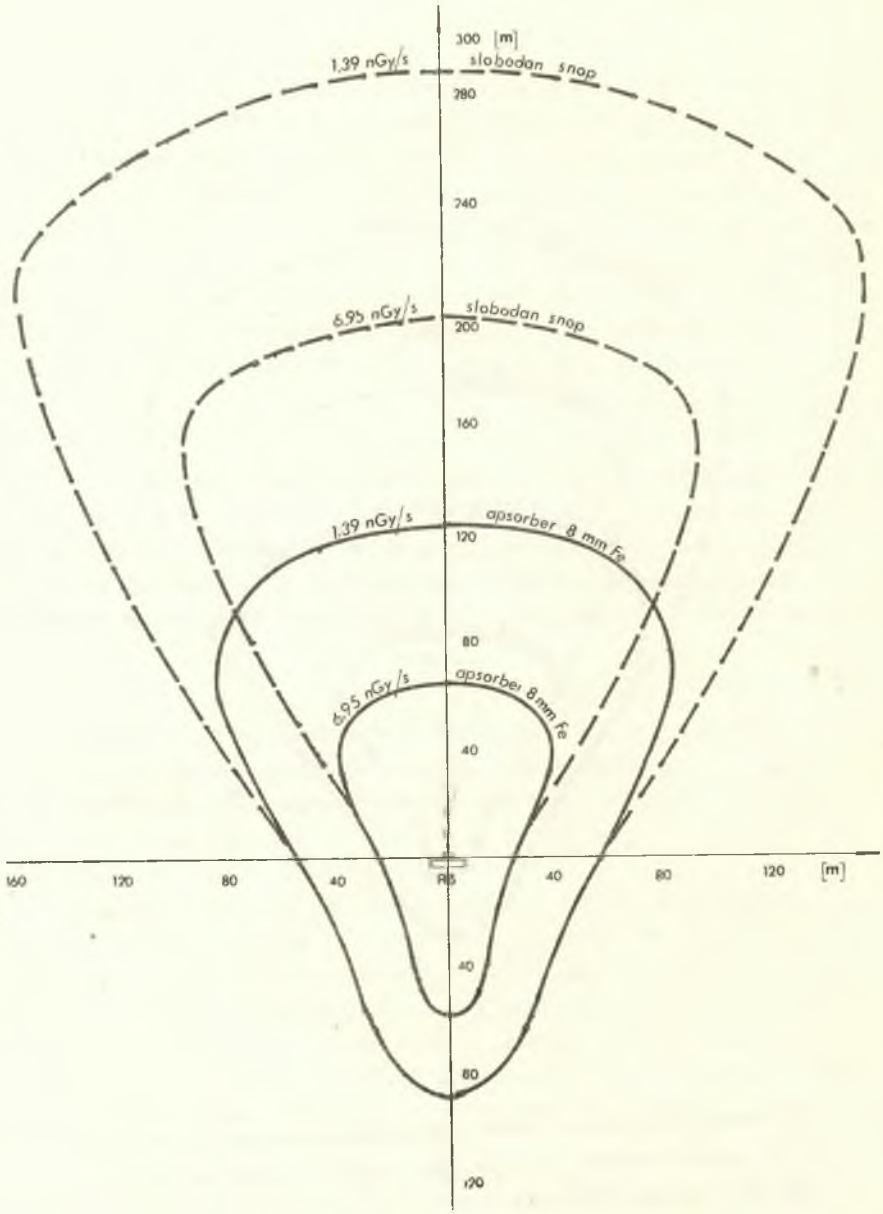
ABSTRACT

In this paper are given izodose lines of the absorbed dose rates, 1.39 nGy/s and 6.95 nGy/s, for voltages of 160 kV and 180 kV and current of 8 mA, arround industrijal Rö equipment of the "SEIFERT" type.

Using these rezults some problems of the radiation protection rules implementation are considered



Sl.1. *Izodozne linije za jačine apsorbovanih doza 1,39 nGy/s 6,95 nGy/s merene oko rendgen aparata tipa"SEIFERT" pri naponu 160 kV i struji 8 mA*



Sl.2. Izodozne linije za jačine apsorbovanih doza 1,39 nGy/s i 6,95 nGy/s, merene oko rendgen aparata tipa "SEIFERT" pri naponu 180 kV i struji 8 mA

XII JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31.05. - 03.06.1983.

Dobroslav Cesar (-), Branko Freber (+) i Željko Radalj (+)

(-) Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
(+) Zavod za preventivno-medicinsku zaštitu, Zagreb

DVADESET JEDNA GODINA FILMDOZIMETRIJE

Prikazane su prosječne mjesečne doze ozračenja osoba koje koriste medicinske dijagnostičke rendgen aparate od 1962. do 1982. godine. Iz dobivenih podataka izračunata je statističkom metodom eksponencijalna funkcija regresije $y = 143,3 \cdot 0,9^x + 90$, te njoj pripadajući $r = -0,7645$ i $t = 5,169$ iz čega slijedi da je $P(t) < 0,001$. Podaci i izračunata funkcija pokazuju da su se prosječne mjesečne doze po osobi tokom proteklih godina smanjivale i da teže k vrijednosti devedeset mikrogreja.

Kontrola doza ozračenja osoba koje rade u području djelovanja ionizirajućeg zračenja započela je 1960. godine. Tek krajem 1961. godine obuhvaćene su tom kontrolom sve osobe koje su radile sa medicinskim dijagnostičkim rendgen aparatima, prema tome 1962. godina je stvarno prva cijela godina provodjenja filmdozimetrije. Uključujući 1982. godinu navršila se dvadeset i jedna godina filmdozimetrijske kontrole.

Ovdje prikazani rezultati filmdozimetrijske kontrole su prosječne mjesečne doze ozračenja po osobi za svaku godinu (apsorbirane doze u mikrogrejima μGy). Prosječna mjesečna doza po osobi za pojedinu godinu izračunata je tako, da je ukupna registrirana doza za pojedinu godinu podijeljena sa brojem mjesečnih kontrola, t.j. sa brojem upotrebljenih i obradjenih dozimetrijskih filmova u toj godini. Dobiveni rezultati prikazani su u TAB.1.

Napomena: Ovaj rad izradjen je u Zavodu za preventivno-medicinsku zaštitu, Zagreb.

TAB.1 : Prosječne mjesečne doze-ozračenja po osobi od 1962. do 1982. godine izražene u μGy.

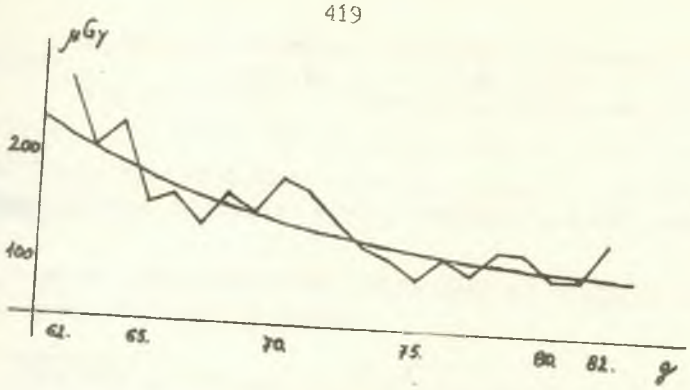
Godina	D	Godina	D
1962.	270,o	1972.	146,5
1963.	208,9	1973.	124,1
1964.	232,3	1974.	116,7
1965.	157,3	1975.	96,5
1966.	167,3	1976.	117,6
1967.	138,1	1977.	106,5
1968.	170,2	1978.	126,2
1969.	153,4	1979.	124,8
1970.	186,3	1980.	103,o
1971.	174,o	1981.	103,o
		1982.	138,6

Vrijednosti iz TAB.1 upotrebljene su za izradu eksponencijalne funkcije primjenom statističke metode za odredjivanje eksponencijalne funkcije regresije, čija je jednadžba

$$y = 143,3 \cdot 0,9^{x} + 90$$

gdje je $x = g - 1961$, a g je godina. Kako je svaka logaritmirana eksponencijalna funkcija pravac, to je iz logaritama prosječnih mjesečnih doza i pripadajućih vrijednosti x izračunat linearni koeficijent korelacije $r = - 0,7645$ i njemu pripadajući faktor značajnosti $t = 5,169$. Najmanja teorijska vrijednost $t = 3,883$ uz $n = 21$ za vjerojatnost slučajnog dogadjaja $P(t) = 0,001$ ili 0,1%. Prema tome izračunata eksponencijalna funkcija regresije za prosječne mjesečne doze po osobi odlično reprezentira stvarne podatke, jer je vjerojatnost da se radi o slučajnom podudaranju vrijednosti funkcije i stvarnih podataka manja od 0,001 odnosno 0,1%.

Vrijednosti prosječnih mjesečnih doza po osobi iz TAB.1 prikazane su na grafikonu 1 izlomljenom crtom, a pripadajuća eksponencijalna funkcija prikazana je na istom grafikonu neizlomljenom crtom.



Grafikon 1 + Prosječne mjesečne doze po osobi od 1962. do 1982. godine i pripadajuća eksponencijalna funkcija.

Z a k l j u č a k : Prosječne mjesečne doze po osobi smanjivale su se tokom proteklih dvadeset i jednu godinu i teže k vrijednosti devedeset mikrogreja. To se podudara sa podacima prikazanim u radu istih autora "Distribucija mjesečnih doza ozračenja osoba od 1962. do 1982.".

TWENTY-ONE YEARS OF FILM DOSIMETRY

The mean montly doses of ionizing radiation received by the medical personnel using diagnostic X-ray machines are presented for the period from 1962 to 1982. From these data, by a method of statistical analysis, the exponential function of regression $y = 143.3 \cdot 0.9^{x} + 90$ and the corresponding $r = -0.7645$ and $t = 5.169$ were calculated. It follows that $P(t)$ 0.ool. The data and the calculated function show that in the past twenty-one years the mean montly doses of X-radiation per person have been decreasing and that they tend to be around a value of 90 μGy.

Literatura:

Fugaš M. et al "Filmdozimetrija x-zračenja i gama zračenja". Arhiv za higijenu rada i toksikologiju. Vol. 10 Zagreb 1959.

Pavlić I. "Matematička statistika". "Privreda" Zagreb 1962.

XII JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31.05. - 03.06.1983.

Dobroslav Cesar, Mladen Novaković, Enis Sokolović, Hrvoje Cerovac, Alica Bauman

Institut za medicinska iztraživanja i medicinu rada. Zagreb

EKSPOZICIJSKE DOZE GAMA ZRAČENJA NA PODRUČJU SR HRVATSKE IZMJERENE TERMOLUMINISCENTNIM DOZIMETRIMA

Sažetak: U radu su prikazani rezultati mjerenja ekspozicijskih doza gama zračenja termoluminiscentnim dozimetrima tokom 1982. godine na jedanaest mjesta sjeverozapadne Hrvatske. Rezultati pokazuju da su promjene ekspozicijskih doza na pojedinim mjernim mjestija tokom godine i izmedju njih relativno velike. Možemo smatrati da se godišnje ekspozicijske doze gama zračenja kreću od 15 do 39 μCkg^{-1}.

Uvod

Stalnim povečanjem korištenja radioaktivnog materijala u privredi nameće se potreba za sve sigurnijom kontrolom ekspozicijske doze na stanovništvo. Jedan od mnogih načina kontrole ekspozicijske doze je njeno mjerenje termoluminiscentnim dozimetrima.

Krajem 1981. i početkom 1982. godine započelo se sa stalnom kontrolom ekspozicijskih doza termoluminiscentnim dozimetrima na jedanaest mjesta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Korišteni su termoluminiscentni dozimetri proizvodnje Victoreen, tip TL - 33 "Hot press chip" (CaF_2:Mn) i čitač model 2800. Dozimetri su postavljeni jedan metar iznad tla na slobodnom prostoru. Svaki dozimetar bio je izložen zračenju oko tri mjeseca. Prema tome na svakom od jedanaest mjernih mjesta doza je mjerena sa četiri dozimetra tokom 1982. godine.

Rezultati

Dobiveni rezultati mjerenja prikazani su u TAB.1, gdje je D prosječna godišnja ekspozicijska doza u μCkg^{-1}, s je standardna devijacija od četiri mjerenja u μCkg^{-1}, a g je standardna pokreška u %.

TAB.1 : Ekspozicijske doze gama zračenja na jedanaest mjesta sjeverozapadne Hrvatske.

Oznaka mjesta	μCkg^{-1} D	μCkg^{-1} s	g %
VR	31,9	12,9	40
ZP	28,4	6,4	22
JA	28,1	6,8	24
PR	27,1	3,7	14
BI	26,o	4,9	19
KR	26,o	3,5	13
ZA	25,4	7,3	29
KL	25,4	6,o	24
OR	24,8	5,4	22
VA	23,7	4,6	20
SI	23,1	5,8	25
SRH	26,5	6,2	23

Rezultati mjerenja pokazuju da je na pojedinim mjernim mjestima u toku 1982. godine promjena ekspozicijske doze bila velika, čak do 40%. Ta promjena na pojedinim mjestima je veća od razlike prosječnih godišnjih doza izmedju pojedinih mjernih mjesta koja iznosi 23%.

Kako je dopuštena godišnja granica ekspozicijske doze za stanovništvo 43,86 μCkg^{-1} to je prosječna ekspozicijska doza sjeverozapadne Hrvatske 60% od te granice. Potrebno je napomenuti da u tu graničnu ekspozicijsku dozu ne ulazi dio koji je porijeklom od prirodnog zračenja, pa prema tome netreba smatrati da je

ovom prosječnom godišnjom dozom iskorištemo 60% granične doze. Zna se da je najveći dio te prosječne godišnje doze porijeklom od prirodnog zračenja

Z a k l j u č a k

Na temelju iznesenog možemo zaključiti da su promjene ekspozicijske doze u sjeverozapadnoj Hrvatskoj kako na pojedinim mjestima tokom godine tako i izmedju njih relativno velike. Možemo smatrati da se godišnja ekspozicijska doza od gama zračenja kreće od 15 do 39 μCkg^{-1}.

EXPOSURE DOSES OF GAMMA RADIATION IN SR CROATIA MEASURED BY MEANS OF THERMOLUMINESCENT DOSEMETERS

The results of measuring exposure doses of gamma radiation by means of thermoluminescent dosemeters in eleven places in northwestern Croatia in 1982 are presented. The results show that variations in exposure doses in the course of the year at certain measuring sites and between different sites are comparatively great. The annual exposure doses may be considered to vary from 15 to 39 μCkg^{-1}.

Literatura

Ed.J.Harley : EML Procedures Manual, HASL - 300 (1972.) i revizija (1981.).

. . . . . Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i osobe koje rade s izvorima ionizirajućih zračenja ne smiju biti izložene ozračenju. Sl. SFRJ br.27 od 27.05.1977.

XII JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31.05. - 03.06.1983.

Dobroslav Cesar (-), Branko Ferber (+) i Željko Radalj (+)

(-) Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
(+) Zavod za preventivno-medicinsku zaštitu, Zagreb

DISTRIBUCIJA MJESEČNIH DOZA OZRAČENJA OSOBA OD 1962. DO 1982. GODINE

Prikazane su mjesečne doze ozračenja osoba koje koriste rendgen aparate za medicinsku dijagnostiku. Prevodjenjem mjesečnih doza u relativne frekvencije i njihovim razvrstavanjem u šest nejednakih razreda, te izradom eksponencijalnih funkcija regresije pokazano je da su se mjesečne doze smanjivale tokom proteklih godina. Sve je veći broj mjesečnih doza manjih od 100 µGy, a sve je manje onih većih od 100 µGy. U buduće se očekuje nastavak smanjenja mjesečnih doza ozračenja osoba.

Dvadeset i jedna godina provodjenja rutinske filmdozimetrijske kontrole doza ozračenja osoba koje koriste rendgen aparate u medicinskoj dijagnostici obavezuje da pokažemo kolikim dozama su te osobe bile izložene u proteklim godinama i što možemo očekivati u buduće.

Prikazani rezultati filmdozimetrijske kontrole su doze ozračenja (apsorbirane doze) osoba koje su u svom radu koristile rendgen aparate za medicinsku dijagnostiku. Doze su razvrstane u šest nejednakih razreda i to: 1. (0 - 100), 2. (100 - 1000), 3. (1000 - 4000), 4. (4000 - 30000), 5. (30000 - 50000), 6. (50000 i više mikrogreja). Takove granice razreda odabrane su zbog toga što svaka od njih ima svoje praktično značenje. Ograničeni prostor za ovaj tekst ne dozvoljava objašnjenje pojedine granice razreda.

Napomena: Ovaj rad izradjen je u Zavodu za preventivno-medicinsku zaštitu, Zagreb.

Da bi mogli usporediti podatke mjesečnih doza izračunali smo relativne frekvencije(%) po razredima za svaku godinu. Osnovice kod računanja tih relatvnih frekvencija bile su ukupne frekvencije za pojedinu godinu, t.j. ukupan broj izmjerenih mjesečnih doza ozračenja osoba. Tako izračunate relativne frekvencije prikazane su u TAB. 1.

TAB. 1: Relativne frekvencije po razredima i godinama.

Godina	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1962.	76,73	19,47	3,o7	0,73		
1963.	69,94	28,47	1,35	0,12	0,12	
1964.	71,o3	27,8o	0,74	0,32		0,11
1965.	74,28	24,o6	1,56	0,1o		
1966.	85,87	13,36	0,55	0,11	0,11	
1967.	84,31	14,84	0,53	0,32		
1968.	85,34	12,98	1,26	0,42		
1969.	91,43	7,22	1,o1	0,34		
1970.	87,58	9,46	2,72	0,24		
1971.	85,75	12,14	1,78	0,33		
1972.	87,67	11,31	0,92	0,1o		
1973.	89,86	9,88	0,26			
1974.	92,89	6,o9	1,o2			
1975.	90,49	9,24	0,27			
1976.	91,23	8,4o	0,28	0,o9		
1977.	94,49	4,98	0,53			
1978.	92,25	6,73	1,o2			
1979.	93,89	5,78	0,11	0,22		
1980.	92,oo	7,79	0,21			
1981.	93,o9	6,81	0,1o			
1982.	91,72	7,54	0,37	0,37		

Relativne frekvencije prvog, drugog i trećeg razreda upotrebljene su za izradu eksponencijalnih funkcija regresije, te njima pripadajućim linearnim koeficijentima korelacije r, faktorima

značajnosti t i vjerojatnosti P(t) o slučajnom podudaranju izračunatih vrijednosti funkcija sa stvarnim podacima. Dobiveno je slijedeće:

Za prvi razred: $y = -25{,}81 \cdot 0{,}93^x + 100$

$r = 0{,}88$ $t = 8{,}21$ $P(t) < 0{,}001$

Za drugi razred $y = 22{,}93 \cdot 0{,}93^x$

$r = -0{,}85$ $t = 7{,}04$ $P(t) < 0{,}001$

Za treći razred $y = 2{,}09 \cdot 0{,}9^x$

$r = -0{,}7$ $t = 4{,}23$ $P(t) < 0{,}001$

y je vrijednost eksponencijalne funkcije, a to je izračunata vrijednost relativne frekvencije za odredjeni razred i izabranu godinu.

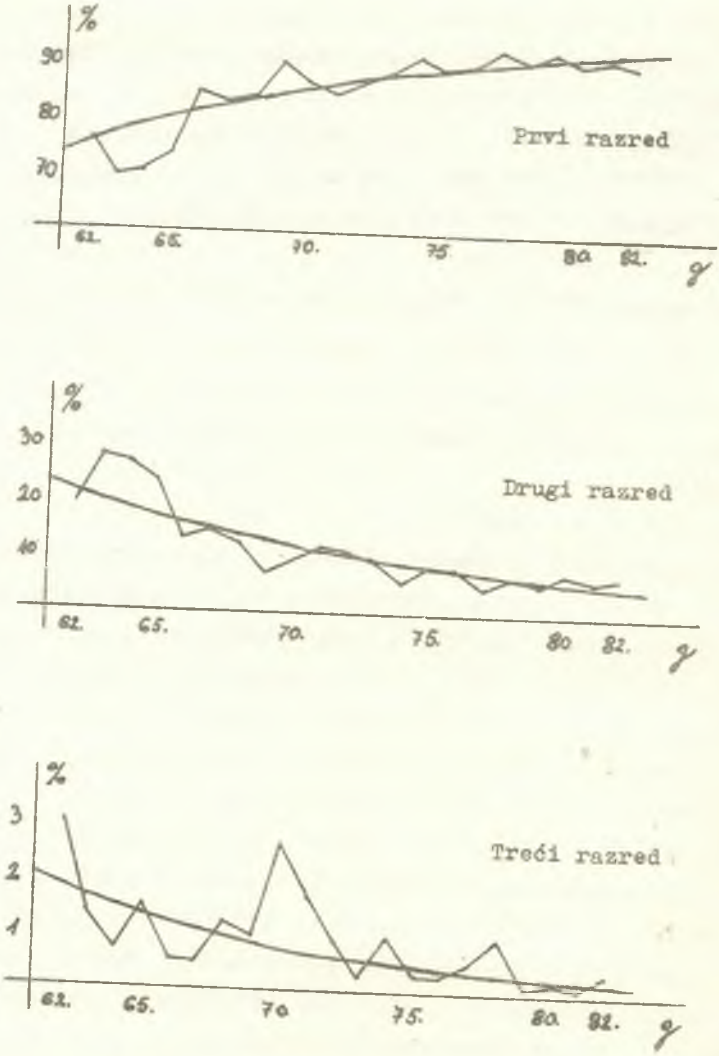
$x = g - 1961$, a g je godina.

Na grafikonu 1 prikazane su izlomljenim crtama stvarne relativne frekvencije prvog, drugog i trećeg razreda, a neizlomljenim crtama njma pripadajuće eksponencijalne funkcije regresije.

Podaci u TAB.1 i izradjene eksponencijalne funkcije regresije pokazuji da se broj mjesečnih doza manjih od 100 µGy povećavao tokom proteklih godina. Paralelno tome smanjivao se broj mjesečnih doza većih od 100 µGy. To je vidljivo i na grafikonu 1.

Za četvrti, peti i šesti razred nisu učinjene krivulje regresije, jer u pojedinim godinama u tim razredima nije registrirana ni jedna diza. Potrebno je naglasiti da u petom i šestom razredu nema registriranih doza od 1966. godine što je dobro, jer to znači da od 1966. godine ni jedna osoba nije morala prekinuti rad na duže ili kraće vrijeme zbog ozračenja prevelikom dozom.

U četvrtom razredu u poslijednjih deset godina doze su bile registrirane svega u tri godine. To je takodjer dobro, jer pokazuje da su osobe vrlo rijetko, i to poneke osobe, ozračene dozom izmedju 4000 i 30000 µGy. Kada je neka osoba ozračena tolikim dozama uzastopno moguće je da njezina godišnja doza predje dozvoljenu granicu, pa ta osoba mora prekinuti rad sa rendgen aparatom.



Grafikon 1 : Relativne frekvencije prvog, drugog i trećeg razreda i njima pripadajuće eksponencijalne funkcije regresije.

Z a k l j u č a k :

1. U proteklih dvadeset i jednu godinu mjesečne doze ozračenja osoba koje koriste rendgen aparate za medicinsku dijegnostiku bile su sve manje. Sve je manji broj doza većih od 100 µGy, a sve je veći broj doza manjih od 100 µGy.

2. U budućnosti smijemo očekivati da će se vrijednosti doza ozračenja osoba kretati u okvirima vrijednosti izradjenih funkcija u koliko se uvjeti rada i ozračenja bitno ne promijene.

3. Vrlo je mala vjerojatnost da će se u buduće dogoditi da bi pojedina osoba morala prekinuti rad sa rendgen aparatom na neko vrijeme zbog ozračenja prevelikom dozom.

DISTRIBUTION OF MONTHLY RADIATION DOSES IN PERSONS HANDLING DIAGNOSTIC X-RAY MACHINES FROM 1962 TO 1982

Monthly doses of ionizing radiation received by the medical personnel using X-ray machines for diagnostic purposes are presented. By expressing the doses as relative frequencies and distributing them into six unequal classes and by designing exponential functions of regression monthly doses have been shown to have become lower in the past twenty-one years. The number of monthly doses below 100 µGy has been increasing, whereas the doses exceeding 100 µGy have been on decrease. In future monthly doses are expected to keep decreasing.

Literatura:

Fugaš M. et al "Filmdozimetrija x-zračenja i gama zračenja". Arhiv za hig.rada i toksikologiju. Vol. 10 Zagreb 1959.

Pavlić I. "Matematička statistika". "Privreda" Zagreb 1962.

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. jun 1983.

Krišanović Dragutin
INSTITUT ZA MEDICINU RADA
I RADIOLOŠKU ZAŠTITU
"Dr.Dragomir Karajović"
B e o g r a d

MERENJE I ANALIZA PODATAKA O IZLOŽENOSTI JONIZUJUĆIM ZRAČENJIMA LICA KOJA RADE SA IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA I OSTALOG STANOVNIŠTVA

REZIME: Na području Kragujevca 1981.godine korišćeno je 18 dijagnostičkih rendgen-aparata u medicinskoj i stomatološkoj dijagnostici, odnosno, 7000 stanovnika tog područja dolazi u proseku na jedan rendgen-aparat. Broj dijagnostičkih rendgenstkih pregleda u toku 1981.godine za to područje bio je 158.500 pregleda. Po jednom stanovniku tog područja izvrši se u proseku 1,2 pregleda u toku godine. G.Z.D. kao posledica ovih dijagnostičkih pregleda za područje Kragujevca za 1981.god. iznosi 337± 69 μSv.

Podatak Koriteta Ujedinjenih nacija, objavljen 1958.god., da je medicinska upotreba rendgen-aparata najmasovniji veštački izvor jonizujućih zračenja (1) bio je glavni argumenat da procenimo koliko je izlaganje stanovništva od medicinske upotrebe rendgen-aparata u sadašnjim uslovima. Za posmatranje korišćenja rendgen-aparata i procenu ozračenosti od istih opredelili smo se za područje Medicinskog centra Kragujevac. Posmatranja su obavljena u toku 1981.godine.

Na posmatranom području te godine korišćeno je 18 dijagnostičkih rendgen-aparata u medicinskoj i stomatološkoj dijagnostici, odnosno, 7000 stanovnika tog područja dolazi u proseku na 1 rendgen-aparat. Ukupan broj dijagnostičkih rendgen-pregleda u medicinskim ustanovama područja Kragujevca u toku 1981.godine iznosio je ukupno 158.500 pregleda. Od ovog broja je 80% pregleda obavljeno snimanjem, a samo 20% pregleda obavljeno prosvetljavanjem. U ovaj broj rendgenskih pregleda nisu uračunati pacijenti sa rendgen-terapije, pacijenti radioizotopne labaratorije kao i pacijenti stomatološke službe.

Uporedivši ukupan broj pacijenata na rendgenskim pregledima u svim onim zdravstvenim organizacijama područja Kragujevca, u kojima se koriste rendgen-aparati, sa brojem stanovnika tog područja konstatovali smo da je na svakih 100 stanovnika područja izvršeno 121 rendgenskih pregleda, odnosno, da je svaki stanovnik područja Kragujevca u toku 1981.godine bio 1,2 puta na rendgenskom pregledu u

Kragujevcu. Muško stanovništvo je češće na rendgenskim pregledima u odnosu na žensko. Taj odnos iznosi 128 muških prema 115 ženskih pacijenata na 100 stanovnika tod područja. Prema starosnoj dobi pacijenata najzastupljenija generacija je ona koja je i najproduktivnija, tj. generacija stara između 25-30 godina. To povećanje broja na rendgenskim pregledima iznosi 40% u odnosu na prosek, a zastupljenost dece i omladine stare do 15 godina iznosi svega 20% od srednje zastupljenosti (121 pregled na 100 stanovnika.)

Na osnovu prikupljenih brojnih vrednosti rendgenskih pregleda za područje Kragujevca za 1981.god. konstatovali smo da su samo pregledi pluća (snimanje i prosvetljavanje pluća) zastupljeni više od 77% svih rendgenskih pregleda. Iako su rendgenski pregledi pluća zastupljeni u najvećem broju slučajeva u odnosu na sve ostale rendgenske preglede, ti pregledi daju znatno manje ozračenje gonade pacijenata nego drugi rendgenski pregledi, koji ozračuju direktno gonade. Međutim, kod snimanja pluća dolazi do znatnog ozračenja hematopoetskog i limfatičnog tkiva.

Doza koju prime gonade pacijenata za vreme rendgenskog pregleda najviše zavisi od vrste rendgenskog pregleda. Iako najmanju procenjenu dozu na gonade daju standardna PA snimanja pluća (0,2±0,1 μSv) pa do nekoliko hiljada mikro Siverta kod snimanja kukova, karlice i intravenozne pijelografije. Ni sva snimanja pluća ne daju iste doze na gonade. Iako, fluorografsko snimanje pluća daje 10 puta veću dozu na gonade nego standardno PA snimanje pluća. Rendgenski pregledi prosvetljavanjem vezani su za vreme, pa i doza na gonade zavisi od dužine pregleda, Rendgenski pregled pluća prosvetljavanjem koji ne traje duže od 30 sekundi daje dozu na gonade od 10-20 μSv, a pregled jeluca prosvetljavanjem traje vremenski duže a i snop X-zraka je bliži gonadama pa su i doze na gonade tada veće za 20-40 puta, odnosno iznose 200-800 μSv.

Genetski značajna doza (G.Z.D) koja je značajna pri proceni ozračenosti jednog dela ili cele populacije definiše se kao ona gonadna doza koja, ukoliko je primila svaka (bilo koja) jedinka unutar populacije, može proizvesti isti ukupni genetski efekat na populaciju kao i zbir pojedinih doza koje su stvarno primljene. Ovako definisana G.Z.D. može se matematički prikazati kao proizvod srednje gonadne doze (D_i) koju je primila osoba rendgenski pregledana (F_i) i broja očekivane dece (r_i) te osobe (što se smatra da će im imati u budućnosti). Zbir tih proizvoda za sve jedinke unutar populacije kod koji su vremeni

rendgenski pregledi daće pokazatelj ukupnog genetskog efekta za tu populaciju. Tako se G.Z.D. može algebarski prikazati:

$$G.Z.D. = \frac{\sum_i \bar{N}_i D_i P_i}{\sum_i N_i P_i}$$

gde je:

$\bar{N}_i$ = broj osoba unutar populacije starosti "i" kod kojih su vršeni rendgenski pregledi,

D_i = srednja gonada doza za osobe starosti "i" kod kojih su vršeni rendgenski pregledi,

P_i = broj očekivane dece za osobe starosti "i"

N_i = broj osoba unutar populacije starosti "i"

Ukupna genetski značajna doza (G.Z.D.) za populaciju područja Kragujevca koja je u toku 1981.god. bila na rendgenskim pregledima u cilju dijagnostike iznosi 337± 69/uSv. Međutim, G.Z.D. za populaciju muškog pola iznosi 437± 81/uSv, a za žensku populaciju 215±55/uSv.

Ako posmatramo vrednost G.Z.D. prema starosnoj dobi populacije možemo konstatovati da u početku vrednost G.Z.D. opada do jedne generacije, tj. do generacije stare 20-24 godine pa opet dalje ima tendenciju porasta. Ovaj porast kod starije generacije jeste posledica porasta rendgenskih pregleda kod te generacije. Međutim, porast G.Z.D. kod najmlađe populacije moramo tražiti u drugom uzroku. Premda je populacija do 14 godina starosti najmanje zastupljena u ukupnom broju rendgenskih pregleda, ipak kod dece se vrši masovno snimanje kukova koje daje i veliku dozu na gonade pa i veliku vrednost G.Z.D.

ZAKLJUČAK

Prema zadatku ovog rada i na osnovu napred izloženog možemo zaključiti sledeće:

1. ovo istraživanje odnosi se na područje Kragujevac gde je prema popisu stanovništva 1971.godine bilo 130.120 stanovnika od čega 49,6% muških i 50,4% ženskih.

2. na istom području korišćeno je 18 dijagnostičkih rendgen aparata.

3. u toku 1981.god. izvršeno je 158.500 rendgenskih pregleda, odnosno 1,2, pregled po jednom stanovniku.

4. muško stanovništvo bilo je na rendgenskim pregledima u 52,3%, a žensko sa 47,7% slučajeva.

5. najmanje zastupljena generacija na rendgenskim pregledima jeste generacija do 14 godina, a najmasovniji rendgenski pregledi su kod generacije od 25-29 godina i starije od 45 godina.

6. najčešći rendgenski pregledi su snimanje i prosvetljavanje pluća.

7. genetski značajna doza (G.Z.D.) za populaciju područja Kragujevca je 337±69 uSv.

8. G.Z.D. za mušku populaciju iznosi 437±81 uSv, a za žensku 215±55 uSv.

9. populacija do 14 godina starosti ima veću G.Z.D. od populacije stare 20-24 godine.

10. uzrok ovog porasta G.Z.D. kod dece jeste masovno snimanje kukova kod dece.

Summary

MEASUREMENTS AND ANALYSIS OF DATA ON EXPOSURE TO IONIZING RADIATIONS OF PERSONS HANDLING WITH SOURCES OF IONIZING RADIATIONS AS WELL OF THE OTHER POPULATION

In 1981. on the territory of Kragujevac 18 diagnostic X-Ray apparatus were used in medical and dental diagnostics, i.e. there are approximately 7000 of citizens of this territory per one X-Ray apparatus. For this territory the quantity of diagnostic X-Ray examinations was found to be 158.5oo in 1981. During a year 1.2 of examinations per one citizen of this territory have been approximately done . Genetically significant dose that has been originated by these diagnostic examinations was found to be 337±69 uSv. for territory of Kragujevac in 1981 .

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun.1983

Srpko Marković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "ZAŠTITA"

PROCENA APSORBOVANIH DOZA ZRAČENJA OSOBA IZLOŽENIH U AKCIDENTU "PRIBOJ"

REZIME U radu su prikazani rezultati merenja jačina apsorbovanih doza zračenja radijacionog polja,originalnog radiografskog izvora zračenja Ir - 192,aktivnosti 275 GBq,izgubljenog u akcidentu "Priboj".Kako su faktori geometrije i vremena bili delimično neodredjeni vrednosti primljenih doza,pri konačnoj proceni,date su u rasponima.

UVOD

Od svih standardnih primena izvora jonizujućih zračenja u industriji,metoda industrijske radiografije je nejkritičnija sa gledišta zaštite od zračenja.Panoramsko snimanje je tehnika pri kojoj dolazi do najvećeg izlaganja zračenju,kako profesionalnog osoblja,tako i šire okoline.

Kako primena izvora jonizujućih zračenja,u savremenoj tehnološkoj praksi,stalno raste,verovatnoća za pojavu neočekivanih radijacionih situacija nije zanemarljiva i one se mogu očekivati. Radijacioni akcidenti,i u budućnosti,biće neizbežan pratilac široke upotrebe izvora zračenja svuda u svetu,pa i kod nas.

Najozbiljnija akcidentalna situacija u industrijskoj radiografiji,po pravilu,je gubitak radiografskog izvora,što je uzrok i Pribojskog akcidenta.

Kod akcidenata kao što je gubitak radiografskog izvora, stepen ozračenosti osoblja i šire okoline je uglavnom teško odrediti,zbog neodredjenosti faktora geometrije i vremena,kao neophodnih parametara pri donošenju konačne procene.

Akcident u Priboju je jednostavan problem sa gledišta zaštite od zračenja.Radiografski izvor je bio dobro kapsuliran i hermetizovan,te su,u odsustvu kontaminacije,sve osobe izlagane samo spoljašnjem ozračivanju.

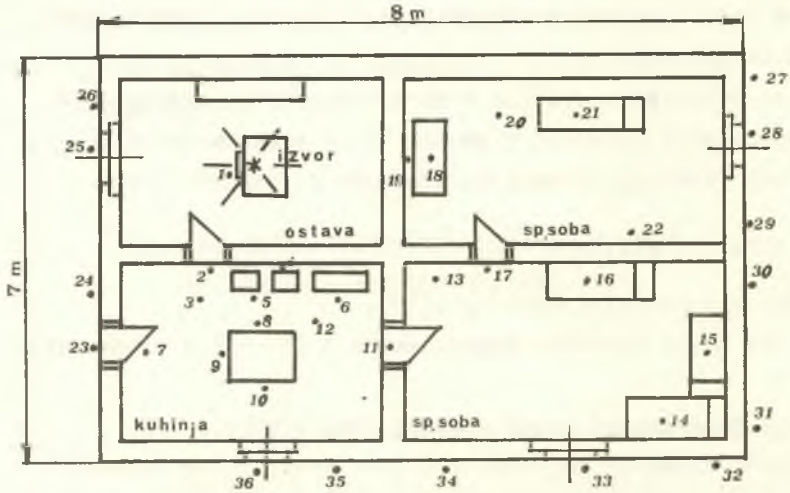
Namera ovog rada je,da,na osnovu topografije radijacionog polja i raspoloživih podataka o geometriji i vremenu ozračivanja, doprinese što tačnijoj proceni ozračenosti izloženih osoba.

1. OSNOVNI PODACI O AKCIDENTU "PRIBOJ"

Vrsta izgubljenog radioizotopa: Ir - 192.
Aktivnost: 296 GBq u trenutku kapsuliranja i 275 GBq u vreme akcidenta.
Tip uredjaja: defektoskop Gammarid,proizvodnje SSSR.
Datum gubitka izvora: 12.08.1982.
Gubitak izvora je,od strane radne organizacije - izvodjača snimanja,otkriven 26.08.,14 dana posle ispadanja iz uredjaja.
Nadležni republički organ obavešten je usmeno 30.08. (18 dana nakon gubitka izvora),a pismeno obaveštenje o akcidentu dobijeno je dan kasnije.
Dana 03.09. u 10 h (22 dana posle gubitka izvora) započela je organizovanja akcija traganja.
Izgubljeni izvor zračenja je pronadjen,u ostavi privatne kuće,dana 04.09.,u 1 h ujutru,posle 15 časova traganja.Odmah je izvršena evakuacija stanara zgrade,a ozračeni subjekt,koji je imao vidljive radijacione opekotine ,pronadjen je i stavljen na lekarsku negu.
Oko 17 h istog dana izvor zračenja je odložen u odgovarajući kontejner.U vremenu od otkrivanja izgubljenog izvora,do skladištenja istog u odgovarajući kontejner,vršena su detaljna merenja jačina doza zračenja radijacionog polja i prikupljani su podaci o geometriji i vremenu ozračivanja izloženih osoba.

2. REZULTATI MERENJA JAČINA APSORBOVANIH DOZA ZRAČENJA

Skica prostorija zgrade sa položajem izvora zračenja i raspored mernih tačaka dati su na slici 1.,a odgovarajuće vrednosti jačina apsorbovanih doza zračenja u vazduhu date su u tabeli 1.

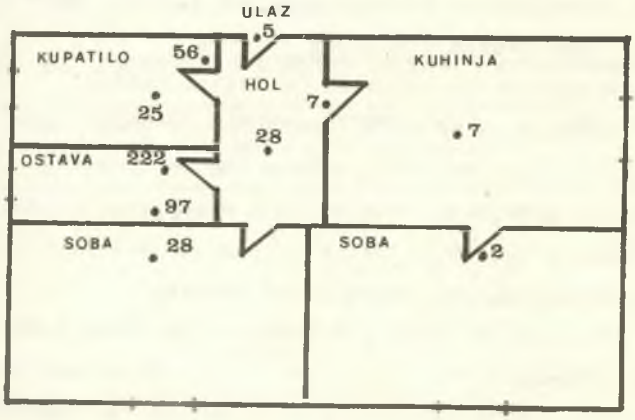


Sl. 1. Položaj izvora i raspored mernih tačaka.

TAB br. 1. Vrednosti jačina apsorbovanih doza zračenja

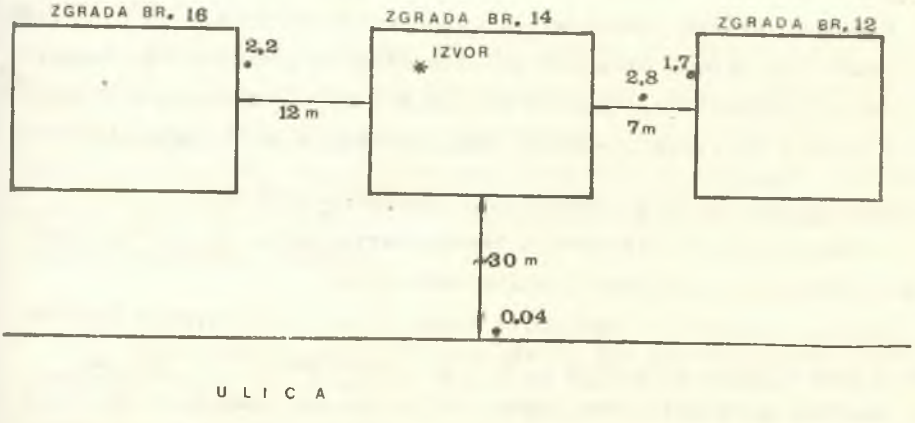
Merna tačka	Jačina aps. doze (nGy/s)	Merna tačka	Jačina aps. doze (nGy/s)
1.	77 840	19.	556
2.	2 780	20.	70
3.	1 668	21.	28
4.	111	22.	14
5.	61	23.	122
6.	70	24.	1
7.	150	25.	890
8.	36	26.	6
9.	33	27.	1
10.	21	28.	14
11.	17	29.	0.3
12.	111	30.	fon
13.	3	31.	fon
14.	6	32.	fon
15.	1.5	33.	2
16.	4	34.	1
17.	14	35.	11
18.	334	36.	28

Na slikama 2. i 3. prikazana su radijaciona polja na I spratu zgrade br. 14 i u okolini zgrade.Raspored mernih tačaka i vrednosti jačina apsorbovanih doza,u jedinicama nGy/s,prikazani su na slikama.



Sl. 2. Raspored mernih tačaka i jačine apsorbovanih doza u jedinicama nGy/s,na spratu zgrade br. 14.

Položaj izvora: u prizemlju zgrade,neposredno ispod ostave.



Sl. 3. Polje zračenja oko zgrade br. 14.Vrednosti jačina apsorbovanih doza,u jedinicama nGy/s,date su na slici.

3. PRETPOSTAVKE

3.1 Na osnovu laboratorijskih merenja originalno kapsuliranog izvora zračenja,aktivnosti 229 GBq,aproksimirana vrednost jačine apsorbovanih doza zračenja u vazduhu,za izvor aktivnosti 275 GBq,na rastojanju 2-5 cm od kapsuliranog izvora iznosi od 8.3 do 1 mGy/s.

3.2 Geometrija i vreme ozračivanja ugroženog radnika

Ugroženi radnik ozračivan je uglavnom na četiri načina:

a. - lokalno - izvor zračenja je nosio u desnom,donjem džepu radne bluze,u vremenu 1 ili 2 dana,po 2 ili 4 časa dnevno,hodajući. Realnost ove pretpostavke potvrđuju radijacione opekotine II stepena,veličine dečje šake,na nadlanici desne ruke,koju je,hodajući, držao u desnom džepu pantalona,neposredno ispod izvora.

b. - lokalno - izvor zračenja je nosio u levom,gornjem džepu košulje ili radne bluze,u vremenu 1 ili 2 dana,po 2 ili 4 časa dnevno, hodajući ili sedeći,što je uzrok radijacionih opekotina II stepena, veličine ljudske šake,na levoj strani grudnog koša,ispod rebara.

c.- homogeno - sa 1 m rastojanja od izvora koji je bio okačen na vešalici u portirnici,u vremenu 2 ili 4 dana,po 6 ili 8 časova dnevno.

d. - homogeno - za vreme boravka u kući,u prisustvu izvora u ostavi kuće,u vremenu od 17 ili 19 dana.Na osnovu prikupljenih podataka, dnevno vreme boravka ugroženog radnika u mernim tačkama sa sl. 1. iznosi: m.tačka 7.- 4 h,m.tačka 16. - 10 h,ostava - 0.08 h.

3.3 Ugroženi radnik ozračivan je lokalno sa rastojanja od 2 do 5 cm.

3.4 Značajnim dozama ozračeni su samo članovi porodice ugroženog.

3.5 Izvor zračenja je,odmah po unošenju u kuću,odložen u ostavu.

3.6 U ostavi je izvor uzrokovao homogeno polje od 5.6 μGy/s.

4. PRELIMINARNA PROCENA OZRAČENOSTI UGROŽENOG RADNIKA

Uzimajući u obzir gornje pretpostavke,jedna od mogućih procena ozračenosti ugroženog radnika može biti:

4.1 Lokalno ozračenje - nadlanica desne ruke i leva strana grudnog koša,ispod rebara: minimalno 10 Gy , maksimalno 200 Gy.

4.2 Homogeno ozračenje: minimalno 0.19 Gy,maksimalno 0.40 Gy.

5. PROCENA OZRAČENOSTI ČLANOVA PORODICE

Podaci o geometriji i vremenu ozračivanja članova porodice ozračenog radnika,kao i,na osnovu njih,izvršena procena primljenih doza,dati su u tabeli 2.

TAB. 2. Ozračenost članova porodice ugroženog radnika

R.br.	Subjekt	Merna tačka	Vreme borav. (h)	Broj dana	Vrednost apsorb. doze (Gy) minim.	maksim.
1.	A - supruga	14	7.5	14 - 16	0.002	0.0024
		18	7.5	3.5	0.032	0.032
		9	2 - 4	17 - 19	0.0041	0.0091
		5	1	17 - 19	0.0037	0.0042
		3	1	17 - 19	0.102	0.114
		ostava	0.17	17 - 19	0.058	0.065
				ukupno:	0.2	0.25
2.	B - sin	18	10	14 - 16	0.168	0.188
		14	10	3.5	0.001	0.001
		8	1 - 2	17 - 19	0.002	0.005
		ostava	0.05	17 - 19	0.017	0.019
				ukupno:	0.19	0.21
3.	C - sin	15	10	17 - 19	0.001	0.001
		3	1 - 2	17 - 19	0.102	0.228
		ostava	0.05	17 - 19	0.017	0.019
				ukupno:	0.12	0.25
4.	D - unuka	18	12	3.5	0.05	0.05
		3	1 - 2	4	0.024	0.048
				ukupno:	0.074	0.098

6. ZAKLJUČAK

Kako je od trenutka gubitka izvora do njegovog pronalaženja proteklo više od 20 dana,nesigurnost podataka o geometriji i vremenu ozračivanja,naročito za ugroženog radnika,može biti vrlo velika.Za dobijanje tačnije procene potrebno je prikupiti verodostojnije podatke i konsultovati biodozimetrijske nalaze,naročito u slučaju ozračenog radnika.

ABSTRACT

This paper deals with results of the absorbed dose rate measurements of the radiation field of the radiographic source Ir - 192 (whose activity was 275 GBq),which had been lost in the "Priboj" acident.Since time and geometrical factors were partialy undetermined,the estimated values are given in ranges.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

B.Pucelj, R.Martinčič
Institut "Jozef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

ISKANJE IZGUBLJENEGA IZVORA

POVZETEK Ob vse širši uporabi zaprtih radioaktivnih izvorov pride iz različnih razlogov često do izgube izvora. Zaradi potencialne nevarnosti, ki jo tak izvor lahko predstavlja za nekvalificirano osebo, ki bi ga našla, je potrebna čim hitrejša akcija, da se izvor odkrije. V prispevku poročamo o tovrstni akciji Mobilne enote Ekološkega laboratorija Instituta "Jožef Stefan" ob izgubi 7,1 GBq zaprtega industrijskega izvora ^{137}Cs.

V aprilu 1982 je Republiški sanitarni inšpektorat SR Slovenije zaprosil Mobilno enoto Ekološkega laboratorija Instituta "Jožef Stefan" v Ljubljani za pomoč pri iskanju zaprtega izvora ^{137}Cs aktivnosti 7,1 GBq, ki so ga pogrešili v kemijski tovarni, kjer je bil vgrajen kot del merilnika gostote.

Preliminarna preiskava je pokazala, da so kontejner z izvorom nehote in nevede odstranili iz tovarne ob koncu l. 1981. Ker je bila zunanja stena kontejnerja iz litega železa, je bilo najverjetneje, da je končal med starim železom. Ekipa Mobilne enote je zato z merilniki hitrosti doze Berthold LB 1200 preiskala vse potencialne možne lokacije, vendar hitrost doze ni nikjer presegla vrednosti, ki je značilna za ozadje. Ker pa je obstajala možnost, da bi kontejner z izotopom pretalili skupaj s starim železom v kateri od slovenskih talilnic, je ekipa povsod odvzela tudi vzorce zračnih filtrov čistilnih naprav in prahu okolice peči. Vse vzorce smo analizirali na visokoločljivostnem spektrometru gama. Izotop ^{137}Cs smo v različnih količinah odkrili v vseh

vzorcih, kar ni presenetljivo, saj se ^{137}Cs zaradi jedrskih poskusov nahaja praktično povsod v okolju. Specifična aktivnost večine vzorcev je bila v okviru vrednosti, ki so značilne za okolje (1 - 70 Bq/kg). Znatno pa je od teh vrednosti odstopala specifična aktivnost filtra, ki je bil odvzet iz čistilne naprave peči na enem od možnih nahajališč izvora in ki je bil v uporabi med odstranitvijo izvora iz tovarne in začetkom iskanja izvora. Specifične aktivnosti 1150 ± 23 Bq/kg ni bilo mogoče pojasniti niti z morebitno kontaminacijo filtra z izotopom ^{137}Cs iz zraka, saj so tudi najkonservativnejše ocene dale zgolj 61 Bq/kg kot najvišjo možno mejo specifične aktivnosti filtra. Na podlagi tega smo sklepali, da je izmerjena aktivnost ^{137}Cs v filtru posledica pretalitve kontejnerja z izvorom v peči.

ABSTRACT The widespread use of sealed sources can result in a loss of such source. Because of a potential danger which a lost source can present for un unqualified person, a quick action must necessarily be undertaken for retrieval of a lost source. A case of a search for a missed industrial source of 7,1 GBq ^{137}Cs is reported.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

B. Vekić, M. Ranogajec-Komor, I. Dvornik, S. Miljanić, A. Gregoran, Dž. Korenika
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

DOZIMETRIJSKA MJERENJA PRI MONTAŽI IZVORA ^{60}Co AKTIVNOSTI 1.85 PBq

SAŽETAK Prikazani su rezultati mjerenja doza gama zračenja na različitim dijelovima tijela zaposlenog osoblja, i na različitim mjestima u prostorijama u kojima i oko kojih se radilo pri montaži izvora Co-60 aktivnosti 1.85 PBq (50.000 Ci). Mjerenja su načinjena pomoću tri vrste ličnih dozimetara (TLD, film-dozimetri, džepne ionizacione komore) istovremeno nošenih. Dobiveni rezultati pokazuju da je, uz dobro isplaniran i uvježban postupak, bez opasnosti moguće raditi s vrlo velikim aktivnostima radioaktivnih izvora..

UVOD

Potreba za izvorom ^{60}Co velike radioaktivnosti, koji bi se mogao koristiti za znanstvena i razvojna istraživanja, kao i za poluindustrijsku primjenu (npr. sterilizacija), postajala je na Institutu "Ruđer Bošković" sve očiglednija. Zahvaljujući razumijevanju Međunarodne agencije za atomsku energiju (MAAE), koja nam je u vidu tehničke pomoći dodijelila 1.85 PBq (50.000 Ci) ^{60}Co, pristupilo se u toku prošle i početkom ove godine postavljanju ovog izvora.

Imajući u vidu karakteristike prostorija u koje je izvor ^{60}Co trebalo postaviti, te karakteristike postojećih i novih uređaja za pogon izvora, odlučeno je, u dogovoru s MAAE, da se ^{60}Co kupi od firme Techsnabexport, SSSR. 48 izvora ^{60}Co ukupne aktivnosti od 1.85 PBq dopremljeno je u 4 kontejnera tipa KTB-26-12 R. Ovi kontejneri, namijenjeni za bezopasno skladištenje, transport i instaliranje jakih izvora zračenja, sadrže u svom centralnom dijelu bubanj s 12 mjesta za smještaj

izvora ^{60}Co. Posebnim mehanizmom na vrhu kontejnera moguće je okretati bubanj, pri čemu se izvori ^{60}Co ispuštaju iz kontejnera s donje strane.

Cijeli posao preseljenja izvora ^{60}Co iz transportnog kontejnera (KTB-26-12 R) u uređaj u komori za zračenje odvijao se u više faza. Redosljed radnih operacija bio je: (a) istovar transportnih kontejnera; (b) skladištenje transportnih kontejnera; (c) dovoz i namještanje transportnog kontejnera iznad vlastitog kontejnera u kojem je pripremljen jedan nosač izvora; (d) ispuštanje 4 izvora ^{60}Co poznate aktivnosti u jedan nosač izvora; (e) transport vlastitog kontejnera s jednim nosačem izvora u komoru za zračenje; (f) dizanje i centriranje vlastitog kontejnera iznad jedne od cijevi u uređaju za zračenje; (g) spajanje nosača izvora s uređajem za daljinsko spuštanje izvora; (h) spuštanje nosača izvora u uređaj. Operacije navedene pod c-h morale su biti ponovljene 12 puta.

Trebalo je doze zračenja osoblja zaposlenog na montaži izvora smanjiti na najmanju mjeru (princip "ALARA"), te smanjiti vjerojatnost mogućeg akcidenta. Zbog toga su sve radne operacije detaljno planirane i uvježbane. Za uvježbavanje radnih operacija, od isporučioca ^{60}Co je tražen i dobiven prazan kontejner istog tipa. Na temelju iskustva stečenog tokom uvježbavanja s lažnim izvorima napisan je deteljan scenario svih postupaka postavljanja izvora. Najbolji pokazatelj uspješnosti ovih priprema i uvježbavanja bila je dozimetrijska kontrola osoblja tokom preseljenja ^{60}Co iz transportnog kontejnera u uređaj za zračenje. Za mjerenje doza zračenja (svi dozimetri su nošeni na grudima) korištene su tri vrste dozimetara (TLD, film-dozimetri, ionizacione komore), a za raspodjelu doza zračenja po različitim dijelovima tijela i po radnim i okolnim prostorijama upotrebljeni su TL dozimetri. Za dozimetriju u slučaju akcidenta radnici su nosili i dozimetar DL-M4.

MATERIJAL I METODE

Film-dozimetri korišteni u ovim ispitivanjima su standardni "Kodak"-ovi film-dozimetri koji se godinama koriste u Institutu "Ruđer Bošković" za ličnu dozimetrijsku kontrolu osoblja izloženog izvorima zračenja. Kalibracija, razvijanje i

očitavanje film-dozimetara vršila je Služba zaštite od zračenja Instituta "Ruđer Bošković" (1). Ova Služba je također kalibrirala sve ionizacione komore.

Svi TL dozimetri očitavani su pomoću čitača TOLEDO 654 ("Pitman", Engleska). Doze zračenja prikazane u ovom radu mjerene su pomoću TLD na bazi MgB_4O_7:Dy, koji je proizveden u Institutu "Boris Kidrič", Vinča (1, 2, 3, 4, 5). Dimenzije korištenih TLD su ø 6 mm x 0.7 mm. U posebno konstruiranim kazetama mošenim na grudima (mjerenje doza za cijelo tijelo) bila su smještena po 3 ovakva TLD. Svi TLD bili su upakirani u materijal neproziran za svjetlo. Jedan TLD bio je smješten između Cu-pločica, jedan između Al-pločica, a jedan je bio bez apsorbera. Za mjerenje raspodjele doza zračenja po različitim dijelovima tijela, 3 TLD su, radi elektronske ravnoteže bila smještena u gumeni džep. Rezultati izmjereni pomoću TLD su, prema tome, uvijek srednja vrijednost 3 TL dozimetra, koji su pojedinačno kalibrirani pomoću kalibriranog izvora ^{60}Co i/ili ^{226}Ra.

REZULTATI I DISKUSIJA

Transportni kontejneri s 1.85 PBq ^{60}Co uskladišteni su kroz 60 dana neposredno uz i/ili ispod radnih prostorija u kojima se posao normalno odvijao. Brzina doze na površini svakog od 4 transportna kontejnera bila je 1.43 nC/kgs (20 mR/h), a metar od kontejnera oko 0.07 nC/kgs (1 mR/h). Za cijelo vrijeme skladištenja u svim prostorijama bili su postavljeni TL dozimetri. Maksimalno izmjerena doza zračenja u užoj okolini kontejnera nađena je na ulazu u hodnik i stubište, i na samom stubištu, i iznosila je 0.15 mGy (15 mrad) za cijeli period od 60 dana. Obzirom da je to otprilike dvostruki iznos osnovnog (prirodnog) zračenja ("background") nedvojbeno je da osoblje, koje je koristilo taj dio stubišta i prolazilo hodnikom, nije primilo mjerljive doze zračenja.

Preseljenju 1.85 PBq (50.000 Ci) ^{60}Co iz transportnih kontejnera u uređaj u komori za zračenje pristupilo se izvan radnog vremena Instituta pošto su svi radni postupci detaljno uvježbani pomoću "lažnih" izvora. Svaki radnik je, prema pripremljenom scenariju, dobio specifična zaduženja, a osim toga i svaki pojedini zahvat je barem dvostruko kontroliran. Na

najpogodnijim mjestima postavljena su dva monitora (Frieseke-Hoepfner) s ugrađenim alarmima, a s druga dva prenosna monitora (FH 40 TLS) mjerene su brzine ekspozicijske doze zračenja pri svakoj manipulaciji s izvorima ^{60}Co.

TAB. br.1. Doze zračenja (mGy) izmjerene pomoću različitih dozimetara nošenih na grudima pri montaži izvora ^{60}Co

radnik	dozimetri nošeni 60 dana		dozimetri nošeni prilikom preseljenja Co-60 iz transportnih kontejnera u uređaj			srednja vrijednost
	film-dozimetri	TLD	ioniz. komore	TLD_1	TLD_2	
A.	0.30	0.38	0.48	0.41	0.37	0.39
B.	<od 0.20	0.16	0.13	0.16	0.12	0.14
C.	<od 0.20	-	0.09	0.12	0.08	0.10
D.	<od 0.20	-	0.07	0.07	0.06	0.07
E.	0.25	0.31	0.31	0.27	0.30	0.29
F.	<od 0.20	0.16	-	0.09	0.08	0.11
G.	<od 0.20	0.09	0.08	0.06	-	0.08
H.	<od 0.20	0.10	-	0.08	-	0.09
I.	0.50	0.33	0.30	0.34	-	0.37
J.	<od 0.20	0.09	-	0.05	-	0.07

Rezultati prikazani u tabeli 1. pokazuju ukupne doze zračenja primljene u cijeloj kampanji montaže ^{60}Co. Cjelokupno osoblje je na grudima nosilo film-dozimetre, TLD i ionizacione komore od časa istovara do konačnog postavljanja ^{60}Co u uređaj. Osim toga, u toku operacija premještanja ^{60}Co iz transportnih kontejnera u uređaj, svi radnici su dobili još po jedan ili dva dozimetra (ovisno o predviđenim zaduženjima), koji su trebali pokazati dozu zračenja pri samom preseljenju ^{60}Co. Ovi dodatni dozimetri su trebali poslužiti i za kontrolu doza zračenja u određenim fazama preseljenja ^{60}Co i/ili za točniju dozimetriju u slučaju bilo kakve nezgode. Budući da nezgoda prilikom izvođenja cijelog posla nije bilo, svi izmjereni rezultati, zajedno sa srednjim vrijednostima očitavanja svih dozimetara,

prikazani su u tabeli 1.

Kao što se iz prikazanih rezultata vidi, dobiveno je jako dobro slaganje vrijednosti izmjerenih pomoću različitih vrsta dozimetara. No, ono što je za ovakav posao još važnije slijedi iz činjenice da je maksimalna doza za cijelo tijelo samo 0.39 mGy. Budući je energija gama zraka ^{60}Co dosta visoka (1.17 i 1.33 MeV), izmjerene doze bez sumnje nameću zaključak da su mjere zaštite poduzete pri montaži 1.85 PBq ^{60}Co bile zadovoljavajuće. Njihova usporedba s dozama koje su pri sličnim operacijama izmjerene u Institutu za izotope u Mađarskoj (6) to samo potvrđuje.

TAB. br. 2. Raspodjela doza zračenja (mGy) po tijelu izmjerena pomoću TLD

radnik	mjesto na kojem je nošen dozimetar					
	grudi	glava (čelo)	gonade	lijeva ruka (šaka)	desna ruka (šaka)	noga (na cipeli)
A.	0.39	0.35	0.19	0.21	0.44	0.15
B.	0.14	0.17	0.11	0.28	0.17	0.17
C.	0.10	0.11	0.09	0.12	0.15	0.07
E.	0.29	0.26	0.13	-	-	-
F.	0.11	0.5	0.4	-	-	-

Rezultati prikazani u tabeli 2. pokazuju raspodjelu doza zračenja po različitim dijelovima tijela dijela osoblja iz tabele 1. Očigledno je da doze zračenja na različitim dijelovima tijela nisu bitno više od doza zračenja izmjerenih na grudima.

Detaljan opis poduzetih klasičnih mjera zaštite od zračenja ovdje nije moguć. Moguće je, međutim, još jednim podatkom potkrijepiti njihovu uspješnost. TLD postavljen otprilike 1 m daleko od mjesta gdje su se izvori ^{60}Co ispuštali iz transportnog u vlastiti kontejner pokazivao je dozu od 52.6 mGy, dočim je drugi TLD na udaljenosti od 3 m od mjesta ispuštanja nosača izvora s ^{60}Co u uređaj pokazivao dozu od 52.5 mGy. A najviša izmjerena doza na grudima radnika bila je više od 250 puta manja od sume gornjih doza zračenja.

Prikazani rezultati pokazuju kako je, uz adekvatne mjere zaštite, zadovoljavajuću pripremu i uvježbanost osoblja, moguće raditi bez opasnosti s vrlo velikim aktivnostima radioaktivnih tvari. Temeljite pripreme za ovako odgovoran posao, kao i niske doze zračenja, te posebno uklanjanje mogućnosti bilo kakve nezgode, opravdavaju u našem slučaju relativno dugo vrijeme pripremanja i uvježbavanja posla.

SUMMARY

DOSE MEASUREMENTS AT THE MOUNTING OF 1.85 PBq ACTIVITY ^{60}Co SOURCE

The measurements of dose distribution over various body parts of personnel engaged in mounting of Co-60 source with 1.85 PBq (50.000 Ci) activity as well as dose distribution at various locations in the working area are reported. The personnel monitoring was carried out by comparing results measured at the same time by three kinds of personnel dosemeters (TLD, film dosemeter, pocket chamber dosemeter). The data point out that it is possible to work without any danger with high activity source if the procedure is well planned and if personnel is well trained.

LITERATURA

1. B. Vekić, M. Ranogajec-Komor, I. Dvornik, M. Blažević: Radiol. Iugosl., 14 (1980) 421.

2. a) M. Prokić: Zbornik radova X simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Aranđelovac, 29.5-1.6. 1979, 247.
   b) M. Prokić: Nucl. Instr. and Meth., 175 (1980) 83.

3. M. Ranogajec-Komor, B. Vekić, I. Dvornik: Zbornik radova XI jugoslovenskog simpozijuma o zaštiti od zračenja, Portorož, 21-24.4.1981, 427.

4. B. Vekić, M. Ranogajec-Komor, M. Vlatković, I. Dvornik: Radiol. Iugosl., 15 (1981) 417.

5. M. Ranogajec-Komor, B. Vekić, I. Dvornik, Dž. Korenika, A. Ruška, M. Vlatković, V. Švarcer, F. Fazarinc: Radiol. Iugosl., u štampi.

6. V. Stenzer: privatno saopćenje.

XII JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

TLD NA PODRUČJU S POVIŠENOM PRIRODNOM RADIOAKTIVNOŠĆU

M. Novaković, H. Cerovac, Alica Bauman

Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada Zagreb

U okviru merenja fona na području SR Hrvatske, nadjen je uticaj industrije koja obradjuje materijal s nešto povišenom radioaktivnošću. Kako je u blizini tih industrijskih postrojenja detektiran povišeni fon, potrebno je kontrolirati dozu koju populacija prima, što se vrši TLD-om.

UVOD

Tokom 60-tih godina vršena su obimna merenja fona na teritorij SR Hrvatske. Ta merenja vršena su bilo ionizacijskom komorom bilo sondom NaJ(Tl). Područja koja su tim mjerenjima obuhvaćena u glavnom se odnose na sjevernu Hrvatsku do Osijeka. Pošto smo ponovo prišli odredjivanju fona na istim lokacijama te na drugim, gdje nikad fon nije mjeren prvo su odredjena orijentacione vrijednosti, da bi se zatim pristupilo sistematskim mjerenjima. Na nekim nekadašnjim lokacijama došlo je izmedju 30-40 % povišenja fona. Nakon ispitivanja ustanovljeno je da to povišenje potječe od upotrebe fosfatnih gnojiva

EKSPERIMENTALNI DIO

Za momentalna orijentaciona mjerenja korišćen je uredjaj Victoreen Thyac III.

Za kontinuirana mjerenja korišteni su TL dozimetri i CaF_2: Mn(Victoreen)

Ove godine su na istim lokacijama postavljena istovremeno dva termoluminescentna dozimetra. Uz CaF_2: Mn (Victoreen) postavljen je TLD proizvodnje IBK-Vinča. U koliko ovi posljednji opravdaju povjerenje, neće se inozemni više upotrebljavati.

REZULTATI

Podaci u tablici 1. predstavljaju srednju vrijednost od 4 mjerenja tokom jedne godine.

Podaci u tablici 2 dobiveni su TLD-om, koji su bili postavljeni izmedju 200 i 205 dana na terenu, te zatim očitani. Doze su preračunate na godišnje kao i u tablici 1.

Tablica 1. Ekspozicijske doze gama zračenja 1981-1982 godine.

Lokacija	μC/kgh	μC/kg god.
Sjevero zapad.Hrvatska a)	1,68	14,69
Sjevero zapad.Hrvatska b)	2,28	15,32
Dalmacija a)	1,55	13,58
b)	1,44	12,58
c)	1,82	15,93
Pokraj TE na ugljen (1 km)	5,20	45,55
b) (3-5 km)	3,87	33,90
Pokraj tvornice cementa (200 m)	7,80	68,33

Tablica 2. Godišnje ekspozicijske doze zračenja 1982 dobivene TLD (travanj - Studeni)

Lokacija		µC/Kg god	TLD/Victoreen
Sjevero zapad.Hrvatska	a)	18,83	1,28
" "	b)	19,35	1,26
Dalmacija	a)	15,22	1,12
	b)	15,24	1,21
	c)	16,00	1,01
Pokraj TE na ugljen			
	a) (1 km)	46,30	1,01
	b) (3-5 km)	22,45*	1,51*
Pokraj tvornice cementa	(0,2 km)	64,20	1,06

* nije potpuno ista lokacija, razmak nekoliko stotina metara.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Iz tablica 1 i 2 vidi se da vrijednosti dobivene trenutnim mjerenjem i TLD variraju u prosjeku za 20 %. Ako se uzme u obzir, da su termoluminescentni dozimetri bili izloženi vremenskim promjenama od proljeća do gotovo zime, da su temperaturne razlike bile vrlo velike, mogle su se očekivati znatno veće razlike. Sve vrijednosti od 12,58-14,69 µC/kg god. izmjerene su uz morsku obalu. Vidi se snažan utjecaj deponija ugljena i cementa.

Termoluminescentna dozimetrija pokazala se kao pouzdani pokazatelj za mjerenje doza pod različitim vremenskim uslovima.

Obje metode dale su visoke rezultate na mjestima gdje dolazi do odlaganja matrijala s povišenom prirodnom radioaktivnošću, potrebnim za industrijsku proizvodnju.

TLD FIELD MEASUREMENTS IN AREAS OF HIGHER BACKGROUND RADIOACTIVITIES

M. Novaković, H. Cerovac, Alica Bauman
Institute for Medical Research and Occupational Health

The influence of technologically enhanced radioactivity has been detected in Croatia. Two methods were applied. for the determination of dose rate, instant measurements with a Victorren Thyac III instrument and TLD CaF_2:Mn.

LITERATURA

1) J.Harley: EML Procedures Manual, Hasl-300 (1972)

2. J.Harley: EML Procedures Manual, Hasl-300 revised ed. (1981).

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Janez Kristan
Republiški sanitarni inšpektorat

IZVAJANJE SANITARNEGA NADZORA V NUKLEARNI ELEKTRARNI KRŠKO V LETU 1982

REZIME: Nuklearna elektrarna Krško (NEK) je pričela obratovati 2.10. 1981. Jedrski reaktor je dosegel kritičnost 11.9.1981. Nadzor nad delovanjem NEK-a izvajata poleg drugih upravnih organov še Republiški energetski in Republiški sanitarni inšpektorat SR Slovenije. V članku je podan pregled izvajanja sanitarnega nadzora v letu 1982, podani rezultati izvajanja osebne dozimetrije delavcev NEK-a in podatki o izpustih radioaktivnih snovi iz elektrarne v reko Savo in v zrak v okolici. Podane so tudi količine trdnih radioaktivnih odpadkov, ki so nastale med delovanjem v tem letu.

UVOD

Nuklearna elektrarna Krško je v letu 1982 proizvedla 2532,875 GWh elektrike. Jedrski reaktor je bil kritičen - t.j. deloval je skupno 5.233,2 ur. V tem letu so bile tri daljše zaustavitve reaktorja (od 1.1. do 5.2., od 14.5. do 11.7. in 6.11. do 30.11.) zaradi merjenja vibracij na parogeneratorjih oz. zaradi izvajanja modifikacije napajanja parogeneratorjev.

V letu 1982 je bilo izdanih s strani Republiškega sanitarnega inšpektorata 8 poprejšnjih soglasij k odločbi o lokaciji pomožnih objektov oz. k odločbi o gradbenem dovoljenju in dve soglasji za nadaljevanje poskusnega obratovanja. V zvezi s temi soglasji se je pristojni republiški sanitarni inšpektor udeležil petih razprav. Poleg tega je bilo izdanih še 8 dovoljenj za prevoz virov ionizirajočih sevanj. Republiški sanitarni inšpektor je v letu 1982 opravil 26 rednih inšpekcijskih pregledov, ki so se nanašali predvsem na nadzor nad izvajanjem predpisov v zvezi z osebno dozimetrijo, delovanjem službe za radiološko zaščito in izpuščanjem radioaktivnih snovi v okolje.

UGOTOVITVE

Izvajanje aktivnega zdravstvenega varstva delavcev NEK. Pooblaščeni zavod ZD Krško - dispanzer za medicino dela, prometa in

športa je v letu 1982 opravil 307 obdobnih zdravstvenih pregledov delavcev NEK in 648 obdobnih pregledov ostalih zunanjih delavcev, ki izvajajo razna dela na območju NEK-a. Prvih, nastopnih pregledov je bilo 69 za delavce NEK - in 37 za zunanje sodelavce.

Osebna dozimetrija

Osebna dozimetrija se izvaja s film dozimetri, pomožna pa s penkalodozimetri in TLD dozimetri. Rezultate film dozimetrov odčitava Zavod SRS za varstvo pri delu Ljubljana.

PREGLED SKUPNIH LETNIH DOZ V NEK

skupna doza v mSv	Število delavcev NEK	zunanji	kolektivna letna doza v man.mSv
0,0 do 5	385	299	682,5
5 do 7,5	5	8	72,4
7,5 do 10	1	10	87,6
10 do 20	-	24	356,6
20 do 30	-	2	50,6
nad 30	-	-	-
		Skupno	1249,7

Najvišji dozi v letu 1982 sta sprejela 2 sodelavca Westinghouse-a, ki sta dvakrat delala na parogeneratorjih. Njihova doza je bila 22,20 oz. 28,50 mSv.

Iz rezultatov je razvidno, da so bile vse sprejete doze v letu 1982 v mejah naših in mednarodnih predpisov, večinoma daleč izpod dopustnih mej za delavce z viri ionizirajočih sevanj. Za časa vzdrževanih in kontrolnih del na parogeneratorjih so delavci zaradi skrbno načrtovanih del in omejenem času zadrževanja oz. dela v polju visokih doz dobili med tem delom le relativno nizke doze.

DOZE MED DELOM NA PAROGENERATORJIH

čas	število delavcev	najvišja doza	kolektivna doza
1.1. do 5.2.	21	5,5 mSv	28,35 manmSv
14.5. do 11.7.	26	9,05 mSv	65,50 "
6.11. do 30.11.	115	17,80 mSv	598,64 "

Kadar je obratoval reaktor, se je izvajala tudi nevtronska dozimetrija. Delavci, ki so vstopali v polja hitrih in termalnih nevtronov so sproti merili nevtronsko dozo in nosili nevtronske filme. Na filmih ni bila zabeležena nobena višja doza kot 5 mSv.

IZPUSTI IZ NEK

Tekoči izpusti

Iz oddelka za predelavo odpadkov se občasno kontrolirano izpuščajo v kanal za bistveno oskrbno vodo (ESW) manjše količine razredčenih te-

kočih radioaktivnih odpadkov. Stalni pretok hladilne vode v ESW kanalu je bil (do 1.10.1982) 2880 m^3/h, po tem datumu pa 5760 m^3/h, ker sta delovali po 2 črpalki za vodo. ESW kanal se izliva v Savo pred jezom, t.j. pred odvzemom glavne hladilne vode za kondenzatorje. Povprečni letni pretok Save pa je 240 m^3/s.

V letu 1982 so izpustili v ESW kanal 6140 m^3 odpadne vode. Skupna aktivnost vseh korozijskih, aktivacijskih in fizijskih produktov (razen H-3) v tej vodi je znašala 31,8 GBq (0,86 Ci). V tej zmesi so bili posamezni radionuklidi zastopani sledeče:

Co-58	26,3	GBq	Nb-95	27,7	MBq
CO-60	3,8	"	Sr-85	11,9	"
Mn-54	1,0	"	Fe-59	22,0	"
Cr-51	0,3	"	Sr-89	1,5	"
I-131	182	MBq	Sr-90	0,08	"
Cs-137	92,1	"	H -3	4,4	TBq

Če pogledamo razredčitve v Savi, ki ima letni pretok cca $7,5.10^9 m^3$ vidimo, da je bila povprečna letna koncentracija radioizotopa Co-58 3,5 Bq/m^3 vode, kar je le cca $3,2.10^{-4}$ % SLDK, ki jo dovoljuje naš pravilnik za pitno vodo v življenjskem okolju. Če pogledamo pa tritij, je bila povprečna letna koncentracija 590 Bq/m^3, kar je le $5,4.10^{-3}$ % SLDK v življenjskem okolju.

Plinasti izpusti

Iz NEK se izpuščajo v zrak le radioaktivni žlahtni plini in v manjših količinah tudi radioaktivni aerosoli in jod. Ta izpuščanja se skoro v celoti izvršila med izpihovanjem reaktorskega hrama ob daljših zaustavitvah reaktorja in pred izvajanji del v reaktorski zgradbi. Skupno je bilo izpuščeno v okolico 2,07 TBq radioaktivnih žlahtnih plinov, pretežno (99,5 %) Xe-133 in 33,8 MBq I-131. Povprečna letna koncentracija žlahtnih plinov (Xe-133) ob ograji elektrarne ni presegla vrednosti 2 Bq/m^3 zraka, kar je približno 0,05 % SLDK za zrak v življenjskem okolju.

Trdni radioaktivni odpadki

V letu 1982 je delovala naprava za predelavo trdnih radioaktivnih odpadkov. Obe napravi za uparevanje tekočin z radioaktivnimi snovmi sta v redu delovali. Največ odpadnih tekočin je nastajalo zaradi toplotnih raztezkov naprav in tekočin v primarnemu krogu zaradi pogostih zaustavljanj jedrskega reaktorja in izvajanja testov. Pri vsakemu ponovnem zagonu reaktorja pride v predelavo nekaj 10 m^3 kontaminirane vode, ki jo je potrebno predelati, upariti do gošče in napolniti v sode, kjer se ob dodatku cementa in drugih dodatkov strdi. Vsi trdni radioaktivni odpadki so shranjeni v 200 l kovinskih sodih v posebni zgradbi za radioaktivne odpadke.

V letu 1982 je bilo proizvedeno 1488 sodov od tega.

1374 sodov	s koncentratom iz evaporatorja	skupno 0,36	TBq
8 "	razni filtri		
5 "	izrabljene smole	skupno 0,09	"
101 "	stisnjeni odpadki	skupno 0,01	"
		skupno 0,04	"

V odpadkih je bilo največ aktivnosti (82 %) od izotopa CO-58, ostali radioizotopi so zastopani:

CO-60	6,3 %	Cr-51	0,94 %
Mn-54	3,56 %	Cs-37	0,29 %

Med ostalimi radioizotopi so opazili male količine Nb-95, Zr-95 in Fe-59. Alfa sevalcev v odpadkih ni bilo.

Kontrola radioaktivnosti okolja

Med izvajanjem stalne kontrole zraka (na 5mestih) na platoju NEK do sedaj ni bilo mogoče opaziti povečanja aktivnosti zraka ali zunanjega sevanja - ozadja. Vse zabeležene spremembe so bile v mejah naravnih sprememb aktivnosti. Povprečna radioaktivnost zraka je znašala od 2.10^{-4} do $7,5.10^{-4}$ Bq/m^3 ($2,10^{-2}$ pCi/m^3).

Meritve radioaktivne kontaminacije okolja zunaj ograje NEK-a sta izvajala Institut "Jožef Stefan" in Zavod SRS za varstvo pri delu, oba iz Ljubljane. Meritve so se izvajale po odobrenem in dogovorjenem programu. Obe pooblaščeni organizaciji pripravljata obširno poročilo o teh meritvah. Dosedanji rezultati teh meritev kažejo, da nikjer ni prišlo do pomembnega povišanja dosedanje kontaminacije vsled delovanja NEK. Z občutljivimi metodami pa je že možno na nekaterih mestih zaznati rahla povečanja koncentracije posameznih radioizotopov, kot n.pr. C—58 v vodi iz vrtine v neposredni bližini Save in večjo koncentracijo tritija v vodi, vzorcih iz Save pri Brežicah kot v vzorcih iz Save v Krškem.

V с е к ц и ј а : ДЕКОНТАМИНАЦИЈА И РАДИОАКТИВЕН ОТПАД

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Ž.Vuković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča

TRENDOVI RAZVOJA TEHNOLOGIJA OBRADE I ODLAGANJA RADIOAKTIVNIH OTPADAKA I STANJE U INSTITUTU "BORIS KIDRIČ" U VINČI

REZIME Dat je pregled tehnologija koje se u svetu razvijaju i koriste pri obradi i odlaganju radioaktivnih otpadaka sa akcentom na tehnologije koje se razvijaju u Institutu "Boris Kidrič" i očekivane pravce razvoja u narednom periodu do 2000 godine.

1. UVOD

Razvoj nuklearne energetike kao i sve šira primena nuklearne energije u medicini, industriji i drugim oblastima dovele su do veoma naglašenih problema koji se odnose na načine obrade i odlaganja radioaktivnih otpadaka. Samo od lakovodnih vodom hladjenih reaktora procene pokazuju da će izmedju 1980 i 2000 godine nastajati sledeće količine otpadaka:

- nisko i srednje aktivni otpaci bez α emitera	$9,9 \cdot 10^6 m^3$
- otpaci sa α emiterima	$1,7 \cdot 10^6 m^3$
- vitrifikovani fisioni produkti	$3,3 \cdot 10^4 m^3$

Ako se ima u vidu da će nuklearna energija u sledećim dekadama biti jedan od dominantnih izvora električne energije u mnogim zemljama i da naša zemlja predvidja izgradnju serije od najmanje šest elektrana do 2000 godine to se problem obrade i odlaganja otpadaka svih vrsta uključujući visoko aktivne otpatke iz prerade ozračenog goriva pojavljuje kao veoma aktuelan i značajan. Cilj rukovanja radioaktivnim otpacima je da se osiguraju uslovi da izlaganja zračenju u svim stupnjevima rukovanja otpacima budu niska i u skladu sa princi-

pima zaštite od zračenja koje preporučuje Medjunarodna komisija za radiološku zaštitu. Pored opšte prihvaćenih principa treba imati u vidu sledeće specifičnosti koje se odnose na radioaktivne otpatke: izlaganja zračenju budućih generacija od RAO ne treba da budu veća od generacija koje proizvode ove izvore. Ispuštanje radioaktivnih efluenata u okolinu treba da bude minimizirano. Da bi se to ostvarilo radioaktivni materijali se inkorporiraju u otpadke i čuvaju u periodu vremena za koje predstavljaju potencijalnu opasnost. I najzad doze zračenja koje se primaju na osnovu mnogih aktivnosti sa izvorima zračenja ograničavaju se tako da od rukovanja otpacima treba da čine samo jedan deo od prihvatljivih limita.

Ne ulazeći detaljnije u kategorizaciju otpadaka po aktivnostima, vrstama i tipu koje su uvek uslovne zbog niza parametara koji se moraju uzeti u obzir, sa stanovišta tehnologije obrade i odlaganja najbitnije su dve kategorije RAO. Jednu kategoriju čine visoko aktivni otpaci koji pored visoke doze zračenja oslobadjaju termalnu energiju koja se mora ukloniti hladjenjem za razliku od nisko i srednje aktivnih otpadaka koji se ne moraju hladiti.

2. OBRADA NISKO I SREDNJE AKTIVNIH OTPADAKA

2.1 Obrada tečnih efluenata

Tečni efluenti su u odnosu na zapreminu najveća kategorija otpadaka. Redukcijom zapremine i separacijom radionuklida dobijaju se s jedne strane dekontaminirane tečnosti a s druge strane koncentrati koji se solidifikuju i pripremaju za trajno odlaganje.

Za sada se pri obradi efluenata najviše koriste tri metode: hemijska precipitacija, jonska izmena i uparavanje.

Hemijska precipitacija je jednostavna i pogodna metoda za obradu tečnih efluenata niskog nivoa aktivnosti i velikog sadržaja drugih polutanata. Faktori dekontaminacije (FD) od 10-100 postižu se ako nema kompleksirajućih agenasa koji ometaju koprecipitaciju. Dodatkom odgovarajućih neaktivnih jona moguće je povećati FD do 10^3.

Jonska izmena je pogodna za dekontaminaciju vode sa niskim sadržajem soli. Koristi se kod dekontaminacije primarnog rashladjivača i voda od bazena za hladjenje gorivnih elemenata. Ako je sadržaj soli veliki brzo se iskoristi kapacitet izmene.

Uparavanje je najefikasnija, najuniverzalnija i najskuplja metoda. Izuzev malih količina isparljivih radionuklida vezanih u organske spojeve ili tricijuma ostali radionuklidi separišu se uglavnom

kvantitativno. Da bi se sprečilo odnošenje kapljica vode sa parom što znači i radioaktivnost koriste se filtri, venturi skraberi,kolone i drugo čime se postižu FD 10^4-10^6.

Uparivači se uspešno koriste u mnogim nuklearnim centrima, nuklearnim elektranama i postrojenjima za preradu goriva.

2.2 Solidifikacija koncentrata

Skoncentrisani talozi, jonoizmenjivači i koncentrati uparivača posle tretmana nisko i srednje aktivnih efluenata sa celokupnim radioaktivnim sadržajem moraju se prevesti u čvrste produkte pogodne za konačno odlaganje. Ovi produkti treba da budu kompaktni, sa fiksiranim radionuklidima, bez mogućnosti ispiranja sa vodom i vodenim rastvorima soli. Produkti ne smeju da imaju slobodnu vodu a treba da budu otporni na ozračivanje i koroziju. Za solidifikaciju se uglavnom koriste cementacija, bitumenizacija i inkorporacija u plastiku.

Cementacija je proces koji se široko koristi za solidifikaciju. Dobijeni produkti zadovoljavaju zahteve za konačan smeštaj. Kvalitet cementa poboljšava se neorganskim aditivima, impregnacijom sa polimerima i dr.

Koncentrati se mogu takodje fiksirati u topli bitumen čije su prednosti u dobroj redukciji volumena (2-6 puta) i slabom izluživanju. Produkti bitumena su zapaljivi, a niska termalna provodljivost ograničava kapacitet u odnosu na radioaktivnost. Bitumenizacija je našla primenu u više nuklearnih centara ali joj je daleko manja primena u nuklearnim elektranama.

Jedan od alternativnih procesa koji se u poslednje vreme najviše razvija odnosi se na fiksaciju jonoizmenjivača u plastiku,korišćenjem stirena,divinilbenzola ili sličnih supstanci koje mogu da polimerizuju na normalnim temperaturama.

2.3 Obrada čvrstih otpadaka

Pre konačnog odlaganja čvrsti otpaci se obradjuju u cilju smanjenja zapremine i dovodjenja u oblik pogodan za konačan smeštaj.

Redukcija volumena u odnosu 1:2 do 1:6 postiže se presovanjem voluminoznih otpadaka. Metalni delovi i aparature se obično dekontaminiraju.U velikim centrima zapaljivi otpaci se spaljuju,čime se postiže znatno smanjenje zapremine. Zaostali pepeo se meša sa cementom tako da se dobijaju zadovoljavajući produkti. Ova metoda je skupa i ima [illegible] problema sa korozijom.

2.4 Obrada visokoaktivnih otpadaka

Visokoaktivni otpaci nastaju pretežno u postrojenjima za preradu isluženog goriva. U mnogim zemljama koje razvijaju nuklearnu tehnologiju u toku su programi solidifikacije visokoaktivnih tečnih otpadaka. Solidifikovani produkti treba da su hemijski,termalno i radiolitički stabilni do nivoa koji omogućava integritet otpadaka za vreme čuvanja u konisterima na skladištenju. Finalni proizvodi treba da imaju dobre mehaničke osobine, i da zauzimaju minimalnu zapreminu. Smatra se da je faktor redukcije volumena 7-10 zadovoljavajući ako se postigne uz minimalnu cenu. Prvo značajno postrojenja za solidifikaciju izgradjeno je u Idaho (SAD). U njemu su kalcinisani rastvori fisionih produkata. Sada se smatra da je kalcinacija prvi stupanj u daljoj vitrifikaciji. Vitrifikacija se grubo klasifikuje na dve kategorije stakala: borosilikatne i fosfatne.

Prvi imaju višu temperaturu topljenja i bolje hemijske osobine. Fosfati više korodiraju ali mogu da vitrifikuju veću količinu otpadaka i imaju nižu tačku topljenja.

Postrojenja bez radioaktivnosti na industrijskom nivou razvijena su u SSSR,SAD,Francuskoj. Neradioaktivna poluindustrijska postrojenja razvijena su u Velikoj Britaniji, SRN i Indiji.

Potpuno radioaktivno industrijsko postrojenje izgradjeno je u Francuskoj (AVM-Macloule). A.V.M. počelo je prvu radioaktivnu kampanju (600^{h} rada) u julu 1978.godine vitrifikujući uspešno zapreminu fisionih produkata koja odgovara količini isluženog goriva od 540 t.

3. TRAJNO ODLAGANJE RAO

3.1 Odlaganje nisko i srednje aktivnih otpadaka

Nisko i srednje radioaktivni otpaci trajno se odlažu uglavnom na tri načina. Najveće količine do sada odložene su u inžinjerskim skladištima u pripovršinskim slojevima zemlje. Otpaci se odlažu u tranšeje širine i dubine nekoliko metara koje se zatrpavaju slojem zemlje od jedan do tri metra. Na pojedinim deponijama prostor izmedju kontejnera puni se betonom pre pokrivanja zemljom. Pri izboru lokacije za deponije posebno je značajna osobina okolnog zemljišta da usporava migraciju radionuklida, kao i odsustvo značajnijih erozionih procesa. Dobre geološke, hidrogeološke i hidrodinamičke osobine lokacije podrazumevaju da se zemljište neće koristiti u druge svrhe, da je udaljeno od povrsinskih voda, naseljenih mesta. Posebno interesantan izbor loka-

cije za pripovršinsko odlaganje niskoaktivnih otpadaka izvršen je u Madjarskoj. Madjarska je relativno mala zemlja sa relativno velikom gustinom naseljenosti. Izabrana lokacija se nalazi 45 km severoistočno od Budimpešte. Do dubine od 30 metara zemljište se sastoji od različitih vrsta gline sa niskom propustljivošću za vodu: $k=10^{-5}-10^{-7}$cm/sec. Na dubini od 27 metara nalazi se vrlo tanak zasićeni sloj vode. Ispod njega je veoma dubok sloj gline do dubine 400-500 metara.

Pojedine zemlje kao što su Čehoslovačka, FRG i GDR koriste napuštene rudnike za odlaganje otpadaka. Ovakav način odlaganja može se nazvati zakopavanje bez kontejmenta i primenjuje se u relativno suvim predelima, pri zadovoljavajućim geološkim uslovima gde se ne očekuje komunikacija izmedju odgovarajućih slojeva zemlje i akvifera. Iskorišćeni rudnik soli ASSE u FRG je tipičan primer za takav način odlaganja. U prostranim galerijama rudnika na dubini od nekoliko stotina metara odlažu se betonski kontejneri sa otpacima. Ovakav način odlaganja smatra se zadovoljavajućim zbog povoljnih geotehničkih, hidrogeoloških i drugih razloga. Naime teren je stabilan, nema podzemnih voda i vlage.

Jedan od načina odlaganja koji se široko koristi u priobalnim zemljama je odlaganje u okeane. Prema ovom konceptu odlaganje se vrši na dno okeana gde sedimentni sloj služi kao važna barijera protiv migracije radioaktivnih materijala kako zbog niske poroznosti tako i zbog visokog jonoizmenjivačkog kapaciteta. Velika količina morske vode koja je slabo pokretna takodje služi kao barijera, podrazumevajući da forma otpadaka i kontejnera predstavlja sistem visokog integriteta. Više zemalja, u skladu sa "London Dumping Convention" niz godina odlaže na ovaj način otpatke. Konvencija ne dopušta odlaganje visokoaktivnih otpadaka već samo niskoaktivnih otpadaka solidifikovanih i postavljenih u kontejnere.

3.2 Odlaganje isluženog goriva

Isluženo gorivo,posle vadjenja iz nuklearnog reaktora, u uranovom gorivnom ciklusn sa lakovodnim reaktorima, odležavano je zbog hladjenja u samim reaktorima od pet meseci do pet godina. Za to vreme raspadnu se kratkoživeći izotopi i znatno se redukuje generisanje toplote. Posle odredjenog vremena hladjenja gorivo se transportuje do postrojenja za preradu goriva gde se prečišćavaju uran i plutonijum. U poslednjih nekoliko godina isluženo gorivo se tretira kao moguća forma otpadaka pogodna za privremeno ili trajno odlaganje.

U tom smislu se proučavaju alternative koje obuhvataju:

- čuvanje direktno goriva u bazenima sa vodenim ili vazdušnim hladjenjem za planiranu preradu goriva u periodu od 10-20 godina
- čuvanje upakovanih gorivnih elemenata u bazenima sa vodenim ili vazdušnim hladjenjem, betonskim površinskim silosima, geološkim formacijama kada se očekuje vreme čuvanja više od 20 godina (dugoročno čuvanje).

U SAD dugoročno čuvanje zahteva kapacitet za 500.000 gorivnih elemenata do 2000 godine uz dodatak od 50.000 svake sledeće godine. U postrojenju od 4.800 gorivnih ansobleja nalazi se oko 1.500 MTI.

Koncepcija čuvanja goriva na lokaciji elektrana bazira se na kapacitetu od 50-150 MT sa tendencijom povećanja kapaciteta. Čuvanje goriva u bazenima sa vodom obezbedjuje hladjenje i radijacionu zaštitu a omogućava vizuelnu inspekciju i manipulaciju sa gorivom.

Prema USA-RG-3,24 predvidja se odvojeno postrojenje za čuvanje goriva izvan elektrane i postrojenja za preradu. Za čuvanje goriva sugerira se upotreba modularnih rezervoara sa kapacitetom od 500 MT isluženog goriva. Namena postrojenja je da prihvata, čuva, dekontaminira i retransportuje bačve sa isluženim gorivom, da uklanja gorivo iz bačvi, da postavlja gorivo u rezervoar kao i da hladi i kontroliše kvalitet vode. Modularna konstrukcija omogućava širenje postrojenja sa minimumom dodatnih ulaganja. Voda u rezervoaru predstavlja barijeru za moguće oslobadjanje radioaktivnosti iz goriva. Voda cirkuliše u zatvorenom sistemu kroz filter-demineralizator da bi se održala čistoća i uklonila radioaktivnost.

Alternativa vodenom hladjenju je vazdušno hladjenje. Postrojenja se hlade ili prirodnom cirkulacijom vazduha ili forsiranim hladjenjem.

3.3 Odlaganje visokoaktivnih otpadaka

Glavnina radioaktivnosti koja se klasifikuje kao visokoaktivna sadrži se u isluženim gorivnim elementima posle vadjenja iz reaktora. Bez obzira što se ovi elementi u nekim zemljama čuvaju kao potencijalni izvori,a u drugim preradjuju, nesagorljivi uran je u takvim količinama da se računa sa preradom goriva a samim tim i sa odlaganjem visokoaktivnih otpadaka posle prerade goriva. Ako se odlaže gorivo bez prerade, glavna razlika sa aspekta zaštite od zračenja,sastoji se u povećanju inventara urana i plutonijuma. U visokoaktivnim otpacima dominiraju fisioni produkti sa transuranskim elementima uz relativno male količine plutonijuma. Izotopi ^{137}Cs i ^{90}Sr daju najviše aktivnosti i

toplote. Oni se skoro potpuno raspadnu za hiljadu godina dok se pojedini transuranski elementi do istih proporcija raspadnu za milion godina. Sadašnja praksa u zemljama koje rade na preradi goriva, čak i na poluindustrijskom nivou, je da se visokoaktivne tečnosti privremeno čuvaju nekoliko desetina godina dok se ne obezbede pouzdane i prihvatljive metode za odlaganje solidifikovanih produkata. U zemljama sa razvijenom nuklearnom tehnologijom preko 20 godina intenzivno se radi na razvoju metoda solidifikacije i odlaganja visokoaktivnih otpadaka. Evropska ekonomska zajednica je u periodu 1978-80 god.finansirala zajednički program ispitivanja geoloških formacija sa više od 300 istraživač/godina. IAEA je procenila npr. da godišnji troškovi čuvanja otpadaka od reprocesinga za elektranu od 1000 MW(e) iznose 2-9 miliona dolara zavisno od veličine postrojenja. Pošto se radi o osetljivim tehnologijama i metodama koje treba da obezbede dugoročno čuvanje otpadaka veliki broj stručnjaka radi na tehničko-tehnološkim i sigurnosnim aspektima odlaganja.

Odlaganje visokoaktivnih solidifikovanih otpadaka u geološke formacije prihvaćena je u mnogim zemljama kao najoptimalniji način odlaganja. Osnovni sigurnosni zahtevi postižu se nizom nezavisnih barijera koje sprečavaju širenje radioaktivnog materijala. Većina fisionih produkata ima vreme poluraspada manje od 30 godina. Aktinidi imaju mnogo veća vremena poluraspada ali oni emituju α zrake koji zahtevaju minimalnu zaštitu. Fisioni produkti i aktinidi se vezuju u staklo, koje je okruženo nerdjajućim čelikom, uz mogućnu dodatnu izolaciju od podzemnih voda. Mesto odlaganja izabira se da bude na dubini od nekoliko stotina metara sa minimalnom mogućnošću dospevanja podzemnih voda. Čak i da budu rastvoreni, radionuklidi se na putu zadržavaju mineralima gline ili stena. Na osnovu dosadašnjih istraživanja u svetu, izdvajaju se tri vrste geoloških formacija koje potencijalno ispunjavaju uslove za odlaganje visokoaktivnih otpadaka. To su formacije soli,kristalne stene i glinene formacije.

Odlaganje u formacije soli

Za dugotrajnu izolaciju radioaktivnih otpadaka soli imaju više karakteristika koje ih čine pogodnim medijumom. Soli su relativno rasprostranjene, lako se iskopavaju, imaju visoko termalnu provodljivost, nepropustljivost, vrlo mali sadržaj vode, plastičnost i samoizolacione osobine. Nedostatak je što se često nalaze pored nalazišta gasa i nafte, rastvorljive su u vodi a u prisustvu vode su korozivne u odnosu na materijale kao što je čelik koji se koristi za pakovanje otpadaka.

Na dubini od interesa za izgradnju i konstrukciju skladišta depoziti soli se nalaze u dva glavna oblika. Jedan tip je nedefinisana, sedimentna formacija stvorena prirodnom evaporacijom morske vode iz praistorijskih okeana. Drugi tip nalazišta soli karakteriše se znatnom masom kamene soli uvučene u sedimentni stratum kao rezultat preopterećenja indukujući plastičnu deformaciju vrlo dubokih slojeva soli. Oba tipa depozita soli pogodna su za odlaganje RAO.

Odlaganje u kristalne stene

Kristalne stene se u nekim zemljama smatraju kao najpogodniji medi za duboko odlaganje RAO. One pokazuju dugoročnu stabilnost, visoku čvrstoću, dobru hemijsku stabilnost, umerenu termalnu provodljivost i nisku poroznost. Obično se nalaze u masivnim i homogenim formacijama i imaju malu ekonomsku vrednost. Ove stene su često krte i neplastične i zato na dubinama koje se predvidjaju za odlaganje radioaktivnih otpadaka često imaju frakture ili druge pukotine. U ovim frakturama i pukotinama obično se nalaze podzemne vode.

Odlaganje u naslage gline

Glinene formacije predstavljaju atraktivnu geološku sredinu za odlaganje u budućnosti jer istovremeno čine geološku i geohemijsku barijeru. Najpogodnije za odlaganje su naslage glina na dubini 200-300 metara, debljine sloja oko 100 m. Osnovne karakteristike glinenih formacija koje ih svrstavaju u pogodne geološke formacije za odlaganje su: stabilnost, nepropustljivost na vodu, visok sorpcioni kapacitet, rasprostranjenost naslaga. Negativne osobine su: osetljivost na toplotu i zračenje. Nominacija odredjenih lokacija za deponovanje radioaktivnih otpadaka prethode istražni radovi koji traju najmanje 15 godina. Po izboru lokacije računa se da je 10 godina potrebno za sigurnosne evaluacije i konstrukcione radove. SAD, Belgija i druge zemlje izbor lokacije za odlaganje visokoaktivnih otpadaka planiraju za 1990.godinu.

4. AKTIVNOST NA OBRADI I ODLAGANJU OTPADAKA U INSTITUTU "BORIS KIDRIČ" U VINČI

Institut "Boris Kidrič" u dosadašnjem radu proizveo je najveće količine radioaktivnih otpadaka u zemlji. Oko 3000 m^3 tečnih i čvrstih otpadaka niskog i srednjeg nivoa aktivnosti nalazi se na skladištenju poreklom iz Instituta i drugih organizacija koje koriste

izvore zračenja. U našoj zemlji nije izgradjeno skladište za trajno odlaganje nisko i srednje aktivnih otpadaka.

Imajući u vidu činjenicu da se primena nuklearne energije širi, rešavanje problema bezbednog smeštaja RAO ne može se odlagati. Društveni dogovor za utvrdjivanje načina i uslova za rešavanje pitanja odlaganja ozračenog goriva i za konačan smeštaj radioaktivnih otpadaka iz njegove prerade i drugih izvora koji je u fazi zaključivanja treba da stimuliše aktivnosti na tom planu na svim kompetentnim nivoima.

U Institutu "Boris Kidrič" u Vinči u toku je značajna aktivnost na rešavanju problema obrade i odlaganja RAO usmerena u dva pravca:

- Izgradnja postrojenja za obradu i privremeno odlaganje RAO nagomilanih u Institutu "Boris Kidrič"
- Razvoj tehnologija od značaja za trajno odlaganje RAO.

4.1 Obrada i privremeno odlaganje RAO

Za obradu i privremeno odlaganje RAO koji se nalaze na privremenom čuvanju u Institutu "Boris Kidrič" u toku je izgradnja postrojenja u kojima će se ovi otpaci obraditi i skladištiti privremeno do izgradnje skladišta za konačno i trajno odlaganje. U postrojenju će se obraditi tečan i čvrst otpad primenom proverenih i priznatih tehnologija sa recepturama i inovacijama koje su rezultat sopstvenog razvoja.

Obrada tečnih otpadaka bazira na metodama koprecipitacije i uparavanja u prvoj fazi i solidifikaciji koncentrata cementnim postupkom u drugoj fazi. Receptura je prilagodjena specifičnostima radiohemijskog i hemijskog sastava efluenata a glavna radioaktivna komponenta je ^{60}Co. Uparivač treba da bude izgradjen u saradnji sa fabrikom procesne opreme "Prva Iskra". Za obradu čvrstih otpadaka predvidja se presovanje kompresibilnih otpadaka i pakovanje u limenu burad ili betonske kontejnere zavisno od vrste otpadaka i aktivnosti odnosno doza zračenja.

4.2 Razvoj tehnologija za trajno odlaganje RAO

Izgradnja skladišta za trajno odlaganje RAO koji nastaju iz nuklearnih elektrana i drugih vidova korišćenja nuklearne energije je hitan i neodložan društveni zadatak. To se odnosi pre svega na

odlaganje nisko i srednjeaktivnih otpadaka, dok je za rešavanje problema visokoaktivnih otpadaka ta hitnost se odnosi najpre na stvaranje uslova za razvoj i ovladavanjem složenim tehnologijama za šta su shodno iznetim činjenicama,neophodna značajna ulaganja u dugom vremenskom periodu. U Institutu "Boris Kidrič" se smatra da je jedna od vrlo prihvatljivih opcija trajnog odlaganja nisko i srednje aktivnih otpadaka pripovršinsko odlaganje. U tom smislu istraživačko-razvojni rad je usmeren na razvoj postupaka solidifikacije cementnim postupkom, razvoj postupka za dobijanje betonskih kontejnera i recepture za betone za ispunu tranšeja. Ovaj rad treba da pokaže u kojoj meri ovakav koncept zasnovan na tri barijere sprečavanja ispuštanja radioaktivnih materija zadovoljava sigurnosne kriterijume i uslove trajnog smeštaja u našoj zemlji sa stanovišta geoloških, klimatskih i drugih specifičnosti.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije obrade i odlaganja radioaktivnih otpadaka sa tehničko sigurnosnog aspekta dostigao je nivo koji potvrdjuje da nuklearni program neće biti limitiran rešenjima bezbednog odlaganja RAO bez obzira što ostaju odredjene dileme i ograničenja zbog stvaranja problema budućim generacijama. Iako se u našoj zemlji relativno kasno otpočelo sa rešavanjem problema vezanih za odlaganje RAO, postoje uslovi da se raspoloživim snagama, uz korišćenje dostupnih iskustava u drugim zemljama, svi ovi problemi rešavaju na zadovoljavajući način.

REFERENCE

1. R.G.Gihnoze
Radioactive Waste Disposal,Low and High Level Noges Data Corporation, USA (1977)

2. Waste Disposal and other Radiation Problems in Nuclear Industry
Proc. of IV Int.Summer School on Radiation Protection,Ed.Ž.Vuković, Belgrade (1979)

3. G.R.Köster
Solidification of Radioactive Waste by Inorganic Binders,KFK 2535e, Karlsruhe (1978)

4. Radioactive Wastes,IAEA,Wienna,June (1978)

5. I.Pleđaš,A.Kostadinović,Lj.Vuković
Ispitivanje mogućnosti primene domaćih materijala za izradu betonskih kontejnera u tehnologiji solidifikacije radioaktivnih otpadnih materija, Zbornik Simp.Jug.Drustva za zaštitu od zračenja,Ohrid (1983).

XII. JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Radoslav Despotović, Ljerka Despotović, Svetozar Musić i Boris Subotić
Institut "Ruđer Bošković" OOUR Tehnologija, Nuklearna Energija i Zaštita, 41001 Zagreb, Bijenička cesta 54, P.p. 1016.

STRATEGIJA OBRADE RADIOAKTIVNOG OTPADA

REZIME U radu se razmatraju organizacioni i tehnološki problemi proizvodnje radioaktivnog otpada iz različitih izvora. Posebna pažnja usmjerena je na tehno-ekonomski pristup u vezi jugoslavenskog programa koji predvida uvođenje brojnih nuklearnih elektrana u svoj elektro-energetski sistem.

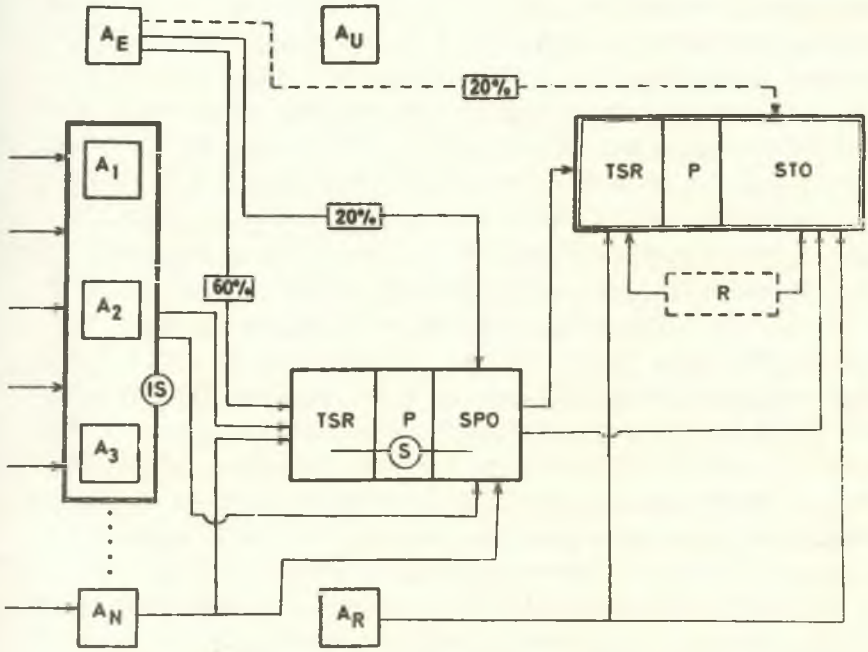
UVOD U Jugoslaviji postoje tri skladišta za radioaktivni otpad RAO u tri nuklearna instituta i jedno skladište za RAO u nuklearnoj elektrani u Krškom. Dugogodišnji rad sa RAO u nuklearnim institutima i izvjesno iskustvo na NEK upućuju u vezi razvoja elektroenergetskog sistema sa brojnim nuklearnim elektranama, da se organizaciono i tehnološki riješi problem prerade, transporta, privremenog i trajnog skladištenja RAO iz svih izvora, a prvenstveno iz postojeće nuklearne elektrane, nagomilani RAO u institutima kao i RAO koji će se proizvoditi iz budućih nuklearnih postrojenja.

RAZMATRANJE PROBLEMA Orijentacija Jugoslavije na uvođenje nuklearnih elektrana u naš elektro-energetski sistem nije više predmet želja, već je to dijelom ostvareni rezultat a dijelom program usvojen na najvišem nivou dogovaranja u našem društvu. Ovakovo stanje imperativno nameće potrebu sagledavanja svih pratećih djelatnosti vezanih uz korištenje nuklearno-energetskih reaktora. Danas je kod nas također shvaćeno, da nuklearna tehnologija, kao u ostalom i sve druge tehnologije nosi određeni tehnološki balast u obliku RAO. Taj se balast, međutim ne mora shvatiti kao neriješiv problem, jer to u stvari i nije. Istina je da se tom problemu u svijetu pri-

stupalo vrlo različito i da je poznat veliki broj neadekvatnog tretmana prerade i pohrane RAO, kao što su poznati i vrlo dobro tehnički dotjerani i sigurnosno kvalitetno riješeni postupci i tehnologije za obradu, transport i odlaganje RAO. Realnost naše ekonomske osnove, stanje našeg tehnološkog miljea i kadrovska situacija, bili su razlogom, da smo više puta pokušavali (1) inicirati raspravu o rješavanju tog problema u nas, polazeći pri tom od jedinstvenog rješenja za cijelu Jugoslaviju. Iskustvo je pokazalo, da se dijelom zbog nerazumijevanja a dijelom radi uskih interesa, još do danas nalazimo pred otvorenim problemom: kako za Jugoslaviju riješiti problem obrade, transporta, privremene i trajne pohrane RAO iz svih postojećih i budućih izvora RAO ? U koncipiranju prijedloga polazimo od postojeće prakse i uvažavamo svjetska iskustva (2) koja moraju biti tako postavljena da su za nas prihvatljiva. Izgradnja sistema mora biti usmjerena na ostvarenje sustava, koji će sa osnivati na domaćim tehnologijama, uz maksimalnu ekonomičnost no ne ua račun sigurnosti uz osiguranje dugotrajnog visokog nivoa radiološke sigurnosti. Svi ovi zahtjevi nameću kao conditio sine qua non jednu mrežu u jugoslavenskoj organizaciji. Suština tog modela je u slijedećem.

Uz sva nuklearna postrojenja izgrađuje se privremeno skladište za RAO. U takovim se skladištima RAO pohranjuje u obliku, koji će normativno biti utvrđen za sve kategorije RAO u Jugoslaviji. Takova privremena skladišta vrše i privremenu pohranu iz usluge za niz korisnika radioaktivnih izotopa, koji upotrebljene radioaktivne izotope dostavljaju na pohranu. Broj takovih skladišta (danas ih imamo 4) zavisiti će o kapacitetu proizvodnje RAO za izgrađena nuklearna postrojenja. RAO iz takovih privremenih skladišta se transportira na preradu u minimalni broj regionalnih skladišta za preradu i trijažu RAO (2-3 za cijeli teritorij Jugoslavije). U tim skladištima vrše se jednostavnije radiokemijsko tehnološke operacije (spaljivanje, komprimiranje, bitumenizacija, cementiranje). Prvostepeno kondicioniran RAO transportira se u centralno jugoslavensko skladište RAO, u kojem se vrše složene rediokemijsko tehnološke operacije (solidifikacija) RAO. To je skladište locirano u zaštitnom centru (3) pa se tu nalazi i postrojenje za "hlađenje" ozračenih nuklearnih gorivnih elemenata, a predvidivo i druga

nuklearna postrojenja iz nuklearnog gorivnog ciklusa (kemijska prerada, obogaćenje urana, izrada gorivnih elemenata, prerada ozračenog nuklearnog goriva). Udruživanjem sredstava zainteresiranih privrednih organizacija, na jednom mjestu najracionalnije se za Jugoslaviju može ostvariti široke tehnološke pred uvjete za izgradnju vlastitog nuklearnog gorivnog ciklusa.
Na lokaciji centralnog skladišta RAO odlaže se prerađeni RAO za trajnu pohranu. Izgradnjom centraliziranog sistema bitno se smanjuju tehnološki problemi transporta, problemi sigurnosti u transportu, ekonomija transporta, a i radiokemijsko tehnološka priprema materijala za transport se unutar jednog zaštitnog sistema bitno pojednostavljuje. Shematski ovako prikazan model više puta je već u detalje prezentiran i za očekivati je, da će se u zajedničkom dobru nazrijeti i pojedinačna dobra, što bi se moralo odraziti i u zajedničkim radovima, koji su upravo u toku (4). Nema sumnje, da se pojedinačni interesi moraju respektirati, no te je interese potrebno izgrađivati u okviru općeg jugoslavenskog programa. To konkretno znači, da se za svaki pojedinačni plan izgradnje, bilo kojeg skladišta za RAO, to skladište mora planirati kao dio jedinstvenog modela. Samo takav put je garancija optimalnog rješavanja svih problema vezanih uz RAO, odnosno u širem smislu jugoslavenskog nuklearnog gorivnog ciklusa.
Jedinstveni jugoslavenski sistem za sakupljanje,obradu, transport, privremeno i trajno skladištenje RAO i pohranu ozračenog nuklearnog goriva može se shematski predočiti kao na slici 1.
Institutska skladišta IS privremenog tipa u našim nuklearnim institutima (A_1 , A_2 , A_3 ... A_N) privremeno pohranjuju RAO iz svojih pogona, a iz usluge primaju na privremenu pohranu RAO i iz drugih izvora (strijelice na shemi). Nuklearna elektrana pohranjuje privremeno (A_E) RAO iz svojeg tehnološkog otpada. Rudnici urana (A_U) pohranjuju svoj tehnološki otpad na lokaciji rudnika. Ostala nuklearna postrojenja iz nuklearnog gorivnog ciklusa s posebnim naglaskom na postrojenje za reprocessing (A_R) imaju svoja privremena skladišta. Po logici zaštitnog centra, broj i tehnološka opremljenost te nivo rada u pojedinim segmentima ovakove mreže dogovorno se raspoređuje, jer su dupliranja za ograničeni jugoslavenski program neracionalna višestruko. Ne raspolažemo sa dovoljno kvalificiranog kadra za "individualna" rješavanja, ne raspolažemo potrebnim financijskim sredstvima za



Slika 1. Shema jedinstvenog jugoslavenskog sistema za obradu i pohranu RAO i ozračenog nuklearnog goriva. Tumačenje sheme vidi u tekstu.

za rasparčani program separatnih skladišta, geomorfologija jugoslavenskog teritorija ne osigurava dovoljan broj lokacija za difuzni pristup, seizmološke karakteristike našeg tla upućuju na potrebu primjena zaštitnih dijafragmi, što znači vrlo skupu svaku pojedinačnu izgradnju, sistem organizacije sigurnosti na dugi rok je posebno opterećenje za današnju generaciju, a da ne analiziramo problem ostavljanja u naslijeđe rasparčani sistem sigurnosti generacijama, koje će ga morati snositi, a da je iza njih vrijeme korištenja dobara, i t.d. Sve ovo upućuje na to, da se i u daljnjoj infrastrukturi našeg prijedloga, što više korisnika služi malim brojem regionalnih skladišta (S) u kojima se vrši prvostepene prerada (P) i trijaža (TSR) te privremeno skladištenje (SPO). Broj takovih skladišta se dogovorno planira na osnovi niza relevantnih parametara (lokacije korisnika, kvaliteta raspoložive lokacije, tehnološki program za lokacije u S, sigurnosni aspekti, t.d.) vezan uz posto-

jeće prometnice i potreba izgradnje novih prometnica i t.d.). Iz regionalnih skladišta RAO (S), iz nuklearnih postrojenja nuklearnog gorivnog ciklusa (A_R i druga postrojenja) te iz nuklearnih elektrana (A_E) RAO direktno, kondicioniran ili ne, te ozračeno nuklearno gorivo transportira se u trajno skladište (STO) u kojem se vrši trijaža (TSR), prerada za trajno odlaganje (P) i na kraju trajno pohranjivanje (STO). Po logici zaštitnog centra reprocessing je lociran na istoj lokaciji sa trajnim skladištem (R) , što bitno pojednostavljuje problem transporta, jer je 99% ukupnog visokoradioaktivnog otpada iz cijelog nuklearnog gorivnog ciklusa generirano u tom jednom postrojenju. To je suštima jedinstvenog pristupa u rješavanju organizacionog pristupa za naše potrebe. Vodeći računa o postojećim iskustvima, izgrađenim kapacitetima, kapacitetima u izgradnji, planu izgradnje nu learnih elektrana, otvaranja novih rudišta te realizacije jugoslavenskog programa za naš nuklearni gorivni ciklus, unutar ovakove ili modificirane sheme treba dogovoriti nivoe rada sa izvorima zračenja za svaki od planiranih segmenata ovog sustava. To konkretno pretpostavlja dogovor i o izboru pojedinih tehnolcgija za svaki segment ovog sustava. Taj i postignuti drugi dogovori moraju biti osnova za realizaciju svakog pojedinačnog skladišta, koje će se realizirati. Takav pristup je potreban, jer se za realizaciju cijelog programa moraju osigurati sredstva, za koja je u ovoj situaciji teško utvrditi da postoje. To operativno znači, da ćemo na zajedničkom planu realizirati dogovor, koji u praksi osigurava, da se iz zbira pojedinačnih akcija, kao rezultat mora konačno realizirati jedinstveni jugoslavenski sistem za sakupljanje, obradu, transport, privremenu i trajnu pohranu RAO i ozračenog nuklearnog goriva.

SUMMARY The paper discusses organizational and technological problems of radioactive waste produced from present and future sources. A special attention is paid to the techno-ecconomical approaches connected with Yugoslav program which calls for a number of nuclear power plants to be introduced in electroenergy system.

LITERATURA

(1) R. Despotović, B. Subotić, Zbornik radova IX. Jugoslavenskog Simpozija o Zaštiti od Zračenja, Jajce (1977) 427.

R. Despotović, Zbornik radova X. Jugoslavenskog Simpozija o Zaštiti od Zračenja, Aranđelovac (1979)

Ibid, Zbornik radova "Savjetovanje - Obezbeđivanje, korišćenje i prerada nuklearnog goriva u Jugoslaviji" Donji Milanovac (1980) 133.

R. Despotović, S. Musić, M. Pirš, B. Subotić, Zbornik radova Savjetovanja "Nuklearne elektrane i zaštita od zračenja" Čatežke Toplice (1980) 329.

(2) Report of INFCE Working Group 7, IAEA, Vienna (1980).

K.E. Maass "Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung" Hahn--Meitner-Institut für Kernforschung Berlin GmbH, Berlin (1981) 1-1.

IAEA - TECDOC - 272 "IAEA Provisional Code of Practic on Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants" IAEA, Vienna (1982).

(3) "Das nukleare Entsorgungszentrum" DWK Hanover.

(4) JUGEL: "Odlaganje radioaktivnih otpadaka i ozračenog nuklearnog goriva za program izgradnje nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije do 2000. g.".

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

I.Plećaš, A.Kostadinović, Ž.Vuković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
110001 Beograd,p.fah 522.

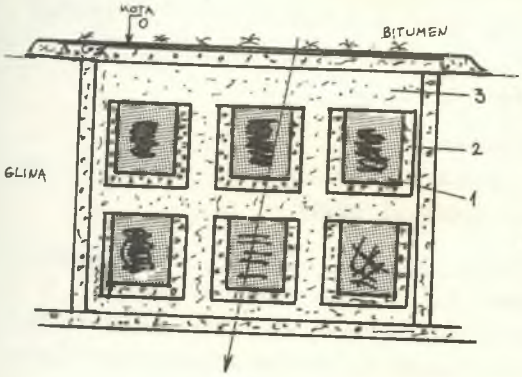
ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE DOMAĆIH MATERIJALA ZA IZRADU BETONSKIH KONTEJNERA U TEHNOLOGIJI SOLIDIFIKACIJE RADIOAKTIVNIH OTPADNIH MATERIJA

REZIME U ovom radu prikazani su rezultati triju najvažnijih karakteristika betona za izradu kontejnera koji će se preporučiti budućem Jugoslovenskom centralnom skladištu za odlaganje radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti.

UVOD

Solidifikacija Radioaktivnih Otpadnih Materija (RAO), niskog i srednjeg aktiviteta cementnim postupkom, je sve više korišćena metoda a u odredjenim slučajevima nezamenljiva. Proces imobilizacije RAO sa cementom kao vezivom, daje čvrst produkt čije karakteristike onemogućavaju izlaz radioaktivnih materija iz betona i ostvaruje se siguran i jeftin način odlaganja opasnih radioaktivnih materija.

Kako se u zadnje vreme napušta mišljenje da je trajno odlaganje u more i napuštene rudnike soli najbolje rešenje, sve se više prilazi izgradnji centara za stokiranje RAO na otvorenom prostoru. Princip tzv. "inžinjerskih tranšeja"se sastoji u suprodstavljanju sukcesivnih barijera raznih uloga i zahteva, migraciji radionuklida iz solidifikovanog RAO. Sistem inžinjerskih tranšeja podrazumeva tri barijere biološke zaštite (sl.1).



1. malter za ispunu i blokiranje otpada u betonskom kontejneru;
2. betonski kontejner;
3. beton za ispunu tranšeja.

Sl.1. Sistem inženjerskih tranšeja

Ove tri vrste betona sa potpuno različitim sastavom i različitim funkcijama predstavljaju jednu tehnološku celinu.

Osnovne karakteristike betona i maltera

Malter za ispunu kontejnera:
- da bude takvog agregatnog stanja da prodre u sve šupljine čvrstog RAO, [1,2]
- da ne dozvoli curenje radioaktivnosti (korišćenje specijalnih cementa sa zgurom i pucolanom),
- da pruži primarnu biološku zaštitu,
- da zadrži formu žitkosti odredjeno vreme.

Betonski kontejner:
- ima ulogu da se u njega odloži i u njemu prenosi srednje i nisko aktivni otpad; [3]
- da pruži sekundarnu biološku zaštitu,
- da obezbedi čuvanje RAO u narednih 300 godina.

Beton za ispunu tranšeja:
- da pruži tercijalnu biološku zaštitu,
- da ne dozvoli curenje radioaktivnosti koja eventualno prodre kroz prvi i drugi sistem.

Kako betonski kontejner kao najvažniji elemenat ovakvog sistema ima veoma specifičnu ulogu, izuzetno je bitan izbor materijala, proračun granulometrijskog sastava, kao i rigorozna kontrola njegovih fizičko mehaničkih karakteristika i to:

1. Otpornost na pritisak
2. Permeabilnost betona
3. Curenje izotopa (LEAKAGE TEST)

METODE ISPITIVANJA KVALITETA BETONA
KOJI SE PRIMENJUJU U PROCESU SOLIDIFIKACIJE RAO

Ispitivanje otpornosti betona na pritisak

Ispitivanje otpornosti betona na pritisak je klasična metoda kakva se primenjuje u gradjevinarstvu. Radjeno je sa uzorcima beotna kockastog oblika (10x10x10 cm), pridržavajući se JUS, za pripremanje, čuvanje i lomljenje istih.

Merenje permeabilnosti betona i maltera na azot

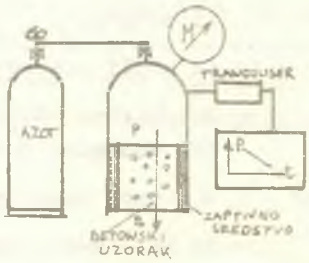
Svaki uzorak betona je bio podvrgnut postupku merenja permeabilnosti sa azotom, pod apsolutnim pritiskom od 1 MPa, na temperaturi od 20°C. Uzorci su bili konzervirani 28 dana na 20°C i 65% vlažnosti.

Permeametar za beton

Aparatura

Uredjaj za merenje permeabilnosti betona na azot konstruisan je u Laboratoriji za zaštitu od zračenja prema idejnom projektu "Laboratorije za betone" pri STA CEN Saclay (Francuska). (sl.2).

Pozhato je da se proticanje nekog gasa kroz beton pokorava zakonu Darcy-a sa velikim stepenom aproksimacije.



Sl.2. Permeametar

Integrišući zakon Darcy-a po visini i poprečnom preseku dobija se:

$$K = \frac{Q \cdot H \cdot \eta}{S(P-P_o)}; \quad Q = \frac{V \cdot dP_i}{P_m \cdot t}$$

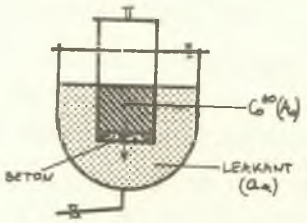
Permeabilnost se izražava u m^2 (1 Darcy = $10^{-12} m^2$).

Merenje brzine curenja izotopa (Leakage test)

Ova metoda omogućava dobijanje prividne slike o mogućnosti specijalnih betona da dozvole ili ne, ispiranje solidifikovanih otpadnih materijala pomoću podzemnih voda i njihov izlaz u čovekovu okolinu.

Metoda merenja

U cilju ispitivanja curenja izotopa iz matriksa, konstruisana je u Institutu za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, originalna aparatura, sl.3, koja omogućava praćenje "curenje" izotopa kroz betonski uzorak u dužem vremenskom periodu. Aparatura omogućava simuliranje realnog procesa na betonskim diskovima (ø 11 cm; H=1 cm).



$$R_n = \frac{\Sigma a_n}{A_o} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{1}{t_n} \quad [cm/dan]$$

Sl.3. Aparatura za Leakage test

Rezultat merenja brzine kretanja radioizotopa u odgovarajućem vremenskom periodu omogućava da se uz veliki stepen aproksimacije proračuna konačno vreme posle koga možemo očekivati ispiranje radioaktivnosti iz realnog sistema. Vreme koje se očekuje je reda veličine 300-500 godina do kada će i nivo zračenja RAO opasti na zanemarljivu meru.

MATERIJALI

- Korišćen je cement:PC-20Z45 MPa i PC-55 MPa
- Korišćen je pesak i granulat "Moravac" i to u frakcijama: 0-2 mm; 2-4 mm; 4-8 mm; i 8-15 mm.

- Voda prema JUS-a
- Aditivi: SUPER FLUIDAL I FLUIDAL VX-OC.

Izradjivane su po tri epruvete za svako merenje.

REZULTATI

Rezultati su prikazani u sledećim tabelama:

TABELA I Otpornost betona na pritisak (MPa)

FORMULA	28 dana
I K	48
II K	48
III K	52

TABELA II Permeabilnost betona (m^2)

FORMULA	28 dana
I K	$1,12 \cdot 10^{-17}$
II K	$9,66 \cdot 10^{-18}$
III K	$2,08 \cdot 10^{-17}$

TABELA III Brzina curenja radionuklida (cm/dan)

FORMULA	120 dana
I K	$5,5 \cdot 10^{-5}$
II K	$6,6 \cdot 10^{-6}$
III K	$5,9 \cdot 10^{-6}$

ZAKLJUČAK

Svi dobijeni rezultati zadovoljavaju osnovne kriterijume, posebno u poredjenju sa referencama (3,4). Rezultati merenja permeabilnosti su izuzetno solidni što potvrdjuje tezu male poroznosti našeg peska, koja je i te kako značajna u procesu izmene radionuklida iz solidifikovanog RAO. Rezultate brzina curenja (LEAKAGE TEST) treba uzeti sa rezervom, jer je vremenski period kratak. Predvidjeno je praćenje rezultata 3-5 godina.

Formula III K za sva tri kriterijuma daje veoma dobre rezultate te će se preporučiti za izradu betonskih kontejnera za pakovanje RAO srednjeg i niskog aktiviteta na budućem centralnom jugoslovenskom skladištu.

ABSTRACT

The three most important characteristics of concrete for the containers for the radioactive wastes with results are described in this report. The best composition will be recommended for concrete containers for futur Yugoslave radioactive waste storing center.

REFERENCE

1. I.Plećaš, ETUDE COMPARATIVE DE L´EFFICACITE D´ADJUVANTS POUR LES MATERIAUX D´ENROBAGE POUR DECHETS RADIOACTIFS,STA/LBR/81--DT-596/sep.1981.

2. I.Plećaš, BETON DE REMPLISSAGE DES TRANCHEES POUR DECHETS RADIOACTIFS, STA/LBR/81-DT-600/oct.1981.

3. I.Plećaš, BETON DE CONTENEURS POUR DECHETS RADIOACTIFS,STA/LBR/81-DT-615/oct.1981.

4. I.Plećaš, ETUDE COMPARATIVE DE L´EFFICACITE DES ADJUVANTS LL-923 ET LA-35 A L´AIDE DE FORMULES DE MORTIERS POUR L´ENROBAGE DES DECHETS RADIOACTIFS, STA/LBR/81-DT-618/nov.1981.

5. I.Plećaš, ETUDE COMPARATIVE DE L´EFFICACITE DE DEUX SABLES: "S.BAYEUX" ET "S.BERVILLE" A L´AIDE DE DEUX FORMULES DE MORTIER ET DES TRANCHEES POUR L´ENROBAGE DES DECHETS RADIOACTIFS,STA/LBR/81-DT-619/nov.1981.

6. I.Plećaš, "COMPARATIVE STUDY OF FRENCH AND YUGOSLAVIAN RADIOACTIVE WASTE FORMS",TUCSON,ARIZONA,USA,feb.27-march 3,1983.

7. I.Plećaš,A.Kostadinović,B.Stojanović,"RAZRADA METODA ZA ISPITIVANJE PERMEABILNOSTI BETONA I MALTERA NA AZOT U TEHNOLOGIJI SOLIDIFIKACIJE RAO KOJI NASTAJU U RADU NUKLEARNO ENERGETSKIH POSTROJENJA, Tehnika - Naše gradjevinarstvo, 4,1983.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

I.Plećaš, A.Kostadinović, M.Todorović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
11001 Beograd, p.fah 522.

MOGUĆNOST PRIMENE DOMAĆIH MATERIJALA ZA IZRADU MALTERA ZA OBLAGANJE I ISPUNU BETONSKIH TRANŠEJA U TEHNOLOGIJI SOLIDIFIKACIJE RADIOAKTIVNIH OTPADNIH MATERIJA

REZIME U ovom radu ispitivane su tri najvažnije karakteristike maltera za oblaganje i ispunu betonskih tranšeja koji će se preporučiti budućem Jugoslovenskom centralnom skladištu za odlaganje radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti.

UVOD

U koncepciji površinskih"inženjerskih tranšeja"za trajno odlaganje radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti, malter za oblaganje RAO igra veoma značajnu ulogu (8). Ovde posebno treba istaći značaj veze: malter-r.otpad i malter-kontejner, na čemu se i bazira koncepcija sistema inženjerskih tranšeja.

Mehaničke osobine maltera za oblaganje nisu od primarnog značaja (1,5,8), te optimizacija njegove kompozicije ide ka povećanju sorpcionih osobina maltera što se postiže cementima sa dodatkom zgure i pucolana, i povećanju njegove ugradljivosti, što se pak ostvaruje primenom aditiva plastifikatora i fluidifijanata.

Beton za ispunu prostora izmedju kontejnera-tranšejski beton pored nešto manjih zahteva za sorpcionim karakteristikama u odnosu na malter za oblaganje, treba da zadovolji odgovarajuće reološke osobine, mehaničke karakteristike i veoma malu permeabilnost, što se pak postiže odgovarajućim aditivima-zaptivačima. (2,4)

Dobar izbor materijala,proračun granulometrijskog sastava, pravilno doziranje aditiva kao i rigorozna kontrola njegovih fizič-

ko-mehaničkih karakteristika, uslov su za davanje konačne dozvole za primenu jedne ovakve specifične kompozicije betona, u procesu konačnog odlaganja RAO.

MATERIJALI

- Korišćen je cement PC-20Z45 MPa
- Korišćen je agregat "Moravac" u frakcijama:0-2 mm; 2-4 mm i 4-8 mm
- Voda prema JUS-a
- Aditivi:FLUIDAL VX-OC; SUPER FLUIDAL i PUMPCRETE "N"

Za svaku formulaciju maltera za oblaganje i betona za tranšeje radjene su po tri epruvete za svako ispitivanje. Rezultati su dati kao srednje vrednosti svih eksperimenata.

Vršena su ispitivanja:

1. Otpornost na pritisak
2. Permeabilnost betona
3. Curenje izotopa (LEAKAGE TEST)

REZULTATI

Rezultati eksperimentalnog rada prikazani su sledećim tabelama:

TABELA I Otpornost maltera na pritisak (MPa)

FORMULA	28 dana
IM	45,1
IIM	48,6

TABELA II Permeabilnost maltera (m^2)

FORMULA	28 dana
IM	$4,1 \cdot 10^{-17}$
IIM	$1,2 \cdot 10^{-17}$

TABELA III Brzina curenja radionuklida (cm/dan)

FORMULA	120 dana
IM	$4,2 \cdot 10^{-6}$
IIM	$2,1 \cdot 10^{-6}$

TABELA IV Otpornost na pritisak betona za tranšeje (MPa)

FORMULA	28 dana
IT	35,2
IIT	37,8

TABELA V Permeabilnost betona za tranšeje (m^2)

FORMULA	28 dana
IT	$2,2 \cdot 10^{-16}$
IIT	$9,3 \cdot 10^{-17}$

TABELA VI Brzina curenja radionuklida (cm/dan)

FORMULA	120 dana
IT	$3,1 \cdot 10^{-6}$
IIT	$1,1 \cdot 10^{-6}$

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati zadovoljavaju osnovne kriterijume materijala za solidifikaciju RAO.

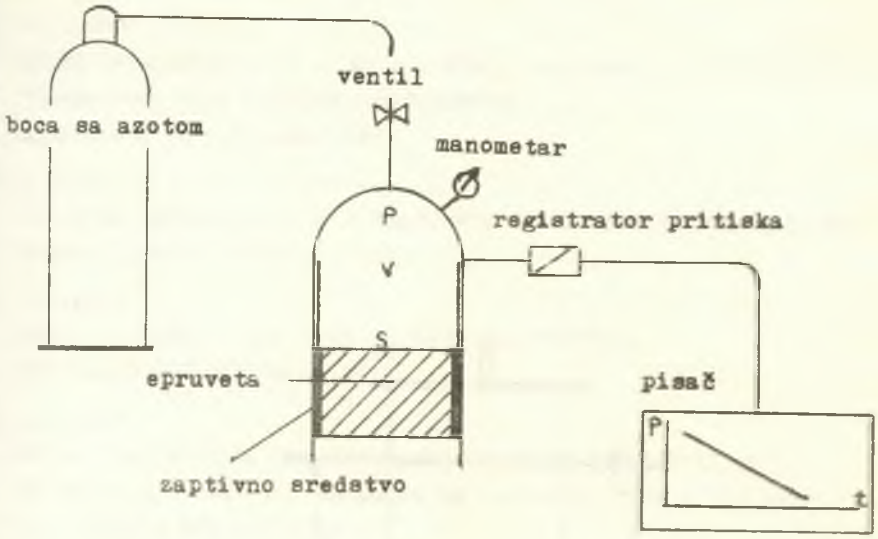
Rezultati merenja permeabilnosti maltera i betona su izuzetno solidni što potvrdjuje tezu male poroznosti našeg peska "Moravca", što igra veoma značajnu ulogu u procesu izlaska radionuklida iz solidifikovanog medija.

Rezultati LEAKAGE-testa, za prvih 4 meseci uklapaju se u rezultate stranih autora,medjutim treba u svakom slučaju sačekati rezultate jednogodišnjeg merenja te na osnovu statističkih metoda pokušati proračun stvarne brzine izlaska radionuklida iz ovakvog sistema u realnim uslovima.

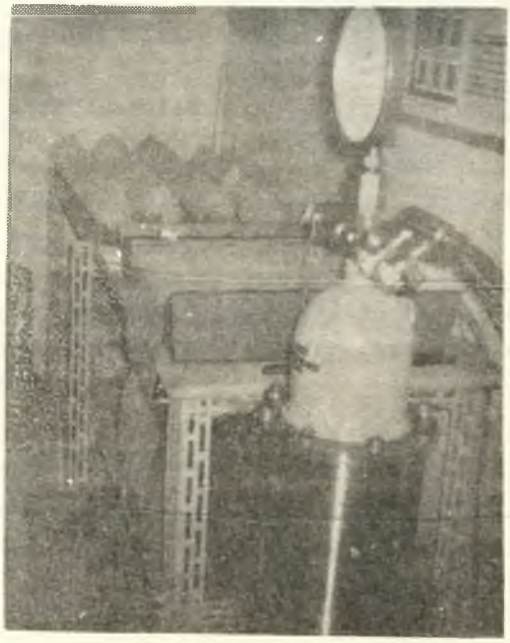
Preporučujemo formulacije IIM i IIT za izradu maltera za oblaganje RAO odnosno tranšejski beton za Centralno skladište RAO u Jugoslaviji.

ABSTRAKT

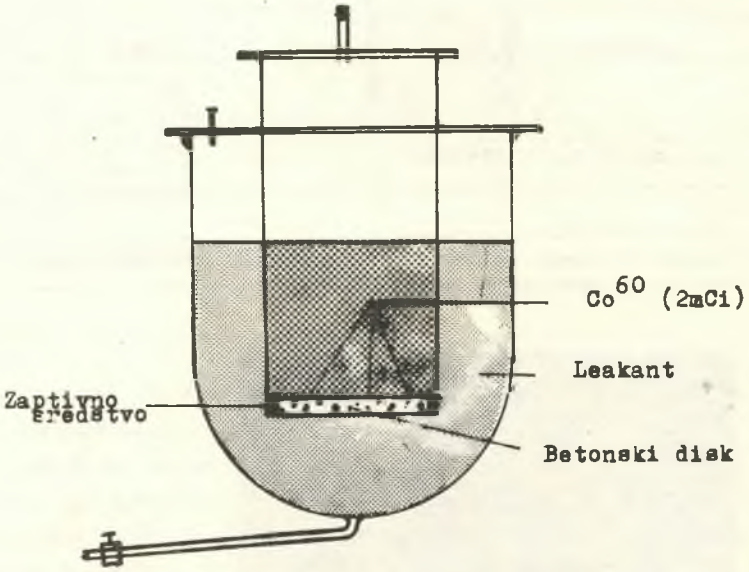
The three most important characteristics of mortar and concrete for trenches for the radioactive wastes are desribed in this report.



Sl 1 Shema aparature za merenje permeabilnosti betonskih uzoraka



Sl 2 Permeametar u radu



Sl 3 Aparatura za ispitivanje Leakage-a kroz betonske (malterne) diskove

LITERATURA

1. I.Plećaš
ETUDE COMPARATIVE DE L´EFFICACITE D´ADJUVANTS POUR LES MATERIAUX D´ENROBAGE POUR DECHETS RADIOACTIFS
STA/LBR/81-DT-596/sep.1981.

2. I.Plećaš
BETON DE REMPLISSAGE DES TRANCHEES POUR DECHETS RADIOACTIFS
STA/LBR/81-DT-600/oct.1981.

3. I.Plećaš
BETON DE CONTENEURS POUR DECHETS RADIOACTIFS
STA/LBR/81-DT-615/oct.1981.

4. I.Plećaš
ETUDE COMPARATIVE DE L´EFFICACITE DES ADJUVANTS LL-923 ET LA-35 A L´AIDE DE FORMULES DE MORTIERS POUR L´ENROBAGE DES DECHETS RADIOACTIFS
STA/LBR/81-DT-618/nov.1981.

5. I.Plećaš
ETUDE COMPARATIVE DE L´EFFICACITE DE DEUX SABLES:"S.BAYEUX" ET "S.BERVILLE" A L´AIDE DE DEUX FORMULES DE MORTIER ET DES TRANCHEES POUR L´ENROBAGE DES DECHETS RADIOACTIFS
STA/LBR/81-DT-619/nov.1981.

6. I.Plećaš
"COMPARATIVE STUDY OF FRENCH AND YUGOSLAVIAN RADIOACTIVE WASTE FORMS", TUCSON,ARIZONA,USA,feb.27-march 3,1983.

7. I.Plećaš,A.Kostadinović,B.Stojanović
"RAZRADA METODA ZA ISPITIVANJE PERMEABILNOSTI BETONA I MALTERA NA AZOT U TEHNOLOGIJI SOLIDIFIKACIJE RAO KOJI NASTAJU U RADU NUKLEARNO ENERGETSKIH POSTROJENJA" Tehnika-Naše gradjevinarstvo, 4,1983.

8. I.Plećaš,A.Kostadinović,Ž.Vuković
"ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE DOMAĆIH MATERIJALA ZA IZRADU BETONSKIH KONTEJNERA U TEHNOLOGIJI SOLIDIFIKACIJE RADIOAKTIVNIH OTPADNIH MATERIJALA",XII Simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja,Ohrid,31 maj-3 juni 1983.g.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

S.Bačić, Ž.Vuković i S.Lazić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
"Zaštita",p.fah 522., 11001 Beograd

MIGRACIJA TRASERA ^{133}Ba U ČVRSTU FAZU BARIJUM KARBONATA PO POVRŠINI I DUŽ MEDJUBLOČNIH GRANICA

REZIME Migracija radioaktivnog trasera ^{133}Ba u čvrstu fazu mikrokristalnog sorbenta $BaCO_3$ odvija se u dve faze: a) brzi proces površinske adsorpcije; b) spori proces difuzije u zapreminu kristala. U ovom radu analiziran je prvi deo procesa. Izračunata je masa površinskog monosloja. Odnos mase površinskog monosloja Y_A i ukupne mase čvrste faze Y odredjen na bazi radiometrijskih podataka $(Y_A/Y)_{Sr}=1,47\cdot10^{-2}$ u dobroj je saglasnosti sa vrednošću dobijenom iz podataka analize elektronskim mikroskopom $(Y_A/Y)_{EM}=1,34\cdot10^{-2}$. Ovo slaganje predstavlja potvrdu pretpostavljenog mehanizma migracije u čvrstu fazu.

UVOD

Problem nalaženja neorganskih sintetičkih sorbenata pogodnih za sorpciju radionuklida može se razdvojiti na dva dela: prvo, kako napraviti dovoljno defektan kristal koji ima veliki sorpcioni kapacitet i drugo, kako sačuvati radionuklide fiksirane u čvrstoj fazi u dovoljno dugom vremenskom periodu.

Pokazano je da se taloženjem iz koncentrovanih rastvora, na sobnoj temperaturi, dobijaju kristali vrlo defektne strukture sa velikom brzinom izmene i velikim sorpcionim kapacitetima.(1,2)

Poznavanje mehanizma formiranja i nestajanja defekata u ovakvim kristalima treba da nam da mogućnost upravljanja procesima stvaranja i iščezavanja defekata.

OPŠTI DEO

Praćenje mehanizma nestajanja defekata vršeno je na mikrokristalima $BaCO_3$ dobijenim taloženjem iz vodenih rastvora, metodom odredji-

vanja koeficijenta samodifuzije tehnikom radioaktivnih indikatora. $BaCO_3$ je pogodan sistem za praćenje ovih procesa jer zadovoljava sledeće uslove: a)kristalizacijom iz rastvora dobija se stabilna faza sa bločnom strukturom i velikom količinom svežih defekata, b)blokovi su dovoljno malih dimenzija,pa je unutrašnja površina pogodna za difuziju dovoljno velika, c)postoji pogodna dezorijentacija blokova što obezbedjuje veliku stabilnost faze.

Osobine nastalih mikrokristala ispitivane su rendgenskom difrakcijom,merenjem električne provodljivosti i odredjivanjem dimenzija kristala i reljefa površina na osnovu analize elektronskim mikroskopom.

Pošto je napred izloženo deo šireg ispitivanja ovog sistema, u ovom izlaganju zadržali smo se na uporedjivanju podataka dobijenih praćenjem izotopne izmene tehnikom radioaktivnih indikatora [3] sa podacima dobijenim analizom slika elektronskog mikroskopa.

I Radiometrijsko praćenje migracije indikatora

U navedenom radu [3] eksperimentalno je praćena kinetika izotopske izmene kristala $BaCO_3$ sa matičnim rastvorom,pri različitim vremenima starenja taloga τ,i na različitim temperaturama. Iz ovih podataka je predpostavljeno da migracija indikatora u čvrstu fazu ide u dva stupnja,prvi po površini i duž medjubločnih granica i drugi u unutrašnjost svakog bloka.

Prvi stupanj procesa završava se vrlo brzo (t<1min),nezavisno od toga kada je traser uveden u sistem,tj.nezavisno od vremena starenja taloga i temperature,dok je drugi deo procesa zavisan od oba ova parametra.

Da bismo dokazali predpostavku da prvi deo procesa ide po spoljašnjoj površini i po medjubločnim granicama uporedjene su vrednosti odnosa mase površinskog monosloja Y_A i ukupne mase čvrste faze Y,izračunatih iz radiometrijskih podataka i iz podataka o veličini blokova dobijenih na osnovu analize slika elektronskog mikroskopa.

Masa površinskog monosloja Y_A izračunava se na osnovu uslova izotopne ravnoteže [4]:

$$Y_A = \frac{C_o^* - C_1^*}{C_1^*} \cdot CV \qquad (1)$$

gde je C_o^* koncentracija trasera ^{133}Ba odmah posle uvodjenja u rastvor i homogenizacije, C_1^* je koncentracija trasera posle završene prve faze, C je ravnotežna koncentracija barijuma u rastvoru i V je zapremina rast-

vora.

Masa čvrste faze je:

$$Y = (C_o - C)V \qquad (2)$$

gde je C_o početna koncentracija barijuma u rastvoru. Iz jednačine (1) i (2) dobijamo:

$$\frac{Y_A}{Y} = \frac{(C_o^*/C_1^* - 1)}{(C_o/C - 1)} \qquad (3)$$

U tabeli (1) date su vrednosti za Y_A/Y izračunate na osnovu radiometrijskih merenja.

Izračunata je srednja vrednost za data merenja nezavisno od temperature i vremena starenja taloga jer ovi parametri ne utiču na prvi stadijum procesa: $(Y_A/Y)_{sr} = 1,47 \cdot 10^{-2}$.

Tabela 1. Odnos mase površinskog monosloja i mase čvrste faze izračunat na osnovu radiometrijskih merenja; T_S-temperatura starenja taloga; T_R-temperatura izotopske razmene, τ-vreme starenja taloga.

		C/C_o	C_1^*/C_o^*	$(Y_A/Y) \cdot 10^2$
$T_S=40^oC$ $\tau=30$ min	$T_R=20^oC$	0,03	0,68	1,46
	$T_R=40^oC$	0,03	0,68	1,46
	$T_R=60^oC$	0,03	0,68	1,46
	$T_R=80^oC$	0,03	0,68	1,46
$T_S=40^oC$ $T_R=20^oC$	$\tau=5$ min	0,04	0,68	1,96
	$\tau=30$ min	0,03	0,68	1,46
$T_S=60^oC$ $T_R=20^oC$	$\tau=30$ min	0,03	0,73	1,14
$T_S=80^oC$ $T_R=20^oC$	$\tau=5$ min	0,04	0,76	1,32

II Analiza kristala na osnovu slika elektronskog mikroskopa

Analiza mikrokristala $BaCO_3$ vršena je na elektronskom mikroskopu JAM-4. Merenje je vršeno metodom replika. Snimljeni su mikrokristalni talozi u različitim vremenima starenja, nenagrizani i nagrizani sa EDTA. Na nenagrizanim taložima vidljiva je bločna struktura ali nedovoljno izražena da bi se mogla odrediti funkcija raspodele blokova po dijametru. Zato je približno 10% taloga rastvoreno u EDTA i na ovakvim talozima je vidljivo izražena bločna struktura, sa blokovima približno sfernog oblika. Na osnovu slika nagrizenih uzoraka izračunata je specifična površina blokova $S_{sp.} = 7,97\ m^2/g$.

Odnos mase površinskog monosloja Y_{pov} i mase čvrste faze Y može se izračunati na osnovu sledeće jednačine:

$$\frac{Y_{pov.}}{Y} = S_{sp.} \frac{M}{S_{at} \cdot N} = 1,04 \cdot 10^{-2} \qquad (4)$$

$S_{at}=2,5 \cdot 10^{-19} m^2$ je površina jednog atoma Ba(podatak uzet iz literature [5]),N-je Avogadrov broj a M je molekulska težina uzorka.

Geometrijska površina odredjena je metodom po BET-u i iznosi $S_{BET}=2,4\ m^2/g$ što prema jednačini (4) odgovara odnosu $Y_{BET}/Y=0,31 \cdot 10^{-2}$. Pošto površina odredjena po BET-u predstavlja samo spoljašnju površinu kristala a površina odredjena iz podataka elektronskog mikroskopa odgovara površini blokova zbir njihovih udeonih masa treba da predstavlja ukupnu površinu po kojoj se odvija migracija trasera u prvom stadijumu procesa.

$$\left(\frac{Y_A}{Y}\right)_{\Sigma M} = \frac{Y_{BET}}{Y} + \frac{Y_{pov.}}{Y} = 1,34 \cdot 10^{-2} \qquad (5)$$

Uporedjivanjem vrednosti za $(Y_A/Y)_{sr}$ dobijenih iz tabele (1) i vrednosti $(Y_A/Y)_{\Sigma M}$ iz jednačine (5) pokazuje dobro slaganje ove dve veličine odredjene preko dve nezavisne eksperimentalne metode. Ovakvo slaganje ukazuje na ispravnost predpostavljenog mehanizma migracije indikatora u čvrstu fazu.

ABSTRACT

Penetration of radioactive tracer ^{133}Ba in the solid phase of $BaCO_3$ was investigated. The process occurs into two stages:a)a very fast surface adsorption; b)a slow tracer diffusion into the crystal bulk. First stage of the process was analysed in this paper. Mass of the surface monomolecular layer Y_A was calculated. Radiometrically determined value Y_A is in accordance with one determined by electron microscopic analyse.

LITERATURA

1. Ž.Vuković,I.V.Melihov,Radiohimia,15,476 (1973)
2. S.Lazić,Ž.Vuković,I.V.Melihov,Bull.Soc.Chim.Beograd,45,295(1980)
3. S.Bačić,Ž.Vuković,Ibid,47,433(1982)
4. I.V.Melihov,M.S.Merkulova,Sokristalizacia,Izd."Himia",Moskva(1975)
5. G.B.Bokii,Kristalohimia,Izd.Moskovski Universite (1960).

XII. JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Ljerka Despotović i Radoslav Despotović
Institut "Ruđer Bošković" OOUR Tehnologija, Nuklearna Energija i Zaštita, 41001 Zagreb, Bijenička cesta 54, P.p. 1016.

EKSKLUZIJA KAO KONTAMINACIONI PROCES

REZIME Stanje kontaminaciono-dekontaminacione ravnoteže za različite alumosilikatne materijale (zeolit A, kaolin i montmorilonit) za sisteme čvrsto/tekuće je opisano u radu. Razmatra se ekskluzija kao proces koji uzrokuje porast radiokontaminacije tekuće faze, a na osnovi eksperimentalnih rezultata.

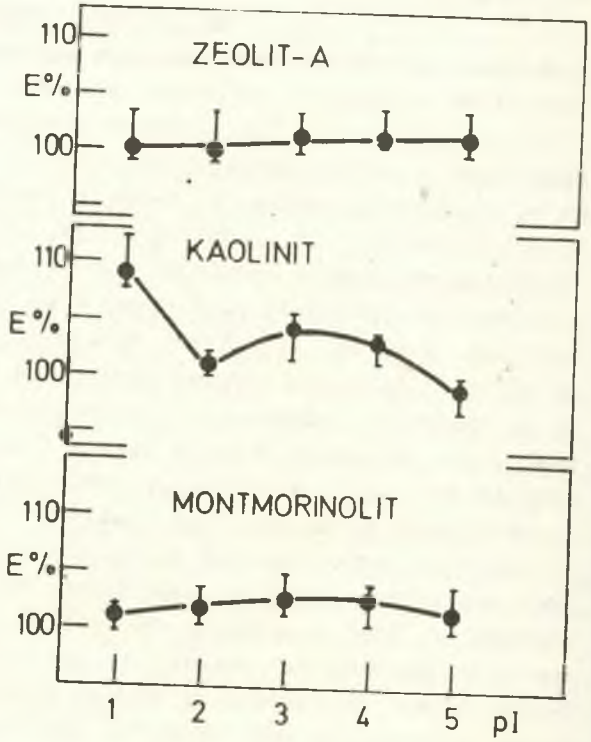
UVOD Dekontaminacija tekuće faze različitim tipovima čvrstog matriksa vrlo je važna tehnološka praksa. Posebnu važnost zauzima dekontaminacija različitih tehnoloških voda. Proces dekontaminacije nisko radioaktivnih voda, no nivoa iznad dozvoljenih granica specifične radioaktivnosti vrlo je prisutna praksa. Posebno je problem kada takove kontaminirane vode sadrže bitno više koncentracije neradioaktivnih iona. Za takove otopine, na određenim tehnološki podobnim čvrstim matriksima dolazi do različitih nepoželjnih nuspojava. Jedna od njih je i pojava ekskluzije, na što je prvotno skrenuta pažnja od autora Schofield-a, Talibudin-a, Haan-a, Edwards-a, Posner-a i Quirk-a (1). Istraživanje pojave ekskluzije, kao posebnog stanja kontaminaciono-dekontaminacione ravnoteže predmet je koji se ovdje razmatra, a cilj je upozorenje na realno mogući negativni efekt kod tehnološke dekontaminacije. Taj se efekt manifestira u porastu specifične radioaktivnosti tekuće faze, bogate neradioaktivnim ionima, u uvjetima primjene određenog tipa čvrstog matriksa.

MJERENJA Za eksperimentalno praćenje kontaminaciono-dekontaminacione ravnoteže upotrebljeni su praškasti prirodni kaolin i montmorilonit te sintetski zeolit A. Praškasti materijali stavljeni su u kontakt sa tekućom kontaminiranom fazom (otopine

NaJ od 0.00001 do 0.1 M/dm^3, odnosno pJ 5 do 1, kontaminirane sa $^{131}J^-$). Nakon jednodnevnog uravnotežavanja, centrifugiranjem je odvojen alikvot tekuće faze za radiometriju. Radioaktivnosti takovih uzoraka uspoređivane su sa standardom (kontaminirana otopina NaJ bez čvrste faze) za određivanje postotka ekskluzije %E. Istovjetna jodidna kontaminirana otopina stavljana je u kontakt sa različitim količinama praškastih materijala (1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 250, 500 g/dm^3) uz isto vrijeme uravnotežavanja. Rezultati su sakupljeni na slici 1. i predstavljaju funkcionalnu zavisnost postotka ekskluzije %E kao funkcije koncentracije neradioaktivnih iona (-log skala); dimenzije spota odgovaraju oscilaciji mjerenja a granice vertikalnih linija raspon rezultata za rastuću masu čvrste faze od 1 do 500 g/dm^3. Mjerenja su vršena za uzorke na sobnoj temperaturi.

RAZMATRANJE REZULTATA Hidrofilni matriks (na primjer hidr-oksidi željeza) podoban za fiksaciju ili dekontaminaciju tekuće faze pokazuje složenu zavisnost kinetike i kapaciteta o uvjetima pripreme, naknadnog tretmana kao i uvjetima u toku eksploatacije (2). Formalno kemijski ista vrsta može dati različite rezultate uporabne vrijednosti, od vrlo visoke kvalitete do negativnog rezultata. Zeoliti različitih tipova podesni su za različite procese dekontaminacije, no zanimljivo je da se u visokokoncentriranim otopinama proces dekontaminacije na alumosilikatnom matriksu ravna i prema toku procesa hidratacije tog matriksa. Rezultat je takovog hidratacijskog procesa (v. shemu na slici 2) neželjeni porast specifične radioaktivnosti tekuće faze. Kapacitet hidratacije i sorpcije nije jednak i normalna je posljedice smanjenje vode iz tekuće faze, uz neznatno smanjenje ionskih vrsta, što rezultira u povišenju koncentracije tih istih ionskih vrsta u tekućoj fazi. Različiti stupanj hidratacije kao i različita sorpcijska moć pojedinih alumosilikatnih matriksa daju različite rezultate ekskluzije. Najviša je ekskluzija na kaolinu (do 12%) a najmanja na zeolitu A (do 4%), što daje odgovarajuću prednost tom materijalu kao dekontaminacijskom martiksu. Montmorilonit je također sa niskim efektom ekskluzije u analiziranim uvjetima (do 5%). Važno je naglasiti da se fenomenološka funkcionalna zavisnost ponavlja sa slijedećim karakteristikama. Funkcije nisu monotone već pokazuju znatnu zavisnost o ionskom pritisku neradioaktivnih iona uz pojavu maksimuma i bitnu neza-

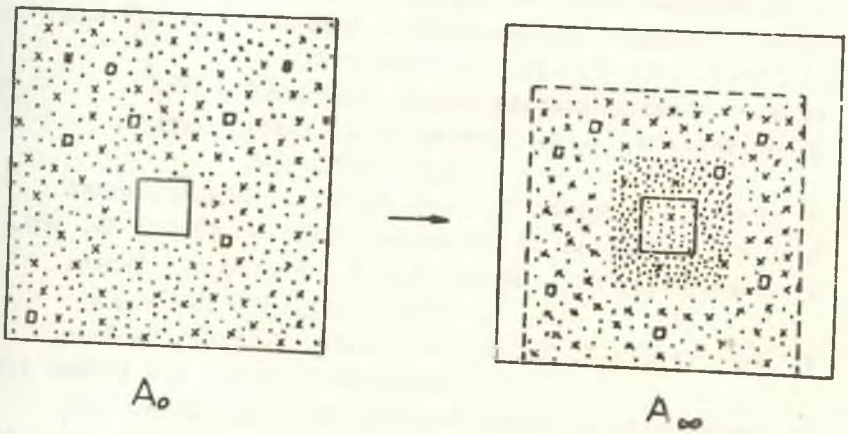
visnost o masi prisutnog alumosilikatnog matriksa. Dok se za proces ekskluzije može smatrati odgovornim prvenstveno proces hidratacije alumosilikatnog matriksa, nezavisnost krajnjeg efekta ekskluzije o masi matriksa čvrste faze mora se tražiti u nizu složenih ravnoteža. Poznato je da se mehanizam fiksacije iona na alumosilikatnom matriksu može objasniti kemijskim, prostornim i coulombovskim parametrima sa kvantitativno vrlo preciznim karakteristikama. Nezavisnost kapaciteta fiksacije mjerena kao konstantan iznos (± 1,0 do 2,5%) upućuje na potrebu vrlo detaljnog istraživanja ovog fenomena, jer je teško prihvatiti kao uzrok toj pojavi konačnu koncentraciju aktivne vode, minimalnu maseno i energetsku razliku između promatranih izotopskih vrsta ili paralelizam promjene specifičnog ionskog pritiska po površini matriksa sa promjenom efekta ekskluzije.



Slika 1. Postotak ekskluzije E% mjeren kao funkcija pI za zeolit A, kaolinit i montmorilonit u otopinama kontaminiranim radioaktivnim izotopom $^{131}J^-$.

Smanjenje raspoloživog volumena tekuće faze u kojem se nalaze radioaktivni i neradioaktivni ioni poslijedica je solvatacije svih ionskih vrsta (zato se uz bitno povišenje koncentracije

iona znatnije povisuje efekt ekskluzije) i posebno interakcije vode sa površinom alumosilikata uronjenih u vodu. Shematska slika br. 2. ilustrira takove promjene hidratacije u odnosu na alumosilikatni matriks. Specifična radioaktivnost A_o neposredno po uranjanju čvrstog matriksa u tekuću fazu, smanji se na ravnotežnu radioaktivnost A_∞ uz promjenu rasporeda vode u prostoru. Smanjenje vode u tekućoj fazi ekvivalentno je porastu mase vode u hidrofilnom sloju alumosilikata uz istovremeno smanjenje ionskih vrsta u odnosu na prvotni volumen tekuće faze, uz istovremeni specifični porast istih iona u smanjenom volumenu tekuće faze. Model je sasvim shematiziran, no zorno ilustrira suštinu



Slika 2. Shematski prikaz procesa ekskluzije. Inicijalna A_o radioaktivnost tekuće faze smanjuje se dodatkom alumosilikatnog matriksa na nižu ravnotežno A_∞ radioaktivnost. U presjeku promatranog volumena nalaze se molekule vode (točkice), neradioaktivni ioni (označeno sa x) i radioaktivni ioni (označeno malim kvadratičima) te matriks čvrste faze (veliki kvadrat). Procesom uravnotežavanja smanjuje se volumen tekuće faze.

procesa ekskluzije. Osim izuzetno zanimljivog fenomena u sferi adsorpcijsko-desorpcijskih pojava, koje su osnova kontaminaciono dekontaminacionim procesima, pokazani rezultati upućuju na potre-

bu točnog utvrđivanja uporabnih svojstava za svaki konkretan sistem, jer se neadekvatnom primjenom nosačkih materijala može izvršiti povišenje umjesto smanjenje kontaminacije određene tekuće faze.

SUMMARY The state of contamination-decontamination equilibria in solid/liquid systems for various clay scawengers is shown. Based on the experimental data exclusion as the process causing increase in radiocontamination of liquid phase is discussed.

LITERATURA

(1) R. K. Schofield, Nature, 160 (1947) 408.
R. K. Schofield, O. Talibuddin, Discuss Faraday Soc., 3 (1948) 51.
F. A. M. Haan, J. Phys. Chem., 68 (1964) 2970.
D. G. Edwards, A. M. Posner, J. P. Quirk, Nature, 206 (1965) 168.

(2) M. Mirnik, M. Herak, R. Despotović, I Jugoslavenski Simpozij o Zaštiti od Zračenja, Portorož (1963) No. 165.
R. Despotović, M.J. Herak, Lj. A. Despotović, Croat. Chem. Acta, 37 (1965) 209.
R. Despotović, M. Herak, M. Mirnik, R. Wolf, Naučno-Tehnički Pregled, XVI (1966) 1,28.
R. Despotović, Discuss. Faraday Soc., 42 (1966) 208.
R. Despotović, 5th International Congress on SAS, Barcelona (1968), Ed. UNIDAS Barcelona (1969) Vol. II/2, 897.
R. Despotović, V Jugoslavenski Simpozij o Zaštiti od Zračenja, Bled (1970) No. 39.
R. Despotović, Lj. A. Despotović, N. Matker, B. Subotić, Health Physics Problems of Internal Contamination, Proc. IRPA 2nd European Congress on Radiation Protection, Ed. Akademiai Kiado Budapest 1973, p. 445.
R. Despotović, B. Subotić, J. Zakoucka, VI Jugoslavenski Simpozij o Zaštiti od Zračenja, Ohrid 1972, pp VIII/11.
R. Despotović, B. Subotić, VII Jugoslavenski Simpozij o Zaštiti od Zračenja, Kaštel Stari (1973)307.

R. Despotović, Voda i sanitarna tehnika (Beograd) 4(1974)61.

R. Despotović, VIII Jugoslavenski Simpozij o Zaštiti od Zračenja, Herceg Novi (1975) 431.

R. Despotović, B. Subotić, IX Jugoslavenski Simpozij o Zaštiti od Zračenja, Jajce (1977) 427.

B. Subotić, R. Despotović, Ibid (1977) 443.

B. Subotić, R. Despotović, R. Wolf, Proc. IAEA Symposium on Monitoring of Radioactive Effluents from Nuclear Facilities, Ed. IAEA Vienna (1978) 385. IAEA-SM-217/39.

R. Despotović, S. Musić, B. Subotić, R.H.H. Wolf, Proc. IAEA Symposium on Decontamination of Radioactive Isotopes, Vienna 1978, Ed. IAEA Vienna (1979) 307. IAEA SM-234/22 "Decommissioning of Nuclear Facilities".

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj-3. jun 1983.

D. Mayer-Žitnik, R. Despotovic
Institut "R. Bošković", Zagreb, Bijenička 54

TENZIDI U REAKCIJAMA DEKONTAMINACIJE

Primjenjljivost tenzida u različitim tehnološkim procesima rezultirala je mogučnošću primjene na jednom polju nuklearne tehnologije, u procesima fiksacije radioaktivnih izotopa. Kao modelni sistem za uklanjanje radioizotopa jodida, upotrebljen je srebrni jodid u prisustvu anionskog tenzida, natrij dodecil sulfata, $NaDDSO_4$. Pokazalo se, da kontaminacijsko-dekontaminacijske ravnoteže u takovim sistemima zavise o koncentraciji $NaDDSO_4$ uz kontrolirane uvjete pripreme sistema.

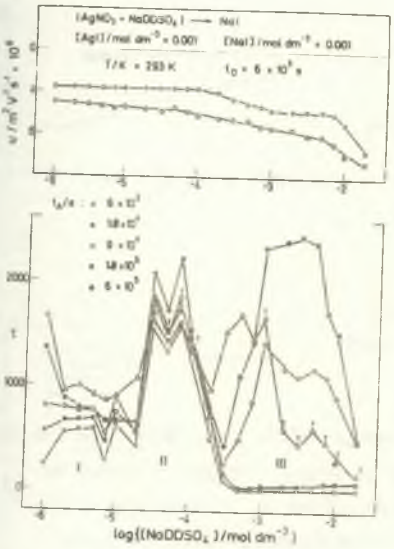
Uklanjanje radioaktivnih izotopa pod kontroliranim uvjetima, odredjeno je nizom fizičkih i kemijskih svojstava radiokontaminanta i karakteristikama kontaminiranog sredstva. Utvrdjivanje relevantnih činilaca u ravnoteži kontaminacija-dekontaminacija, podloga je za racionalno i uspješno izvodjenje procesa dekontaminacije. Naglasak je na istraživanju dvofaznih sistema tipa "čvrsto-tekuće", kao modelnih sistema kod dekontaminacije različitih površina ili voda.

Dinamička ravnoteža radioizotopa konstituenata čvrste faze u sistemima čvrsto-tekuće odvija se procesom heterogene zamjene. Proces heterogene zamjene, sa stajališta dekontaminacije, predstavlja smanjenje koncentracije radioizotopa u tekućoj fazi i njihovu ugradnju u čvrstu fazu, autodifuzijom, Ostwaldovim zrijenjem ili površinskom reakcijom (1,2,3). Koji će od navedenih mehanizama biti odgovoran za fiksaciju radionuklida, zavisi o fizičko-kemijskim osobinama čvrste faze i sastavu tekuće faze.

Solovi AgI u dodiru s markiranom matičnicom odgovaraju, u fizičko-kemijskom smislu, čvrstom nosaču u dodiru s tekućom fazom, koja sadrži radionuklid konstituent kristalne rešetke nosača (3). Na brzinu heterogene zamjene, odnosno na kontaminacijsko-dekontaminacijske ravnoteže, bitno utječe način pripreme sistema i prisustvo aditiva kao što su koagulacijski ili flokulacijski

elektroliti (tenzidi) (2,4,5). Stoga je kao modelni sistem odabran negativan sol srebrnog jodida pripreman pod odredjenim uvjetima u prisustvu anionskog tenzida, natrij dodecil sulfata, a kao radiokontaminant, konstitucijski ion $^{131}I^-$.

Praćenjem promjena tindalometrijske vrijednosti, kao mjere stabilnosti sistema, u zavisnosti o koncentraciji $NaDDSO_4$ i vremenu starenja sistema, moguće je odrediti područje u kojem će srebrni jodid, kao nosač, imati dekontaminacijska svojstva u odnosu na jodidne ione (sl.1).

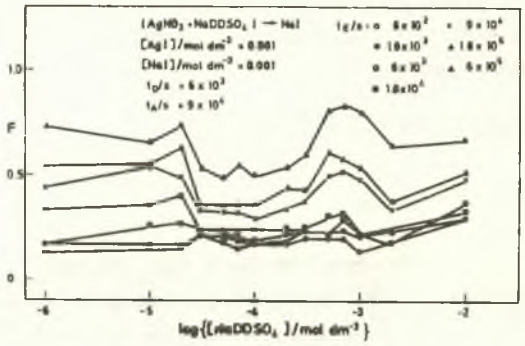


Slika 1.

Promjena zamućenja $AgNO_3$+$NaDDSO_4$ — NaI sistema u zavisnosti o logaritmu koncentracije $NaDDSO_4$ za različito starene sisteme.

Koncentracijsko područje u kojem $NaDDSO_4$ stabilizira sol tipično je područje dekontaminacije, dok je područje flokulacijskog djelovanja $NaDDSO_4$, područje kontaminacije tekuće faze jodidnim ionima. Najme, u području stabiliziranog sola dio jodidnih iona iz tekuće faze nalazi se na površini nosača, a budući da su čestice nosaća u tom području veoma male, doći će do lakše zamjene izmedju ionau tekućoj i čvrstoj fazi. U koncentracijskom području u kojem je tenzid vezan na čestice AgI sola proces zamjene bitno je usporen zbog energetske barijere, koja sprečava kontakt izmedju jodidnih iona, koji se zamjenjuju, a nalaze se u tekućoj fazi i suspendiranih čestica AgI, jer je i čvrsta faza nosilac negativnog naboja (4). Brzina zamjene(fiksacija,dekontaminacija) odredjuje se praćenjem promjena frakcije zamjene u zavisnosti o koncentraciji tenzida i vremena zamjene (sl.2). Proces dekontaminacije tekuće faze bitno je

usporen u području flokuliranog sola, što je u skladu s postavkom, da se procesi heterogene zamjene iona u sistemu čvrsto-tekuće odvijaju znatno sporije u prisustvu nekih vrsta tenzida(5). Rezultati sistematskih istraživanja procesa fiksacije radionuklida pokazali su, da je dominantan mehanizam uravnote-

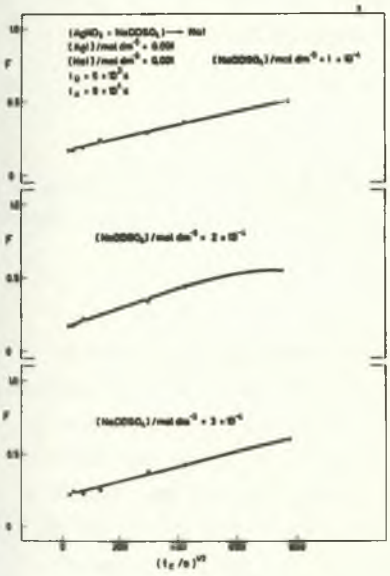


Slika 2.
Frakcija zamjene $^{131}I^-$, F , na solu AgI starenom 1500 minuta u zavisnosti o logaritmu koncentracije $NaDDSO_4$.

žavanja u tom koncentracijskom području djelovanja $NaDDSO_4$, autodifuzija (sl.3). Grafičkom analizom zavisnosti frakcije zamjene o drugom korijenu vremena zamjene, dobivaju se pravci ukoliko se radi o autodifuziji, odnosno krivulje ukoliko je dominantan neki drugi mehanizam uravnotežavanja (6).

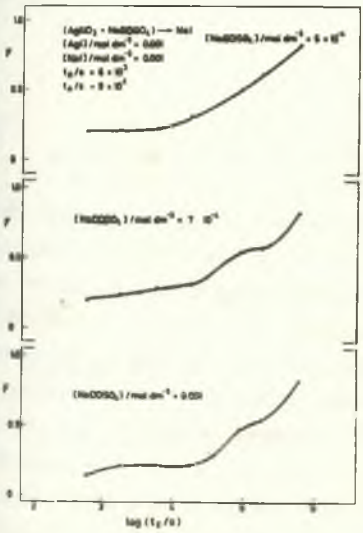
Povećanjem koncentracije tenzida, dolazi se u područje stabilizacijskog djelovanja $NaDDSO_4$, u kojem proces fiksacije radionuklida postaje značajno ubrzan, a odvija se mehanizmom Ostwaldovog zrijenja (sl.4), koje je u pravilu brži proces uravnotežavanja sistema od procesa autodifuzije. Kristaliti srebrnog jodida nastali u prisustvu $NaDDSO_4$ nesredjene su strukture, koje se sredjuju procesom Ostwaldovog zrijenja u matičnoj otopini. Time je kontakt izmedju čvrste i tekuće faze značajno povećan te lakše dolazi do ugradnje radionuklida iz tekuće u čvrstu fazu.

Sumarno prikazani dobiveni rezultati upućuju na činjenicu, da se proces dekontaminacije tekuće faze čvrstim nosačem, u ovom slučaju to su čestice AgI, a u prisustvu anionskog tenzida, može bitno ubrzati ili usporiti prisustvom odredjenih koncentracija tenzida, što je u skladu s dosadašnjim sistematskim istraživanjima na odabranim modelnim sistemima (1,5).



Slika 3.

Frakcija zamjene $^{131}I^-$, F , na solu AgI starenom 1500 minuta za odredjene koncentracije $NaDDSO_4$ u zavisnosti o drugom korijenu vremena zamjene.



Slika 4.

Pakcija zamjene $^{131}I^-$, F , na solu AgI starenom 1500 minuta za odredjene koncentracije $NaDDSO_4$ u zavisnosti o logaritmu vremena zamjene.

Takovo saznanje, vrijedno i sa znanstvenog stajališta, od bitnog je značaja za svjesno vodjenje niza procesa u nuklearnoj tehnologiji.

SURFACTANTS IN DECONTAMINATION REACTIONS

The applicability of surfactants in various technological processes has resulted in the possibility of their application in one area of nuclear technology, in processes of radioactive isotope fixation. Silver iodide in the presence of the anionic surfactant sodium dodecyl sulphate was used as a model system for the removal of the radioisotope $^{131}I^{-}$. It was shown that the contamination-decontamination equilibria in such system depend on the concentration of sodium dodecyl sulphate under controlled conditions of system preparation.

LITERATURA

1. R. Despotović, Zbornik radova 7. Jugoslavenskog simpozija "Zaštita od zračenja", Kaštel Stari, 1973, 307.
2. R. Despotović, M. Herak, M. Mirnik, H. Wolf, Naučno tehnički pregled, Spec. broj 1 (1966) 28.
3. R. Despotović, B. Subotić, J. Zakoucka, Proc. 6th Yugoslav Symposium on Radiation Protection, Ohrid, 1972, pp. VII/II, 1.
4. R. Despotović, S. Musić, B. Subotić, R.H.H. Wolf, Proc. of "Dekomission of Nuclear Facilities", IAEA-SM-234/22, Vienna, 1979, 307.
5. B. Subotić, R. Despotović, Zbornik radova IX Simpozija I.D.Z.Z., Jajce 1977, 443.
6. R.H.H. Wolf, M. Mirnik, B. Težak, Kolloid Z.Z. Polymere, 205 (1965) 111.

XII. JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Ohrid, 31.maj - 3.jun 1983.

N.Filipović-Vinceković, D.Mayer-Žitnik

Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Bijenička 54

O MEHANIZMIMA DEKONTAMINACIJE IONA

Studirani su mehanizmi i efikasnost dekontaminacije aniona i kationa tenzidima suprotnog naboja. Dodatkom elektrolita u vodene otopine tenzida protuion se veže u električni dvostruki sloj koloidnih jedinica nastalih asocijacijom tenzida i pomiče asocijacijske ravnoteže prema nižim koncentracijama. Porastom koncentracije elektrolita promjene asocijacijskog kapaciteta upućuju na promjene strukture električnog dvostrukog sloja koloidnih tenzidnih jedinica. Rezultati su pokazali da je djelovanje tenzida kao dekontaminanta neznatno ispod prve kritične micelarne koncentracije i da raste linearno s porastom koncentracije tenzida do druge kritične micelarne koncentracije.

UVOD

Uz sve veću primjenu tenzida u nuklearnoj tehnologiji od važnosti su istraživanja mehanizama i efikasnosti dekontaminacije. Utvrđivanjem činilaca koji utječu na mehanizme vezanja protuiona na koloidne strukture tenzida podloga su za uspješan izbor vrste i količine tenzida kao jeftinog dekontaminacijskog sredstva. Poznato je da dodatak elektrolita utječe na asocijacijske ravnoteže tenzida u vodenim otopinama i da se protuioni vežu u električni dvostruki sloj jedinica nastalih asocijacijom iona tenzida. Istraživanja velikog broja autora su pokazala da je djelovanje protuiona specifično i da zavisi o različitim svojstvima (veličini, stupnju hidratacije, valenciji, specifičnom kemijskom djelovanju). Gotovo svi objavljeni rezultati se odnose na ispitivanja djelovanja protuiona koji je konstitucijski dio molekule tenzida. U ovom će radu biti pokazani rezultati istraživanja modelnih sistema ion-tenzid suprotnog naboja uz protuion koji nije konstitucijski dio molekule iona tenzida. Količina vezanih protuiona na koloidne strukture tenzida mjerena je potenciometrijski.

EKSPERIMENTALNIO DIO

Sistemi su priređivani razredivanjem otopina tenzida (n-dodecil amin nitrata, $DDANO_3$, i natrij dodecil sulfata, $NaDDSO_4$) i dodatkom određenih koncentracija elektrolita (natrij jodida ili srebrnog nitrata). Koncentracija slobodnih iona (I^-, Ag^+) određena je mjerenjem emf ćelije :

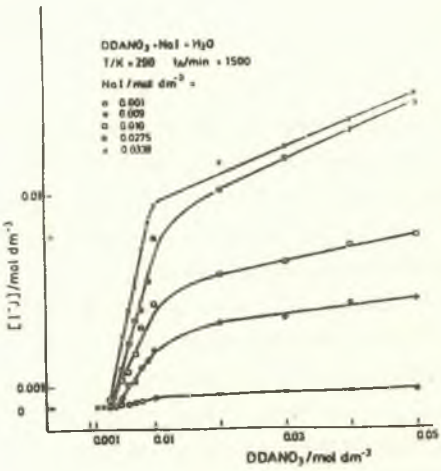
$Ag/Ag_2S/$ c $//KNO_3/KBr + KNO_3/AgBr/Br$

Rezultati su prikazani kao promjene koncentracija vezanih protuiona i asocijacijskog kapaciteta, Γ , u zavisnosti o koncentraciji tenzida u sistemu.

$\Gamma = c_t - c_s / c_t$, gdje c označuje koncentraciju protuiona u mol dm^{-3}, t se odnosi na ukupnu koncentraciju protuiona , a s na koncentraciju slobodnih protuiona.

RAZMATRANJE REZULTATA

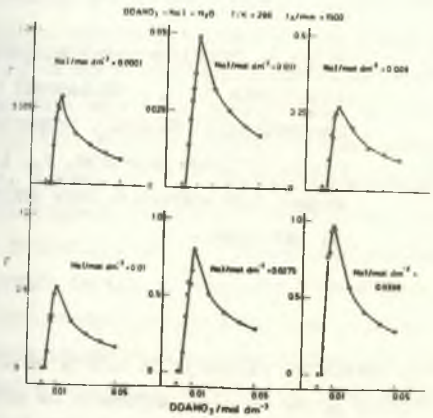
Promjene koncentracije vezanih jodidnih iona za niz otopina $DDANO_3$ i uz različite ukupne koncentracije jodidnih iona pokazane su na slici 1.



Slika 1. Promjene koncentracije vezanih jodidnih iona u zavisnosti o koncentraciji $DDANO_3$. Temperatura, T, vrijeme starenja sistema, t_A, i ukupna koncentracija jodidnih iona su naznačeni.

Prema dobivenim rezultatima izgleda da nema mjerljivog vezanja jodidnih iona na premicelarne asocijate $DDANO_3$ (1). U svim ispitivanim sistemima vezanje jodidnih iona počinje iza prve kritične micelarne koncentracije, c.m.c., koja se pomiče prema nižim koncentracijama tenzida uz porast ukupne koncentracije

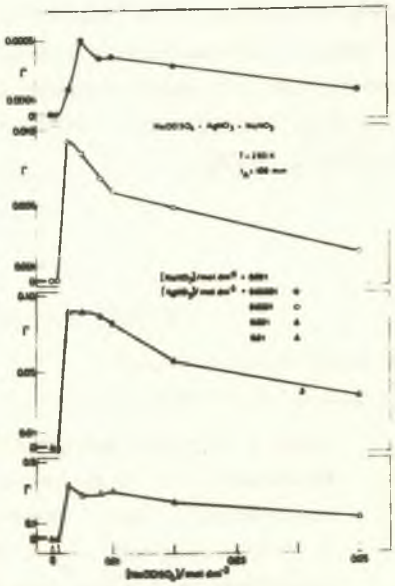
jodidnih iona (c.m.c. su određivane i iz adsorpcijskih izotermi). Koncentracija vezanih jodidnih iona raste linearno s porastom koncentracije $DDANO_3$ uz promjenu nagiba krivulja u području viših koncentracija tenzida. Pokazano je u prijašnjim radovima da u vodenim otopinama $DDANO_3$ osim uobičajene prve c.m.c. postoji i druga c.m.c. odnosno usko koncentracijsko područje u kojem su promjene različitih fizičko-kemijskih svojstava diskontinuirane (1). Koncentracije tenzida kod kojih dolazi do promjena nagiba krivulja na slici 1 odgovaraju drugoj c.m.c. Pomicanje druge c.m.c. s porastom koncentracije jodidnih iona prema nižim koncentracijama tenzida je u skladu s pomakom svih asocijacijskih ravnoteža u sistemu i slično je pomaku prve c.m.c. (linearna zavisnost log c.m.c. i log koncentracije protuiona). Na slici 2 su pokazane promjene asocijacijskog kapaciteta u zavisnosti o koncentraciji $DDANO_3$.



Slika 2. Promjene asocijacijskog kapaciteta, Γ, u zavisnosti o koncentraciji $DDANO_3$. Temperatura, T, vrijeme starenja, t_A, i ukupna koncentracija jodidnih iona su naznačeni.

Konstantnost asimetrije i elektroforetska gibljivost $DDANO_3$ micela u koncentracijskom intervalu od prve do druge c.m.c. odraz su nepromijenjenog oblika i veličine micela (1), pa je linearni porast Γ rezultat porasta koncentracije micela. Iza druge c.m.c. asocijacijski kapacitet se smanjuje. Smanjenje Γ ne može biti objašnjeno samo kompeticijom jodidnih i nitratnih iona (porastom koncentracije tenzida u sistemu raste i koncentracija nitratnih iona) pošto se početak smanjenja Γ pomiče prema nižim koncentracijama $DDANO_3$ s porastom koncentracije jodidnih iona. Smanjenje Γ nakon maksimuma posljedica je manjenja površine za vezanje protuiona. Slične promjene koncentracije vezanih srebrnih iona na koloidne strukture $NaDDSO_4$ (2) i asocijacijskog kapaciteta dobivene

na sistemima $AgNO_3$ - $NaDDSO_4$ (slika 3). Rezultati su u skladu s literaturnim podacima (3). U koncentracijskom području između prve i druge c.m.c. nastaje samo jedna vrsta micela. Porastom koncentracije $NaDDSO_4$ iznad druge c.m.c. uz strukturne promjene u miceli dolazi i do promjena u vezanju protuiona.



Slika 3. Promjene asocijacijskog kapaciteta, Γ , u zavisnosti o koncentraciji $NaDDSO_4$. Temperatura, T, vrijeme starenja, t_A, i ukupna koncentracija iona srebra su naznačeni.

Asocijati tenzida su koloidne jedinice s određenom raspodjelom naboja na površini (električni dvostruki sloj). Ionske grupe tenzida smještene na površini asocijata vežu dio protuiona prisutnih u sistemu. Prema zakonu o djelovanju masa nastajanje asocijata (micela) u čistim vodenim otopinama $DDANO_3$ ili $NaDDSO_4$ može se izraziti ravnotežama:

$$n\ DDA^+ + m\ NO_3^- \longrightarrow (DDA)_n(NO_3)_m^{n-m} \qquad (1)$$

ili

$$a\ DDSO_4^- + b\ Na^+ \longrightarrow (DDSO_4)_a(Na)_b^{-(a-b)} \qquad (2)$$

Dodatak jodidnih ili srebrnih iona mijenja ravnoteže (1) i (2) u

$$z\ DDA^+ + x\ NO_3^- + y\ I^- \longrightarrow (DDA)_z(NO_3)_x(I)_y^{z-(x+y)} \qquad (3)$$

ili

$$p\ DDSO_4^- + r\ Na^+ + s\ Ag^+ \longrightarrow (DDSO_4)_p\ (Na)_r\ (Ag)^{-(p-(r+s))} \qquad (4)$$

Dodatak protuiona utječe na površinski potencijal micela, odnosno mijenja strukturu električnog dvostrukog sloja. Povećanje koncentracije elektrolita smanjuje elektrostatsko odbijanje izmedju ionskih grupa na površini i micele rastu (4). Problem specifičnog vezanja protuiona na površini micela je kompleksan. Prema položaju u liotropnom nizu (5) I^- odnosno Ag^+ ioni pokazuju veći afinitet prema odredjenom tenzidu u odnosu na NO_3^- ili Na^+ ione pa je i za očekivati, da porast koncentracije dodanog elektrolita uzrokuje uz rast micela i veću koncentraciju vezanih I^-, odnosno Ag^+ iona.Prema prijašnjim rezultatima (1,3) u koncentracijskom području izmedju prve i druge c.m.c. oblik i veličina micela se ne mijenja uz istu ukupnu koncentraciju elektrolita te je porast asocijacijskog kapaciteta odraz povećanja koncentracije micela. Izraziti pad asocijacijskog kapaciteta poslije druge c.m.c. rezultat je smanjenja površine raspoložive za vezanje protuiona, odnosno strukturnih promjena u električnom dvostrukom sloju uslijed reorganizacije u samoj strukturi micela (porast asocijacijskog broja) uz manji doprinos kompeticije konstitucijskih iona.

Poznavanje mehanizma vezanja iona na asocijacijske strukture tenzida je od praktične kvalitativne i kvantitativne važnosti za praćenje procesa dekontaminacije. Zavisno da li je kontaminant kation ili anion upotrebit će se tenzid suprotnog naboja. Površine kontaminirane radioaktivnim kationima i anionima, kao što je slučaj u većini realnih sistema mogu se čistiti smjesama kationskih i anionskih tenzida u povoljno odabranim omjerima. Studij mehanizma i efikasnosti istovremenog vezanja kationa i aniona u miješane micele je u toku. Krivulje porasta koncentracije vezanih iona ili asocijacijskog kapaciteta mogu se usporediti s promjenama efikasnosti dekontaminacije. Efikasnost dekontaminacije raste linearno s porastom koncentracije tenzida od prve do druge c.m.c. Ispod prve c.m.c. nema mjerljivog dekontaminacijskog djelovanja. Porast koncentracije tenzida iznad druge c.m.c. nema tako izražen utjecaj na povećanje dekontaminacijskog djelovanja kao u koncentracijskom području izmedju dviju c.m.c.

On the Mechanism of ion Decontamination

An investigation was carried out into the mechanism and efficacy of anion and cation decontamination with surfactants of opposite charge. On the addition of electrolyte to aqueous solutions of surfactants, the counter-ion binds into the electrical layer of surfactant colloidal entities and shifts the equilibria towards lower concentrations. Increasing electrolyte concentration change the

association capacity caused by changes in the structure of electrical double layer. The results indicate that the effect of surfactant as a decontaminant is small under the first critical micellar concentration and that it increases linearly with increasing surfactant concentration up to the second critical micellar concentration.

LITERATURA

1. N.Filipović-Vinceković,R.Despotović,J.Petres, Colloid&Polymer Sci. 259, 1238 (1981).
2. D.Mayer, Magistarski rad, Zagreb (1976).
3. M.Kodama,M.Miura, Bull.Chem.Soc.Jap. 45, 428,2265,2953 (1972).
4. P.Mukerjee, Advn.Colloid Int.Sci. 1, 241 (1967).
5. J.W.Larsen,L.J.Magid, J.Am.Chem.Soc. 96, 5774 (1974).

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Vlasta Tomašić i Radoslav Despotović
Institut "Ruđer Bošković", Laboratorij za koloidnu kemiju, OOUR TENEZ,
p.p. 1016, 41001 Zagreb

MUTUALNA DJELOVANJA U SISTEMIMA ZA DEKONTAMINACIJU

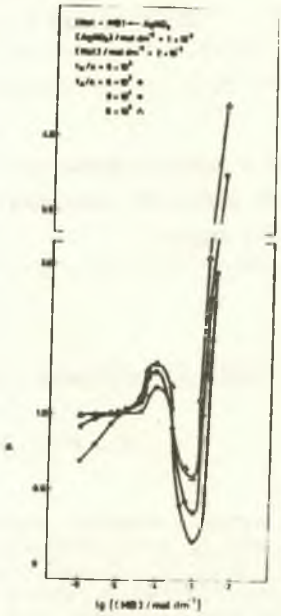
Ispitivana su svojstva srebrnog jodida u smjesama s anionskim i kationskim tenzidima i praćen je proces formiranja čvrste faze, ovisno o kemijskoj prirodi i koncentraciji prisutnih komponenata, te uvjetima priprave i vremenu starenja sistema. Prikladnim izborom parametara moguće je objasniti mehanizam i voditi proces dekontaminacije ovog tipa.

Da bi se pokušao objasniti mehanizam dekontaminacije tenzidima, ispitivana su svojstva modelnog anorganskog sola, srebrnog jodida - pripremljenog u suvišku jodidnih iona, u smjesama s anionskim tenzidom, natrijevim n-dodecil sulfatom, n-$DDOSO_3Na$ i kationskim tenzidom -organskom bojom, metilenskim plavim, MB, $C_{16}H_{18}N_3SCl$, tehnikom "in statu nascendi".

Proces formiranja čvrste faze praćen je izrazito osjetljivom, selektivnom i preciznom radiometrijskom metodom. Radioaktivni ^{131}I odn. ^{110m}Ag upotrebljeni su izvorno kao otopine bez nosača.

Uloga kompleksona, kao spojeva koji sa slobodnim ionima tvore nove, komleksne spojeve, važna je u procesima dekontaminacije, jer su u stanju spojeve izrazito slabe topljivosti, prevesti u otopinu. Naime, i kod "netopljivih" spojeva prisutna je uvijek izvjesna količina njihovih iona u otopini, pa kompleksoni tvore s njima komplekse i tako postepeno pomiću ravnotežu u smislu njihovog otapanja.

Na temelju tih premisa ispitivan je sistem (NaI + MB)← $AgNO_3$. Porastom koncentracije boje (sl. 1) dolazi do djelomičnog izdvajanja jodida u čvrstu fazu ($\alpha = n_S / n_L$), radi kompleksne topljivosti AgI u MB mediju i stvaranja kompleksa tipa $(Ag)_x(I)_y(MB)_z$. Kod $[MB]$/ mol $dm^{-3} = 1 \times 10^{-3}$ kompleks je otopljen i jodidi su u tekućoj fazi. Daljnjim porastom koncentracije boje i vremenom starenja sistema, kompleks taloži.



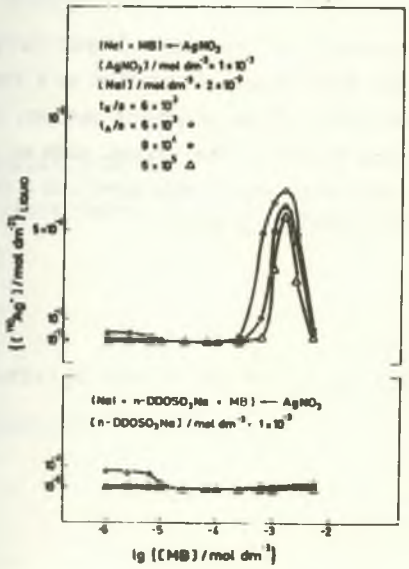
Sl. 1. Radiosedimentacijska ^{131}I analiza različito dugo starenih sistema (NaI + MB) + $AgNO_3$, u ovisnosti o koncentraciji MB.

Podaci rendgenske difrakcije ukazuju na opadanje količine AgI i veličine njegovih kristalita, porastom koncentracije MB, sve do [MB]/ mol dm^{-3} = 1×10^{-3}, gdje AgI nije detektiran (amorfno stanje). Očito je da MB posjeduje izrazit afinitet prema kompleksiranju s jodidnim ionima, unatoč favoriziranog stvaranja AgI ($K_{SO} = 1,5 \times 10^{-16}$).

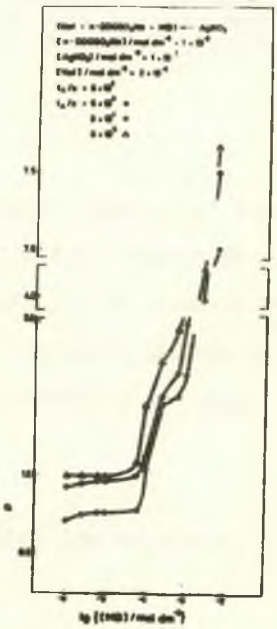
Srebrni ioni (sl. 2) su kod nižih koncentracija MB u čvrstoj fazi kao AgI, a kod viših u tekućoj fazi (70 %).

Isti sistem pripremljen uz n-$DDOSO_3Na$ (sl. 3)radi kompeticije između stvaranja kompleksa anionskog i kationskog tenzida i smanjenja topljivosti MB, uzrokovane dodatkom visoke koncentracije anionskog tenzida, pokazuje prijelaz jodidnih iona u čvrstu fazu, već kod nižih koncentracija MB. Tendencija prijelaza kompleksa sa srebrom u topljivu formu očita je i u tim uvjetima, ali slabije i za samo kratko vrijeme starene sisteme.

Srebrni ioni (sl. 2) su u čvrstoj fazi ili kao AgI, ili kod viših koncentracija boje - u kompleksu s jodidima i bojom.



Sl. 2. Koncentracija ^{110}Ag u tekućoj fazi, različito dugo starenih sistema (NaI + MB) ← $AgNO_3$ i (NaI + n-$DDOSO_3Na$ + MB) ← $AgNO_3$, u ovisnosti o koncentraciji MB.



Sl. 3. Radiosedimentacijska ^{131}I analiza, različito dugo starenih sistema (NaI + n-$DDOSO_3Na$ + MB) ← $AgNO_3$, u ovisnosti o koncentraciji MB.

MUTUAL INTERACTIONS IN DECONTAMINATION SYSTEMS

The properties of silver iodide mixed with anionic and cationic surfactants were investigated. The formation of the solid phase was studied as a function of the chemical nature and the concentration of the component present, and of preparation conditions and the aging period of the system. With an appropriate choice of parameters the mechanism can be explained and a decontamination process of this type properly controlled.

XII.Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja

Ohrid,31.maj - 3.jun,1983

K.Južnič,T.Mohar

Institut"Jožef Stefan",Jamova 39,61ool Ljubljana

Adsorpcija Cs-134,Sr-85 in Ce-141 na sintetičnem ionskem izmenjalcu

Rezime:-Raziskane so bile adsorpcijske lastnosti Cs-134,Sr-85 in Ce-144 na koloni napolnjeni z sintetičnim ionskim izmenjalcem Dowex 5o X8.Iz solno kislega medija adsorpcijske lastnosti padajo v smeri od Ce^{3+} preko Sr^{2+} do Cs^{+}.Napravljena je bila tudi primerjava adsorpcijskih in kromatografskih lastnosti omenjenih ionov in postavljena enačba,ki podaja zvezo med dimenzijami kolone in volumnom preboja pri različnih pogojih.

Uvod

Adsorpcijo topljenca iz raztopine na ionsko izmenjalni koloni je teoretično obdelal Valter(1).Koncentracija adsorbirane snovi na koloni je diskontinuirna funkcija razdalje od začetka kolone.Adsorpcija poteka v skladu z ionsko izmenjavo,katera pa je vodena s kontinuirnim vzpostavljanjem ravnotežij kot n.p.

$$HR + Me^{+} = MeR + H^{+}$$

$$P-q \quad c \quad q \quad c^{o}-c$$

kjer je P celotna količina H^{+} na enoto dolžine kolone,ki se

lahko izmenja, c je koncentracija raztopljenega cezija, q je koncentracija adsorbiranega cezija in c^o je začetna koncentracija raztopljenega cezija. Ravnotežna konstanta je

$$K = \frac{q(c^o - c)}{c(P - q)} \qquad (1)$$

V primeru če je K 1 gre adsorpcija v skladu z izrazi

$$q = P \quad l < c^o V/P$$
$$q = o \quad l > c^o V/P \qquad (2)$$

Te enačbe označujejo položaj koncentracijskega padca v koloni pri razdalji l, če je volumen raztopine, ki pasira kolono V. Primerjava rezultatov kromatografije in adsorpcije kaže, da je volumen preboja pri adsorpciji pri istih pogojih približno enak V_{max} pri kromatografiji. V_{max} je volumen eluenta, ki je potreben, da se izotop nanešen na vrh izmenjalne kolone spere iz kolone. Zveza med V_{max}, koncentracijo eluenta in dimenzijami kolone je naslednja [2]

$$K = \frac{V_{max} \cdot C_H^n}{a^n \cdot L \cdot S} \qquad (3)$$

kjer je a totalna kapaciteta ionskega izmenjalca, L višina stolpca, S presek stolpca.

Eksperimentalno delo

Kemikalije:- Ionski izmenjalec Dowex 5o X8 (5o/1oo mesh) v H^+ obliki je bil uporabljen za polnjenje kolone. Solna kislina je bila p.a. (Kemična Podnart). Pri delu smo uporabili naslednje izotope v obliki kloridov Cs-134, Sr-85 in Ce-141. Cs-134 je beta, gama aktiven z razpolovno dobo 2,2 leti. Dobili smo ga z obsevanjem CsCl v reaktorju. Sr-85 ima razpolovno dobo

65 dni in je bil dobljen z obsevanjem $SrCO_3$ v reaktorju. Je gama aktiven z E = 0,513 MeV. Ce-141 ima razpolovno dobo 32,5 dni je beta, gama aktiven in je bil dobljen z obsevanjem v reaktorju.

Postopek:-Porazdelitvene koeficiente smo določili z stresanjem 1 g izmenjalca z 1o ml raztopine in dodatkom izotopa. D_v^i je razmerje aktivnosti izmenjalca in vodne faze. Adsorpcijski eksperimenti so bili izvršeni na 23,5 cm dolgi in 1,8 cm široki koloni napolnjeni z izmenjalcem. Raztopino iz kolone smo vodili skozi detektor enokanalnega gama spektrometra, kjer smo merili aktivnost kontinuirno. Izotop smo pri adsorpcijskih eksperimentih dodali v raztopino, ki smo jo spuščali skozi kolono, medtem ko pri kromatografskih je bil izotop pred poiskusom nanešen na vrh kolone.

Rezultati in diskusija

Rezultati adsorpcije in kromatografije skupaj z porazdelitvenimi koeficienti so podani v Tabeli 1. [3,4,5]

Tabela 1. V_a in V_c adsorpcije in kromatogr. skupaj z D_v^i pri različnih pogojih.

Ion	Conc. HCl mol/l	V_a ml	V_c ml	D_v^i
Cs^+	o.2	325o	32oo	5.7
	o.5	1o5o	1135	2.o
	1.o	445	535	o.95
Sr^{2+}	1.5	-	136o	2.4
	2.o	-	45o	o.8
	3.o	-	2oo	o.35
Ce^{3+}	2.o	1o3o	148o	2.47
	3.o	42o	4o5	o.72
	4.o	15o	1oo	o.3o
	5.o	5o	35	o.27

Iz rezultatov je razvidno,da se najtrdneje adsorbira cer in najslabše cesij.Vzrok je v valenci cer je namreč trivalenten, medtem ko cesij enovalenten.Iz Tabele 1 je dalje razvidno,da sta V_a in V_{max} približno enaki vrednosti.Če primerjamo neenačbo 2 in enačbo 3 vidimo da sta v bistvu oba izraza identična. Volumen izmenjalca v našem primeru je bil 66,4 ml.Iz rezultatov v Tabeli 1 dobimo za izmenjavo Cs^+-H^+ po enačbi 3 za aK=8,5, za izmenjavo Sr^{2+}-H^+je a^2K=3o in za Ce^{3+}-H^+ je a^3K=15o.Iz tega dobljena srednja vrednost a=4,2.Z to vrednostjo lahko po enačbi 3 iz dimenzij kolone napolnjene z Dowexom izračunamo V_{max} oziroma V_a za gornje tri ione.

Abstract:-The adsorption and chromatographic properties of Cs-134,Sr-85 and Ce-141 on the column filled with Dowex-5o have been investigated.A comparision of the adsorption properties of the ions of above isotopes has been made and a way of calculating the V_a and V_{max} from the column dimensions has been proposed.

Literatura

1)D.De Vault,J.Am.Chem.Soc.,65(1943)532.

2)G.M.Kolosova,M.M.Seniavin,Zh.Anal.Khim.18(1963)1178.

3)K.Južnič,Radioch.Radioanalyt.Letters 48,3-4(1981)221.

4)K.Južnič,Š.Fedina,Vestn.Slov.Kem.Druš.29,2(1982)111.

5)K.Južnič,v tisku,Microch.Acta.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

S.Lazić, Ž.Vuković i A.Kostadinović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
p.fah 522.,11001 Beograd

ANALIZA PROCESA DEKONTAMINACIJE VODE KOPRECIPITACIJOM

Eksperimentalno odredjivanje karakterističnih parametara u sistemu sa kontinualnim radom

REZIME U radu je analiziran proces dekontaminacije vode metodom koprecipitacije u kontinualnim uslovima na modelnom sistemu Sr-$BaCO_3$. Eksperimentalno su odredjeni parametri koji opisuju kinetiku procesa koprecipitacije i rad kolone separatora. Definisane su karakteristične jednačine matematičkog modela koji opisuje rad sistema sa fluidizovanim slojem.

UVOD

Radioaktivni izotopi obično se nalaze u rastvorima u mikrokoncentracijama, tako da nisu u stanju da samostalno obrazuju čvrstu fazu. Za njihovo izdvajanje često se koristi taloženje odgovarajućim reagentima koji obrazuju teško rastvorno jedinjenje, koje taložeći se, zahvata i radioaktivni izotop. [1,2] Ova pojava - koprecipitacija ima široku primenu i u prečišćavanju radioaktivno zagadjenih voda. [3]

U opštem slučaju, u aparat za prečišćavanje vode se, pri konstantnoj temperaturi i pritisku, uvodi efluent i rastvori reagenata pri čijoj reakciji se obrazuje čvrsti nosač radioaktivnog izotopa. Ponekad se,u cilju ubrzanja taloženja,uvode i klice kristala nosača. Čvrsta faza nosača je neravnomerno rasporedjena po zapremini aparata. Iz jednog dela aparata odvodi se specijalnim odvodom ugušćena suspenzija,a iz drugog prečišćena voda. Cilj je da se proces izvede tako da koncentracija radionuklida ne prelazi dozvoljeni nivo, a odnos zapremina čvrste i tečne faze u izlaznoj ugušćenoj suspenziji ne bude manji od neke zadate vrednosti.

Na konkretnom problemu - povlačenja radioaktivnog Sr iz vode izomorfnim nosačem $BaCO_3$ izučavani su parametri značajni za optimizaciju procesa.

EKSPERIMENTALNI DEO

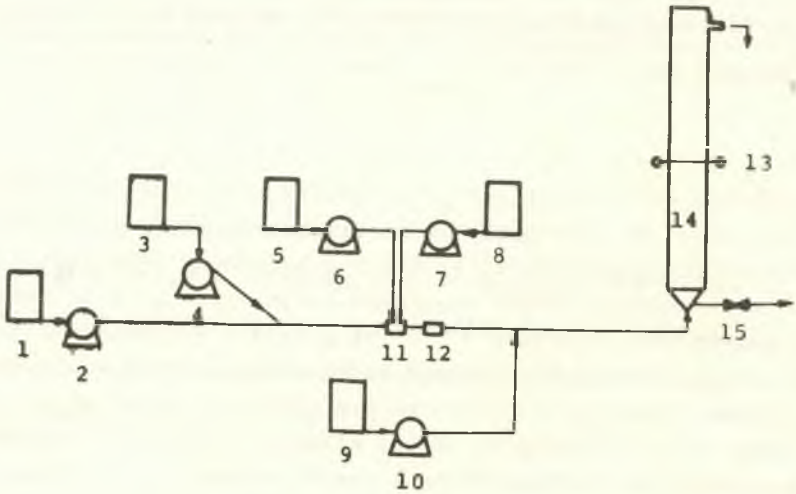
Talog $BaCO_3$ čije su sorpcione osobine prethodno ispitane[4,5] korišćen je za dekontaminaciju vode zagadjene radioaktivnim Sr^{85}. Eksperiment je izveden u laboratorijskom postrojenju sa kontinualnim radom. Proces ima tri stupnja:

(1) Taloženje čvrste faze, pri čemu dolazi do obrazovanja i rasta kristala $BaCO_3$ uz paralelnu sorpciju Sr^{85}.

(2) Flokulacija - stvaranje agregata kristala pogodnih za odvajanje od vode.

(3) Separacija - razdvajanje faza prečišćene vode i ugušćene suspenzije.

Šema aparature data je na slici (1)



Sl.1. Šema aparature: 1-rezervoar za vodu; 2,4,6,7 i 10-pumpe; 3-rezervoar za NaOH; 5-rezervoar za $BaCl_2$; 8-rezervoar za Na_2CO_3; 9-rezervoar za polielektrolit; 11-mešač; 12-pehametar; 13-fotoćelija; 14-kolona; 15-elektromagnetni ventil.

Efluent se nalazi u rezervoaru (1). Iz rezervoara se pumpom uvodi u protočnu cev koja ima ulogu brzog mešača. Hemikalije se doziraju kontinualno, uz podešene uslove mešanja. Obrazovana suspenzija se uvodi u kolonu-separator (14). Na vrhu dovodne cevi u koloni postavljen je distributer koji omogućuje ravnomernu raspodelu suspenzije u svim pravcima. Prečišćena voda odvodi se preko preliva na vrhu kolone a ugušćena suspenzija sa dna pomoću elektromagnetnog ventila. Visina ugušćenog sloja održava se na zadatoj vrednosti spregom fotoćelija-elektromagnetni ventil.

Kao efluent korišćena je destilovana voda sa radioaktivnim Sr^{85}. Koncentracije polaznih reagenata odabrane su na bazi preliminarnih eksperimenata. Optimalni rezultati s obzirom na procenat uklonjenog Sr^{85} i preostalog Ba^{2+} u rastvoru, kao i na utrošak hemikalije, postignuti su pri koncentraciji $BaCO_3$ ravnoj $5\cdot10^{-3}$mol/l i uz 50% višak Na_2CO_3 pri pH=11,5. Kao flokulaciono sredstvo korišćen je polielektrolit AP-45 u odnosu 4 ml 0,1% rastvora na litar suspenzije $BaCO_3$. Protok ulazne suspenzije menja se u opsegu od 4 do 30 l/h.

U toku rada sistema praćena je kinetika taloženja $BaCO_3$ i sorpcija Sr^{85} radiometrijski. Merena je mutnoća prečišćene vode turbidimetrom i ugušćenje suspenzije piknometrom. Protoci na izlazima kolone odredjivani su merenjem zapremine koja istekne u jedinici vremena.

REZULTATI I DISKUSIJA

Promena koncentracije makrokomponente (C) duž protočne cevi može se opisati empirijskom jednačinom:

$$C = (C_o - C_\infty)e^{-k_1 l/w} + C_\infty \qquad (1)$$

gde su l(cm)-dužina protočne cevi; $w(cm\cdot s^{-1})$-brzina proticanja suspenzije kroz cev; $C_o(mol\cdot l^{-1}) = 5\cdot10^{-3}$ koncentracija Ba^{2+} u tački mešanja reagenata; $C_\infty(mol\cdot l^{-1}) = 1,65\cdot10^{-5}$ koncentracija Ba^{2+} u rastvoru nakon uspostavljanja ravnoteže; $k_1(s^{-1}) = 0,48\pm0,04$ konstanta brzine reakcije.

Analogna je promena koncentracije stroncijuma:

$$\frac{C^*}{C_o^*} = \left(1-\frac{C_\infty^*}{C_o^*}\right)e^{-k_2 l/w} + \frac{C_\infty^*}{C_o^*}$$

gde su: C_o^*(Bq) polazna koncentracija Sr^{85} u efluentu i C_∞^*(Bq)-koncentracija Sr^{85} u vodi nakon uspostavljanja ravnoteže; $\frac{C_\infty^*}{C_o^*} = 0,0096$;

$k_2(s^{-1}) = 0,38 \pm 0,03$ konstanta brzine reakcije.

Podaci o kinetici reakcije pokazuju da se osnovni prenos mase makro i mikrokomponente u čvrstu fazu pri korišćenim brzinama proticanja $w(cm \cdot s^{-1})$ od 5,70 do 42,79 završava na dužini $l \leq 5m$ cevi prečnika $D=0,5$ cm. U toj tački uvodi se polielektrolit. Flokulacija se odvija u protočnoj cevi a završava u koloni. Razdvajanje faza u koloni praćeno je u funkciji ulazne brzine suspenzije (ω) i visine ugušćenog sloja (E). Kao mera efikasnosti procesa mereni su turbiditet prečišćene vode i poroznost ugušćenog sloja.

Na bazi eksperimentalnih rezultata odredjeni su karakteristični parametri matematičkog modela procesa u ugušćivaču sa fluidizovanim slojem.[6]

Model definiše osnovne bezdimenzione jednačine procesa koje su izvedene na bazi jednačina materijalnog bilansa za čvrstu i tečnu fazu:

1. Promena poroznosti ε u funkciji parametra protoka ϕ

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{-\frac{1}{\phi}\left(\frac{d_T\bar{C}_1}{d_1} - \eta d_T\right) + \frac{\bar{C}_1}{d_1} - 1}{\frac{(d_r - d_T)\cdot\tau}{d_1} - \frac{S_c}{S_k} + \eta d_T} \tag{3}$$

2. Promena parametra koncentracija Γ u funkciji parametra protoka ϕ

$$\Gamma = \frac{1}{k-1}\left|\frac{1}{\phi}\left(\eta d_T - k\frac{d_T\bar{C}_1}{d_1}\right) + \frac{k\bar{C}_1}{d_1} - 1\right| \tag{4}$$

$$k = \frac{\left(\frac{S_c}{S_k} - \eta d_T\right)\cdot d_1}{(d_r - d_T)\cdot\bar{C}_1}$$

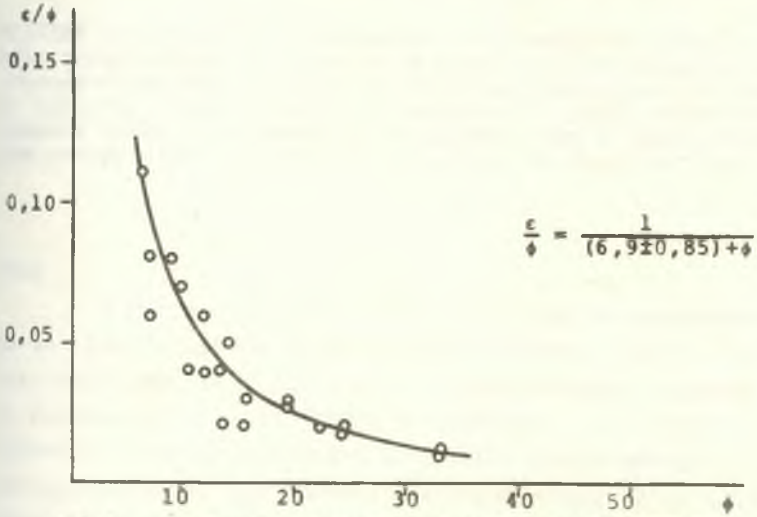
Jednačine su izražene preko bezdimenzionalnih veličina: $d_i = \frac{\rho_i}{\rho_o}$ koja definiše gustinu; $Z_1 = \frac{M_1}{M_2}$ koja definiše zapreminu; $\bar{C}_i = \frac{C_i}{C_o}$ i $\Gamma = \frac{Z}{\phi}\bar{C}_1$ koje definišu koncentraciju; $\phi = \frac{Q_o}{S_k\bar{v}}$ koja definiše protok; $\frac{\rho_o}{C_o} = \eta$ koja definiše odnos gustina i koncentracije.

gde su: $\rho(kg \cdot l^{-1})$-gustina; $C(kg \cdot l^{-1})$-koncentracija; $M_1(l)$-zapremina prečišćene vode koja izadje iz cevi na gornjem izlazu (1) za vreme izmedju dva sukcesivna otvaranja elektromagnetnog ventila; $M_2(l)$-zapremina ugušćene suspenzije koja izadje iz cevi na donjem izlazu (2) pri otvaranju ventila; $\tau(s)$-vreme izmedju sukcesivnih izbacivanja taloga na izlazu za odmuljivanje (2); $S(m^2)$-poprečni presek;

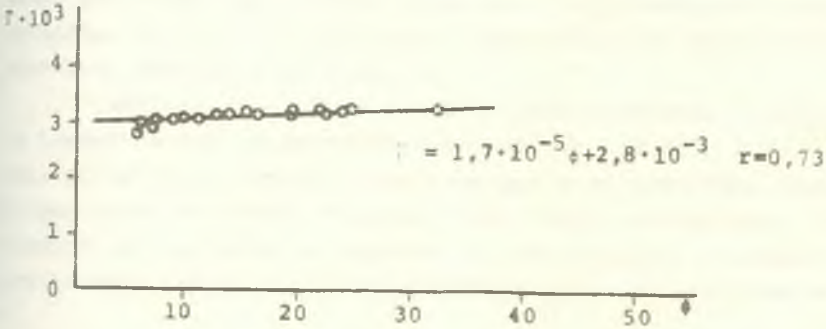
$Q_0(l \cdot s^{-1})$-protok ulazne suspenzije; $\bar{v}(cm \cdot s^{-1})$-srednja brzina podizanja granice sloja posle izbacivanja mulja iz cevi na izlazu (2). Indeksi: o-polazno stanje; 1-karakteristika vode na gornjem izlazu kolone; 2-karakteristika suspenzije na donjem izlazu kolone; T-čvrsta faza; r-rastvor; c-cev; k-kolona.

Na slikama (3) i (4) prikazane su medjusobne zavisnosti izračunatih parametara.

Odredjivanjem zavisnosti izlaznih parametara procesa (ε,Γ) od parametara režima (ϕ), aparature (S_c/S_k) i rastvora (n,d), rad ugušćivača je u potpunosti definisan. Kada su definisane ove jednačine i jednačine koje opisuju kinetiku reakcije (1 i 2), moguće je na osnovu zadatih izlaznih karakteristika odrediti odgovarajuće ulazne karakteristike suspenzije kao i geometrijske parametre ugušćivača.



Sl.2. Zavisnost poroznosti od parametra protoka



Sl.3. Zavisnost parametra koncentracije od parametra protoka

ABSTRACT

In the paper, water decontamination by the coprecipitation method was investigated. System Sr-$BaCO_3$ was used. The parameters describing coprecipitation kinetics and process in the fluidized bed were experimentally determined. Characteristic equations of the mathematical model describing the system were determined.

LITERATURA

1. I.V.Melikhov, Radiohimija, 10, 5, (1968)
2. J.Mittag, G.Sachse, Kernenergie, 7, 339, (1964)
3. J.V.Kuznecov,V.J.Ščebetkovskij,A.G.Grusov,Osnovi očistki vodi ot radioaktivnih zagrjaznenij, Moskva, Atomizdat 1974.
4. S.Bačić,Ž.Vuković,Bull.Soc.Chim. Beograd 47, 433 (1982)
5. S.Lazić,Ž.Vuković,I.V.Melikhov,Bull.Soc.Chim. Beograd 45, 295(1980)
6. I.Plećaš,Ž.Vuković "Hem.Ind." 1983 (u štampi).

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Bojan Tomić, Božidar Vojnović
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

GOSPODARENJA RADIOAKTIVNIM OTPADOM U RAZVIJENIM EVROPSKIM ZEMLJAMA

SAŽETAK Gospodarenje i odlaganje radioaktivnog otpada zahtijeva, osim tehnoloških, i rješavanje regulativnih pitanja. Obrađene su organizacije koje se time bave na nacionalnom nivou kao i problemi njihovog financiranja. Razmatra se i način određivanja iznosa posebne takse u tu svrhu u nekim zemljama s razvijenom nuklearnom energetikom, a i moguća solucija za Jugoslaviju.

UVOD

U nuklearnoj industriji u svijetu se svakodnevno proizvode sve veće količine radioaktivnog otpada, i to u svim dijelovima nuklearnog gorivog ciklusa. Gospodarenje otpadom tako postaje predmetom sve intenzivnijih rasprava i u javnosti i na nivou državnih i upravnih organa. Adekvatno gospodarenje u prvom redu zahtijeva postojanje dobre i pouzdane tehnologije za preradu, skladištenje i konačno odlaganje svih vrsta radioaktivnog otpada. Kao i u ostalim dijelovima nuklearnog gorivog ciklusa, regulativne aktivnosti su jednako važne kao i rješavanje tehničkih problema, te su radi toga mnoge zemlje donijele specifične propise koji pokrivaju to područje.

Radioaktivni otpad iz nuklearnih elektrana i postrojenja za preradu sadrži raznovrsne radionuklide, od onih s vrlo kratkim, do nekih s ekstremno dugim vremenom poluraspada. Zbog široke skale opasnosti radioaktivnog otpada za okolinu, odgovornost za gospodarenje otpadom se mora podijeliti između proizvođača otpada i cijelog društva. Prema zaključcima radne grupe

INFCE, vlasnik, odnosno korisnik u prvom redu treba snositi odgovornost za transport, preradu i privremeno uskladištenje otpada, a samo u nekim slučajevima i njegovo konačno odlaganje. Za tretiranje otpada s dugim, odnosno vrlo dugim vremenom poluraspada, koji predstavlja neusporedivo veću opasnost za okolinu, odgovornost treba biti na strani cijelog društva, odnosno društvenoj organizaciji, bilo nacionalnog ili internacionalnog statusa.

ORGANIZACIJE

U nekim su zemljama već osnovane organizacije koje pod kontrolom vlade preuzimaju odgovornost za provođenje istraživanja, razvoja i ostalih operacija u vezi s gospodarenjem radioaktivnim otpadom i njegovim odlaganjem.

U Francuskoj je 1979 osnovana "Nacionalna agencija za gospodarenje radioaktivnim otpadom" (ANDRA) koja se nalazi u sastavu Komisije za atomsku energiju (CEA). Agencija je javno tijelo koje osigurava striktno poštivanje sigurnosnih standarda, a ima odgovornost za:

- upravljanje spremištima otpada, bilo direktno, bilo kroz druge organizacije koje djeluju za Agenciju
- planiranje i osnivanje novih spremišta otpada, a također i provođenje studija u tu svrhu, kao npr. prognoze količina proizvedenog otpada
- pripremanje specifikacija u zajednici s proizvođačima otpada za preradu i skladištenje prije transfera u spremište
- pridonošenje istraživanju, studijama i praktičnom razvoju u području dugotrajnog gospodarenja otpadom.

Agencija također mora biti konzultirana u programima istraživanja i razvoja, a i u donošenju propisa u području gospodarenja otpadom.

U Belgiji je u 1981. osnovano "Nacionalno tijelo za radioaktivni otpad i fisione materijale" (ONDRAF), čije su dužnosti briga oko transporta, prerade, privremenog skladištenja i konačnog odlaganja radioaktivnog otpada. I u ovom slučaju je tijelo odgovorno za provođenje naučno-istraživačkog rada u

području prerade i odlaganja radioaktivnog otpada, a smatra se da će u budućnosti taj rad rezultirati izgradnjom infrastrukture skladišta otpada u geološkim formacijama. U praksi ONDRAF zapravo preuzima većinu aktivnosti oko gospodarenja gorivom, koje su do sada bile provođene od "Nuklearnog istraživačkog centra" (CEN). Istim zakonom kojim je osnovan ONDRAF postavljena je obaveza svim proizvođačima radioaktivnog otpada da obavijeste ONDRAF i pruže sve informacije potrebne za provođenje njegovih dužnosti.

Švedska situacija je specifična, jer je prema zakonu iz 1977., dozvola za rad reaktora uvjetovana rješenjem problema radioaktivnog otpada. Unatoč tome javila se potreba, pa je 1981. osnovano i "Nacionalno vijeće za istrošeno nuklearno gorivo" kao državni organ koji je od Vlade preuzeo dužnosti oko nadzora i financiranja aktivnosti. Te dužnosti obuhvaćaju:

- praćenje razvoja, posebno u području istrošenog nuklearnog goriva i otpada iz tog goriva
- procjenu rada i budućih planova "Švedske kompanije za snabdijevanje nuklearnim gorivom" (SKBF), koja predstavlja vlasnike reaktora i obavještavanje Vlade o budućim planovima
- iniciranje istraživanja i razvoja komplementarno radu SKBF-a da bi se proširila osnova za donošenje odluka o gospodarenju otpadom
- predlaganje iznosa takse od energije iz nuklearnih elektrana kojom se financira rad u oblasti gospodarenja gorivom.

Zajednička karakteristika svim tim organizacijama je javna kontrola nad operacijama. Tako je npr. određeno da belgijski ONDRAF vodi vijeće direktora od 20 članova koji predstavljaju isključivo javni sektor. Francuska ANDRA ima upravni odbor na čelu s glavnim upraviteljem "Komisije za atomsku energiju" (CEA), što također osigurava zaštitu interesa javnosti, odnosno striktno poštivanje postavljenih sigurnosnih standarda.

FINANCIRANJE

Problem financiranja je također jedan od ključnih problema pri gospodarenju radioaktivnim otpadom. Troškovi nekih

dijelova ciklusa gospodarenja otpadom se mogu s obzirom na dosadašnje iskustvo dobro procijeniti, pa se financiranje može adekvatno planirati. Sasvim je drugačije kod dugotrajnih postupaka kao što je npr. odlaganje otpada ili istrošenog goriva u geološke formacije, gdje praktičnog iskustva gotovo i nema. Sada proizvedeni radioaktivni otpad bit će odložen tek za nekoliko dekada. Pošto troškove odlaganja trebaju snositi oni koji otpad proizvode, smatra se najprikladnijim uvođenje specijalne takse koja bi se okupljala u za to predviđenom fondu. Pri određivanju iznosa te takse treba uzeti u obzir i slijedeće:

- velike investicije, od kojih je većina potrebna mnogo prije početka odlaganja
- potreba za dugotrajnim nadzorom i čuvanjem podataka i troškovi oko toga
- financiranje istraživanja i razvoja prije izgradnje
- nepredvidivi događaji i intervencije.

Sredstva u fondu moraju biti dovoljna za pokrivanje svih budućih troškova. Takav je pristup već prihvaćen u određenom broju zemalja, pa je interesantno razmotriti način na koji se određuje taksa i kako se dijeli među obveznicima.

Vlada Savezne Republike Njemačke je 1982. donijela "Propis o financijskom predujmu za izgradnju saveznih instalacija za odlaganje radioaktivnog otpada." Po tom će se Propisu sakupljena sredstva trošiti za istraživanje, razvoj, planiranje, kupovinu nekretnina i prava, izgradnju, proširenje i obnovu instalacija. Ovisno o planiranom opsegu radova i predviđenim troškovima, prije početka godine se određuje iznos takse. Ukupni se troškovi dijele na slijedeći način: 75% na postrojenja za preradu ozračenog goriva s kapacitetom većim od 50 t godišnje, 4% na postrojenja za preradu s kapacitetom manjim od 50 t godišnje, 17.5% na postrojenja za proizvodnju električne energije fisiom kapaciteta više od 200 M W i 3% na ostala postrojenja. U slučaju velikih postrojenja za preradu i nuklearnih elektrana, troškovi se dijele prema instaliranom kapacitetu, dok se kod ostalih određuju prema količinama radioaktivnog otpada u posljednje 3 godine. Propisom se također predviđa nadoknada troškova za period od 1.1.1977. do stupanja na snagu Propisa.

Francuska ANDRA je financirana od proizvođača otpada na slijedeći način:

- operativni troškovi skladišta i Agencije direktno se zaračunavaju proizvođačima otpada
- specifični kapitalni troškovi, odnosno troškovi spremanja specijalnog otpada poznatih proizvođača financiraju se direktno od njih
- ostali kapitalni troškovi financiraju se iz Agencijinih vlastitih izvora i kredita, što se nadoknađuje kroz ugovore o skladištenju i odlaganju.

Red veličine troškova ANDRE vidi se iz njenog budžeta koji je bio 44 mil. FF u 1980. i 73. mil. u 1981.g. Očekuje se veliki porast troškova osnivanjem drugog skladišta nisko i srednje aktivnog otpada i početkom izrade studija o geološkom odlaganju otpada.

Istim Zakonom kojim je osnovan ONDRAF u Belgiji je određen i način njegova financiranja. Potrebni fondovi su u nadležnosti Ministarstva ekonomskih poslova, ali ONDRAF može posebno osnovati fond za dugotrajne aktivnosti, kao npr. troškove odlaganja radioaktivnog otpada. Taj bi fond bio financiran doprinosima proizvođača otpada.

U Finskoj je svaki proizvođač otpada dužan državi plaćati taksu na radioaktivni otpad. Ta se sredstva sakupljaju u fondu izvan državnog budžeta, kojeg nadgleda ministar trgovine i industrije. Iznos godišnje takse, prema preporukama Instituta za zaštitu od zračenja (IRP), također određuje ministar industrije i trgovine. Uobičajeno se iznos takse određuje jednom godišnje za slijedeću godinu ali, ako je potrebno, može biti određivan i češće. Proizvođač otpada je dužan, radi određivanja visine takse, dati sve podatke o svojim količinama otpada i procjenu budućih troškova njegova gospodarenja. Trošenje sredstava iz fonda je također u nadležnosti ministra trgovine i industrije, ali na osnovu mišljenja IRP-a.

U 1981. u Švedskoj je donesen "Propis o financiranju budućih troškova za istrošeno gorivo". Po tom propisu vlasnik je odgovoran za sigurno rukovanje i odlaganje istrošenog goriva i radioaktivnog otpada iz svog postrojenja. Svi troškovi nadoknađuju se iz prihoda od prodane energije, ali ukupna odgovornost za dugotrajno gospodarenje i odlaganje radioaktivnog otpada ipak ostaje na državi. Za osiguranje sredstava za pokriće troškova svaki vlasnik postrojenja dužan je uplaćivati godišnju taksu u fond osnovan za tu svrhu. Ta taksa uplaćuje se

kvartalno. Interesantno je da se troškovi dijele na vlasnike prema proizvedenoj energiji, za razliku od npr. SR Njemačke, gdje se dijele prema instaliranoj snazi. Nacionalno vijeće za istrošeno gorivo dužno je do kraja listopada tekuće godine dostaviti program rada za slijedeću godinu, zajedno s prijedlogom iznosa takse. Zahtijeva se da iznos takse sakupljen tokom rada reaktora mora biti dovoljan za pokriće svih troškova oko rukovanja i konačnog odlaganja istrošenog goriva, odnosno otpada i prerade.

ZAKLJUČAK

Iznesena iskustva o načinu rješavanja problematike nuklearnih otpadaka u nekoliko evropskih zemalja može korisno poslužiti u pristupu gospodarenju radioaktivnim otpadom u SFRJ. Treba imati na umu da su sve ove zemlje na daleko višem stupnju razvoja nuklearne energetike od Jugoslavije, te imaju u tom pogledu i veću tradiciju. Uočljivo je da su u pojedinim zemljama propisi kao i financijska opterećenja za proizvođače radioaktivnog otpada doneseni posljednjih godina, dok se u nuklearnim elektranama energija proizvodi duži niz godina. To ukazuje na veliku složenost oko pitanja brige za RAO. Tu složenost izazivaju faktori:

- tehnologija prerade i odlaganja
- izgradnja sistema regulative i nadzora
- financiranje i troškovi
- uloga javnosti i njen utjecaj.

Očekuje se da bi u Jugoslaviji do kraja stoljeća bilo u pogonu 4-6000 MW iz nuklearnih elektrana, pa samim tim i problem radioaktivnog otpada postaje značajniji. Pred kraj stoljeća (1998.) će se morati iz NE Krško evakuirati ozračeno nuklearno gorivo, te do tada za njegov privremeni ili trajni smještaj treba naći rješenje. Razdoblje od 15 godina nije veliko da se riješi tehnologija, regulativa te iznađe optimalnu lokaciju i izgradi skladište. U svakom slučaju usporedo s proučavanjem tehničkih uvjeta gospodarenja otpadom i istrošenim gorivom mora se paralelno pristupiti rješavanju regulative, kako to ne bi u jednom trenutku postalo ograničavajući faktor. Problem je izraženiji u našoj zemlji nego u razvijenim zemljama koje posjeduju industrijske standarde na osnovu kojih se mogu razvijati primjenjivi propisi.

Imajući u vidu dugotrajnost i mnogobrojne probleme koji će se javiti u gospodarenju otpadom, bilo bi nužno odmah pristupiti radu, gdje bi elektroprivredne organizacije republika i pokrajina bile u prvom redu nosioci odgovornosti i inicijative, te osiguravale dio financijskih sredstava. Ove bi organizacije morale formirati ili učestvovati u formiranju organizacije, koja bi snosila odgovornost za cjelokupnu brigu oko gospodarenja otpacima. Upravni organ nadležan za sigurnost bi trebao osigurati regulativu i potrebne standarde, a također, kao zajednički interes cijelog društva, osigurati kroz budžet ili na koji drugi način sufinanciranje istraživanja i razvoja u kasnijoj fazi izgradnje objekta.

ABSTRACT

Regulatory activities are also very important in the field of radioactive waste management and disposal. In this paper some national waste management and disposal organisations and their financing in highly developed countries were analyzed. Purpose and the rate of the nuclear waste fee were discussed and possible solution for Yugoslavia was given.

LITERATURA

1. Nuclear Law Bulletin, OECD No. 24 (1979)
No. 26 (1980)
No. 27, 28 (1981)
No. 29, 30 (1982).

2. Waste Management and Disposal, Report of INFCE Working Group 7, IAEA (1980).

XII. SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. 5. - 3. 6. 1983

M. Pirš, M. Toplišek, S. Drolje

Institut"Jožef Stefan"Ljubljana

Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK), Ljubljana

IZLJUŽLJIVOST Cs - 137 IZ PERLIT - CEMENTA V PRIMERJAVI Z VERMIKULIT - CEMENTOM

Rezime Raziskali smo izlužljivost Cs-137 iz vermikulit-cementa in perlit-cementa ter mešanic perlit-cementa z dodatki bentonita, infuzorijske zemlje in tufa. Ugotovili smo, da je perlit--cement za solidifikacijo radioaktivnih odpadkov neuporaben; z dodatki bentonita, infuzorijske zemlje ali tufa, pa se njegove retencijske lastnosti izboljšajo tako, da je izlužljivost Cs - -137 celo nižja kot pri vermikulit-cementu.

UVOD

Za solidifikacijo radioaktivnih odpadkov v NEK se uporablja vermikulit-cement. Ker je to uvozni material, je bilo predlagano, naj se namesto vermikulita uporabi perlit. V ta namen so na ZRMK sestavili dve mešanici perlit-cementa, ki pa nista dali zadovoljivih rezultatov.

Zaradi tega smo poskusili z dodatki bentonita in infuzorijske zemlje izboljšati retencijske lastnosti perlit-cementa; ZRMK pa je predlagal mešanico perlit-tufcementa.

Poskuse smo izvajali s Cs-137. V odpadkih jedrskih elektrarn se nahaja približno 33 % Cs-137 in ca.0,03 % Sr-90. (FSAR tab. 11. 5-3). Ker je Sr-9o prisoten v majhni količini je najbolj važno ugotoviti, kako se v cementu veže cezij, ker samo ta bi v primeru, da sodi razpadejo, lahko v večji množini prišel v okolico.

EKSPERIMENTALNI DEL

Sestava in fizikalno mehanske lastnosti perlit-tufcementa

Perlit beton je sestavljen iz perlita, portland cementa, katerému je dodan posebni odbrani fino mleti tuf in kemijski dodatek za plastificiranje. Dodatek vode znaša 64 ml v mešanici 1:8/100 g oz. 62 ml v mešanici 1:10/100 g.

Prostorninska masa:	v suhem stanju	650 kg/m^3
	v svežem stanju	1215 dg/m^3
	v vezanem stanju	1320 kg/m^3
Vezanje:	začetek in konec	5 ^{h}45 min. - 8 ^{h}30 min.
Obstojnost:	v vodi in na zraku obstojen	
Trdnost:	upogib - tlak po 7 dneh	2,0 MPa - 6,5 MPa
	po 28 dneh	2,8 MPa - 10,2 MPa

Zahteva: na tlak min. 6,5 MPa, maks. 25 MPa

Izluževanje: Cs-137

Poskuse izlužljivosti smo izvajali na ta način, da smo mešanicam in vermikulit-cementa dodali markirano raztopino Cs-137, ~ 0,3 µCi=11 KBq/valj, zmes dobro premešali in nanesli v plastične valje Ø 1 cm, h 2 cm. Valje smo pustili stati 28 dni, odstranili plastiko in določili izlužljivost celih ter zdrobljenih valjev na dva načina:

1. v vodi z mešanjem
2. v Soxlet aparatu

Granulacija zdrobljenih valjev je navedena v tabeli 1. Mešanicam perlit-cementa smo dodali po 1 in 2 g betonita ali po 1 g infuzorijske zemlje na 10 g mešanice ter pripravili vzorce za izluževanje na zgoraj opisan način.

T a b e l a 1

Granulacija zdrobljenih valjev

Odprtina zank mm	%
0,75 - 1	5
0,5 - 0,75	8
0,3 - 0,5	9
0,3	78

Izluževanje v vodi z mešanjem: metoda je predlagana kot standardna za določevanje topnosti stekla (IAEA s.s. 187, str. 65). Valje z vgrajenimi radionuklidi smo dali v ozke čaše, dodali vode v razmerju $\frac{\text{volumen ekstraktanta}}{\text{površina valja}} \sim 10$ ter mešali. Po vsakem merjenju smo dodali svežo vodo. Pri meritvah, ki so trajale več kot 1 dan, smo dali valje v polietenske steklenice, ker smo zaradi hlapenja v čašah, izgubljali ekstraktant. Rezultati so navedeni v tabeli 2 .

Poskusi v Soxlet aparatu: (metoda se uporablja za merjenje topnosti stekla za visokoaktivne odpadke IAEA Technical rep. ser. 187 str. 60). Valj iz cementa ali zdrobljene delce z vgrajenim radionuklidom smo položili v soxlet aparaturo, dodali čim manj vode (95 ml) ter ekstrahirali po 4 ure. Vodo smo po vsakem merjenju zamenjali.

Rezultati so navedeni v tabeli 3 .

T a b e l a 2

Ekstrakcije Cs-137 iz raznih cementov v vodi z mešanjem (aktivnost valja oziroma delcev je 100 %)

V z o r e c		Št.vzorcev	Čas ekstr. dnevi	Ekstr.Cs-137 %
Vermikulit-cement	valj	10	45	5
	zdrobljen	10	45	10
Perlit-cement				
1 : 8	valj	10	45	48
1 : 10	valj	10	45	50
Perlit-cement				
1 : 8 + 1g betonita	valj	3	41	5
"	zdrobljen	3	60	8
1 : 8 + 2 g bentonita	valj	3	41	4
"	zdrobljen	3	60	6
1 : 8 + 1 g inf.zemlje	valj	3	41	3
"	zdrobljen	3	60	3
1 : 10 + 1 g bentonita	valj	3	41	9
"	zdrobljen	3	60	10
1 : 10 + 2 g bentonita	valj	3	41	2,5
"	zdrobljen	3	60	8
1 : 10 + 1 g inf.zemlje	valj	3	41	5
"	zdrobljen	3	60	5
Perlit-tufcement				
1 : 8	valj	10	35	5
	zdrobljen	3	35	7
	zdrobljen	3	70	7
1 : 10	valj	10	35	7
	zdrobljen	3	35	9
	zdrobljen	4	70	11

Zaključki

1. Mešanica perlit-cementa za solidifikacijo radioaktivnih odpadkov ni primerna, ker je izlužljivost previsoka.

2. Dodatki bentonita ali infuzorijske zemlje perlit-cementu, močno izboljšajo njegove sorpcijske lastnosti. Izlužljivost je nižja, kot pri vermikulit-cementu.
Izrazito nižja je pri ekstrakciji v Soxletu.

Pripomniti pa je treba, da dodatek bentonita ali infuzorijske zemlje zniža trdnost cementa ter bi bilo treba trdnost znova določiti. Poleg tega je lahko bentonit zelo različne sestave, kar vpliva na sorpcijske lastnosti, infuzorijska zemlja pa je razmeroma draga.

3. Izlužljivost Cs-137 iz perlit-tufcementa 1:8 je nižja, kot iz vermikulit-cementa, v mešanici 1:10 pa približno ista.
Ekstrakcija Cs-137 v Soxletu je pri obeh mešanicah nižja, kot pri vermikulit-cementu.

Po informacijah Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij, se lahko dobi pri njih perlit-tufcement navedene kvalitete v večjih količinah v stalno isti sestavi.

Smatramo, da je tufcement primeren za solidifikacijo radioaktivnih odpadkov.

VI с е к ц и ј а : НЕЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

D.M.Dramlić, J.M.Jovanović-Kurepa
INSTITUT ZA FIZIKU
Studentski trg 12/v
11000 BEOGRAD
Po-Box 57

MOGUĆNOSTI PRIMENE NEJONIZUJUĆEG ZRAČENJA-LASERA U DETEKCIJI AEROZAGAĐENJA

REZIME Poznato je da apsorcioni spektri atmosvere nekog poznatog izvora zračenja sadrže veliki broj informacija o njenom sastavu i fizičkim svojstvima. Već dugi niz godina ova i druge spektroskopske metode koriste se za ispitivanje njenih osobina i sadržaja.U ovom radu biće izloženo na koji način lasersko zračenje može da se koristi za detekciju aerozagađenja atmosvere.Prikazaće se različite mogućnosti primene lasera u te svrhe, i to: metode selektivne apsorcije lasersko zračenja, metode optoakustičke detekcije aerozagađivača i najzad tkz. LIDAR-ske detekcije.U zaključku biće dati i pravci razvoja ove problematike.

UVOD Početak spektroskopskih istraživanja atmosvere datira još od vremena Fraunhofer-a, a eksperimenti ovoga tipa bili su dugi niz godina jedini izvor informacija o sastavu gornjih slojeva atmosvere.Pri svim ovim merenjima Sunce je bilo izvor kontinualnog zračenja koje se apsorbuje prolaskom kroz atmosveru.Većina ovih eksperimenata vršena je kroz čistu atmosveru, a prva merenja kroz zagađenu atmosveru izvršena su 1955. godine. U ovim istraživanjima Sunčev spektar je analiziran kroz smog iznad Los Angelesa.

Međutim, od pronalaska prvih lasera,(Maiman,

1960) uređaja gde se koristi princip pojačanja svetlosti stimulisanom emisijom zračenja, optičke metode ispitivanja atmosvere doživljavaju dramatičnu revitalizaciju. Laseri, za razliku od nekoherentnih izvora zračenja (Sunčevog zračenja, različitih termalnih izvora), prevazilaze mnoga njihova ograničenja i omogućavaju primene od trodimenzionalnih merenja koncentracija aerozagađivača na velikom prostoru do merenja ovih zagađivača u željenoj tački lokacije. Omogućili su i nove prilaze problemu merenja aerozagađenja kao: kontrolisanje transporta zagađivača, njihova merenja na različitim visinama, razradu matematičkih modela difuzije zagađivača na velikim geografskim prostranstvima i njihovu raspodelu po visinama. Omogućili su i brzu procenu izvora emisije zagađivača, precizno planiranje optimalne mreže zagađivačkih stanica, itd. Sve ovo postignuto je zahvaljujući osobinama lasera: da su izvori koherentnog monohromatskog zračenja, da mogu biti velikih snaga, da mogu raditi kao kontinualni ali i kao impulsni izvori zračenja i da se njihovo zračenje može izvanredno kolimisati i fokusirati. I mada se danas izrađuju u principu četiri vrste lasera: gasni, tečni, poluprovodnički i dielektrični kristalni laseri, svi oni danas nalaze svoje primene u detekciji aerozagađivača.

Mnoge supstance danas koje nas okružuju su aerozagađivači atmosfere kao: $CO, SO_2, NO, NO_2, O_3, H_2S, NH_3$, razni ugljovodonici, itd. Generalno svi oni se mogu detektovati primenom lasera u nekoj od metoda za merenje koncentracija ovih aerozagađivača. Najčešće su u upotrebi CO_2 laser, jodni, Ne, Xe i Kr laser i to u oblasti infracrvenog zračenja od 3μ do 10μ.

APSORPCIJA LASERSKOG ZRAČENJA KAO METOD DETEKCIJE AEROZAGAĐENJA

Metod apsorpcije laserskog zračenja u princi-

1960) uređaja gde se koristi princip pojačanja svetlosti stimulisanom emisijom zračenja, optičke metode ispitivanja atmosvere doživljavaju dramatičnu revitalizaciju. Laseri, za razliku od nekoherentnih izvora zračenja (Sunčevog zračenja, različitih termalnih izvora), prevazilaze mnoga njihova ograničenja i omogućavaju primene od trodimenzionalnih merenja koncentracija aerozagađivača na velikom prostoru do merenja ovih zagađivača u željenoj tački lokacije. Omogućili su i nove prilaze problemu merenja aerozagađenja kao: kontrolisanje transporta zagađivača, njihova merenja na različitim visinama, razradu matematičkih modela difuzije zagađivača na velikim geografskim prostranstvima i njihovu raspodelu po visinama. Omogućili su i brzu procenu izvora emisije zagađivača, precizno planiranje optimalne mreže zagađivačkih stanica, itd. Sve ovo postignuto je zahvaljujući osobinama lasera: da su izvori koherentnog monohromatskog zračenja, da mogu biti velikih snaga, da mogu raditi kao kontinualni ali i kao impulsni izvori zračenja i da se njihovo zračenje može izvanredno kolimisati i fokusirati. I mada se danas izrađuju u principu četiri vrste lasera: gasni, tečni, poluprovodnički i dielektrični kristalni laseri, svi oni danas nalaze svoje primene u detekciji aerozagađivača.

Mnoge supstance danas koje nas okružuju su aerozagađivači atmosfere kao: CO, SO_2, NO, NO_2, O_3, H_2S, NH_3, razni ugljovodonici, itd. Generalno svi oni se mogu detektovati primenom lasera u nekoj od metoda za merenje koncentracija ovih aerozagađivača. Najčešće su u upotrebi CO_2 laser, jodni, Ne, Xe i Kr laser i to u oblasti infracrvenog zračenja od 3μ do 10μ.

APSORPCIJA LASERSKOG ZRAČENJA KAO METOD DETEKCIJE AEROZAGAĐENJA

Metod apsorpcije laserskog zračenja u princi-

pu je isti kao klasična apsorpciona metoda ali s razlikom što se kao izvor zračenja koristi laser. Sam metod se bazira na pronalaženju koincidencije između talasne dužine laserskog zraka i apsorpcione linije aerozagađivača.

Princip detekcije aerozagađivača u atmosferi metodom apsorpcije laserskog zračenja sastoji se u merenju intenziteta laserskog zraka pre i posle prolaska kroz sredinu koja sadrži aerozagađivač. Tako izmereni inteziteti uvrste se u jednačinu:

$$\ln I_0/I = \alpha \cdot p \cdot L \qquad \ldots\ldots 1$$

gde su I_0 i I intenziteti laserskog zraka pre i posle prolaska kroz sredinu u kojoj se nalazi aerozagađivač, α je apsorpcioni koeficijent za razne gasove, p je parcijalni pritisak aerozagađivača u atmosferi i L dužina puta kroz atmosferu u cm. Na osnovu poznatih veličina I_0, I, α i L, izračunava se parcijalni pritisak aerozagađivača, koji je u direktnoj vezi sa koncentracijom aerozagađivača.

U principu postoje četiri mogućnosti za primenu lasera u detekciji aerozagađenja u atmosferi metodom apsorpcije laserskog zračenja i to:

- metod laser-detektor
- metod sa višestrukom refleksijom zračenja
- refleksija laserskog zračenja pomoću retro-reflektora i
- refleksija laserskog zračenja od mete.

OPTOAKUSTIČKA SPEKTROSKOPIJA KAO METOD DETEKCIJE AEROZAGAĐENJA

Sama metoda bazira se na pronalaženju koincidencije između apsorpcionih maksimuma aerozagađivača i talasne dužine laserskog zračenja.

Suština ove metode je u sledećem. U komori za uzorke nalazi se aerozagađivač koji se osvetljava modulisanim

laserskim zračenjem. Molekuli aerozagađivača apsorbuju deo laserskog zračenja koji se troši, preko međumolekularnih sudara, na termalno kretanje molekula. Ova pojava izaziva modulisane promene pritiska unutar komore što se detektuje osetljivim mikrofonom. Ova metoda može da se učini osetljivijom ukoliko se laserski zrak moduliše učestanošću koja odgovara akustičkoj rezonanci komore.

DETEKCIJA AEROZAGAĐENJA POMOĆU LIDAR-a

I kod ove metode laser je upotrebljen kao izvor elektromagnetnog zračenja, ali se princip zasniva na klasičnim metodama radarske tehnike, po čemu je i dobila ime.

U radu sa LIDAR-om najčešće se koristi metoda diferencijalne apsorpcije. Metoda se bazira na upotrebi lasera koji zrači na dve talasne dužine i to:

- na talasnoj dužini koja odgovara apsorpcionom maksimumu aero-zagađivača i koja se naziva rezonantna talasna dužina,

- i na talasnoj dužini koja je izvan apsorpcionog maksimuma aerozagađivača.

Lasersko zračenje se upućuje u atmosferu, a zatim biva reflektovano od nekog objekta. Smanjen intezitet reflektovanog zračenja, odnosno povećana apsorpcija na rezonantnoj talasnoj dužini usled prisustva aerozagađivača, predstavlja merilo koncentracije aerozagađivača u posmatranom delu atmosfere. Iz Lambert-Berovog zakona apsorpcije sledi izraz za parcijalni pritisak (p) aerozagađivača koji glasi:

$$p = \frac{1}{2L}(\alpha_R - \alpha_N)\ln(I_N/I_R) \qquad \ldots\ldots.2$$

gde je I_n/I_r odnos intenziteta primljenog zračenja na nerezonantnoj i rezonantnoj talasnoj dužini, α_R i α_N su apsorpcioni koeficijenti aerozagađivača na rezonantnoj i nerezonantnoj talasnoj dužini respektivno, dok L predstavlja dužinu optičkog puta kroz

atmosferu koja sadrži aerozagađivač. Izraz 2 važi pod uslovom da su emitovane energije na pojedinim talasnim dužinama iste.

ZAKLJUČAK Razmatrajući metode apsorpcije laserskog zračenja, i metod optoakustičke spektroskopije, dalji njihov razvoj u oblasti merenja aerozagađenja, povezan je sa razvojem malih i relativno jeftinih gasnih i poluprovodničkih lasera. Oni mogu da se ugrade u mobilne merne stanice, koje bi mogle biti radio putem povezane tako da bi se obrada podataka, o merenim koncentracijama, mogla obavljati u jednom centru. Na ovaj način je moguće pratiti izvore emisije zagađivača i prostorno prostiranje koncentracija aerozagađenja.

Dalji razvoj LIDAR tehnike je skopčan sa razvojem jeftinih a snažnih impulsnih lasera. Radi veće mobilnosti, obzirom da je obično LIDAR prilično glomazan uređaj, mogao bi se montirati na neko terensko vozilo ili helikopter, tako da se može simultano vršiti detekcija više aerozagađivača i to trodimenzionalno od po nekoliko kilometara. Prednost LIDAR-a u odnosu na druge metode je u tome što se sa njim može meriti i prostorna raspodela aerozagađivača.

ABSTRACT It is well known that the atmospheric absorption spectra of the radiation contain abundance of informations about the constituents and the physical characteristics of the atmosphere. In the research of the atmosphere the spectroscopic methods were widely used. The subject of this paper is the use of laser radiation in air pollution detection of the atmosphere. The application of lasers in the methods of selective absorption of laser radiation, will be presented as well as the system for optoacustic air pollution detection. Finaly the metod which uses LIDAR system and possible trends in the fulther development of this problems will be outlined.

LITERATURA

1. E.D.Hinkley, ed. Laser Monitoring of the Atmosphere, Springer-Verlag, Berlin, 1976

2. P.Vujković-Cvijin, N.Konjević, 21.Simpozijum ETAN u pomo-

rstvu, Zbornik radova, 1979

3. D.Schuetzle, Monitoring Toxic Substances, American Chemical Society, Washington, D.c, 1979

4. N.Konjević, Uvod u kvantnu elektroniku-laseri, Naučna knjiga, Beograd, 1980

5. J.N.Pitts, R.L.Metcalf, eds. Advances in Environmental, Science and Technology, Vol II, Wiley-Interscience, 1972

6. B.Dragović, ed. Savremeni problemi fizike II

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31.maj-3.jun 1983.

Anica Jenković-Zagorčić, G. Matić
Veterinarski fakultet Beograd, Bul. JNA 18

EKSPERIMENTALNO ODREDJIVANJE PRAGA OŠTEĆENJA KOŽE PASA ZRAČENIH HELIJUM-NEONSKIM LASEROM

REZIME Prag oštećenja kože pasa zračenih helijum-neonskim laserom dobijen je patohistološkim ispitivanjima isečaka kože bez dlake. Laserski zraci talasne dužine 632,8 nm i snage 20 mW, pri ekspoziciji od 60 sekundi prouzrokuju inicijalne promene u smislu distrofije na koži nepigmentiranih životinja jednokratno ozračenoj. Višekratno ozračivanje istim kvalitetima laserskog zračenja i to tokom tri dana po 20 sekundi nepigmentirane kože bez dlake dovodi do patohistoloških promena sličnih onima dobivenim kod jednokratnog ozračivanja pri ekspoziciji od 60 sekundi. Patohistološki nalaz na koži bez dlake višekratno ozračenoj sa 60 sekundi tokom 3 dana (3 x 60), istim kvalitetima laserskog zračenja pokazuje kvalitetno iste alteracije ali postoji evidentna razlika u intenzitetu konstatovanih lezija.

UVOD

Reakcija kože na laserska zračenja zavisi od mnogih faktora. To se posebno odnosi na kožu domaćih životinja, koja je u većini slučajeva prekrivena dlačnim pokrivačem, a osim toga se i kvalitativno razlikuje u različitih vrsta životinja. Iz literature (1) je poznato da pri odredjivanju stepena povreda na koži, nastalih prilikom izlaganja laserskom zračenju, osim izložnih karakteristika laserskog zraka važnu ulogu imaju: stepen pigmentacije kože, količina keratina na mestu zračenja i dužina vremena izlaganja. Za odredjivanje potencijalne opasnosti za kožu od laserskog zračenja, potrebno je uporediti nivoe intenziteta direktne ekspo-

zicije na površini kože, sa vrednostima najnižih intenziteta zračenja, prilikom kojih dolazi do praga povrede - inicijalnih znakova promena na koži. Mi možemo da dodamo da su rezultati naših preliminarnih ispitivanja pokazali da dlačni pokrivač predstavlja dobru zaštitu pri delovanju laserskog zračenja vidljive svetlosti (632,8 nm) i snage izlaznog snopa od 20 mW.

MATERIJAL I METOD RADA

Ozračivanja su vršena Ne:Ne laserom, model 124 B (Spectra Physics), talasne dužine 632,8 nm, snage izlaznog zraka 20 mW i zračnog prečnika od 1 mm. Ispitivanja su vršena na klinički zdravim psima (mešanci), tako što je odredjena lokalizacija na koži (unutrašnja strana buta) bez dlake. Eksperiment se sastojao od jednokratnog, akutnog ozračivanja nepigmentirane kože psa u trajanju od 60 sec sa razdaljine od 50 sm, i višekratnog izlaganja laserskom zračenju tokom tri dana uzastopno po 20 sec i pri ekspoziciji od 60 sec svakodnevno (3x60). Uzorci kože uzimani su 24 i 48 časova po prestanku zračenja za patohistološki pregled, dok je klinički pregled kože vršen svakodnevno. Efekti zračenja na koži praćeni su kliničkim i patohistološkim metodom. Za patohistološku analizu isečci kože su fiksirani u 10% neutralnom formalinu, zatim su obradjeni parafinskom metodom, a mikrotomski isečci bojeni su hematoksilin eozinom.

REZULTATI ISPITIVANJA

Jednokratno ozračivanje laserskim zracima, pri ekspoziciji od 60 sekundi kože psa bez dlačnog pokrivača izaziva patohistološke promene u smislu inicijalnih znakova distrofije epitela posle 48 h po zračenju. Patohistološki nalaz na isečcima kože pokazuje promene kod svih jedinki u smislu hiperkeratoze i parakeratoze sa ostrvcima orožalog epitela u čijim se ćelijama još uočavaju strukture ćelijskih jedara. U susednim područjima epiderm je znatno stanjen i sastoji se od jednog reda pločastih ćelija u čijim jedrima postoje promene u smislu kariopiknoze (sl. 1). - Patohistološka ispitivanja isečaka kože ozračivane tri dana po 20 sekundi i uzetih 24 h po prestanku zračenja, imaju vrlo sličan nalaz onome kod jednokratnog ozračivanja pri ekspoziciji od 60 sekundi ali uzetim 48 časova po ozračivanju. Promene se

diet&dn of the nonpigmented skin lasting three days for 20 seconds each day, with the same parameters for wavw length and power produced pathhhistological alteration similar to those caused by the single irradiation lasting for 60 seconds. After exposing the hairless skin to the multiple laser irradiation lasting for 60 seconds on each of three consecutive days with the same parameters as the former ones, pathohistologically the skin alterations were of the same type but there was a notable difference in the intensity of the oserved lesions.

BIBLIOGRAFIJA

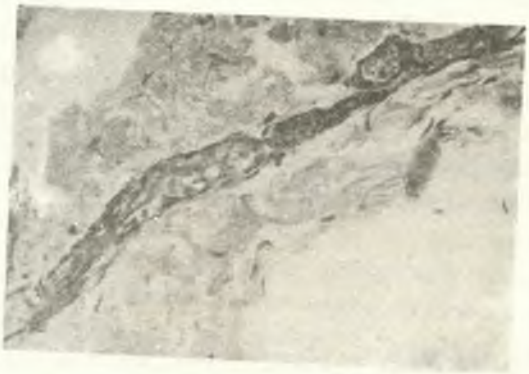
1. W.D.Burnett: Evaluation of Laser Hazards to the Eye and the Skin. Am. Industrial Hygiene Assoc. Journal, 582-587,1969. - 2. Ch.H.Powell and all: Current Status of Laser Threshold Guides. Am. Industr. Hygiene Assoc. J., 485-90, 1970. - 3. B.N.Rahmanov, E.D.Čistov: Bezopasnost pri ekspluatacii lazernih ustanovok. Mašinostroenie, Moskva, 1981.

sastoje u pojačanom oroženvanju, s tim što se u pojedinim delovima sreće veća količina orožale bezstrukturne mase (sl. 2).

Sl. 1.- Patohistogram isečka kože uzet 48h posle ozračivanja He-Ne laserom, snage 20 mW, pri ekspoziciji od 60 sec.

Sl. 2.- Patohistogram isečka kože uzet 24h po ozračivanju tokom 3 dana po 20 sec.

Pregledom patohistoloških preparata kože bez dlake, uzetih 24h po trodnevnom ozračivanju pri ekspoziciji od 60 sekundi (3x60) pokazuju alteracije počevši od hiperkeratoze, stvaranja intraepidermalnih vezikula do hiperemije, bubrenje endotela kapilara, edemiziranja korijuma i izratite perivaskularne mononuklearn infiltracije (sl. 3).



Sl. 3.- Patohistogram pokazuje bubrenje endotela kapilara i izrazitu perivaskularnu infiltraciju na isečcima kože višekratno ozračene (3x60 sekundi).

ZAKLJUČAK

1. Laserski zraci (He:Ne laser, snage 20mW)pri ekspoziciji od 60 sec na odstojanju od 50 sm od objekta - kože bez dlačnog pokrivača, prouzrokuju inicijalne promene u smislu distrofije, ustanovljene patohistološkim pregledom isečaka kože uzetim 48 časova po ozračivanju.

2. Višekratno ozračivanje, tri dana po 20 sec, dovodi do patohistoloških promena na koži sličnim onima dobivenim kod jednokratnog ozračivanja pri ekspoziciji od 60 sec.

3. Patohistološki nalaz na koži višekratno ozračenoj, tri dana po 60 sec, pokazuje kvalitetno iste alteracije, ali postoji evidentna razlika u intenzitetu konstatovanih lezija, s tim što su promene na isečcima kože izložene tri dana po 60 sec laserskom zračenju daleko jačeg intenziteta.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE THRESHOLD DAMAGE TO THE SKIN OF DOGS IRRADIATED BY A HE:NE LASER

Anica Janković-Zagorčić, G. Matić

The threshold damage to the skin of dogs irradiated by the He-Ne laser, was estimated by pathohistological investigation of the hairless skin tissues. After single exposure for 60 seconds to a laser beam of 632,8 nm wave length and 20 mW power, initial alterations in the sense of skin dystrophy were noted. Multiple irra-

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Anica Janković-Zagorčić, D. Todorović
Veterinarski fakultet Beograd, Bul. JNA 18

ISTRAŽIVANJA EFEKATA ZRAČENJA HELIJUM-NEONSKIM LASEROM NA TESTESE PASA

REZIME U toku istraživanja graničnih vrednosti za kritične tkiva domaćih životinja zračenih helijum-neonskim laserom, izvršena su patohistološka ispitivanja na testesima pasa posle jednokratnog i višekratnog ozračivanja laserskim zracima talasne dužine 632,8 nm i snage 20 mW. Jednokratno ozračivanje testesa pasa izaziva umerene degenerativne promene u tkivu. Višekratno ozračivanje tokom tri dana dovodi do promena koje nisu ireverzibilne prirode i ne odražavaju se trajno na normalnu funkciju gonada pasa. Gonade pasa izložene zračenju tokom 8 dana i više (tokom mesec dana) - hronično ozračivanje, pokazuju teške degenerativne promene kako na germinativnom epitelu, tako i u intersticijumu, koje se mogu okvalifikovati kao ireparabilne.

UVOD

Iz literature je poznato (1) da mnogi fizikalni faktori (IR-zraci, MT) utiču na pojavu degenerativnih promena u gonadama muških životinja. Ove promene mogu biti izazvane termičkom komponentom dejstva pojedinih fizikalnih faktora , odnosno nejonizujućih zračenja, ali postoje i aseptalna oštećenja semenika bez ikakvih promena na koži (eritem, opekotine). Kako žljezde sa unutrašnjom sekrecijom stoje u medjusobnoj korelaciji značaj uticaja odredjenog spoljašnjeg agensa na jednu endokrinu žljezdu može da bude mnogo kompleksniji izazivajući promene aktivnosti drugih žljezda sa unutrašnjom sekrecijom indirektnim putem.

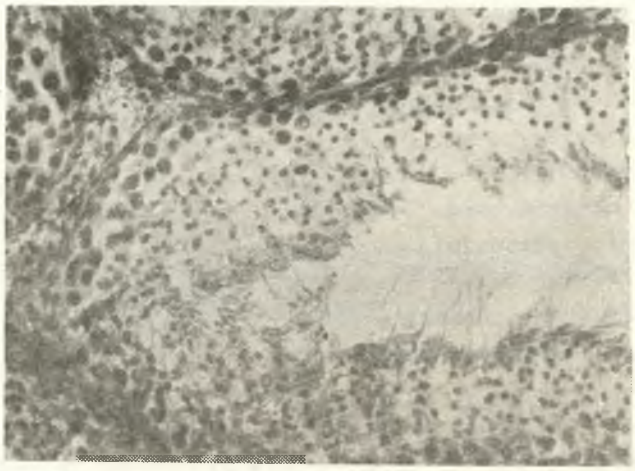
MATERIJAL I METOD RADA

Kao izvor laserskog zračenja korišćen je He:Ne laser, model 124B (Spectra-Physics), talasne dužine 632,8nm Ozračivanja su vršena na improvizovanom optičkom stolu. Aplikacionа tehnika se sastojala u izboru odgovarajuće prosečne snage laserskog zračenja direktnim merenjem (mračem snage model 404), a zatim se snop laserskog zraka prečnika 1 mm usmeravao na objekat sa razdaljine od 50 sm. Ispitivanja delovanja He:Ne lasera vršena su na klinički zdravim psima, mešancima, starosti oko 5 godina. S obzirom na vreme ekspozicije zračenja, odnosno akutno i hronično ozračivanje gonada muških životinja, ispitivani materijal svrstan je u 4 grupe: I - testesi zračeni 10 minuta jednokratno; II grupa - testesi zračeni 5 minuta u toku 3 dana; III - testesi zračeni 5 minuta tokom 8 dana, i IV - testesi zračeni 5 minuta tokom 30 dana. Uvek su ozračivani testesi sa leve strane dok je desna strana prekrivena olovnom gumom i služila kao kontrola. Testesi su hirurškim putem ekstirpirani 24 časa po ozračivanju. Posle operativnog uklanjanja odmah su fiksirani u 10% neutralnom formalinu da bi se izbegla pojava autolitičkih procesa. Posle fikasacije od svakog testisa, zračenog kao i kontrolnog pravljene su serije isečaka i bojene H.E. i Weigert Van Gieson metodom.

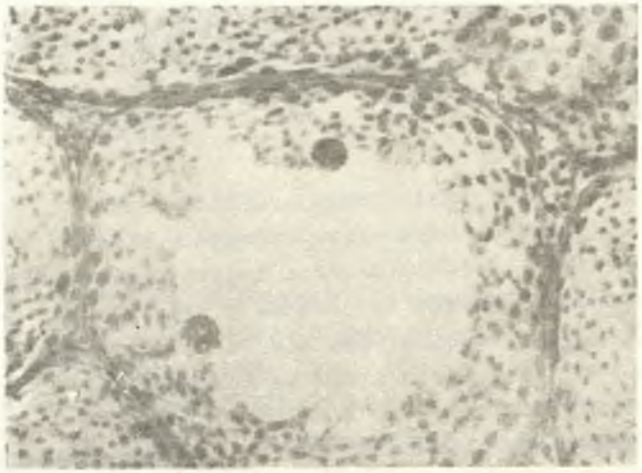
POSTIGNUTI REZULTATI

Kliničkim pregledom kože skrotuma levog testisa I grupe nisu zapažene bilo kakve promene u odnosu na nezračeni deo (desni testis). Patohistološkim ispitivanjima isečaka tkiva testesa I grupe ispoljene su promene u smislu sistirane spermatogeneze (u većini semenih kanalića) u fazi primarnih spermatocitaNa malom broju preparata sreće se dezintegracija površnih slojeva germinativnog epitela, kao i pojava džinovskih ćelija formiranih između ćelija germinativnog epitela, a samo izuzetno u lumenu tubula (sl. 2). Intersticijum je bez promena. Na isečcima tkiva testesa II grupe konstatuju se teže degenerativne promene na germinativnom epitelu. Uočava se dezintegracija ćelijskih snopova površnih slojeva semenog epitela, kao i promene na spermatidama i spermatocitima. Manji broj spermatida je lizirani. Nekrobiotični procesi se zapažaju i na jedrima primarnih spermatocita, a mnoge ćelije su i lizirane pa se njihov detritus sreće u lumenu tubula. Džinovske ćelije gotovo u potpunosti ispunjavaju lumen tu-

bule. I na jedrima džinovskih ćelija uočavaju se nekrobiotični procesi (sl.3).



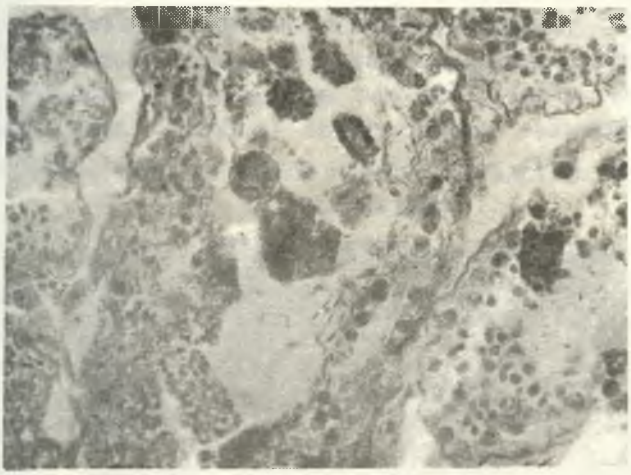
Sl. 1.-Patohistogram normalnog izgleda germinativnog epitela testisa psa - kontrola.



Sl. 2.-Džinovske ćelije na površini germinativnog epitela. Patohistogram testisa psa zračenog 10 minuta jednokratno.

Pregledom isečaka tkiva testesa III grupe uočavaju se teške degenerativne promene poje zahvataju i dublje slojeve germinativnog epitela. Dominiraju vakuole u protoplazmi ćelija semenog epitela. Na jedrima spermatocita i spermatogonija ističe se kariolaza, kariorekse ili kariopiknoza sa lizirenjem ćelija . prazni prostori

u blizini bazalnih membrana. Kao rezultat ovih litičkih procesa u pojedinim tubulima nedostaju spermatociti i spermatogonije(sl. 4).

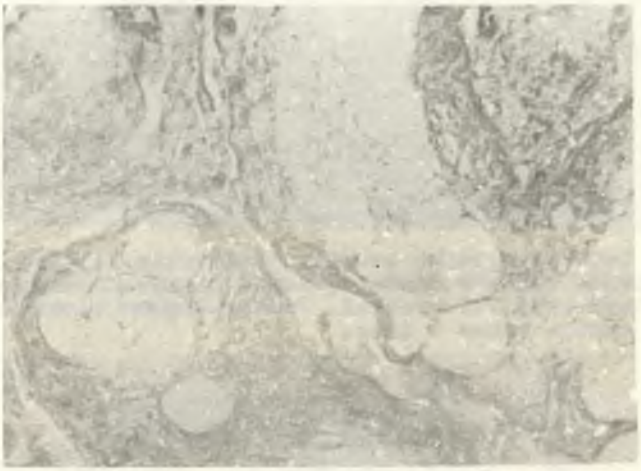


Sl. 3.-Lumen tubula ispunjen brojnim džinovskim ćelijama. Na germinativnom epitelu dezintegracije ćelijskih snopova, litički i deskvamativni procesi. Patohistogram testisa psa zračenog 5 minuta tokom 3 dana.

Sl. 4.-Patohistogram testisa psa zračenog 5 minuta tokom 8 dana. Postoje vakuole u protoplazmi ćelija dubljih slojeva semenog epitela.

Patohistološki nalaz na isečcima IV grupe ukazuje na veoma teške degenerativne alteracije germinativnog epitela. Procesi vakuolizacije, lizirenja i depopulacije tubula konstatuju se u širim podru-

čjima testesa. Osteju samo ogoljene i zadebljale bazalne membrane bez pokrova. Na isečcima gde su očuvane Sertolijeve ćelije izmedju sincicijuma dominiraju prazni prostori nastali liziranjem ćelija germinativnog epitela, koji lumenu tubula daje sačast izgled. U intersticijumu se uočava prisustvo umnožavanja fibroblasta i fibrocita, kao i stvaranje vezivnotkivnih vlakana, odnosno znaci početne fibroze (sl. 5).



Sl. 5.-Na patohistogramu testisa psa zračenog 5 minuta tokom 30 dana zapažaju se bazalne membrane mestimično bez pokrova, veoma zadebljale i hijalinizovane.

ZAKLJUČAK

1. Jednokratno (akutno) ozračivanje testesa psa He-Ne laserom (talasne dužine 632,8 nm i snage 20 mW) u vremenu od 10 minuta sa razdaljine od 50 cm, izaziva umerene degenerativne promene u tkivu, te predstavlja graničnu vrednost za pojavu štetnih efekata na gonadama psa.

2. Višekratno ozračivanje testesa psa u toku 3 dana po 5 minuta pokazuje teže degenerativne promene u odnosu na jednokratno ozračivanje, ali ne nastale promene ne ostražavaju trajno negativno na normalnu funkciju ovih polnih žljezda.

3. Višekratno ozračivanje testesa psa tokom 8 dana pri ekspoziciji od 5 minuta pokazuje patohistološki teške degenerativne promene, tako da efekti zračenja prelaze graničnu vrednost

za pojavu štetnih posledica.

4. Hronično ozračivanje laserskim zracima tokom mesec dana po 5 minuta izaziva na testesima procese vakuolizacije, lizi-ranja i devastacije tubula u širim područjima testisa. U intersti-cijumu zapaža se prisustvo fibroze pa sa promenama napred navede-nim jasno ukazuje na ireparabilne promene kako na germinativnom epitelu tako i u intersticijumu.

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS CAUSED BY A HELIUM-NEON LASER ON DOG TESTICLES

Anica Janković-Zagorčić, D. Todorović

While estimating the limiting values for critical tissues of domestic animals irradiated by Helium-Neon laser, pathohistolo-gical investigations have been done on the testicles of dogs after single and multiple exposures to laser beams of 632,8 nm wave leng-th and 20 mW power.

Single exposure caused medium degenerative alterations in the tissue. Multiple exposure during on interval of three days cau-sed alterations of a reversible nature which did not permanently alter the normal function of canine gonads. Pathohistologically, large alterations of the germinative epithelium and the intersti-tium which could be regarded as irreversible, appeared after chro-nic exposure lasting for 8 or more days (during a period of one month).

BIBLIOGRAFIJA

1. Pava Todorović: Ispitivanje uticaja mikrotalas-a na gonade, nadbubrežne žljezde i tireoideu belog pacova. Dok-torska disertacija, 1964, Beograd; 2. Charles H. Powell and all.: Current Status of Laser Threshold Guides. Am. Industr.Hyg.Assoc. Journal, 485-490, 1970; 3. Tozer B.A.: The calculation of maxi-mum permissible exposure levels for laser radiation. Phys.Ellect. Sci.Instrum.Vol 12, 1979; 4. Dž. Redi: Deistvie moščnogo lazerno-go izlučenija. Izdeljstvo "Mir", Moskva, 1974.

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZASTITI OD ZRACENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Puk.dr sci.med. Slobodan Milićević
Prim.dr Slavoljub Aničić
Vojnomedicinska akademija, Beograd

EFEKTI LASERSKOG ZRACENJA NA KARDIOVASKULARNI SISTEM PRI PROFESIONALNOJ EKSPOZICIJI

REZIME

U radu se iznose rezultati trogodišnjeg praćenja kardiovaskularnog sistema grupe od 110 muškaraca i 35 žena, eksponiranih laserskom zračenju u laboratorijskim uslovima. Analiza pokazuje da lasersko zračenje daje statistički značajne promene, u fiziološkim granicama, na kardiovaskularnom sistemu eksponiranog ljudstva i to: povećanje pulsa, sistolnog i dijastolnog pritiska.Na EKG-u i oscilogramu nisu utvrdjene statistički značajne promene. Parametri eksponirane grupe su uporedjeni sa kontrolnom grupom od 120 muškaraca i 50 žena.

UVOD

Razvoj laserske tehnike rapidno raste u svetu, a njena primena je svakim danom sve šira i obimnija (1). Samim tim, laserskom zračenju je izložen sve veći broj ljudi. U našoj zemlji takodje postoji interes za primenu laserskog zračenja i to uglavnom u laboratorijskim uslovima.

Najugroženiji organ čoveka, pri radu sa laserskim zračenjem, je oko, a onda koža, posle kojih dolazi potkožno tkivo i na kraju unutrašnji organi (2).Efekti laserskog zračenja na unutrašnje organe nastaju uglavnom posredno-refleksno ili preko hemijskih produkata koji nastaju u ozračenom tkivu.Eksperimenti na životinjama, kao i rezultati profesionalne ekspozicije ljudstva,pokazuje da lasersko zračenje ima opšte dejstvo,koje se manifestuje različito:

ubrzan puls,nepostojan pritisak, poremećaj funkcije nadbubrega i tireoideje, kao i niz drugih neuro-vegetativnih smetnji (3). To nas je i navelo da pri kontroli zdravstvenog stanja profesionalno eksponiranog ljudstva (110 muškaraca i 35 žena), pratimo i kardiovaskularni sistem.

MATERIJAL I METODIKA RADA

U toku 3 godine, pored ostalog, vršeno je merenje krvnog pritiska i pulsa u ležećem položaju, kao i snimanje kompletnog EKG-a jednokanalnim aparatom EI-Niš i oscilografsko snimanje ekstremiteta oscilografom, firme Speide i Keller (Zapadna Nemačka). Rezultati pregleda eksponiranih su statistički obradjeni i vrednosti su uporedjene po godinama pregleda, kao i sa vrednostima kontrolne grupe (120 muškaraca i 50 žena) i to posebno za muškarce a posebno za žene.

Prema starosnoj dobi eksponirano ljudstvo je bilo izmedju 20 i 50 godina, a najveći broj su mladji ljudi (oko 50% od 20 do 30 godina). U ovom odnosu se kreće i ukupni radni staž (do 5 godina - 50%),dok ekspozicioni staž ima najveći broj do 5 godina - 82%. Dnevna ekspozicija muškaraca pri prvom pregledu je bila 1 čas, a pri trećem 2 časa, dok je kod žena ekspozicija bila kraća za 1/2 časa.

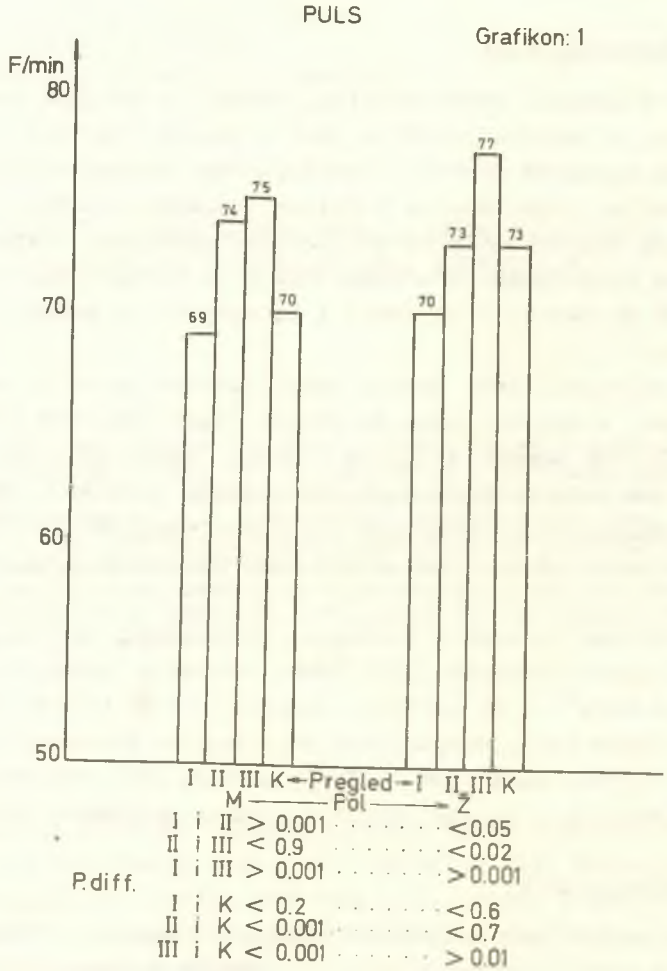
Prema vrstama laserskog zračenja, eksponirani su izloženi različito, ali skoro obavezno (70%) He-Ne zračenju (snage do 10 mW i gustine 1,4 kW/m^2) i Nd zračenju energije do 90 mJ/imp i gustine 95,5 MW/m^2).Pored ovih, eksponirani su u manjem procentu Ar zračenju (3%), R (5%), GaAs (18%) i CO_2 zračenju (8%). Uglavnom,ovde se radi o ekspoziciji reflektovanom zračenju navedenih lasera.

REZULTATI ISTRAZIVANJA

Analizirajući nadjeno stanje kardiovaskularnog sistema, utvrdjeno je da postoje izvesne razlike izmedju eksponiranih i kontrolne grupe.

Analiza izmerenog pulsa je prikazana na grafikonu 1, iz koga se vidi da postoji blag porast pulsa kod eksponiranih i to sa godinama ekspozicije. U izvesnim slučajevima, kod oba pola. postoji statistička značajnost ovog porasta.

Izmereni pritisak, odnosno rezultati sistolnog pritiska su prikazani na grafikonu 2. Kod eksponiranih muškaraca porast ovog


PULS
Grafikon: 1
F/min
80
70
60
50
69
74
75
70
70
73
77
73
I II III K ← Pregled → I II III K
M ——— Pol ——— Z
P.diff.
I i II > 0.001 · · · · · · · · < 0.05
II i III < 0.9 · · · · · · · · < 0.02
I i III > 0.001 · · · · · · · · > 0.001
I i K < 0.2 · · · · · · · · < 0.6
II i K < 0.001 · · · · · · · · < 0.7
III i K < 0.001 · · · · · · · · > 0.01

pritiska nije visok i statistička značajnost postoji samo u odnosu na kontrolnu grupu. Kod žena, pak, statistička značajnost postoji i u odnosu na kontrolnu grupu, ali i po godinama pregleda, odnosno ekspozicije laserskog zračenja.

Analiza TA dijastolnog prikazana je na grafikonu 3. Iz ovoga se vidi da kod eksponiranih, i u muškaraca i u žena, postoji blag porast dijastolnog pritiska, koji je u fiziološkim granicama, ali je statistički značajan, kako u odnosu na kontrolnu grupu, tako i po godinama ekspozicije.

Statistička obrada EKG-a nije pokazala odstupanja koja bi bila statistički značajna. Analizirana je frekvencija, trajanje PQ, QRS i T talasa. Frekvencija pulsa na EKG-u je manja u proseku za 10/min, nego pri subjektivnom merenju na klasičan način. Medjutim, odnos po godinama pregleda je ostao isti, tj. blago povećanje sa ekspozicijom. Talas PQ je imao kod eksponiranih muškaraca prosečno trajanje u toku sva tri pregleda 0,157±0,01 sek., a kod eksponiranih žena 0,147±0,02 sek. Kod kontrolne grupe muškaraca ove vrednosti su 0,156±0,02 sek., a kod žena 0,154±0,02 sek. Kao što se vidi, razlike su male i nemaju statističku značajnost.

Talas QRS kod eksponiranih muškaraca je prosečno trajao 0,080±0,01 sek., a kod žena 0,075±0,01 sek. Kod kontrolne grupe muškaraca ove vrednosti su 0,077±0,01 sek., a kod žena 0,080±0,01 sek. I ovde nema razlike od statističke značajnosti.

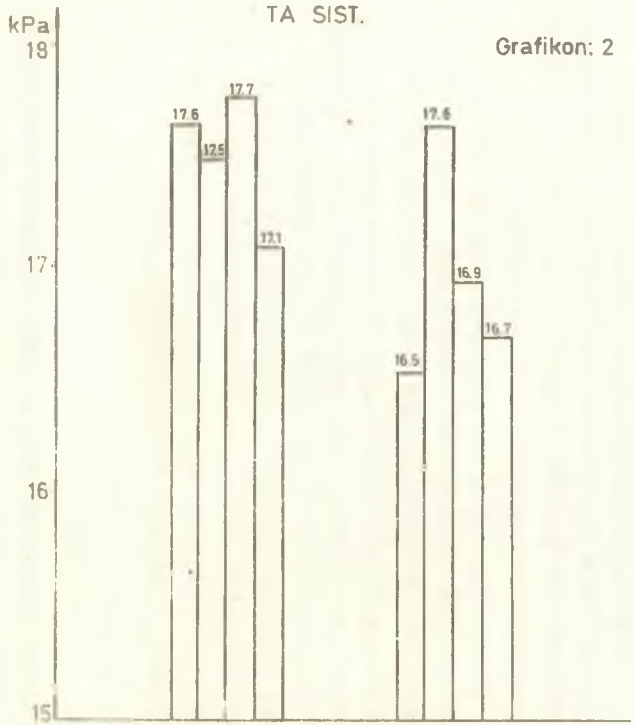
Talas T kod eksponirane grupe u odnosu na kontrolnu grupu nema promena od statističke značajnosti. Negativan T talas kod ove grupe (i kontrolne i eksponirane) se kretao u proseku oko 5%.

Pozitivan nalaz na EKG-u (devijacije ili blok grane) kod eksponiranih muškaraca je iznosio 9,5%, a kod žena 6,25%. Kod kontrolne grupe muškaraca ovaj nalaz je 12,0%, a kod žena 6,0%. Ovaj nalaz takodje nema razlike koje bi bile statistički značajne.

Analiza oscilografskog nalaza na distalnim delovima ekstremiteta eksponiranih pokazuje da ne postoje nikakve promene na krvnim sudovima. Sličan je nalaz i kod kontrolne grupe.

ZAKLJUČAK

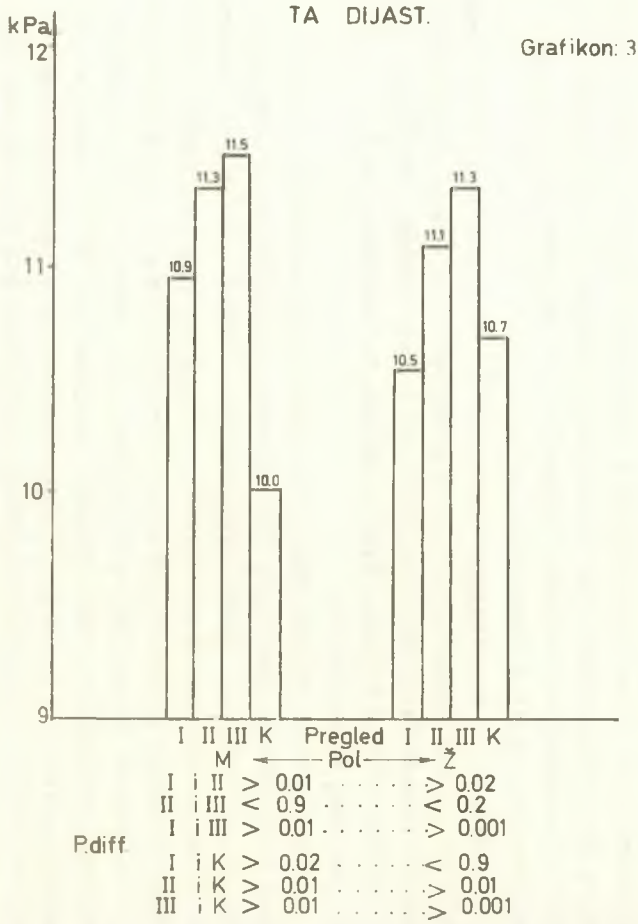
Na osnovu napred navedenog može se dati izvestan zaključak: lasersko zračenje kod eksponirane grupe nije dalo patološke promene na kardiovaskularnom sistemu, prema navedenoj ekspoziciji. Medjutim, postoje promene u fiziološkim granicama i to: povećanje



P diff

I i II < 0.6 . . . . . > 0.001
II i III < 0.3 . . . . . > 0.01
I i III < 0.6 . . . . . < 0.1

I i K > 0.05 . . . . . < 0.6
II i K > 0.1 . . . . . > 0.01
III i K > 0.01 . . . . . > 0.2


TA DIJAST.
Grafikon: 3
kPa
12
11
10
9
10.9
11.3
11.5
10.0
10.5
11.1
11.3
10.7
I II III K Pregled I II III K
M ← Pol → Ž
P.diff.
I i II > 0.01 > 0.02
II i III < 0.9 < 0.2
I i III > 0.01 > 0.001
I i K > 0.02 < 0.9
II i K > 0.01 > 0.01
III i K > 0.01 > 0.001

pulsa, TA sistolnog i dijastolnog od statističke značajnosti. Na EKG-u i oscilogramu nisu utvrdjene statistički značajne promene.

SUMMARY

PROFESSIONAL EXPOSURE TO LASER RADIATION AND EFFECTS ON CARDIOVASCULAR SYSTEM

Puk.dr sci.med. Slobodan Milićević
Prim.dr Slavoljub Aničić

Military medical academy
Beograd, Yugoslavia

The authors present the results of the three years follow-up study of the group of 110 men and 35 women exposed to laser radiation in laboratory conditions. Analysis shows that laser radiation envolves physiological but statisticaly important changes on cardiovascular system: increased puls rate, systolic and diastolic blood pressure without significant changes on ECG and oscilogram.

LITERATURA

1. Soboljev N.: Lazeri i ih buduščee, Atomizdat, Moskva, 1968.
2. Goldman L.: Biomedical Aspect of the Laser, Springer-Ferlag, 1967.
3. Kaveckij R.E. et al.: Lazeri v biologiji i medicine, Zdorovja, Kiev, 1969.

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZASTITI OD ZRACENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

B.Petrović, B.Banovčanin, Z. Djordjević

Veterinarski fakultet-Beograd
Vazduhoplovno-medicinski institut - Zemun

DEJSTVO AKUTNOG I HRONIČNOG MIKROTALASNOG ZRACENJA NA TESTESE KUNIĆA

REZIME - Istraživanja su bila usmerena na ustanovljavanje stepena oštećenja u muškim polnim žlezdama, koja nastaju usled MT zračenja, a u funkciji intenziteta MT polja i vremena ozračivanja . Postignuti rezultati pokazuju da niski intenziteti MT zračenja u trajanju do 40 minuta ne izazivaju histopatološke promene celularne strukture testesa, dok isti intenziteti u uslovima duže ekspozicije (60 min) mogu prouzrokovati značajna oštećenja parenhima žlezdanog tkiva testesa . Srednji intenziteti, čak i pri kraćim ekspozicijama (20 i 40 min) izazivaju upadljive histopatološke promene u tkivu testesa. Hronično ozračivanje niskim,tzv."subtermičkim" dozama, ako je i protrahirano na ukupno 45 dana, ne izaziva značajne histopatološke promene u tkivu testesa, dok ukoliko je protrahirano na 90 dana uzrokuje ozbiljne histopatološke promene u celularnoj strukturi tkiva testesa .

UVOD

Poznato je da su polne žlezde naročito osetljive na sve vrste kako jonizujućih, tako i nejonizujućih zračenja. Pošto mikrotalasi (MT), absorbujući se u tkivu, izazivaju termički efekt, to visoke doze ovog zračenja mogu da oštete ćelije reproduktivnog tkiva testesa, čime se remeti spermatogeneza . Kako je poznato da lokalni porast temperature od 1-2°C inhibira proces spermatogeneze, to je lokalno ozračivanje testesa mikrotalasima korišćeno i u kontraceptivne svrhe (1). Isto tako, konstatovano je (2) da porast temperature od 2-3°C u testesima kunića izaziva degenerativne promene u parenhimu ovih žlezda. Ispitivanja efekta MT na testesima kunića ozračivanih različitim intenzitetima MT zračenja, ustanovljene su granične doze pri kojima ne dolazi do poremećaja spermatogeneze (3) . Promene u testesima eksperimentalnih životinja ustanovljene su i pri produženom izlaganju manjim (sub-

termičkim) dozama MT zračenja (4).

Naša ispitivanja bila su usmerena na ustanovljavanje stepena oštećenja u muškim polnim žlezdama, koja nastaju usled MT zračenja, a u funkciji intenziteta MT polja i vremena ozračivanja $[D_{MT} = f(I \times t)]$ i to: a) kod akutnog ozračivanja, i - b) kod hroničnog ozračivanja .

MATERIJAL

Istraživanja su obavljena na zdravim i odraslim kunićima muškog pola,starosti oko 6 meseci, telesne težine 2,5-3 kg, koji su bili u vrlo dobroj kondiciji. Pre stavljanja u ogled životinje su provodilo 4-5 dana u našim smeštajnim uslovima radi adaptacije i kliničke opservacije .

Sva ispitivanja obavljena su na posebnim grupama od po 10 kunića, pri čemu je za svaki intenzitet MT polja i vreme ozračivanja postojala posebna ogledna grupa od po 10 ozračivanih životinja, uz istovremeno prisustvo kontrolne grupe od 10 kunića. Tako je za izučavanje efekata akutnog dejstva MT zračenja bilo 10 grupa od po 10 ozračivanih kunića, dok je za izučavanje hroničnog dejstva MT zračenja bilo 3 grupe ozračivanih i jedna grupa kontrolnih životinja; za sva istraživanja bilo je ukupno 150 oglednih životinja .

TEHNIKA RADA

OZRAČIVANJE OGLEDNIH KUNIĆA vršeno je u specijalnom pokretnom boksu od pleksi-stakla, veličine 30x15x15 cm, koji je transmisibilan za MT zračenje, čime je bio omogućen ravnomeran raspored gustine MT zračenja pri ozračivanju životinja . Kunići su ozračivani ponaosob, a veličina boksa omogućavala je visok"stepen ugodnosti" životinja, bez straha od ograničenog prostora i zamračenosti (sl.1) .

Za ozračivanje je korišćen generator za mikrotalase domaće proizvodnje ("Elektromedicina"-Ljubljana), čija izlazna snaga je bila 200 W, a generator ostvaruje visokofrekventno polje od 2450 MHz i emituje MT zračenje talasne dužine $\lambda = 12,4$ cm . Za emisiju energije MT zračenja korišćen je okrugli zračnik sa dipolom, koji se nalazio na rastojanju od 40 cm iznad boksa sa oglednom životinjom .

Akutno ozračivanje životinja bilo je jednokratno i totalno, a u funkciji različitih intenziteta MT polja i vremena ozračivanja i to :

I = 5 mW/cm^2	I= 10 mW/cm^2	I= 20 mW/cm^2
t= 10-20-40-60 min	t= 10-20-40 min	t= 10-20-40 min

Hronično ozračivanje bilo je višekratno i lokalno, pri čemu je intenzitet MT polja iznosio 5 i 10 mW/cm^2, a vreme ozračivanja je uvek bilo 10 min po seansi . Broj seansi i način ozračivanje varirali su i to:

- broj seansi = 15 , tj svakog dana uzastopno,
- broj seansi = 30 , tj 15 dana uzastopno, a potom 15 dana svaki drugi dan .

DOZIMETRIJA RADIJACIONOG POLJA MT ZRACENJA vršena je sa dva elektromagnetska monitora MT zračenja, američke proizvodnje i to : tipa SPERRY,model B86B2 i tipa NARDA,model B86B3 .

Determinacija izodoznog polja za ozračivanje ogledniih životinja obavljana je navedenim monitorima, pri čemu se vodilo računa da se ceo boks za ozračivanje nalazi u oblasti homogenog polja MT zračenja (sl.2), a da ogledne životinje u svakom položaju prima uvek istu dozu MT zračenja . Radijaciono polje MT zračenja kontrolisano je pre početka, kao i na završetku ozračivanja svake grupe oglednih životinja .

METODE RADA

TERMIČKA MERENJA kod ozračivanih životinja vršena su neposredno pre početka i posle završetka ozračivanja MT, kao i 1 sat posle završenog ozračivanja .

Za termografiju je korišćen termoelement firme "Hartmann & Braun", koji raspolaže sa 6 priključaka i ima mogućnost automatskog registrovanja temperature u razmaku od 30 sekundi(6).

Termosonde su postavljane u predelu glave, prednjih i zadnjih ekstremitata, torako-lumbalnom delu, u predelu epi-mezogastrijuma i rektalno .

HISTOLOŠKA ANALIZA obavljana je neposredno posle završenog akutnog i hroničnog ozračivanja, pri čemu su iz svake ogledne grupe, a po metodi slučajnog izbora, uzimane po tri ozračene životinje i žrtvovane ; neposredno posle žrtvovanja uzimani su testesi i fiksirani u 8% formalinu, kalupljeni u parafin, sečeni mikrotomom i bojeni su metodom Hematoxylin-Eosina .

POSTIGNUTI REZULTATI

Rezultati histoloških ispitivanja bili su sledeći:

- Kod akutnog-jednokratnog (totalnog) ozračivanja sa 5 mW/cm^2 i u trajanju od 10,20 i 40 minuta po seansi, na tkivu testesa nisu ustanovljene histopatološke promene .
- Kod akutnog-jednokratnog (totalnog) ozračivanja sa 5 mW/cm^2 u trajanju od 60 minuta po seansi, kao i pri ozračivanju intenzitetom od 10 mW/cm^2 u trajanju od 10, 20 i 40 minuta po seansi, histopatološke promene u tkivu testesa bile su u smislu pojave vakuolarne distrofije, intersticijalnog orhita i lokalne fibroze testesa . (DIA 1, DIA 2).
- Kod akutnog-jednokratnog (totalnog) ozračivanja intenzitetom od 20 mW/cm^2 u trajanju od 10 minuta po seansi, na tkivu testesa nisu ustanovljene histopatološke promene, dok pri trajanju ozračivanja od 20 minuta po seansi, ustanovljen je u dva slučaja indurativni orhit lakšeg stepena . Medjutim, pri ozračivanju istim intenzitetom u trajanju od 40 minuta poseansi, ustanovljene su sledeće histopatološke promene u testesima : edem intersticijuma, redukcija parenhima testesa i sistirana spermatogeneza, kao i balonirajuća degeneracija sa pojavom mnoštva džinovskih ćelija (DIA 3) .
- Kod hroničnog-frakcionisanog (lokalnog) ozračivanja testesa MT zračenjem intenziteta 5 mW/cm^2 i 10 mW/cm^2 , a pri trajanju ozračivanja od 10 minuta po seansi, pri čemu je broj seansi bio:
  a) 15 seansi,svakog dana uzastopno (ukupno 15 seansi), i -
  b) 30 seansi i to: 15 dana uzastopno svakoga dana, a potom još 15 seansi sveki drugi dan (ukupno 30 seansi u toku 45 dana)

  histopatološka analiza je samo u jednom slučaju pokazala pojavu incipijentne fibroze tkiva testesa .
- Kod hroničnog-frakcionisanog (lokalnog) ozračivanja testesa MT zračenjem intenziteta 10 mW/cm^2 u funkciji vremena ozračivanja od 10 minuta po seansi, pri čemu je broj seansi bio:
  a) 30 seansi, svakog drugog dana uzastopno (ukupno 30 seansi),-
  b) 60 seansi i to : 30 seansi svakog dana uzastopno, a potom i 30 seansi svakog drugog dana (ukupno 60 seansi u toku 90 dana) -

histopatološke promene bile su evidentne u smislu : Hyperaemia et oedema testis ; Necrosis focalis localisata; Necrosis colliquata partialis .

Z A K L J U Č A K

Rezultati histopatoloških ispitivanja u ovom eksperimentalnom radu ukazuju na sledeće činjenice:

1. Niski intenziteti MT zračenja (I=5 mW/cm^2) u trajanju do 40 minuta ne izazivaju histopatološke promene celularne strukture testesa.
2. Niski intenziteti MT zračenja (I=5 mW/cm^2 u uslovima duže ekspozicije (60 minuta i više) mogu prouzrokovati značajna oštećenja parenhima žlezdanog tkiva testesa .
3. Srednji intenziteti MT zračenja (I=20 mW/cm^2), čak i pri kraćim ekspozicijama (20 i 40 minuta) izazivaju upadljive histopatološke promene u tkivu testesa.
4. Hronično ozračivanje niskim, tzv."subtermičkim" dozama, pri intenzitetima MT zračenja od 5 i 10 mW/cm^2, protrahirano na ukupno 45 dana, ne izaziva značajne histopatološke promene u tkivu testesa .
5. Hronično ozračivanje niskim,subtermičkim dozama (I=5 mW/cm^2) u trajanju od 10 minuta, ukoliko je protrahirano na 90 dana, uzrokuje ozbiljne histopatološke promene celularne strukture tkiva testesa .

B I B L I O G R A F I J A

(1) Mumford W.W.(1961): Proceeding of the IRE,p.427.

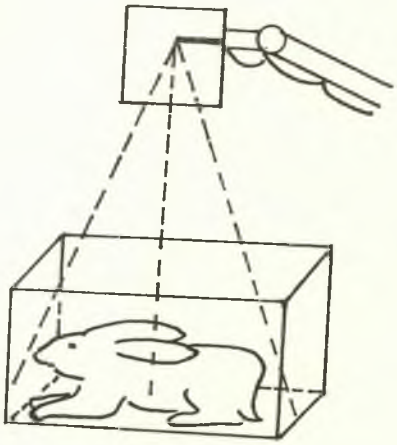
(2) Imig C.J. et all.(1948): Proc.Soc.Exper.Biol.and Med.,382, p.69.

(3) Ely T.S.,Goldman D.E.(1956): IRE Trans.Med.Electronics,OGME-4,p.38.

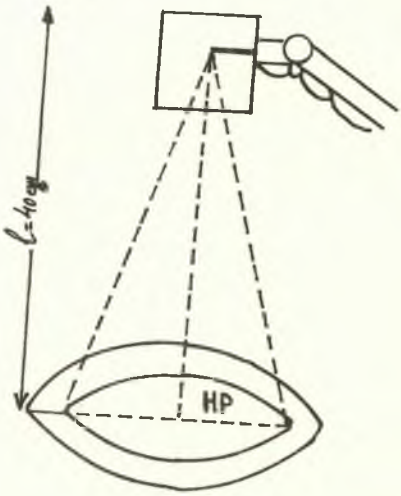
(4) Prausnitz S.,Susskind C.(1962): IRE Trans.Med.Ecectronics, OGME-4,p.104.

(5) Djordjević Z.(1978): Mikrotalasno zračenje i zaštita; Izd. VIZ,Beograd.

(6) Draganović B., Petrović B.(1983): Termička merenja pri MT zračenju;saopštenje na XII simpoz. JDZZ;Ohrid.



Sl.1.- Boks za ozračivanje kunića MT zračenjem



Sl.2.- Homogeno polje (HP) MT zračenja u kome se nalazila ogledna životinja

VII с е к ц и ј а : ЗАШТИТА ОД ИЗВОРИ НА ЗРАЧЕЊЕ ВО МЕДИЦИНСКА ПРИМЕНА

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Ardeljan Jon, Križanović Dragutin, Duško Radočaj

Medicinski centar Zrenjanin, OOUR Opšta bolnica "Đorđe Joanović"
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" Beograd

KRITERIJI PRILIKOM UPUĆIVANJA NA RENTGEN PREGLEDE U OPŠTOJ BOLNICI U ZRENJANINU 1982. GODINE

REZIME: Analiziran je jednogodišnji rentgendijagnostički materijal (1982. godina) u radiološkoj službi Opšte bolnice u Zrenjaninu,koja raspolaže sa 850 postelja i kojoj gravitira stanovništvo regiona od oko 250.000 stanovnika. Dijagnostički rezultati obuhvataju nalaze, koji se odnose na oko 60% ležećih i na oko 40% ambulantnih bolesnika. Dve trećine bolesnika je upućeno od strane specijalista a jedna trećina od lekara opšte medicine. Ovde nije obuhvaćena specijalistička radiološka ambulanta, koja ima svoje specifičnosti. Pored indikatora o kriterijumima prilikom upućivanja na rentgenološke preglede, izmerene su i apsorbovane doze X-zračenja na mestu ulaznog, centralnog zraka, a simultano i u predelu gonada kod pojedinih najfrekventnijih pregleda. Date su sugestije za smanjenje nepotrebnog izlaganja X-zračenju.

UVOD

Zaštita od invazivnog jonizujućeg zračenja, jedan je od prevashodnih faktora zaštite i unapređenja prirode i čovekove sredine. Ovaj vid zaštite mora biti imperativ ne samo članova Društava za zaštitu od zračenja, već svakog čoveka, a posebno medicinskih radnika, u prvom redu lekara.

Iz dana u dan, paralelno sa razvojem zdravstvene službe i tehničkih dostignuća, sve je veća mogućnost da se stanovništvo izlaže zračenju u cilju terapije odnosno dijagnostike.

Poznato je da ozračenost u medicinske svrhe daleko pre-

mašuje sve ostale vidove radijacija. Poznavajući ove činjenice nemožemo ostati indiferentni prema posledicama radijacija, koje se odnose na znatna oštećenja zdravlja, kao što su razne hemopatije, maligniteti i genetska oštećenja.

Radeći posao radiologa-dijagnostičara blizu 20 godina, mogao sam upoznati ovu problematiku, koja je kompleksna i koja zavisi od mnogo nerešenih faktora, počev od edukacije medicinskih radnika, preko obrazovanja stanovništva do uvođenja nadzora i odgovornosti za primenu radijacija.

Kao član Društva za zaštitu od zračenja i kao radiolog, smatram da briga u smislu zaštite od zračenja mora prerasti u stavove društva u celini sa određenom regulativom, koja je za sada nedovoljna.

METOD RADA

Smatrao sam korisnim da analiziram dijagnostičke rezultate dobijene rentgenološkim pregledima na jednogodišnjem materijalu u stacionaru, gde bolesnike upućuju specijalisti sa značajnim medicinskim iskustvom.

Naš stacionar tipa Opšte bolnice ima oko 850 postelja i služi potrebama regiona sa oko 250.000 stanovnika.

Radiološka služba je dijagnostičkog tipa i radi za sada u uslovima klasične aparature. U službi rade specijalisti, specijalizanti kao i optimalan broj educiranih rentgen tehničara.

U 1982. godini pregledano je na rentgenološkom odeljenju 10.466 bolesnika od kojih se oko 60% odnosi na stacionarne, a oko 40% na ambulantne bolesnike. Preko dve trećine pregledanih je upućeno od strane specijalista.

TAB broj 1 BROJ I VRSTA PREGLEDANIH BOLESNIKA

	Broj pregledanih bolesnika
Odraslih (od 14 - 35 godina) 1.372	9.476
Dece (do 14 godina starosti)	990
U k u p n o	10.466

U ukupnom broju pregledanih deca su zastupljena sa oko 9% (990 pregledanih), a osobe sa 14 do 35 godina starosti sa 13% (1372 pregledanih). Ove dve kategorije ukupno čine 22% pregledanih.

TAB broj 2 ODNOS BROJA USLUGA, EKSPOZICIJA I SKOPIJA PREMA BROJU PREGLEDANIH

Broj pregledanih	Broj usluga	Broj ekspozicija	Broj skopija
10.466	12.731	22.810 (2,18 po pregle-) danom	5.180 (49%)

Od 5.180 skopiranih 1.873 se odnose na skopiju želuca i duodenuma, a 231 na irigoskopiju. Navodim ove dve kategorije kao vrstu pregleda kod kojih je doza zračenja vrlo velika. Ostale skopije se odnose na skopiju organa toraxa.

TAB broj 3 BROJ PREGLEDANIH PO SISTEMIMA ORGANA

Sistem organa	Broj	%
Osteoartikularni	5.580	43
Digestivni trakt	2.868	23
Respiratorni trakt	3.866	30
Urotract	417	4

Važno je napomenuti da je broj negativnih rezultata na našem materijalu kod izvršenih urografija relativno veliki.

TAB broj 4 DIJAGNOSTIČKI REZULTATI U ODNOSU NA BROJ USLUGA

Dijagnostički rezultat	Broj	%
Pozitivan (medicinski koristan)	4.642	36
Praktično b.o. (bez posebnog kliničkog značaja)	2.260	19
Negativan (medicinski neopravdan)	5.829	45
U k u p n o	12.731	100

Važno je istaći da je ukupan broj medicinski neopravdanih slučajeva i slučajeva bez posebnog kliničkog značaja 64%.

Što se tiče kliničke dokumentacije na uputnicama, ona je ili oskudna ili nedostaje; ako postoji onda je uopštena i ne daje mogućnost za ciljane preglede što je i štetno i skupo.

Prilikom analiziranja rezultata pošao sam od jednog jedinog činioca: kliničke opravdanosti i koristi pregleda za blagovremenu dijagnozu i terapiju. Pri tome sam uzeo kao pozitivne odnosno

medicinski korisne i one negativne rezultate, koji daju informaciju u smislu nepostojanja traume, metastaza, HSG, snimke trudnica, ponovne snimke posle pozitivnih prvih pregleda i sl.

Što se tiče negativnih uzeo sam prilično rigorozno sve ono što se moglo ustanoviti klinički, fizikalnim metodama i laboratorijski, bez rentgenoloških pregleda.

Pri svemu tome imao sam u vidu da su dve trećine bolesnika upućeni od strane specijalista, koji na osnovu svog iskustva mogu postaviti kliničku dijagnozu i bez rentgenološkog pregleda ili mogu uputiti na ciljani rentgenološki pregled, a ne da traže sistematsko rentgenološko ispitivanje bez obzira na potrebe za ispitivanjem pojedinih organa.

Posebno je veliki broj negativnih rezultata kod dece, kako u odnosu na respiratorni trakt, tako i u odnosu na urotrakt i digestivni trakt. Kod dece su poseban problem sistematski pregledi karlice i kukova, odnosno kičme kod školske dece.

Kod odraslih, ističu se u velikom broju nepotrebni pregledi kod hroničnih stanja, koja se ne menjaju tako brzo i koja se raspoznaju po ciljanim pregledima (slučaj sa reumatološkim oboljenjima).

Ovde je potrebno pomenuti da se urološki bolesnici, koji se leče na urološkom odeljenju u vrlo velikom broju podvrgavaju urografskom ispitivanju sa velikom dozom ozračenosti.

Imajući sve to u vidu odlučili smo da izvršimo merenja primljenih doza pacijenta, kod pojedinih najfrekventnijih pregleda.

Merenja su vršena simultano - na određenom organu i istovremeno u predelu gonada.

Korišćeni su TLD prilikom rada na četvoroventilnom aparatu tipa "Grafoskop". Uzete su osobe srednje konstitucije.

Merenje doze X-zračenja, kome su izloženi pacijenti pri dijagnostičkoj primeni X-zračenja, vršeno je kod rutinskih pregleda pacijenata. Za pojedine vrste rentgenoloških pregleda uzet je po jedan pacijent bez obzira na pol i godine starosti. Kod svakog pacijenta su vršena dva merenja i to: prvo merno mesto odnosi se na mesto gde ulazi centralni zrak na površini kože pacijenta, a drugo merno mesto je u predelu gonada pacijenta.

Za merni instrument koristili smo TL dozimetar P-LiF-7-30 -0,4 prečnika 12,7 mm i čitač "PITMAN" - TOLEDO, model 654.

Rezultati merenja su obrađeni u Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" u Beogradu.

Kod sledećih rentgenoloških pregleda registrovane su vrednosti apsorbovanih doza:

TAB broj 5 APSORBOVANA PACIJENTNA DOZA U ZAVISNOSTI OD VRSTE PREGLEDA I MESTA MERENJA

Vrsta pregleda	Mesto merenja	Doza (mGy)
Irigoskopija	predeo abdomena	65,40
	desni glutealni predeo	28,50
	u predelu testisa	0,65
Skopija pluća i srca	centralni zrak	22,20
Skopija i grafija gaster - duodenuma	centralni zrak	26,90
	predeo ovarija	1,90
Snimci glave u dva pravca	centralni zrak	9,20
	predeo testisa	0,04
Lumbosakaralna kičma u dva pravca	centralni zrak	61,20
	projekcija ovarija	0,14
Intravenska urografija	centralni zrak	71,80
	projekcija ovarija	43,20
Snimanje karlice odrasle osobe	centralni zrak	23,00
Snimanje dečje karlice (odojče)	centralni zrak	0,27
Teleradiografija srca u dva pravca	centralni zrak	3,22
	predeo testisa	0,16

Kod obračuna vrednosti apsorbovane doze X-zračenja uzet je faktor 0,92 za meko tkivo, koji se odnosi na energije od 35 kV do 110 kV, t.j. od 20 do 40 keV eff. za energije koje se najčešće koriste u medicinskoj dijagnostici.

Iz podataka u gornjoj tabeli vidi se da kod pojedinih pregleda u znatnoj meri ukupna apsorbovana doza prelazi godišnju dozvoljenu dozu od 5.000 mikro Gy godišnje za stanovništvo i to posebno u predelu gonada, odnosno centara hematopoeze.

Bez obzira što se ne može utvrditi sa sigurnošću efekat genetskog oštećenja, sigurno da je medicinski i biološki značaj ovih doza znatan i da opominje.

DISKUSIJA

Izneti su brojčani parametri u odnosu na bolnički materijal radiološke službe i utvrđeni su kriteriji za ocenjivanje kritičnosti prilikom upućivanja na rentgenološke preglede; date su konstatacije u smislu nedovoljnog procenjivanja prilikom upućivanja.

Prikazane su doze ozračenosti u projekciji centralnog snopa i simultano u predelu gonada. Konstatovano je da su doze znatne sa velikim biomedicinskim efektom.

ZAKLJUČAK

Posle napred navedenog može se zaključiti sledeće: broj nepotrebno upućenih - oko 45% sigurno je veliki pogotovu kada se ima na umu da je to bolnički materijal. Sigurno da znatan broj lekara u ovom slučaju specijalista nemaju pravilan stav prema zaštiti od zračenja. Pri tome manji udeo imaju zahtevi bolesnika za upućivanje na rentgenološke preglede.

Iz svega proizilazi da je potrebno posvetiti posebnu pažnju edukaciji lekara i zdravstvenom prosvećivanju stanovništva.

SUMMARY

CRITERIOUS TO REFERING PATIENTS TO X-RAYREWIEW IN GENERAL HOSPITAL-ZRENJANIN IN 1982 YEAR.

Here is shown the analysis of health documents X-ray department of General hospital - Zrenjanin.

It is proved that about 45% of patients was refered unnecesserily on X-ray review.

Received doses for time of individually review, specially Pyelography, Irrigography, Gastroradography, Pelvis Roentgenography and Lumbar-Sacral vertebrals Roentgenography, are remarkabl and damaging genetic as well as biomedical.

Suggestiens are given for criticallier attitude during refering on X-ray review and it is point at necessity in education of radiation in general.

Literatura

1. Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i osobe koje rade sa izvorima jonizujućih zračenja ne smeju biti izloženi zračenju (Službeni list SFRJ broj 27/77 od 27. maja 1977. godine);
2. Ivica Ružička: Udio opravdanosti upućivanja na rentgendijagnostičke pretrage u izloženosti stanovništva jonizirajućem zračenju;
3. M.Ranogajec-Komor, B.Vekić, I.Dvornik: Merenje raspodjele doza zračenja po cijelom tijelu pomoću TLD;
4. R.Mijailović, M.Ninković: Procena doza u polju rentgenskog zračenja korišćenjem termoluminescentnih i film-dozimetara.

XII. JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. jun 1983

Hebrang A., Vidaković Z.
Medicinski fakultet, Klinička bolnica "Dr O.Novosel
Zagreb, Zajčeva 19

IZLOŽENOST RADIOLOGA RENDGENSKOM ZRAČENJU KOD IZVOĐENJA MODERNIH DIJAGNOSTIČKO-TERAPIJSKIH METODA

SAŽETAK Posljednjih nekoliko godina u medicinskoj radiologiji uvedene su brojne nove dijagnostičke i terapijske metode. Medju najvažnije ubrajaju se metode dilatacije suženih krvnih žila kao i rekanalizacija začepljenih arterija (perkutana transluminalna angioplastika, PTA). Prikazujemo izloženost radiološkog osoblja rendgenskom zračenju kod izvodjenja PTA i rezultate usporedjujemo sa izloženošću kod drugih dijagnostičkih radioloških metoda. U domaćoj literaturi takvih podataka još nema, a u stranoj su podaci o izloženosti zračenju kod ovih novih metoda vrlo oskudni i raznoliki. Dobiveni rezultati pokazuju u pravilu veću izloženost od one koja je izmjerena kod ostalih radioloških postupaka. Pojedini rezultati koje smo dobili kod PTA različitih arterija se razlikuju. Ove razlike objašnjavamo proučavanjem geometrije primarnog rendgenskog snopa i raspršenog zračenja iz tijela bolesnika.

UVOD

Izloženost stanovništva i profesionalnog osoblja u medicinskoj rendgenskoj dijagnostici u neprestanom je porastu. Taj porast ne mogu zaustaviti niti sve bolje mjere prevencije i zaštite, jer se broj rendgenskih pretraga neprestano povećava. Posljednjih godina uvedene su brojne nove metode, medju kojima je najvažnija metoda pronalaženja i liječenja suženih i začepljenih arterija. Sastoji se od uvadjanja katetera kroz punkcioni otvor na koži u suženu ili začepljenu arteriju, koja se zatim

proširuje ili rekanalizira. Naziva se perkutana transluminalna angioplastika (PTA). Već prva dozimetrijska mjerenja su pokazala da je izloženost bolesnika i osoblja rendgenskom zračenju pri izvodjenju PTA velika. Budući da se ovoj metodi podvrgava relativno mali broj bolesnika, u ovom radu ćemo prvenstveno razmotriti izloženost zračenju profesionalnog osoblja koje pretragu izvodi. Metoda PTA je nova, pa u stručnoj literaturi još nema dovoljno podataka o dozimetrijskim mjerenjima. Prikazujemo rezultate dozimetrijskih mjerenja kod PTA na različitim arterijama čovječjeg tijela.

METODA PERKUTANE TRANSLUMINALNE ANGIOPLASTIKE (PTA)

Različiti patološki procesi dovode do sužavanja ili začepljenja arterija kod čovjeka. Najčešći uzrok je arterioskleroza. Do nedavno najbolje rezultate u liječenju takvih bolesnika postizalo se kirurškim vrlo kompliciranim operativnim zahvatima. U posljednje vrijeme veliki napredak u liječenju suženih ili začepljenih arterija postignut je uvođenjem radiološke metode PTA, kojom se kod tih bolesnika postižu izvanredni uspjesi bez operacije. Tehniku je prvi uveo Dotter [1] a usavršio Grüntzig [2]. Danas se PTA izvodi pomoću katetera koji pri vršku ima balon odredjenog promjera. Balon se uvodi u suženu arteriju, čiji se lumen proširuje povećanjem tlaka u balonu. Rezultat zahvata kontrolira se injiciranjem kontrastnog sredstva i rendgenskim snimanjem krvne žile. Cijela pretraga izvodi se pod kontrolom rendgenske dijaskopije koja traje u prosjeku 20 - 30 minuta. Za cijelo vrijeme dijaskopije radilog se nalazi neposredno uz bolesnika, što znači vrlo blizu primarnog rendgenskog snopa i u području raspršenog zračenja iz tijela bolesnika. Osim duljine trajanja pretrage, za radiologa i njegove pomočnike posebnu opasnost predstavlja slaba mogućnost zaštite od zračenja. Cijeli se postupak izvodi pod strogo sterilnim uvjetima, tako da je mogućnost primjene osobnih zaštitnih sredstava mala. Osim toga, ne može se primijeniti niti zaštita od raspršenog zračenja iz tijela bolesnika, koju u većini drugih radioloških metoda pruža zaštitna zavjesa od olovne gume postavljena na rendgenskom aparatu. Primjena takve zaštite onemogučila bi postupak kateterizacije i upravljanja kateterom. Zbog tih razloga pri izvođenju PTA postoje posebni uvjeti rada, koji nameću opravdanu pretpostavku o

velikoj izloženosti zračenju osoblja koje pretragu izvodi.

CILJ ISPITIVANJA

Navedene pretpostavke o izloženosti radiološkog osoblja pri izvodjenju PTA provjerili smo objektivnim dozimetrijskim mjerenjem kod širenja i rekanalizacije različitih arterija bolesnika. Posebno nas je zanimala gonadna doza koja pruža uvid u rizik genetskog oštećenja radiologa. Cilj naših ispitivanja je odredjivanje gonadne doze za radiologa i njegovog asistenta, jer se oni zacijelo vrijeme izvođenja PTA nalaze neposredno uz tijelo bolesnika.

METODA DOZIMETRIJE

Dozimetrijska mjerenja obavili smo termoluminiscentnim dozimetrima koje smo postavili u visini gonada radiologa i njegovog asistenta. Mjerenjima smo obuhvatili primjenu PTA na arterijama bolesnika koje su najčešće zahvaćene stenotičko-obliterativnim promjenama, a koje su danas dostupne primjeni liječenja balon-kateterom. To su lijeva i desna natkoljenična arterija (a. femoralis superficijalis), lijeva i desna zdjelična arterija (a.ilijaka komunis i eksterna) te lijeva i desna bubrežna arterija (a.renalis).

Dijaskopiju smo izvodili rendgenskim zrakama pri naponu cijevi 70-90 kilovolti i uz jakost struje grijanja katode od 4-5 miliampera. Veličina primarnog rendgenskog snopa bila je 15 x 15 cm. Za sva potrebna kontrolna rendgenska snimanja upotrijebili smo filmove formata 35 x 35 cm, uz napon cijevi od 65 - 90 kilovolti ovisno o debljini snimanog dijela tijela. Ekspozicije pri snimanju iznosile su 32 - 40 mAs. Dobivene dozimetrijske vrijednosti označavaju ukupnu gonadnu dozu izloženosti radiologa kod dijaskopije i rendgenskog snimanja.

REZULTATI

Dobivene vrijednosti medjusobno se razlikuju, ovisno o tome na kojoj je arteriji primjenjena metoda PTA (tablica 1).

ARTERIJA	natkoljenična		zdjelična		bubrežna	
STRANA TIJELA	lijeva	desna	lijeva	desna	lijeva	desna
GONADNA DOZA RADIOLOGA	0,84	0,07	0,36	0,52	0,22	0,38
GONADNA DOZA ASISTENTA	0,32	0,02	0,15	0,28	0,07	0,16

Tablica 1. Gonadne doze radiologa i asistenta kod izvodjenja PTA na pojedinim arterijama. Doze u mGy.

Rezultati pokazuju manju izloženost asistenta, koji je udaljeniji od bolesnika za vrijeme izvodjenja zahvata nego radiolog. Takodjer su jasno izražene razlike dozimetrijski dobivenih vrijednosti kod primjene metode na različitim arterijama. Posebno su uočljive razlike gonadnih doza kod primjene PTA na istoj arteriji, ali na različitim stranama tijela. Tako su doze kod PTA natkoljenične arterije lijeve noge bolesnika gotovo deset puta veće od doza kod primjene PTA na desnoj natkoljeničnoj arteriji. Kod zdjeličnih i bubrežnih arterija veće doze smo izmjerili prilikom zahvata izvršenog na desnoj strani tijela bolesnika.

RASPRAVA O REZULTATIMA

Za vrijeme izvodjenja PTA natkoljeničnih arterija radiolog i asistent stoje s lijeve strane bolesnika koji leži ledjima na angiografskom stolu. Kod izvodjenja PTA na zdjeličnim i bubrežnim arterijama radiolog i asistent stoje desno od ležečeg bolesnika. Ovakvim položajem radiologa i njegovog asistenta možemo objasniti dobivene razlike u dozimetrijskim vrijednostima.

Pri izvodjenju PTA na lijevoj natkoljeničnoj arteriji primarni rendgenski snop za vrijeme dijaskopije prolazi kroz lijevu natkoljenicu bolesnika. Budući da radiolog mora stajati baš na toj strani, izmedju njega i bolesnikove noge koja je u primarnom rendgenskom snopu nema nikakve zapreke. Dijaskopirana noga predstavlja izvor raspršenog zračenja, koje nesmetano dolazi do tijela radiologa. Kada je u primarnom snopu desna noga bolesnika, raspršeno zračenje na putu do tijela radiologa prolazi kroz lijevu bolesnikovu nogu i tu se djelomično apsorbira. S time možemo objasniti znatno veće doze kod izvodjenja PTA na

lijevoj nozi bolesnika.

Tehnika kateterizacije zdjeličnih i bubrežnih arterija zahtijeva da radiolog i njegov asistent stoje s desne strane bolesnika. Zato su izvor raspršenog zračenja, a isto tako i primarni snop, bliži radiologu kod izvođenja PTA na zdjeličnim i bubrežnim arterijama desne strane tijela. Kod izvodjenja PTA na istim arterijama lijeve polovine bolesnikova tijela izvor raspršenog zračenja kao i primarni rendgenski snop nešto su udaljeniji od radiologa i njegova asistenta. Zato su doze u tim slučajevima manje.

Izmjerene doze kreću se izmedju 0,02 mGy/desna natkoljenična arterija / i 0,84 mGy / lijeva natkoljenična arterija/. Te doze mogu se usporediti sa dozama kod angiografskih pretraga, koje su do sada bile najjači izvor zračenja u dijagnostičkoj radiologiji. U literaturi susrećemo različite dozimetrijske vrijednosti ovisno o metodi dozimetrije i tehnike izvodjenja angiografije. Ukupna doza na tijelo radiologa ovisi o više činilaca, medju kojima su najvažniji duljina trajanja dijaskopije, vrsta rendgenskog aparata i širina rendgenskog snopa pri dijaskopiji /Hebrang i sur./[3]. Kod približno jednakih uvjeta rada koji su opisani u ovom ispitivanju gonadna doza radiologa kod angiografija iznosi 0,10 - 0,77 mGy [4]. Prema tome, doze koje smo izmjerili kod PTA su veće nego li doze kod angiografija. Usporedba sa dozama kod drugih dijagnostičkih pretraga ne bi bila opravdana, jer je kod njih moguća bolja zaštita radiologa od raspršenog rendgenskog zračenja. Za razliku od angiografije i PTA, kod gotovo svih drugih pretraga radiolog može nositi zaštitne rukavice, a izmedju sebe i tijela bolesnika može postaviti zaštitnu zavjesu od olovne gume.

Veća izloženost radiologa od ove koju smo utvrdili za metodu PTA može se susresti još jedino kod kateterizacije srčanih komora. Kod te pretrage veliku izloženost uvjetuje duljina dijaskopije, koja u nekim slučajevima iznosi i do 120 minuta [5,6]

ZAKLJUČAK

Iz rezultata ispitivanja proizlazi da je izloženost profesionalnog osoblja kod izvodjenja nove dijagnostičko-terapijske metode širenja arterija veća nego kod ostalih radioloških

metoda. Izloženost rendgenskom zračenju ovisi o više činilaca, medju kojima ističemo: električne vrijednosti pri dijaskopiji /osobito količini miliampera/, vrsta rendgenskog uredjaja, širina primarnog rendgenskog snopa, udaljenost radiologa od bolesnika i rendgenske cijevi i duljina trajanja dijaskopije. Ovome dodajemo da i položaj radiologa u odnosu na dijaskopirani dio bolesnikova tijela ima znatan utjecaj na ukupnu izloženost zračenju, što proizlazi iz rezultata naših ispitivanja. O tome treba voditi računa kod procjene rizika nove metode liječenja suženih krvnih žila, kao i kod planiranja broja ovih zahvata na pojedinom radiološkom zavodu.

SUMMARY

The radiation exposure of the radiologist and his assistant during the recanalisation or dilatation of the renal, iliacal and femoral arteries is presented. The dosimetric measurements were performed with TL dosimetries fixed on gonadel region of the radiologist and his assistant. The doses were greiter than in other radiological procedures. Different dosimetric results at dilatation of various arteries were explained by geometry of scattered radiation.

LITERATURA

1. Dotter C., Judkins P.: Transluminal treatment of arteriosclerotic obstruction, Circulation 30:654, 1964.
2. Grüntzig A.: Die perkutane transluminale Rekanalisation chronischer Arterienveschlüsse mit einer neuen Dilatationstechnik, Baden-Baden: Witzstrock, 1977.
3. Hebrang A. i sur.: Zaštita bolesnika od rendgenskog zračenja kod angiografskih pretraga, IX. simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 1977, str. 151-156.
4. Zubac Z. i sur.: Zaštita profesionalnog osoblja kod izvodjenja angiografskih pretraga, IX. simpozijum Jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 1977. str. 157-162.
5. Amiel M., Phillipon B., Buttin R.: Quelques donnees statistiques concernant la duree de la radioscopie lors du catheterisme cardiaque, Ann.Radio. 22:337, 1979.
6. Malsky S. et all.: Radiation exposure to personnel during cardiac catheterisation, Radiology 100:671, 1971.

PROFESIONALNA IZLOŽENOST JONIZUJUĆIM ZRAČENJIMA I SKRAĆIVANJE PUNOG RADNOG VREMENA KAO MERA ZAŠTITE

P.Čremošnik-Pajić, P.Mudrinić

R E Z I M E

Razmatrani su uslovi koji moraju biti ispunjeni kako bi se moglo primeniti skraćivanje punog radnog vremena kao mera zaštite radnicima koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja ili u zoni jonizujućeg zračenja. Ukazano je na nerešena pitanja koja se odnose na kriterijume naročito na maksimalno dozvoljive nivoe ozračivanja i vreme provedeno na poslu koji se obavlja pod posebnim uslovima. Konstatovano je da su i pored preduzimanja predvidjenih mera zaštite prilikom praćenja zdravstvenog stanja radnika izloženih jonizujućim zračenjima nadjene promene koje mogu biti direktna posledica uticaja jonizujućeg zračenja. Zbog toga je neophodno da se rigoroznije sprovode mere zaštite na radu i da se detaljnije razrade uslovi i kriterijumi za skraćivanje punog radnog vremena kao mera zaštite.

U V O D

Kod nas je zakonskim putem regulisano stavljanje u promet, smeštaj i korišćenje izvora jonizujućih zračenja, zatim njihova kontrola ispravnosti i ispravnosti rada sa njima. Istim zakonskim propisima su predvidjene mere zaštite za osobe koje rade sa izvorima jonizujućeg zračenja ili rade u zoni ovoga zračenja (1,2).

Činjenica je da se dejstvo jonizujućih zračenja predvidjenim merama tehničke prirode ne može potpuno otkloniti. Intenzitet jonizujućeg zračenja kojem su radnici izloženi pored preduzetih mera zaštite zavisi od mnogo faktora. Najvažniji medju njima su vrsta i jačina izvora jonizujućeg zračenja, vrsta posla koji se obavlja i način na koji se obavlja, a od značaja su i drugi relevantni činioci.

Zbog svega ovoga u nas je prihvaćeno da se profesionalna izloženost jonizujućim zračenjima jačine iznad prirodnog fona u sadašnjim uslovima tretira kao rad pod posebnim uslovima.

Za ovaj rad predvidjene su mere zaštite opšte tehničke prirode, normativne, zdravstvene i lične mere i ako one nisu dovoljne sprovodi se skraćivanje vremena ekspozicije, smanjivanje intenziteta jonizujućeg zračenja, skraćivanje dužine radnog vremena i produženje godišnjeg odmora u zavisnosti od intenziteta jonizujućeg zračenja.

Skraćivanje ekspozicije odredjenim noksama zauzima značajno mesto u zaštiti i ona se može realizovati na više načina. Jedan od njih je preraspodela posla i skraćivanje vremena boravka u uslovima koji potencijalno ugrožavaju zdravlje radnika. Drugi način, koji se u zdravstvu najčešće koristi je skraćivanje punog radnog vremena. I korišćenje produženog godišnjeg odmora je u biti smanjenje vremena ekspozicije odredjenim profesionalnim noksama, ali i stvaranje uslova da se organizam oporavi od primljenih doza zračenja.

Uslovi za skraćivanje punog radnog vremena

Republički i pokrajinski zakoni o radnim odnosima daju mogućnost skraćivanja punog radnog vremena, a ta mogućnost se može realizovati ukoliko se rad obavlja pod posebnim uslovima rada. "Posebnim uslovima rada u smislu člana 41 Vojvodjanskog zakona smatraju se naročito: osobito težak, naporan rad, rad pod povećanim atmosferskim pritiskom, rad u vodi i vlazi, rad u atmosferi zagadjenoj otrovnim gasovima, kad se radnik izlaže jonizujućim zračenjima ili otrovnoj prašini, rad sa nagrizajućim materijama, rad letačkog osoblja i rad na velikim visinama". (3). Prema Zakonu o penziono invalidskom osiguranju i kriterijumima za utvrdjivanje radnih mesta na kojima se staž osiguranja računa sa uvećanim trajanjem, rad pod posebnim uslovima rada se smatra kada je radnik izložen profesionalnim štetnostima, koje prelaze granice maksimalno dozvoljenih vrednosti ili maksimalno dozvoljivih doza u toku celog radnog vremena. (4,5).
Da li su uslovi za skraćivanje punog radnog vremena kao mera zaštite u zdravstvu ispunjeni?

Vlastita zapažanja

Već više godina u Zavodu za medicinu rada u Novom Sadu pratimo kretanje registrovanih primljenih doza jonizujućih zračenja kod odredjenog broja zdravstvenih radnika Vojvodine, koji su izloženi jonizujućim zračenjima i za koje je trebalo odrediti da li su se stekli uslovi za skraćivanje punog radnog vremena u cilju zaštite zdravlja. Konstatovano je pri tome da prema važećim kriterijumima u pravnom pogledu skoro ni jedna služba, odnosno profil radnika ne ispunjava navedene zahteve, što se intenziteta izloženosti jonizujućih zračenja tiče.

Analizom rezultata registrovanih primljenih doza jonizujućeg zračenja za zdravstvene radnike profesionalno izložene jonizujućim zračenjima

u Vojvodini za duži vremenski period utvrdili smo da su samo u pojedinačnim slučajevima registrovane mesečne doze jonizujućeg zračenja koje su prelazile maksimalno dozvoljive vrednosti. Ni u jednom slučaju do sada nismo našli rezultate otčitavanja koji bi pokazali prekoračenje maksimalno dozvoljive primljene doze za godinu dana. (6). Naime, još uvek važi 0,05 Sv (Siverta), odnosno 5 rema izraženo u starim jedinicama godišnje ili 4 m Sv (400 m rem-a) mesečno kao maksimalno dozvoljiva doza jonizujućeg zračenja koju tokom godine mogu primiti radnici izloženi profesionalno. (2)

Pri tome problem predstavlja i pravilno tumačenje primljene doze jonizujućeg zračenja. Maksimalno dozvoljive vrednosti od 0,05 Sv godišnje odnose se na ozračivanje celog tela, gonada, koštane srži i očnog sočiva dok su dozvoljive vrednosti za ozračivanje pojedinih delova tela veće. Tako npr. maksimalno dozvoljiva doza jonizujućeg zračenja za ruke iznosi 0,30 Sv godišnje, za šake čak 0,75, za ostale organe i tkiva 0,15 Sv. A poznato je da su ličnim dozimetrima registrovane primljene doze one koje radnici primaju na ramenima ili glavi, zavisno od toga gde se lični dozimetar nosi, dok je veći deo tela zaštićen nošenjem olovne kecelje. Iz tog razloga je ozračivanje celog tela zdravstvenog radnika manje no što to pokazuju lični dozimetri (i pored sumnje u adekvatno registrovanje primljene doze jonizujućeg zračenja, koje se povremeno u diskusijama pojavljuje).

Višegodišnjim praćenjem problema u vezi rada sa izvorima jonizujućeg zračenja u zdravstvu Vojvodine, moglo se konstatovati:

- da su i na dalje smeštajni uslovi rada za veliki broj zdravstvenih službi koje rade sa izvorima jonizujućeg zračenja u Vojvodini nezadovoljavajući,
- da je oprema veoma raznolika. U Vojvodini ima i veoma moderne opreme sa jedne i veoma stare i istrošene sa druge strane,
- da se primenjuje veoma veliki broj novih dijagnostičkih metoda kod kojih su, i pored savremene opreme i mera zaštite, radnici čak i više izloženi jonizujućim zračenjima nego ranije,
- da se u zdravstvu primenjuje sve veći broj radionuklida i sve veći intenzitet izvora jonizujućeg zračenja. Time je sve veći broj profila zdravstvenih radnika izložen dejstvu jonizujućeg zračenja.

Mere zaštite tehničke prirode se ne mogu dosledno koristiti pri obavljanju svih poslova pri kojima se koriste izvori jonizujućih zračenja. Medjutim, one se ne koriste dosledno i uvek ni pri onim poslovima gde je to moguće.

Konstatovano je da su kod radnika koji pri svom radu koriste izvore jonizujućeg zračenja ili svoj posao obavljaju u zoni jonizujućeg zračenja bile preduzete mere zaštite i oni su u većini slučajeva zvanično radili skraćeno radno vreme, ali su u nalazima kontrole zdravstvenog stanja i pored toga nadjene promene zdravstvenog stanja, prvenstveno u nalazima krvne slike. Zbog tih promena morali su biti isključivani iz rada u tim uslovima. Isključivanje sa rada gde su bili izloženi jonizujućim zračenjima bilo je u većini slučajeva privremenog karaktera i kraćeg trajanja od nekoliko nedelja do 2 do 3 meseca. U nekoliko slučajeva u trajanju od 5 do 6 meseci, do godinu dana, zbog promena koje su mogle biti direktna posledica dejstva jonizujućg zračenja. Bilo je slučajeva koji su zahtevali trajnu promenu posla zbog posledica dejstva jonizujućeg zračenja (radiodermitis ulcerosa).

Navedene činjenice ukazuju na niz nerešenih pitanja na tom području, na nelogičnosti koje postoje zbog nedovoljno definisanih činjenica u pogledu maksimalno dozvoljivih doza i potrebe primene dodatnih mera zaštite, nelogičnosti izmedju normativa i prakse, ukazuju i na nedoslednu primenu mera zaštite. A skraćivanje radnog vremena kao mera zaštite primenjuje se različito od republike do republike, pa i na užoj teritoriji. Sve ovo nameće potrebu da se definišu neki problemi i izrade prihvatljivi kriterijumi.

Z A K L J U Č A K

Izneta zapažanja ukazuju na niz nerešenih problema u vezi rada sa izvorima jonizujućih zračenja, rada u zoni jonizujućeg zračenja i primenom skraćivanja radnog vremena kao mere zaštite. Ona upućuju na potrebu što većeg opreza kako pri odredjivanju maksimalno dozvoljivih doza tako i pri odredjivanju potrebnih mera zaštite, naročito zbog toga što su uslovi rada u kojima su zdravstveni radnici izloženi jonizujućim zračenjima veoma različiti i oprema sa kojom se radi raznovrsna, od stare zastarele do vrlo savremene.

Dejstvo malih doza jonizujućeg zračenja na organizam još uvek je nedovoljno poznato, što je razlog više za što veći oprez. Činjenica da se pojavljuju promene zdravstvenog stanja koje se na osnovu poznatog mogu dovoditi u vezu sa posledicama dejstva jonizujućeg zračenja, i pored toga što se primenjuje skraćivanje radnog vremena kao mera zaštite, potvrdjuje tu potrebu pri odredjivanju normativa i kriterijuma za primenu mera zaštite.

Zbog tih faktora iz medicinskih i preventivnih razloga u našim uslovima rada i dalje postoji potreba za skraćivanje punog radnog vremena radnicima koji su profesionalno izloženi njihovom dejstvu, s tim da je neophodno rigoroznije sprovodjenje ostalih mera zaštite.

Potreba za skraćivanjem punog radnog vremena nije linearna pa je neophodno izraditi detaljnije kriterijume za gradaciju primene skraćivanja punog radnog vremena u odnosu na vrstu izvora jonizujućeg zračenja (starost i vrstu rtg i drugih aparata) na vrstu i frekvenciju intervencija, na vrstu i jačinu radionuklida i frekvenciju njihove primene i niza drugih relevantnih faktora.

OCCUPATIONAL EXPOSURE TO IONIZING RADIATION AND REDUCTION OF WORKING DAY AS SAFETY MEASURE

The paper deals with the conditions which should be fulfilled in order to reduce working day as a safety measure for workers working with sources of ionizing radiation or in the zone of ionizing radiation. A point was made of unsolved questions referring to criteria particularly to maximum permissible degree of irradiation and time spent at work being performed under special conditions. It was stated that, in spite of applied safety measures, changes were observed in health status of workers exposed to ionizing radiation which might be a direct consequence of ionizing radiation. It is therefore necessary to apply occupational safety measures more rigorously and to elaborate conditions and criteria for reduction of working day as a safety measure.

L I T E R A T U R A

1. Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, Službeni list SFRJ, broj 54, 1976.

2. Pravilnik o smeštaju i stavljanju u promet izvora jonizujućeg zračenja, o stručnoj spremi, zdravstvenim uslovima i zdravstvenim pregledima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućih zračenja, Službeni list SFRJ, broj 27, 1977.

3. Zakon o radnim odnosima (Službeni list SAPV, broj 31, 1977)

4. Zakon o penzionom osiguranju (Službeni list SFRJ, broj 17, 1968)

5. Društveni dogovor o utvrdjivanju postupka i uskladjivanje kriterijuma za utvrdjivanje radnih mesta na kojima se staž osiguranja računa sa uvećanim trajanjem (Službeni list SFRJ, broj 7, 1976)

6. Arhivski materijal Zavoda za medicinu rada, Instituta za zdravstvenu zaštitu, Novi Sad.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. juni 1983.

Tomašević M., R.Radovanović, J.Simonović

KLINIČKI CENTAR MEDICINSKOG FAKULTETA BEOGRAD
OOUR INSTITUT ZA MEDICINU RADA I RADIOLOŠKU ZAŠTITU
"Dr.DRAGOMIR KARAJOVIĆ" BEOGRAD, DELIGRADSKA 29

STRUKTURA PACIJENATA I DIJAGNOSTIČKIH PROCEDURA U LABORATORIJAMA ZA MEDICINSKU PRIMENU RADIONUKLIDA U SR SRBIJI

REZIME Dijagnostičke procedure radiofarmaceuticima u laboratorijama za medicinsku primenu radionuklida na teritoriji SR Srbije u toku 1981. godine radjene su u 71.819 pacijenata.

Najveći broj procedura bile su test fiksacije, scintigrafija štitaste žlezde i radiorenografija.

Najčešće korišćeni radionuklidi su bili ^{131}J /76,18%/ i ^{99m}Tc /19,57%/.

Opsežna ispitivanja sprovedena za 1981. godinu potvrdila su da je korišćenje radionuklida u medicinskoj dijagnostici u porastu, čemu je znatno doprinela sve veća primena radionuklida ^{99m}Tc. U 15 laboratorija na području SR Srbije/Socijalističke autonomne pokrajine nisu bile obuhvaćene/sprovedena je anketa na osnovu koje smo dobili podatke o broju pacijenata, njihovom polu i godinama starosti, koji su u toku posmatrane godine bili izloženi ozračivanju usled primene radionuklida u medicinske svrhe. Osim ovih podataka,koji su se odnosili na pacijente, ustanovljen je i ukupan broj sprovedenih dijagnostičkih procedura, zastupljenost pojedinih radiofarmaceutika kao i veličine primenjenih doza za sprovodjenje pojedinih dijagnostičkih procedura.

U 1981. godini ukupno je ozračeno 71.819 pacijenata pri primeni radionuklida u dijagnostičke svrhe i 224 pacijenta usled primene radionuklida u terapijske svrhe.

TABELA BR.1 DIJAGNOSTIČKE PROCEDURE SPROVEDENE U 1981.GODINI

PROCEDURA		FARMACEUTIK	BROJ	%
test fiksacije	^{131}J	natrijum jodid	22.594	31,46
radiorenografija	^{131}J	hipuran	16.114	22,44
sc.tireoideje	^{131}J	natrijum jodid	15.655	21,80
sc. bubrega	^{99m}Tc	DMSA	4.101	5,71
sc. jetre	^{99m}Tc	sumpor-koloid	3.116	4,34
sc. jetre	^{99m}Tc	kalaj-koloid	2.401	3,34
sc. mozga	^{99m}Tc	pertehnetat	1.412	1,97
sc. kostiju	^{99m}Tc	MDP, PYP	1.110	1,55
sc. slezine	^{99m}Tc	kalaj-koloid	665	0,93
sc. jetre	^{198}Au	koloid	664	0,92
sc. bubrega	^{203}Hg	hlormerodrin	620	0,86
sc. pluća	^{99m}Tc	MAA	503	0,70
sc.bubrega din.	^{131}J	hipuran	473	0,66
vek eritrocita	^{51}Cr	hromat	454	0,63
volumen krvi	^{51}Cr	hromat	446	0,62
sc. žučnih puteva	^{99m}Tc	HIDA	381	0,53
ferokinetika	^{59}Fe	Hlorid	250	0,34
sc. srca	^{201}Tl	hlorid	217	0,30
Šilingov test	^{57}Co	cianokobalamin	214	0,30
sc. tireoideje	^{99m}Tc	pertehnetat	189	0,26
klirens bubrega	^{99m}Tc	DTPA	107	0,15
klirens bubrega	^{51}Cr	EDTA	82	0,11
sc. slezine	^{99m}Tc	sumpor-koloid	51	0,08
UKUPNO:			71.819	100,00

TABELA 2 UČEŠĆE POJEDINIH RADIONUKLIDA

RADIONUKLID	BROJ PROCEDURA	PROCENAT
^{131}J	54.836	76,36
^{99m}Tc	14.036	19,56
^{198}Au	664	0,92
^{51}Cr	982	1,36
^{203}Hg	620	0,86
^{59}Fe	250	0,34
^{201}Tl	217	0,30
^{57}Co	214	0,30
UKUPNO:	71.819	100,00 %

TABELA BR.3 UKUPAN BROJ OZRAČENIH PACIJENATA U ZAVISNOSTI OD POLA I GODINA STAROSTI

UZRAST	PROCENAT	MUŠKARCI	PROCENAT	ŽENE
0 - 4	1,12	227	0,38	198
5 - 9	2,53	515	0,80	412
10-14	2,72	554	1,11	573
15-19	3,24	659	0,96	492
20-24	3,52	717	3,65	1.876
25-29	4,39	894	8,74	4.497
30-34	7,32	1.491	13,94	7.173
35-39	9,87	2.009	9,90	5.100
40-44	10,93	2.224	13,18	6.781
45-	54,36	11.065	47,34	24.362
UKUPNO:	100,00	20.355	100,00	51.464

ZAKLJUČAK

Primena radionuklida u medicinskoj dijagnostici povećava se iz godine u godinu. Na ispitivanja se upućuju pacijenti svih godina starosti, a u znatnom broju zastupljena su deca i omladina. Učešće žena je znatno veće od muškaraca ne samo u slučaju ispitivanja funkcije štitaste žlezde /zastupljenost žena 88,59%/, već i u celini. U ukupnom broju obavljenih dijagnostičkih procedura žene su bile zastupljene u 71,66%.

Od radionuklida ^{131}J /natrijumjodid odn.hipuran/ koristio se znatno više od ostalih. Od ukupnog broja dijagnostičkih procedura 76,36% obavljeno je uz primenu ^{131}J, 19,60% uz primenu ^{99m}Tc a samo 4% je obavljeno uz primenu svih ostalih korišćenih radionuklida.

Što se tiče zastupljenosti pojedinih dijagnostičkih procedura bez svake sumnje je ispitivanje štitaste žlezde i u nas nasmasovnije. Medjutim, dok se u drugim zemljama za njeno ispitivanje /scintigrafiju/ koristi pretežno ^{99m}Tc-pertehnetat, u nas se najveći broj ispitivanja sprovodi radiofarmaceutikom ^{131}J-natrijumjodid. Osim štitaste žlezde češće su se ispitivali bubrezi i jetra.

Na osnovu iznetih podataka proizilazi da je neophodno da se ispita opravdanost upućivanja pacijenata na pojedine dijagnostičke procedure, koje se sprovode uz primenu radionuklida, a posebno u slučaju funkcionalnog ispitivanja štitaste žlezde. Takodje potrebno da se razmotri mogućnost da se radionuklid ^{131}J, koji se najmasovnije koristi za ispitivanje štitaste žlezde i bubrega, zameni u izvesnim ispitivanjima sa ^{99m}Tc, jer bi njegova primena u znatnoj meri umanjila radijacioni rizik.

SUMMARY

STRUCTURE OF PATIENTS AND DIAGNOSTIC PROCEDURE IN LABORATORIES FOR APPLICATION OF RADIONUCLIDES IN MEDICINE IN SR SERBIA

During 1981. in laboratories for application of radionuclide in medicine on the territory of Serbia 71.819 patients were undergone the diagnostic procedure by radiopharmaceuticals.

The greatest number of these procedures involved thyroid scintigraphy and function test and radiorenography.

Radionuclides ^{131}J /76,36%/ and ^{99m}Tc /19,56%/ have been the most frequently applied.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. juni 1983.

Tomašević M., J.Simonović, R.Radovanović

KLINIČKI CENTAR MEDICINSKOG FAKULTETA - BEOGRAD
OOUR INSTITUT ZA MEDICINU RADA I RADIOLOŠKU ZAŠTITU
"Dr. DRAGOMIR KARAJOVIĆ" - BEOGRAD, DELIGRADSKA 29

PRIMENA RADIONUKLIDA ^{198}Au i ^{99m}Tc ZA SCINTIGRAFIJU JETRE

REZIME Za scintigrafiju jetre do skora se isključivo koristio radiofarmaceutik 198Au-koloid. Poslednjih godina ovaj se radionuklid sve više zamenjuje sa 99mTc, kojim se obeležavaju farmaceutici sumpor-koloid i kalaj-koloid.
Kako je ozračenost jajnika i testisa pacijenata manja pri primeni sumpor-koloida, to treba ovo imati u vidu pri odabiranju radiofarmaceutika za dijagnostičku primenu.

Za morfološka ispitivanja - scintigrafiju jetre koriste se radiofarmaceutici u koloidnom obliku, čije su čestice takve veličine da ih iz krvi lako i efikasno fagocitiraju Kupferove ćelije /1/.

Ispitivanja sprovedena tokom 1981. godine ukazuju da se u nas za scintigrafiju jetre koriste ^{198}Au-koloid, ^{99m}Tc-S-koloid i ^{99m}Tc-Sn-koloid.

Radiofarmaceutik ^{198}Au-koloid koristio se u samo četiri laboratorije za primenu radionuklida u medicini. Ukupno je obavljeno 664 scintigrafije jetre, od čega 387 /58,28%/ na muškarcima i 277 /41,72%/ na ženama. U znatno većem broju slučajeva za scintigrafiju jetre koristio se ^{99m}Tc-S-koloid. Tokom posmatrane godine ukupno je uradjeno 3.116 scintigrafija uz primenu ovog radiofarmaceutika. Muškaraca je bilo 1.760 /56,48%/ i žena 1.356 /43,53%/.

Uporedo sa napuštanjem ^{198}Au-koloida i uvodjenjem radionuklida ^{99m}Tc, znatno povoljnijih nuklearnih karakteristika, koje uslovljavaju i manju ozračenost pacijenata, zapaža se korišćenje i drugog farmaceutika za scintigrafiju jetre, kalaj-koloida.

Primena ovoga radiofarmaceutika / ^{99m}Tc-Sn-koloid / je još uvek manja u poredjenju sa primenom ^{99m}Tc-S-koloida, ali se može očekivati njegovo korišćenje u većem broju laboratorija u najskorije vreme. U toku 1981. godine obavljena je 2.401 scintigrafija jetre uz primenu ovog radiofarmaceutika, od čega 1.404 /58,47%/ na muškarcima i 997 /41,53%/ na ženama.

Iz iznetih podataka a takodje i na osnovu praćenja primene radionuklida poslednjih godina može se doneti zaključak da se 198Au koloid postepeno potiskuje iz primene za scintigrafiju jetre a da se umesto njega uvode ^{99m}Tc-S-koloid odnosno ^{99m}Tc-Sn-koloid.

Zamena ^{198}Au radionuklidom ^{99m}Tc, čije je vreme poluraspada znatno kraće, savim je opravdana sa gledišta zaštite od zračenja, što nismo sasvim sigurni kada se radi o zameni sumpor-koloida kalaj-koloidom.

Da bi sagledali opravdanost primene ^{99m}Tc-S-koloida odnosno ^{99m}Tc-Sn-koloida za scintigrafiju jetre kao i napuštanje primene ^{198}Au-koloida sproveli smo proračun ozračenosti pacijenata pri primeni ovih radiofarmaceutika. Proračun je sproveden na osnovu proširenog modela apsorbovanih frakcija /2/, biokinetičkih podataka za posmatrane radiofarmaceutike /3,4,5,6,7/ kao i podataka o S veličinama /8/.

Dobijeni podaci izneti su na sledećoj tabeli:

Tabela br. 1 Ozračenost pojedinih organa pri scintigrafiji jetre

radiofarmaceutik	uneta aktivnost /MBq/	ozračenost organa/ /uGy/ jetra	jajnici	testisi
^{198}Au-koloid	9,25	98531	361	88
^{99m}Tc-S-koloid	111	10212	166,5	33,3
^{99m}Tc-Sn-koloid	148	16280	740	592

Tabela br. 2 Efektivna ekvivalentna doza pri primeni radionuklida za scintigrafiju jetre

radiofarmaceutik	He /mSv/
^{198}Au-koloid	9,70
^{99m}Tc-S-koloid	1,33
^{99m}Tc-Sn-koloid	2,52

ZAKLJUČAK

Od ukupno 71.819 izvršenih primena radionuklida u dijagnostičke svrhe tokom 1981. godine uradjena je 6.181 scintigrafija jetre. Od ovoga broja uz primenu ^{198}Au-koloida obavljeno je 664 scintigrafije, 3.116 uz primenu ^{99m}Tc-S-koloida i 2.401 uz primenu ^{99m}Tc-Sn-koloida.

Primena ^{198}Au-koloida je sve redja, jer se ovaj radionuklid u cilju bolje zaštite pacijenata od zračenja zamenjuje sa ^{99m}Tc. Medjutim, smatramo da zamena ^{99m}Tc-S.Koloida sa ^{99m}Tc-Sn-koloidom nije opravdana, jer je ukupna ozračenost pacijenata kao i ozračenost njihovih pojedinih organa veća pri primeni kalaj-koloida. Smatramo da o ovome treba voditi računa pri uvodjenju radiofarmaceutika u redovnu primenu i da je potpuno opravdan zahtev da primena pojedinih radionuklida i radiofarmaceutika podleže odredjenoj proceduri slično onoj, koja je ustanovljena radi odobravanja korišćenja izvora zračenja. Drugim rečima zalažemo se da primenasvake dijagnostičke procedure,koja se sprovodi uz primenu radionuklida, mora biti odobrena od strane nadležnih organa a na predlog ovlašćenih radnih organizacija za sprovodjenje zaštite od zračenja.

SUMMARY

APPLICATION OF RADIONUCLIDES ^{198}Au AND ^{99m}Tc
IN LIVER SCINTIGRAPHY

Recently ^{198}Au-colloid has been applied in liver scintigraphy only. For the last few years this radionuclide has been more and more substituted by ^{99m}Tc that is used in marking pharmaceuticals sulfur-colloid and tin-colloid.

As the irradiation of ovaries and testes was found to be lower in patients where ^{99m}Tc sulfur-colloid was applied, so this fact need to be considered during making selection of radiopharmaceuticals in diagnostic purpouses.

LITERATURA:

1. Pendić S. : Skripta iz nuklearne medicine, Viša medicinska škola - Beograd

2. Roedler H.D. : Berechnung der Strahlendosis durch inkorporierte radioaktive Stoffe nach dem erweiterten Konzept der absorbierten Bruckteile. Atomkernenergie Vol.21 No.4, Juli 1973

3. Kaul A.: Radiopharmaka-biokinetische Daten und Ergebnisse von Neuberechnungen der Strahlendosis. Informationsdienst fuer Nuklearmedizin, Klinikum Steglitz Freien Universitaet, Berlin 1973

4. Roedler H.D. : Internal Radiation Dose in Diagnostic Nuclear Medicine. Verlag H.Hoffmann, Berlin 1978

5. Kaul A. : Dosimetrie Nuklearmedizin . Funktionsdiagnostik und Therapie. Georg Thieme Verlag,Stuttgart 1979

6. Kaul A. : Internal Absorbed Dose from Administeres Radiopharmaceuticals. International Simposium on Medical Radionuclide Imaging, Los Angeles, 25-29 October 1976

7. Kaul A. : Radionuclide Biokinetics and Internal Dosimetry in Nuclear Medicine. La Ricerca Clin.Lab.10, 629, 1980

8. Snyder W.S. : A Tabulation of Dose Equivalent per Microcurie-Day for Source and Target Organs of an Adult for Various Radionuclides. ORNL-5000 Nov.1974

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31. maj - 3. juni 1983.

Tomašević M., J.Simonović, R.Radovanović

KLINIČKI CENTAR MEDICINSKOG FAKULTETA BEOGRAD
OOUR INSTITUT ZA MEDICINU RADA I RADIOLOŠKU ZAŠTITU
"Dr.DRAGOMIR KARAJOVIĆ" - BEOGRAD, DELIGRADSKA 29

DOPRINOS SCINTIGRAFIJE MOZGA POMOĆU ^{99m}Tc SREDNJOJ GONADNOJ DOZI STANOVNIKA SR SRBIJE

REZIME Osnovni udeo u srednjoj gonadnoj dozi stanovnika SR Srbije potiče od rendgen-dijagnostike. U toku 1981. godine vršena su proučavanja doprinosa dijagnostičkih procedura sa radiofarmaceuticima srednjoj gonadnoj dozi. Srednja gonadna doza za stanovnike SR Srbije, uslovljena medicinskom primenom radionuklida u dijagnostičke svrhe, procenjena je na 3,474 µGy, od čega 0,835 µGy /24,04%/ otpada na scintigrafiju mozga pomoću ^{99m}Tc-pertehnetat.

Na osnovu matematičkog modela koji smo prihvatili, a koji je poznat kao prošireni koncept apsorbovanih frakcija /1/ i odgovarajućih biokinetičkih vrednosti za radiofarmaceutike koji se najčešće koriste, proračunate su doze zračenja kojima se ozračuju pojedini organi pacijenata ili njihovo celo telo pri primeni radionuklida u medicini. Posebna pažnja posvećena je proračunu ozračenosti jajnika i testisa pacijenata, jer je na osnovu dobijenih vrednosti odredjena srednja godišnja gonadna doza i srednja genetski značajna doza za stanovništvo SR Srbije usled primene radionuklida u medicinskoj dijagnostici.

Za proračun srednje godišnje gonadne doze/GD/ korišćen je model, koji se u najdenostavnijem obliku može prikazati na sledeći način:

$$GD = \frac{\sum_j \sum_i \bar{N}_{ji} D_j}{\sum_i N_i} \quad \mu Gy$$

gde su:

GD srednja godišnja gonadna doza izražena u μGy

$\bar{N}_{ji}$ broj pacijenata starosne dobi i posmatrane populacije, koji je bio izložen ozračivanju pri sprovodjenju dijagnostičke procedure j

D_j srednja vrednost ozračenosti gonada pacijenata u zavisnosti od njihovog pola i godina starosti pri sprovodjenju dijagnostičke procedure j

N_i ukupan broj stanovnika posmatrane populacije starosne dobi i

Definisana n_a ovaj način srednja godišnja gonadna doza ne pruža potpune informacije o genetskom riziku posmatrane populacije usled njenog izlaganja zračenju. Zato smo sproveden proračun proširili veličinom koja je u upotrebu uvedena na predlog Medjunarodne komisije za zaštitu od zračenja 1957. godine /2/ a koja je poznata kao genetski značajna doza/GZD/.

Model na osnovu koga smo proračunali genetski značajnu dozu /3,4/ dat je u obliku koji se neznatno razlikuje od onoga koji smo već opisali za proračun gonadne doze.

$$GZD = \frac{\sum_j \sum_i \bar{N}_{ji} \cdot D_j \cdot P_i}{\sum_i N_i P_i} \quad \mu Gy$$

Navedene veličine zadržavaju svoja ranije opisana značenja, s tim što P_i označava broj očekivane dece, koja će u budućnosti biti rodjena od pojedinaca oba pola starosne grupe i.

Na osnovu prikupljenih podataka o primeni radionuklida i opisanih modela proračunali smo pojedinačno za svaku dijagnostičku proceduru sprovedenu tokom 1981. godine u SR Srbiji najpre srednju godišnju gonadnu dozu a zatim i srednju genetski značajnu dozu. Ukupna vrednost srednje godišnje gonadne doze iznosila je 3,474 μGy, a srednje genetski značajne doze 1,710 μGy. U oba slučaja najveća pojedinačna vrednost poticala je od primene ^{99m}Tc-pertehnetat za sekvencijalnu scintigrafiju mozga, i pored toga što broj ovih obavljenih procedura u posmatranom periodu nije bio značajan.

Srednja godišnja gonadna doza od sekvencijalne scintigrafije mozga iznosila je 0,835 /uGy, a srednja genetski značajna doza 0,518 /uGy.

TABELA BR.1 SREDNJE GODIŠNJE GONADNE DOZE I GENETSKI ZNAČAJNE DOZE ZA STANOVNIŠTVO SR SRBIJE USLED PRIMENE RADIONUKLIDA U MEDICINSKE SVRHE U 1981.GODINI

PROCEDURA		FARMACEUTIK	GD /uGy	GZD /uGy
test fiksacije	^{131}J	natrijumjodid	0,126	0,066
radiorenografija	^{131}J	hipuran	0,048	0,106
sc.tireoideje	^{131}J	natrijumjodid	0,263	0,065
sc. bubrega	^{99m}Tc	DMSA	0,269	0,111
sc. jetre	^{99m}Tc	sumpor-koloid	0,050	0,006
sc. jetre	^{99m}Tc	kalaj-koloid	0,278	0,049
sc. mozga	^{99m}Tc	pertehnetat	0,835	0,518
sc. kostiju	^{99m}Tc	MDP, PYP	0,439	0,208
sc. slezine	^{99m}Tc	kalaj-koloid	0,058	0,010
sc. jetre	^{198}Au	koloid	0,024	0,003
sc. bubrega	^{203}Hg	hlormerodrin	0,235	0,289
sc. pluća	^{99m}Tc	MAA	0,028	0,045
sc. bubrega din.	^{131}J	hipuran	0,016	0,035
vek eritrocita	^{51}Cr	hromat	0,025	0,017
volumen krvi	^{51}Cr	hromat	0,019	0,013
sc. žučnih puteva	^{99m}Tc	HIDA	0,101	0,013
ferokinetika	^{59}Fe	hlorid	0,147	0,070
sc. srca	^{201}Tl	hlorid	0,484	0,047
Šilingov test	^{57}Co	cianokobalamin	0,0005	0,00008
sc. tireoideje	^{99m}Tc	pertehnetat	0,027	0,039
klirens bubrega	^{99m}Tc	DTPA	0,0005	0,00006
klirens bubrega	^{51}Cr	EDTA	0,00006	0,00001
sc. slezine	^{99m}Tc	sumpor-koloid	0,0008	0,0001
UKUPNO:			3,474	1,710

ZAKLJUČAK

Iz iznetih vrednosti se vidi da veličina srednje godišnje gonadne doze ne zavisi toliko od obima izlaganja stanovništva zračenju, koliko od vrste dijagnostičke procedure kojoj se pacijenti podvrgavaju. Primera radi, funkcionalno ispitivanje štitaste žlezde /test fiksacije/ je najmasovnije primenjivana procedura u 1981. godini, a njen doprinos ukupnoj gonadnoj dozi je samo 3,63%, dok je sekvencijalna scintigrafija mozga,znatno redje korišćena dijagnostička procedura, uključena u ukupnoj vrednosti doprinosom od 24,04%.
Slično je i sa genetski značajnom dozom. I u ovom slučaju sekvencijalna scintigrafija mozga zastupljena je u najvišem procentu /30,29%/, što treba imati u vidu kada se planiraju i sprovode pojedine dijagnostičke procedure ili kada se razmatraju mere zaštite populacije od ozračivanja.

SUMMARY

CONTRIBUTION OF BRAIN SCINTIGRAPHY BY ^{99m}Tc
TO AVERAGE GONAD DOSE IN POPULATION OF SR SERBIA

The basic contribution to average gonad dose in population of SR Serbia results from roentgendiagnostic.
During 1981. the investigation on the contribution of diagnostic procedure by radiopharmaceuticals to the average gonad dose were carried on.
Average gonad doese in population of SR Serbia, that has been conditioned by medical application of radionuclide in diagnostic purposes, is found to be 3,474 uGy whereof 0,835 uGy /24,04%/ comes from scintigraphy of brain by ^{99m}Tc-Pertehnetat.

LITERATURA:

1. Roedler H.D.: Berechnung der Strahlendosis durch inkorporierte radioaktive Stoffe nach dem erweiterten Konzept der absorbierten Bruchteile. Atomkernenergie, Vol.21, No 4, Juli 1973
3. Penfil R.: Geneticaly Significant Dose to the United States Population from Diagnostic Medical Roentgenology 1964. Radiology Vol.90, No 2? Febr.1968 pp.2o9-216
4. Osborn S.B., E.E.Smith: The Genetically Significant Radiation Dose from the Use of X-Rays in England and Wales . Lancet 16, 1956 pp 949

XII.JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31.maj - 3.juni 1983.

Tomašević M., D.Križanović, Dragoljub Petrović

KLINIČKI CENTAR MEDICINSKOG FAKULTETA BEOGRAD
OOUR INSTITUT ZA MEDICINU RADA I RADIOLOŠKU ZAŠTITU
"Dr.DRAGOMIR KARAJOVIĆ" - BEOGRAD, DELIGRADSKA 29

OZRAČENOST DOJKI PRI MAMOGRAFIJI

REZIME Prilikom kontrole rendgen aparata za snimanje dojki jonizacionom komorom Victoreen odredjivana je i doza zračenja, kojoj se izlažu dojke pri snimanju. Ovakav način merenja nije davao zadovoljavajuće rezultate, već je samo ukazivao na to da su doze zračenja pri snimanju visoke.

Ponovna merenja izvršena su osetljivim TLD dozimetrima, koji se od nedavno koriste u Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr.Dragomir Karajović" u Beogradu. Koristeći LiF dozimetre i specijalni fantom dojke odredjena je ozračenost dojke pri snimanju kao i apsorbcija X-zračenja u njenom tkivu.

Posle prvog saopštenja Solomona iz 1913. godine /1/ o ispitivanju bolesti dojki X-zračenjem dugi niz godina nije bilo interesovanja za razvijanje rendgendijagnostičkih metoda. U to vreme istraživači su uglavnom bili zaokupljeni hiruškim tretmanom. Dosta godina kasnije, 1927. godine Kleinschmidt prikazuje prvi rendgenski snimak dojke. Od tada počinje da se razvija mamografija a u javnosti se javljaju sve brojnija saopštenja.

Za snimanje dojki koriste se različite tehnike, koje se medjusobno razlikuju po postupku i kvalitetu dobijenih informacija, ali i po veličini ozračivanja dojki pri snimanju, što je po našem mišljenju takodje značajno.

U nas se koristi takva metoda snimanja, uglavnom ista u većini zdravstvenih ustanova, koja uslovljava najveća ozračivanja dojki.

Prema podacima iz literature ekspozicione doze zračenja pri snimanju dojki iznose izmedju $5,16 \cdot 10^{-4}$ C/kg i $51,6 \cdot 10^{-4}$C/kg, odnosno izmedju $10,32 \cdot 10^{-4}$C/kg i $51,6 \cdot 10^{-4}$C/kg /4 do 20 R/ prema našim prvim merenjima. /1,2,3,4,5/.

Naša prva merenja izvedena su jonizacionom komorom Victoreen, koja je konstruisana za zračenja niske energije. Dobijene vrednosti uzimane su sa rezervom, jer zbog konstrukcije rendgen aparata za snimanje dojki jonizaciona komora nije mogla da bude ispravno postavljana u snop zračenja, usled čega je dolazilo do netačnog očitavanja vrednosti. Tim prvim merenjima bili smo medjutim upozoreni na visoke vrednosti, na visoke ekspozicione doze zračenja, kojima se pri snimanju izlažu dojke. Rezultati su prikazani na crtežima br. 1 i 2.

Ponovna merenja izvršena su osetljivim TLD dozimetrima, koji se od nedavno koriste u Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr.Dragomir Karajović" u Beogradu. Pri tome je korišćen fantom dojke, koji se sastojao od 13 ploča pleksiglasa, debljine od po 0,5 cm i gustine 0,967 gr/cm^3. Izmedju ploča postavljani su LiF dozimetri, tako da jedan drugog ne zaklanjaju, a po dva su bila postavljena iznad prve i ispod poslednje ploče. Na crtežu br. 3 prikazani su dobijeni rezultati pri snimanju dojki sa 35 kV i 250 mAs, iz kojih se vidi tok apsorbcije zračenja po dubini fantoma.

ZAKLJUČAK

Pri mamografiji dojke se ozračuju vrlo visokim dozama X-zračenja, koje se u najvećem iznosu do 99,8% apsorbuje u njihovom tkivu. Odhosno do dubine do 3,5 cm, što je odgovaralo središtu dojke, apsorbovana doza je iznosila 91,60% od vrednosti izmerene na njenoj površini.
Ovako velike vrednosti ozračivanja dojki pri snimanju upozoravaju nas na visoki radijacioni rizik, koji iz ovoga proizilazi /5,6,7/.

PHILIPS DIAGNOST M
PROMENA POVRŠINSKE DOZE SA POVEĆAVANJEM kV PRI KONSTANTNOM VREMENU SNIMANJA OD 2 S.
MERENO KOMOROM VICTOREEN
D [mC/kg]
2,064 mC/kg
5,005 mC/kg
25 kV 360 mAs
28 kV 340 mAs
31 kV 310 mAs
35 kV 270 mAs
40 kV 240 mAs
50 kV 190 mAs

CRTEŽ 1.

PHILIPS DIAGNOST M

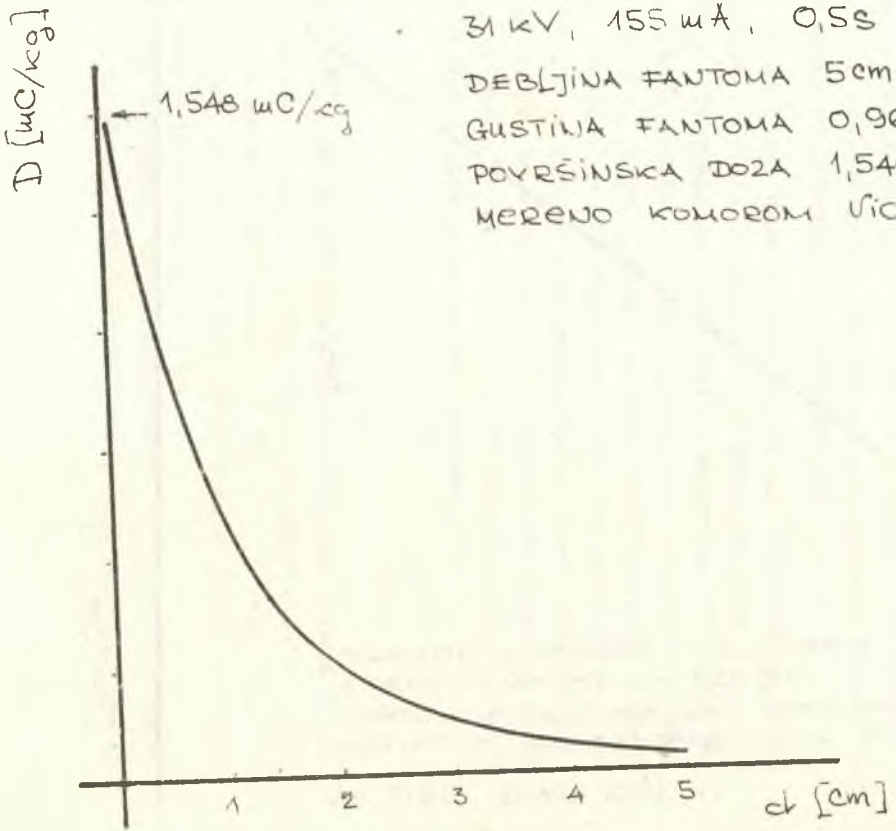
31 kV, 155 mA, 0,5s

DEBLJINA FANTOMA 5cm

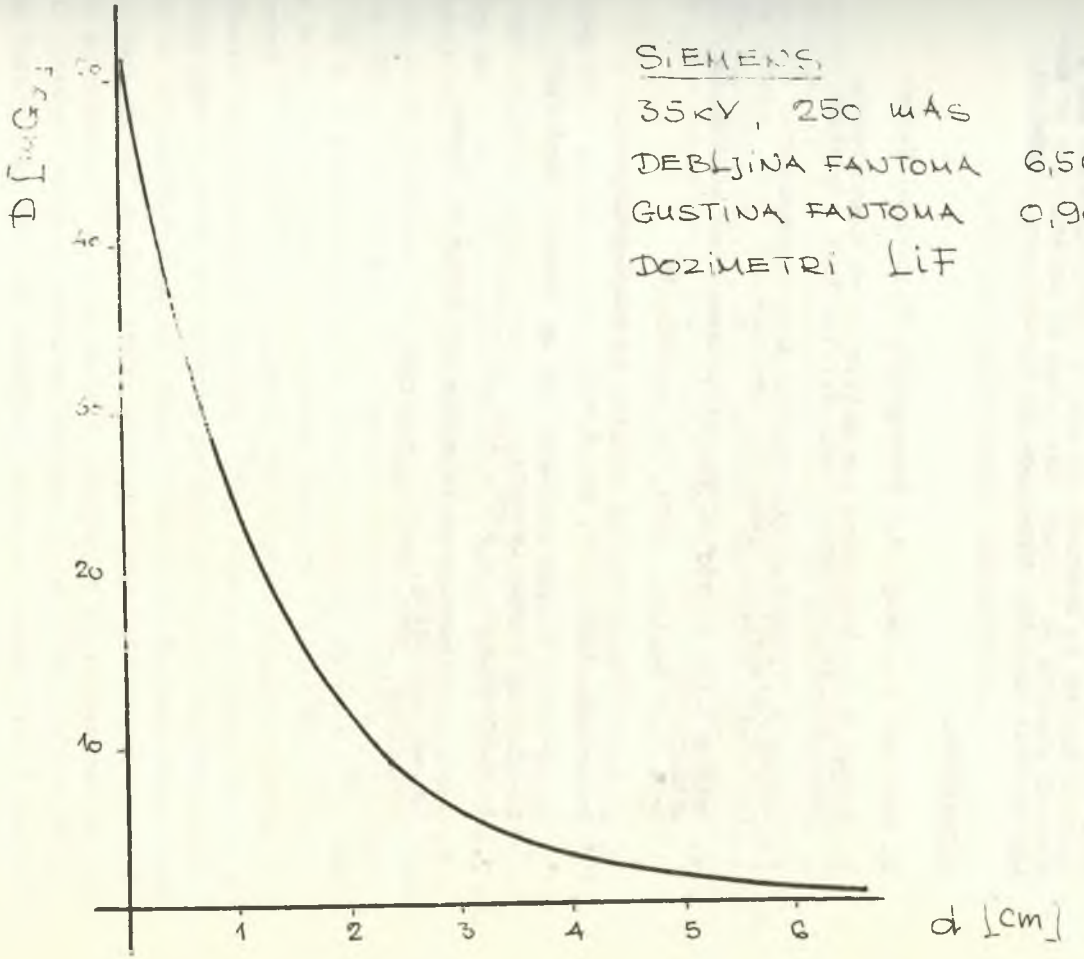
GUSTINA FANTOMA 0,967 gr/cm³

POVRŠINSKA DOZA 1,548 mC/kg [6R]

MERENO KOMOROM VICTOREEN



CRTEŽ 2.



SIEMENS

35 kV, 250 mAs

DEBLJINA FANTOMA 6,5 cm

GUSTINA FANTOMA 0,967 gr/cm³

DOZIMETRI LiF

CRTEŽ 3.

SUMMARY

BREAST IRRADIATION DURING MAMMOGRAPHY

Doing control of appartus for mammography, simultaneuosly by use of ionizing chamber Victoreen the radiation dose to which the breast are exposed during X-Raying has been also determined. This monitoring method did not show satisfactory results, but pointed to higt doses during X-Raying only.

The measurements were repeated by the sensitive TLD dosimeters that are used in Institute of Occupational and Radiological Health in Beograd. By use of LiF dosimeters and a special phantom of breast, the level of Irradiation of breast as well as X-Ray absoption in tissue were determined.

LITERATURA:

1. Hoeffken W., Lanyi M.: Mammography Historical Review

2. Metges P.J.: Resultats dosimetriques en mammographie. Radioprotection DUNOD, 1981, Vol.16, No.1, pp.51-65

3. Zarand P.: Absorbed dose in xeromammography. Brit.J.of Radiol., 198o, 53, pp. 114-119

4. Watson P.: A survey of radiation doses to patients in mammography. Brit.J.of Radiol., 1977, 5o, pp.745-750

5. Lester G.: Risk Versus Benefit in Mammography. Radiology, 1977, 124, pp. 1 - 6

6. Wolfe J.N.: Breast Patterns as an Index of Risk for Developing Breast Cancer. Am.J.Roentgenol. , 1976, 126, pp.113o-1139

7. Gur D.: Evaluation of Benefits and Risks of Breast Cancer Screening. Radiology, 1977, 124, pp.261-262

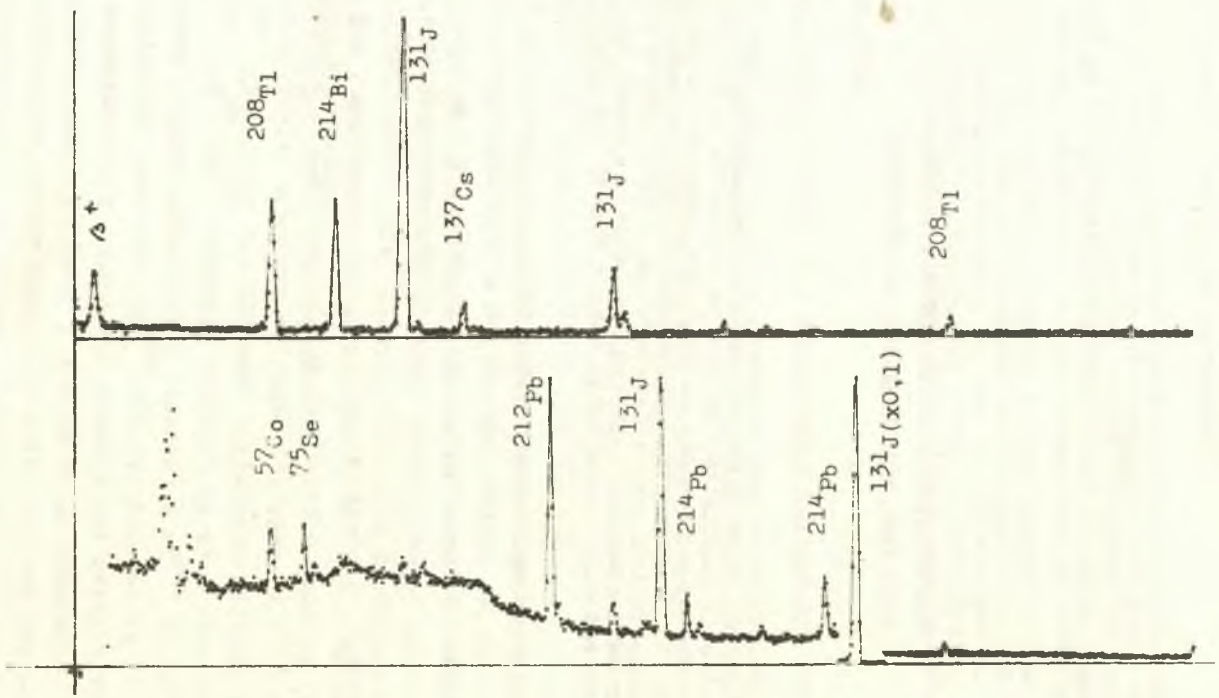
XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

U.Miklavžič, B.Pucelj, H.Udovč
Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

KONCENTRACIJA RADIOIZOTOPOV V ZRAKU NUKLEARNO MEDICINSKEGA LABORATORIJA

POVZETEK Uporaba odprtih pa tudi zaprtih radioaktivnih izotopov lahko pripelje do kontaminacije okolja, ki morda ni kritična s stališča obremenitve človeka, je pa lahko pomembna iz radioekoloških vidikov. To je pokazala tudi visokoločljivostna spektroskopija gama ogljenega filtra, skozi katerega smo črpali zrak v nuklearno medicinskem laboratoriju. V filtru smo odkrili skoraj vse izotope, ki jih v laboratoriju uporabljajo tako v odprti kot zaprti obliki.

V nuklearno medicinskem laboratoriju smo prečrpali 22 m^3 zraka skozi ogljen filter impregniran s trietilendiaminom (TEDA). Taki filtri se običajno uporabljajo za nadzor kontaminacije zraka z radioaktivnim jodom, zlasti v okolju jedrskih elektrarn. Poleg tega smo v različnih prostorih odvzeli talne brise. Aktivnosti smo analizirali na visokoločljivostnem spektrometru gama. Celotni sistem je bil predhodno absolutno kalibriran tudi za določanje koncentracije ^{131}J v zraku ([1]). Spekter zračnega filtra prikazuje slika 1. V spektru prevladuje črta 364 keV iz razpada ^{131}J, dobro pa so vidne tudi črte iz razpadov izotopov ^{57}Co, ^{75}Se, ^{137}Cs, potomcev ^{224}Ra in ^{226}Ra s potomci. Podrobnejši pregled spektra je pokazal tudi prisotnost izotopa ^{99m}Tc. Ocenjene koncentracije radioizotopov v zraku ter njihova prisotnost v kombiniranem brisu tal iz več prostorov pa so podane v tabeli 1. Koncentracije vseh izotopov so pod srednjo letno dovoljeno koncentracijo SLDK. Pri tem prevladuje ^{131}J (2,15 Bq/m^3), medtem ko so koncentracije ostalih izotopov nižje in močneje izstopa le še ^{212}Pb (0,59 Bq/m^3). Vsi izotopi, ki smo jih zaznali v zraku se uporabljajo v laborato-



Slika 1.: Spekter gama obljenega filtra, impregniranega s TEDA, skozi katerega je bilo prečrpano 22 m^3 zraka v nuklearno medicinskem laboratoriju.

riju kot odprti (^{75}Se, ^{99m}Tc, ^{131}J, ^{224}Ra) ali zaprti izvori (^{57}Co, ^{137}Cs, ^{226}Ra). Omeniti velja, da so tudi koncentracije naravnih izotopov ^{212}Pb in ^{226}Ra s potomci ter umetnega sevalca ^{137}Cs znatno višje od tistih, ki so značilne za običajno življensko okolje. Posebej preseneča prisotnost ^{75}Se v zraku, saj tega izotopa ($t_{1/2}$ = 118 d) v laboratoriju niso uporabljali že ve kot eno leto. Po drugi strani pa je nenavadna tudi prisotnost izotopov ^{57}Co, ^{137}Cs in ^{226}Ra, saj so v rabi le kot zaprti izvori.

TAB 1. Koncentracija izotopov v zraku in prisotnost izotopa v kombiniranem brisu iz več prostorov

IZOTOP	ZRAK dA/dV (Bq/m^3)	TALNI BRISI
^{57}Co	0,011 ± 0,010	+
^{60}Co	-	+
^{75}Se	0,016 ± 0,001	-
^{99m}Tc	0,006 ± 0,002	+
^{131}J	2,15 ± 0,02	+
^{137}Cs	0,0082± 0,0005	+
^{212}Pb	0,56 ± 0,06	-
^{226}Ra	0,084 ± 0,006	+

Edini izotop, ki ga v laboratoriju uporabljajo v velikih količinah (10^9 Bq) in v katerem ni bilo sledu v filtrih, je bilo koloidno zlato (^{198}Au). Primerjava s talnimi in namiznimi brisi ne daje bistveno spremenjene slike. Izjemni sta dve kovini ^{60}Co in ^{212}Pb, od katerih se prva, očitno v čisti kovinski obliki, ne pojavlja v zraku podobno kot Au - druga pa je posredni potomec ^{220}Rn in nastopa zgolj kot aerosol.

Do podobnih opažanj smo občasno in slučajno prihajali tudi v domačih fizikalnih laboratorijih, kadar so bili nameščeni "zaprti izvori" ^{57}Co v istem prostoru ali v prostorih blizu tistih, v katerih smo prečrpavali zrak skozi ogljene filtre.

Pojav je gotovo možno razložiti z bolj ali manj visokim parnim tlakom spojin, v katerih so vezani radionuklidi zlasti v ra-

diofarmacevtskih preparatih (izjema je kovinsko zlato), pa tudi v raztopinah za pripravo radioizotopov. Dasiravno so bile ocenjene koncentracije zanemarljive s stališča obremenitve človeka pa jih je potrebno upoštevati pri delu z radioekološkimi vzorci nizkih aktivnosti.

ABSTRACT The use of opened and sealed souces can result in a contamination of the environment which may be unsignificant from the point of view of human exposure to radiation but may be of importance from radioecological aspects. This problem was clearly demonstrated by a high resolution gamma-spectroscopy of a charcoal filter through which air was pumped in a nuclear medicine laboratory. Almost all the isotopes which are in use in the laboratory in unsealed and sealed form were detected.

LITERATURA

([1]) M.Zupan, U.Miklavžič, B.Pucelj: Kalibracija filtrov za detekcije J-131 v zraku okolja jedrske elektrarne, IV.25, XXVI Jugoslovenska konferencija ETAN-a, SUBOTICA, 7. - 11. juna 1982

VIII с е к ц и ј а : МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА И МЕТРОЛОГИЈА

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

MUŽDEKA S., ŠMELCEROVIĆ M.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
P.F.522, 11001 BEOGRAD

STANDARDI PRIMENJENI NA INSTRUMENTE U OBLASTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

REZIME U okviru Tehničkog komiteta 45 Elektrotehničke komisije obavlja se rad na standardizaciji metoda merenja, karakteristika uredjaja i sistema namenjenih primeni u zaštiti od zračenja i reaktorskoj tehnici. U radu je prikazana organizaciona šema rada Komiteta. Dat je pregled do sada uradjenih standarda i plan budućeg rada podkomiteta 45B.

UVOD

U okviru Medjunarodne elektrotehničke komisije (IEC) formiran je Tehnički komitet 45 pod nazivom: Nuklearna instrumentacija.

Područje rada Komiteta 45 je:

"Pripremanje medjunarodnih standarda vezanih za električne i elektronske uredjaje i sisteme specifične za korišćenje u nuklearnom području".

Rad na pripremi standarda odvija se preko radnih grupa i dva podkomiteta:

Podkomitet 45A: Reaktorska instrumentacija,

Podkomitet 45B: Instrumentacija za zaštitu od zračenja.

Pripremljeni standardi usvajaju se na zasedanjima Tehničkog komiteta 45. Prvo zasedanje TK 45 održano je u New Delhi-u 1960. godine a poslednje dvadeseto sa najvećim brojem prisutnih delegata i zemalja u Dubrovniku 1982. godine.

U našoj zemlji organizacija rada se odvija preko Saveznog zavoda za standardizaciju (SZS) i Jugoslovenskog elektrotehničkog komiteta (JEK) a Sekretarijat Tehničkog odbora 45 se nalazi u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči. U radu trenutno još učestvuju delegati iz Nuklearne elektrane Krško i iz Instituta za elektroprivredu SR Hrvatske iz Zagreba. Do sada je objavljeno 75 standarda

iz oblasti nuklearne instrumentacije.

ORGANIZACIJA RADA

Tehnički komitet 45 sastoji se od 7 radnih grupa i dva podkomiteta koji imaju svoje radne grupe.

Radne grupe Tehničkog komiteta 45 su sledeće:

WG 1 Klasifikacija - terminologija.

WG 3 Zamenljivost - standardizacija.

WG 5 Prospekcija i rudnici.

WG 6 Električni merni instrumenti koji koriste radioaktivne izvore.

WG 9 Detektori zračenja.

WG 10 Višekanalni analizatori.

WG 12 Linearni i logaritamski merači srednje brzine brojanja (rate-meters).

Podkomitet 45A (SC 45A): REAKTORSKA INSTRUMENTACIJA ima sledeće radne grupe:

WG A2 Instrumentacija za merenje, kontrolu i sigurnost nuklearnih reaktora.

WG A3 Korišćenje digitalnih računara u sigurnosti nuklearnih elektrana.

WG A4 Instrumentacija za nadzor.

WG A5 Hladjenje jezgra i monitoring suda

WG A6 Prinudno zaustavljanje reaktora bez učešća kontrolne sobe.

WG A7 Pouzdanost uredjaja u sigurnosnom sistemu reaktora.

WG A8 Kontrolna soba.

Podkomitet 45B (SC 45B): INSTRUMENTACIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA ima sledeće radne grupe:

WG B3 Merači i monitori ekvivalentne doze i jačine ekvivalentne doze.

WG B4 Merači i monitori radioaktivnih efluenata.

WG B5 Instrumentacija za zaštitu od zračenja korišćena u monitoringu okoline.

WG B6 Termoluminescentni dozimetri.

WG B7 Uredjaji za monitoring spoljašnje kontaminacije tela, ekstreniteta, i odeće osoblja (novoformirana).

DOSADAŠNJI REZULTATI I BUDUĆI RAD

U periodu 1970 - 1982 objavljen je veći broj standarda za instrumentaciju koja se koristi u zaštiti od zračenja. Do sada su objavljeni sledeći

standardi:

- Merači i monitori alfa, beta i alfa-beta kontaminacije,(Publikacija 325, 1970. god.);
- Prenosni merači i monitori jačine ekspozicione doze zračenja koji se koriste u zaštiti od zračenja, (Publikacija 395, 1972.; preveden kao JUS L.G7.501);
- Prenosni merači i monitori jačine ekspozicione doze zračenja za niske energije koji se koriste u zaštiti od zračenja, (Publikacija 463, 1974.; preveden kao JUS L.G7.502);
- Monitori kontaminacije za ruke i noge sa alarmom, (Publikacija 504, 1975.);
- Instalisani merači ekspozicione brzine brojanja sa alarmom i monitori za gama zračenje energija izmedju 80 keV i 3 MeV;
- Merači i monitori kontaminacije sa radioaktivnim aerosolima, (Publikacija 579, 1977.);
- Uredjaji za zaštitu od zračenja za merenje i monitoring tricijuma, (Publikacija 710, 1981.).

U toku je rad na pripremi sledećih standarda, od kojih su neki u završnoj fazi:

- Prenosni merači jačine ekvivalentne doze za neutrone;
- Merači ekvivalentne doze i jačine ekvivalentne doze za beta, X i gama zračenja; posebno se priprema za X ili gama zračenja sa energijom većom od 4 MeV;
- Uredjaji za kontinualni monitoring za beta i gama radionuklide u tečnim efluentima;
- Uredjaji za monitoring radioaktivnosti u gasnim efluentima u vanrednim uslovima;
- Alarmni uredjaji za akcidentalne uslove;
- Prenosni i instalirani merači jačine apsorbovane doze za X ili gama zračenja u okolini objekata;
- Uredjaji za monitoring radioaktivnih čestica u okolini;
- Čitači za termolumiscentne dozimetre;
- Uredjaji za monitoring spoljašnje kontaminacije tela, ekstremiteta i odeće osoblja.

ZAKLJUČAK

U okviru Medjunarodne elektrotehničke komisije (IEC) formiran je podkomitet 45B sa sledećim predmetom rada:

"Pripremanje medjunarodnih standarda u odnosu na specifikacije, funkcionalne karakteristike i metode ispitivanja za električne i elektronske uredjaje za detekciju i merenje jonizujućeg zračenja i radioaktivnosti za potrebe zaštite od zračenja".

U odnosu na dosadašnji rad i s obzirom na perspektive razvoja nuklearne energije u našoj zemlji bilo bi korisno uključivanje većeg broja stručnjaka iz oblasti zaštite od zračenja u radne grupe podkomiteta 45B.

ABSTRACT

The paper presents the activities of the Sub-committee 45B: RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION, which is the part of Technical committee 45 of International Electrotechnical Commission. The scope of SC45B is: "to prepare international standards regarding the specification, functional performance and methods of test for electrical and electronic equipment for the detection and measurement of ionizing radiation and radioactivity for radiation protection purposes".

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

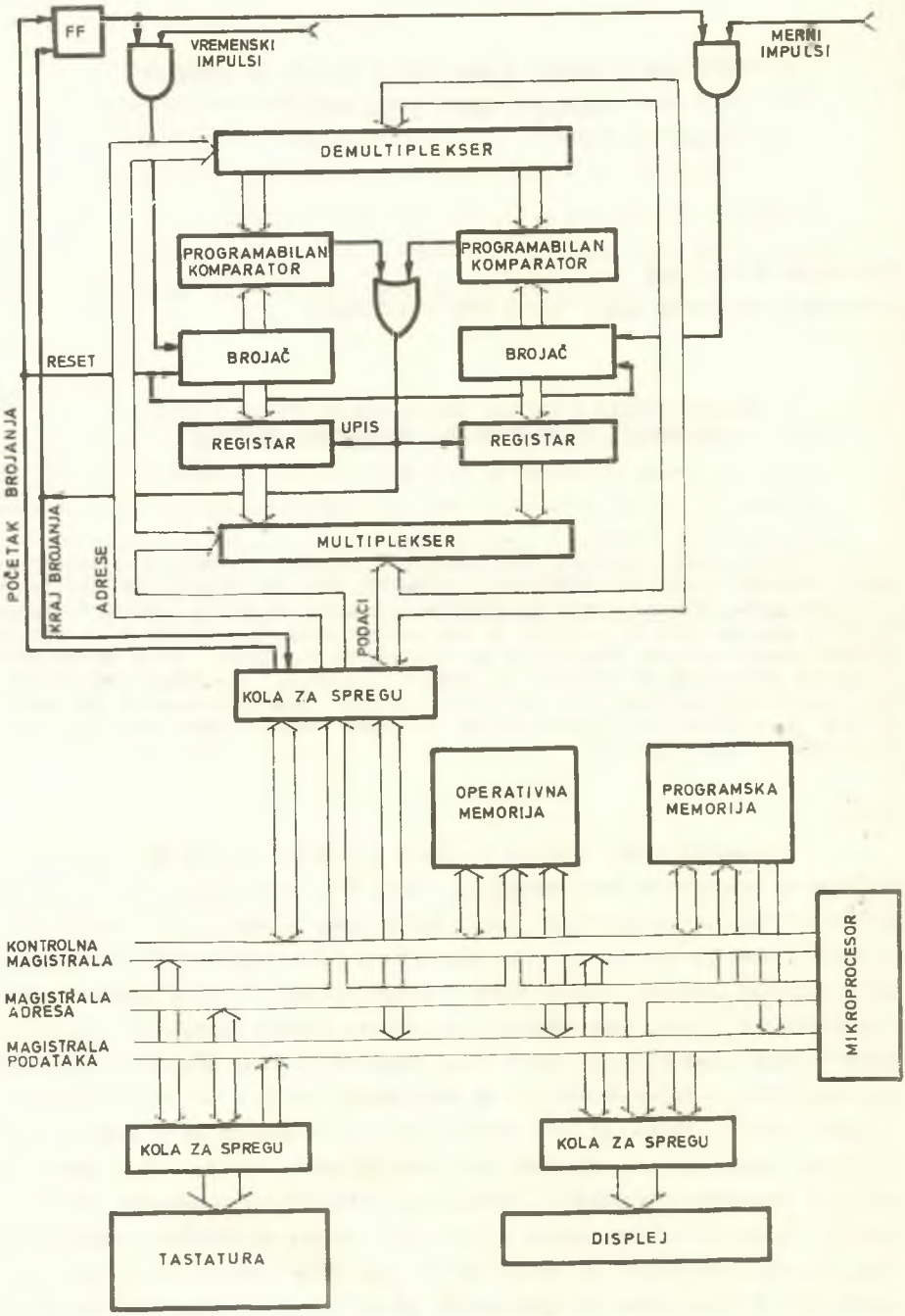
Aleksandar M.Koturović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Beograd

GENERALIZOVANA STRUKTURA DIGITALNOG REJTMETRA I NEKE MOGUĆNOSTI NJENE PRIMENE U MONITORIMA ZRAČENJA

REZIME Posle uvodnog pregleda problematike digitalnih rejtmetara prikazuje se generalizovana struktura digitalnog rejtmetra, koja se oslanja na korišćenje mikroprocesora. Iznose se osnovne osobine i relacije u takvoj strukturi.Posmatraju se posebno veze od interesa za rad sa impulsima koji potiču od detektora radioaktivnog zračenja. Detaljnije se ukazuje na mogućnosti koje posmatrana struktura pruža kada se upotrebi za monitor zračenja. Posebno se ističe pristup multifunkcionalnom vidu monitora zračenja. Analiziraju se i posledice primene takve strukture: potreba da se kritički razmotre merne metode, uspostave novi kriterijumi i sl.

UVOD

Pogodnosti koje pružaju digitalni rejtmetri od uvek su ih činili privlačnima za projektante instrumentacije. To su bili pre svega: njima svojstvena tačnost, linearnost i stabilnost koji zavise samo od tačnosti kvarcnog oscilatora korišćenog za vremensku referencu, lakoća očitavanja rezultata sa umanjenom mogućnošću unošenja ljudske greške, raspoloživost širokog spektra vremenskih konstanti, jednostavno rešavanje automatske promene opsega itd. Razvoj savremenih elektronskih integrisanih kola, dopustio je da se digitalni rejtmetri mogu ostvariti u obimu dopustivom za instrument, pa je i dat niz rešenja u literaturi (ref.1). Svako od ovih rešenja imalo je i nedostatke uz dobre osobine. U suštini, raspoloživa elektronska kola nisu još omogućavala da se u ograničenom prostoru instrumenta jednostavno ostvare sve potencijalne mogućnosti digitalne tehnike. Stvaranje mikroprocesora (1971. god.) rešava te problem i omogućava ne samo da se ostvare zadaci kojima se težilo, već otvara prostor za sasvim nove mogućnosti. Mikroprocesor kao komponenta, sa definisanom i nepromenjivom strukturom, svoje zadatke - aritmetičke i logičke obrade podataka, obavlja pomoću skupa komandi, programom koji mu se dostavlja. Program se može proizvodljno komponovati od instrukcija svojstvenih mikroprocesoru, što dopušta takoreći neogra-



Sl. Blok šema generalizovanog digitalnog rejtmetra

ničene mogućnosti koje zavise od sposobnosti programera a kojima se mogu ostvariti funkcije i od interesa za digitalne rejtmetre, tj. monitore zračenja koji su nama posebno interesantni.

GENERALIZOVANA STRUKTURA

Multifunkcionalnost, svojstvena mikroprocesoru, dopušta da se formira takva struktura digitalnog rejtmetra, da će tek program, skup instrukcija upisanih u programsku memoriju, odredjivati način rada digitalnog rejtmetra. To je i razlog zašto smo takvu strukturu, koja je u vidu pojednostavljene blok šeme prikazana na sl.1., nazvali generalizovanom. Struktura se zasniva na magistralnoj organizaciji a funkcionisanje te šeme je vrlo jednostavno i jasno sa date slike. Jedan ciklus merenja u datoj strukturi, koji već može da da srednji broj impulsa N u jedinici vremena, predstavlja jednokratno merenje, i izmedju tako dobijenih podataka i tačnog rezultata postoje poznate relacije koje posebno važe za merne signale statističke prirode (ref.2). Medjutim, struktura prikazanog sistema dopušta da jednokratno merenje bude samo jedno iz skupa merenja kojim se dolazi do osnovnog rezultata željene tačnosti a sa odredjenom vremenskom konstantom, i vice versa. Upisan program u memoriju ne odredjuje samo obradu osnovnih dobijenih podataka, već definiše i algoritam postupka celokupne procedure merenja, tj. metode merenja. Sa ovako generalizovanom strukturom mogu se ostvariti sve vrste digitalnih rejtmetara ranije realizovanih diskretnim kolima, pa i potpuno oponašati rad analognog rejtmetra. No, mogućnosti mikroprocesorske strukture sigurno se ne iscrpljuju u imitiranju rada struktura sa diskretnim kolima. Problem vredan pažnje i truda je traženje novih metoda merenja koje se zasnivaju na novim mogućnostima. To traženje treba da polazi od prirode praćene pojave (ref.2), a da ima pred očima sve podobnosti mikroprocesorske merne strukture, i pri tome je možda najbolje ne uzimati u obzir ranija rešenja.

MONITOR ZRAČENJA

Prikazana generalizovana struktura digitalnog rejtmetra pogodna je da bude korišćena za digitalni monitor zračenja. Ako je izvor mernih signala detektor zračenja, tada je jačina ekspozicione doze I srazmerna srednjem broju impulsa N, tj. $I = k \cdot N$, što znači da se jednostavnom korekcijom rezultata digitalnog rejtmetra dobija rezultat potreban za funkciju monitora zračenja. Ovde je medjutim, bitnije skrenuti pažnju na dodatne funkcije interesantne za monitor a koje ovakva struktura sa mikroprocesorom omogućava. Osim merenja jačine ekspozicione doze, gde se u korekciju rezultata mogu unositi svi potrebni faktori (linearizacija, korekcija na pritisak, temperaturu, itd.), monitor zračenja bi sada mogao da prikazuje tačnost sa kojom je dat rezultat, smer promene

merene veličine i brzinu te promene, maksimalnu, odnosno minimalnu vrednost dostignuti u odredjenom periodu merenja, da zapamti skup rezultata - istoriju merenja, u željenom periodu merenja. Zatim bi se mogli uvesti raznovrsni nivoi alarmiranja i više vrsta signalizacije. Jednostavno se uz digitalnu prezentaciju rezultata može uvesti i anologna, a ako se želi izgraditi kontaminacioni monitor može se (uz pomoć tastature, na primer) za rad sa definisanim izotopima vršiti potrebna adaptacija, na osnovu upisanih u memoriju karakteristika upotrebljenog detektora. Već samo nabrojane mogućnosti mogu neminovno da utiču i na navike operatora koji sa instrumentacijom rade - proširen je spektar podataka koje instrument pruža, pa je prema tome potrebna i veća pažnja, ali se dobija mnogo više informacija na koje se treba navići i potrebno je naučiti se njihovom efikasnom korišćenju. Prilagodjenje ne može da bude ni brzo ni jednostavno, a mora da bude obostrano: instrument ne treba opteretiti mogućim ali nepotrebnim funkcijama, treba naći najbolje načine za prikazivanje podataka, ali sa druge strane treba prihvatiti nove podatke, obučiti se njihovoj interpretaciji i upotrebi.

ZAKLJUČAK

U radu je izložena samo osnovna ideja o generalizovanoj strukturi digitalnog rejtmetra, i ograničeni prostor nije dopuštao detaljnije ulaženje u probleme programiranja radom datoga sklopa. Ukazano je ipak na osnovne probleme koje treba u radu sa ovakvom strukturom instrumenta rešavati i imati na umu. Medjutim, ono što je bitno ovde uočiti jeste da kvalitet rezultata merenja instrumentom koji se bazira na ovakvoj strukturi, ne odredjuju više na prvom mestu elektronski elementi i način njihovog povezivanja, već program po kome se merenje vrši i do rezultata dolazi, tj. kvalitet i mogućnosti odredjuje tzv. softverska podrška ugradjena u instrument.

SUMMARY

After the introductory review of digital ratemeter designing problems, the generalized structure of microprocessor based digital ratemeter i shown. Characteristics of such structure, and main relations in it are pointed out. More attention is given to the possibilities of designing a radiation monitor based on such digital ratemeter. Multifuncional properties that may be introduced are underlined. Particular features of microprocessor based monitor are indicated: the influence on the measuring method, the new type of data, the efects on user's tradition etc.

LITERATURA

1. I.D.Vankov.L.P.Dimitrov: Digital Ratemeter,Nucl.Instr. and Meth. v.188 (1981),str.319-325.
2. Glen F.Knoll: Radiation Detection and Measurement, John Willey and Sons, New York, 1979.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

Kostić S., Muždeka S. Nakićenović M.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
P.F.522, 11001 Beograd

UTICAJ ZRAČENJA NA POUZDANOST ELEKTRONSKIH KOMPONENTI VISOKE INTEGRACIJE

REZIME U radu se razmatra pouzdanost elektronskih komponenti visoke integracije (mikroprocesori i memorije) u poljima gama i neutronskog zračenja. Ispitivanja ukazuju da je sa gledišta pouzdanosti rada dominantan uticaj gama zračenja jer se kod ovih komponenti već pri dozama gama zračenja većim od 1,5 C/kg (6000 R) javljaju otkazi.

1. UVOD

U savremenim elektronskim sistemima sve je šira primena elektronskih komponenata visokog stepena integracije. Uvećani stepen integracije uslovio je znatno smanjenje dimenzija komponenata uz proširenje broja i kompleksnosti funkcija koje mogu da obavljaju. Istovremeno, razvojem tehnologije, pouzdanost rada takvih komponenata je znatno uvećana tako da je intenzitet otkaza komercijalno raspoloživih elemenata reda veličine 10^{-6} otkaza/času. To predstavlja malu vrednost imajući u vidu da integrisane komponente, ekvivalentno po funkciji, sadrže više hiljada klasičnih komponenata. Ovakve osobine ovih komponenata čine ih izuzetno pogodnim u raznovrsnim primenama i u domenu nuklearne instrumentacije. To se posebno odnosi na mikroprocesore i njima pridružene komponente kao što su različite vrste memorijskih komponenata i dr.

U oblasti nuklearne instrumentacije moguća je primena ovih komponenti u realizaciji različitih mernih uredjaja jednostavnijih funkcija, kao i u sistemima za kontrolu, upravljanje i sigurnost rada nuklearnih postrojenja (reaktora), dozimetarskih sistema i sl. Medjutim, efikasna primena ovih komponenata zahteva, pre svega, sagledavanje pouzdanosti rada ovih komponenata u poljima nuklearnog zračenja.

2. PRIMENA U NUKLEARNOJ INSTRUMENTACIJI

Iskorišćenje dobrih osobina komponenata visoke integracije u smislu realizacije jednostavnih uredjaja i sistema nameće potrebu približavanja ovih komponenata, kao delova sistema, samim objektima merenja. To omogućava da se čitav niz funkcija, kao što su prikupljanje, memorisanje, selekcija ili čak primarna obrada obavlja uz sam objekat merenja. To takodje, neminovno dovodi do znatnog smanjenja složenosti mernog sistema, posebno u delu sistema za prenos primarnih informacija smanjenjem mnoštva linija veza (kablova). Medjutim, značajna negativna strana dobijene jednostavnosti sistema je u korišćenju integrisanih komponenti u polju nuklearnog zračenja, što se može nepovoljno odraziti na nivo njihove pouzdanosti u obavljanju predvidjenih funkcija. Stoga je neophodna opreznost u njihovoj primeni uz potpunu analizu uslova rada i namene sistema, kao i poznavanja pouzdanosti rada komponenata u prisustvu polja postojeće vrste zračenja.

Pored niza faktora koji utiču na pouzdanost elektronskih sistema baziranih na primeni mikroprocesora i nuklearno zračenje može imati značajnu ulogu u slučajevima kako velikih doza (akcidentalni uslovi) , tako i malih u dugom vremenskom intervalu. Mada je red veličine tog uticaja aproksimativno poznat, postoji ipak, veoma malo statistički verodostojnih podataka čak i za komponente čija je primena veoma rasprostranjena. šta više, za iste tehnologije, podaci se razlikuju usled različitih postupaka proizvodnje. Takodje, u slučaju malih doza dati rezultati su često komtadiktarni.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Pogodnost funkcionisanja sistema sa mikroprocesorom u polju nuklearnog zračenja ocenjuje se ispitivanjem karakteristika ozračenih komponenata sistema. Ozračivanje se vrši sa gama i/ili neutronskim zračenjem promenljivih doza. Ispitivanja se obavljaju na reaktoru pri dejstvu samo neutronskog ili neutronskog i gama zračenja, ili se koriste posebni izvori i to Co-60 za gama zračenje i Am-Be za neutronsko. Tipovi otkaza mogu biti različiti i obuhvataju potpune ili parcijalne otkaze pojedinih funkcija i to sa oporavljanjem komponente potpuno ili delimično u različitim vremenskim intervalima po ozračivanju. U daljem tekstu slede eksperimentalni rezultati dati u navedenoj literaturi a odnose se na mikroprocesore i REPROM memorije.

U slučaju mikroprocesora testovi ozračenih uzoraka predstavljaju jednostavne programe, smeštene na samoočitavajućim memorijama, a obuhvataju osnovne funkcije mikroprocesora.

Tipovi otkaza koji nastaju su sledeći:

1. potpuni otkaz (otkaz svih test programa) bez oporavka posle 14 dana,

2. potpuni otkaz sa delimičnim oporavkom, funkcionisanje nekih od programa,

3. potpuni otkaz sa potpunim oporavkom,

4. parcijalni otkaz (otkazuje samo neki od test programa),

5. otkaz nije zapažen.

U tabeli koja sledi data su ispitivanja različitih mikroprocesora, različitih proizvodjača, pri promenljivim jačinama doze gama zračenja sa indiciranim tipom otkaza. Osim naznačenih nivoa doze pri otkazima zapaža se, mada ne toliko velika, razlika tog nivoa za različite mikroprocesore.

Tip komp.	Broj uzoraka	Jačina doze Gy/min	Tip otkaza	Opseg otkaza Gy(grej)	
7901YP	3	25,5	2,1,5	25,0	38,0
	3	126,0	1,1,2	63,0	67,0
7912EP	3	1,1	1,1,5	65,0	128,0
	3	126,0	1,3,5	38,0	63,0
939	3	1,1	1,2,4	7,0	9,5
	3	25,2	1,1,2	3,8	6,3
906	3	0,25	1,1,4	7,35	8,7
	3	1,1	1,3,5	5,35	14,5
7925	3	0,25	1,1,4	7,8	12,0
	3	24,0	1,1,5	7,6	13,0
BP7818	3	1,1	3,3,5	23,5	28,0
P92066	3	1,1	1,4,5	42,0	94,0
	3	125,0	2,3,4	52,0	56,0

Ispitivanja na mikroprocesoru 8085A (INTEL) sa neutronskim i gama zračenjem pokazala su izraženu osetljivost na uticaj gama zračenja. U reaktoru su dve grupe mikroprocesora bile izložene mešanom fluksu obe vrste zračenja stim, što je jedna grupa bila zaštićena olovom debljine 10 cm. Nezaštićeni uzorci su otkazali posle dva intenzivna ozračivanja, a zaštićeni, izloženi uglavnom samo neutronskim zračenjem, ni posle 12 intenzivnih ozračivanja nisu pokazali otkaze funkcija.

Ispitivanja na 24 mikroprocesora 680 (EFCIS) pri dejstvu mešanog fluksa gama i neutrona, u periodu od jedne nedelje, sa postupnim inkrementom doze od 0,3 C/kg daju sledeći broj otkazalih komponenti zavisno do doze izražene u C/kg:

Broj otkazalih komponenata	1	5	12	16	20	23
Doza (C/kg)	1,55	2,58	3,10	3,61	4,13	4,64

Slična ispitivanja su vršena na REPROM memorijama, koje su sastavni delovi sistema sa mikroprocesorom i veoma često se koriste s obzirom da se mogu reprogramirati. U polju nuklearnog zračenja nastali defekti su potpuno ili delimično brisanje upisanog sadržaja. Brisanje sadržaja može biti uslovljeno već dejstvom ultravioletnog zračenja, tako da su ovi elementi dosta osetljivi na gama zračenja. Ispitivanja sa gama i neutronskim zračenjem, takodje, kao i u slučaju mikroprocesora, ukazuju na slabu osetljivost na neutrone, a znatnu na dejstvo gama zračenja.

Za mikroprocesore i REPROM memorije zapažen je fenomen regeneracije funkcija, tako da posle 30 dana od ozračivanja znatan broj ranije otkazalih komponenata normalno funkcioniše. Ovo ukazuje da jačina doze može imati uticaja na mogućnost primene komponente, što pokazuju i rezultati ispitivanja 24 mikroprocesora 6800 za dve različite jačine doze.

Broj otkazalih komp.($5\cdot10^{-2}$C/kg·čas)	1	4	6	14	16
Broj otkazalih komp.($5\cdot10^{-3}$C/kg·čas)	0	0	3	7	12
Doza (C/kg)	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45

4. ZAKLJUČAK

Savremeni elektronski sistemi sadrže komponente visoke integracije čije osobine, male dimenzije, složenost funkcija koje obavljaju i visoku pouzdanost, omogućuju realizaciju veoma efikasnih mernih sistema. Korišćenje ovih komponenata u nuklearnoj instrumentaciji, posebno u reaktorskoj, zahteva opseg u primeni i prethodno poznavanje karakteristika pouzdanosti sa aspekta uticaja polja nuklearnog zračenja.

Eksperimentalna ispitivanja na mikroprocesorima i REPROM memorijama ukazuju da je uticaj neutronskog zračenja manje značajan od uticaja gama zračenja, koje uslovljava potpuni ili delimični otkaz funkcija ozračenih komponenata. Zapaža se i pojava regeneracije otkazalih funkcija, što omogućava primenu i pri većim integralnim dozama uz uslov malih jačina doza. Za različite vrste ovih komponenata postoje različite vrednosti nivoa integralne doze gama zračenja kada se javlja otkaz komponente.

LITERATURA

1. III International Conference "RELIABILITY and MAINTAINABILITY", Toulouse (France), 18-21 octobre 1982.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

Miodrag Šobajić, Mirko Obradović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
P.fah 522, 11001 Beograd

MERENJE MALIH JEDNOSMERNIH STRUJA NOVOM LOGARITAMSKO-EKSPONENCIJALNOM METODOM

REZIME Ukratko je opisan osnovni princip rada realizovanog novog sistema za merenje malih jednosmernih struja u opsegu od nekoliko dekada. Predložena metoda se zasniva na korišćenju nelinearnih karakteristika bipolarnih tranzistora a ne zahteva upotrebu ni visokoomskih otpornika ni visokoomskih prekidača. Rezultati merenja se dobijaju u pA na cifarskom displeju. Ostvaren je opseg merenja od 10 pA do 10 μA.

UVOD

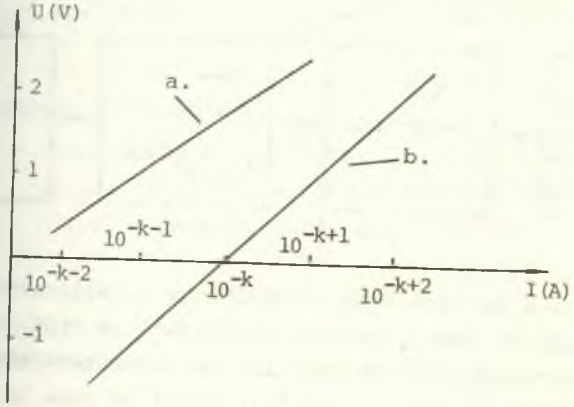
Sve metode merenja malih jednosmernih struja mogu se svrstati u dve osnovne kategorije: metode kod kojih se meri brzina promene napona koje struje stvaraju na malim kapacitivnostima i metode kod kojih se mere naponi koje struje stvaraju na velikim otpornostima. Kod metoda merenja malih jednosmernih struja postupkom merenja pada napona na otpornostima postoji mogućnost dobijanja rezultata merenja sa linearnom indikacijom - korišćenjem visokoomskih otpornika, ili sa logaritamskom indikacijom - korišćenjem nelinearnih karakteristika cevnih ili poluprovodničkih komponenata. Metode sa linearnom indikacijom su našle primenu u najvećem broju u svetu realizovanih elektrometarskih instrumenata. Ovo samo po sebi govori o značaju i prednostima ovih u odnosu na druge metode merenja. Linearna indikacija omogućava precizno očitavanje rezultata merenja. Osnovni problem kod primene ovih metoda je što, za pokrivanje širokog područja promene merene veličine, zahtevaju više opsega merenja a za svaki opseg je potrebno imati poseban visokoomski otpornik i poseban prekidač velike izolacione otpornosti.

Metode sa logaritamskom indikacijom nalaze primenu za merenje malih jednosmernih struja, u širokom opsegu od više dekada bez promene mernog opsega, kada se ne zahteva velika tačnost rezultata merenja. Kao nelinearni elementi, na kojima se dobija pad napona, dugi niz godina korišćene su isključivo elektrometarske cevi. Ovi elementi su, danas, skoro u potpunosti potisnuti iz upotrebe zahvaljujući izvanrednim karakteristikama poluprovodničkih dioda i bipolarnih tranzistora. Tranzistori poseduju približno idealne logaritamske karakteristike i omogućavaju pokrivanje strujnog opsega od preko devet dekada (1). I pored toga, kod instrumenata sa logaritamskom indikacijom, zbog načina očitavanja rezultata merenja na analognoj skali instrumenata sa kretnim kalemom, tačnost merenja malih struja nije veća od 30%.

U ovom radu je ukratko opisan novi princip korišćenja nelinearnih elemenata za ostvarivanje linearne indikacije. Novo rešenje omogućava da se pokrije široko merno područje od više dekada bez promene mernog opsega pri čemu se zadržavaju i druge prednosti logaritamskog sistema: promenljiva vremenska konstanta koja se automatski podešava prema veličini merene struje (vreme odgovora sistema) i povoljan odnos signala i šuma.

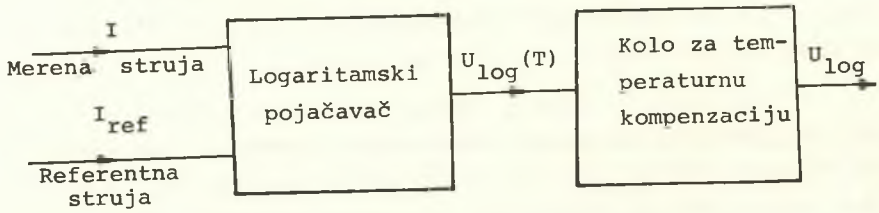
OPIS PRINCIPA RADA

Pojava sparenih poluprovodničkih komponenata (sa medjusobno praktično jednakim električnim karakteristikama) omogućila je dobijanje sistema za merenje malih struja sa praktično idealnom logaritamskom indikacijom. Na slici 1. krivom a. dat je, za jedan realan pojačavački sistem, prikaz izlaznog napona pojačavača u funkciji merene struje kod ranije korišćenih cevnih i polu-



Sl.1.

provodničkih komponenata, a krivom b. kod sparenih poluprovodničkih komponenata. Kao što pokazuje kriva b. kod korišćenja sparenih komponenata može se ostvariti nulta naponska tačka pri proizvoljno odabranoj nultoj referentnoj struji $I_{ref}=10^{-k}A$, gde može biti k=-5, -6, -7, itd. Ova tačka ostaje praktično potpuno stabilna u dugom vremenskom intervalu i širokom opsegu promene temperature. Zahvaljujući sparenim komponentama postiže se da je potrebna kalibracija u samo jednoj tački, levo ili desno od stabilne nulte referente naponske tačke.



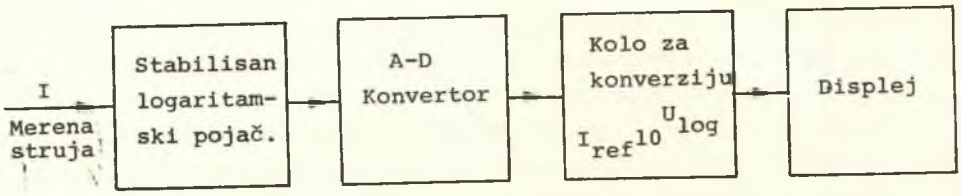
Sl.2.

Realizacija se vrši na način prikazan na slici 2. Ako se posebnim kolom izvrši temperaturna kompenzacija, što se lako ostvaruje linearizovanim termistorskim mrežama, onda se dobija da je izlazni napon vremenski i temperaturno stabilan.Veličina izlaznog napona data je izrazom:

$$U_{log} = \log \frac{I}{I_{ref}} \qquad (1)$$

ili:

$$I = I_{ref}\, 10^{U_{log}} \qquad (2)$$



Sl.3.

Na slici 3. prikazana je blok šema predloženog i realizovanog rešenja. Izlazni napon iz logaritamskog pojačavača se vidi na AD konvertor sa simetričkim izlazom koji ima stalnu automatsku korekciju "nultog" napona. Iz AD konvertora signali se vode na digi-

talni sistem koji vrši izračunavanje funkcije $I_{ref}\ 10^{U_{log}}$ i rezultat merenja prikazuje na odgovarajućom displeju od tečnog kristala. Za referencu korišćen je otpornik od 10 Mohma i ostvarena je referentna struja od 1 μA. Kalibracija je vršena otpornikom otpornosti 100 Mohma i strujom od 0,1 μA. Ostvareno je područje merenja od šest dekada, 10 pA do 10 μA. Tačnost merenja je bolja od 10%. Opseg merenja se može lako menjati u digitalnom delu sistema bez uticaja na ulazno kolo.

ZAKLJUČAK

Predloženi sistem za merenje malih jednosmernih struja koristi na ulazu jednosmernu linearno-logaritamsku konverziju a zatim logaritamsko-eksponencijalnu analogno-digitalnu konverziju, sa prikazom rezultata merenja na cifarskom displeju. Podaci o rezultatima merenja se dobijaju u analognom obliku na logaritamskoj skali a istovremeno na cifarskom displeju u linearnom obliku. Sistem ne zahteva ni visokoomske otpornike ni visokoimpedantne prekidače. Može pokriti opseg od 9 dekada promene ulazne struje.

Može se smatrati da su učinjeni tek prvi koraci u ovakvom prilazu problemu merenja malih jednosmernih struja. Rešenje je ostvareno korišćenjem kalkulatorskog elementa, a u daljoj aktivnosti biće potrebno da se izvrše detaljna merenja, poboljšavanje i uprošćavanje sistema i na kraju realizacija korišćenjem mikroprocesora sa definisanim programom.

SUMMARY The basic concept of the new sistem for direct current measurement is described. The proposed method is based on using bipolar transistor nonlinear characteristics. There is no need for high resistance resistor and high insulation switches. The results are presented in linear form on digit display. The range from 10 pA to 10 μA is achieved.

LITERATURA

1. J.F. Gibbons, H.S.Horn: "A circuit with Logarithmic Transfer Response over 9 decades" IEEE Transactions on Circuit Theory, 1964, pp. 378-384.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

T.Byrne, U.Miklavžič, M.Žele
Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

ALFA-SPEKTROMETERSKO DOLOČANJE PLUTONIJEVIH IZOTOPOV V PADAVINAH IN USADIH

POVZETEK Začetkom 1982. leta je bila v Sloveniji uvedena alfa spektrometerska metoda določanja plutonijevih izotopov v mesečnih vzorcih padavin in atmosferskih usadov. Obravnavane so izkušnje dobljene z izbrano metodo separacije Pu in priprave elektrodeponiranih vzorcev ter opisane potrebne razvite merilne aparature in postopki v rabi pri absolutni kalibraciji označevalca in evaluaciji spektrov alfa. Prikazani so rezultati mesečnih meritev vzorcev od začetka 1982. leta na eni lokaciji.

UVOD

Plutonij, ki je znan po svoji biološki toksičnosti, se s približno polovico izmed dvanajstih najpogostejših izotopov uvršča tudi med najbolj radiotoksične nuklide. Plutonijevi izotopi za katere veljajo najstrožje omejitve pri vnašanju v človeški organizem so: Pu-236, -238, -239, -240, -242, -244. Od naštetih zaenkrat ne najdemo v vzorcih okolja samo Pu-236, Pu-242 ter Pu-244 - zato prva dva izmed naštetih lahko uporabljamo kot radioaktivna označevalca oz. notranja standarda pri analizah vzorcev iz okolja.

ANALIZA PLUTONIJEVIH IZOTOPOV

V celoti lahko postopek priprave in meritve vzorca razdelimo v štiri faze: (i) Razklop plutonija od matrice (bodisi s totalno razgradnjo matrice ali izlužitvijo plutonija) ter izmenjava z dodanim označevalcem znane aktivnosti (v našem primeru Pu-236) do ravnovesja; (ii) radiokemična in kemična odstranitev ostalih radionuklidov in elementov; (iii) priprava tenkega, praktično brez-

težnega izvora ($\sim 10^{-7}$ g.cm^{-2}) z elektrodepozicijo plutonija; (iv) meritev spektra delcev alfa izvora ter določitev absolutnih aktivnosti posameznih Pu izotopov iz razmerja intenzitet posameznih izmerjenih črt in ob znani dodani aktivnosti označevalca.

Pri kemijski ločitvi Pu so v pretežni rabi tri tehnike - pogosto pa tudi njihove kombinacije: koprecipitacija, solventna ekstrakcija in ionska izmenjava. Slednja, ki smo jo izbrali tudi mi, je pogosto najugodnejša in zadostna, kadar je masa matrice majhna (kot n.pr. v vodi in vzorcih zračnih filtrov). Ionska izmenjava temelji na zelo izraziti in dokaj selektivni adsorpciji Pu(IV) iz močne HCl ali 8 M HNO_3 ter na dejstvu, da ga je mogoče eluirati po redukciji v Pu(III) - običajno z jodovimi ioni ali s kompeksiranjem s fluoridi.

Spektrometrijo alfa plutonijevih izotopov opravljamo najpogosteje s polvodniškimi detektorji s površinsko bariero. V slednjem primeru je aktivna površina detektorja (ca 200 mm^2) tista, ki določa smiselno velikost izvora - energijska degradacija spektra zaradi lastne absorpcije v izvoru pa smiselno energijsko ločljivost ($\sim$ 25 keV) detektorja.

Izbira označevalca in relativna intenziteta njegovih črt v spektru v primerjavi z merjenimi je posebno bistvena za kvaliteto meritve. ^{242}Pu se zdi ugodnejši kot ^{236}Pu, ker ne more zaradi nizke energije svoje glavne črte prispevati k ozadju v opazovanem delu spektra.

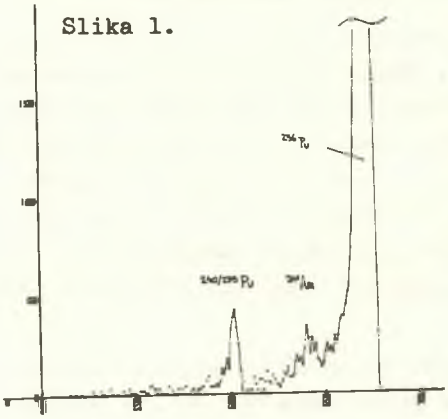
Označevalec ima vlogo internega standarda, s katerim upoštevamo hrati izkoristek kemičnega postopka in izkoristek štetja. Njegovo specifično aktivnost moramo zato posebej izmeriti, za kar se izkaže kot posebno priročen preprost ZnS scintilacijski detektor z geometrijo 2π.

DOLOČANJE Pu IZOTOPOV V TEKOČIH PADAVINAH IN USADIH

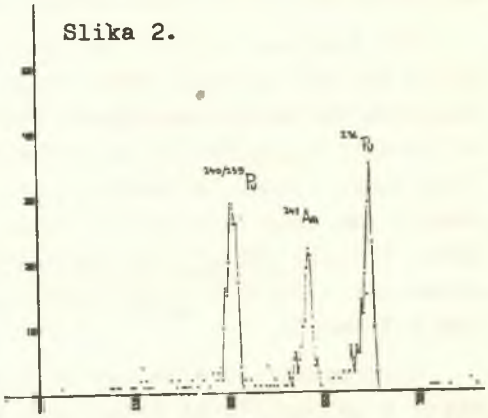
Zbiranje mesečnih vzorcev padavin in usadov smo opravljali neposredno z 10 l plastičnimi posodami gladkih sten, s prestrezno površino 0,05 m^2 (premer 25 cm)[1]. Po radiokemični separaciji, ki e delno sledila proceduri H.Mussalo-a et al [2] in elektrolitski pripravi izvora, so bile opravljane meritve s polvodniškim spektrometrom alfa, ki so trajale od 150 do 300 ur. Na sl. 1 in 2 sta

prikazana tipična spektra Pu izotopov z umetnim dodatkom ^{241}Am, v tabeli 1 pa rezultati meritev.

Slika 1.



Slika 2.



1.3.5. Aktivnosti plutonijevih izotopov v usadu
Brežice 1982

MESEC VZORČEVANJA	TEKOČE PADAVINE m³	SPECIFIČNA AKTIVNOST USALA $\cdot 10^{-3}$ Bq.m^{-2} (σ%)			
		Pu-240/239	Pu-238/Am-241	Pu-242	η (%)
Marec	75,0	58 ± 9	! <36 (16)	-	4
April	56,2	<50 (20)	<130 (12)	<30 (30)	27
Maj	57,2	<18 (20)	<45 (10)	<6 (25)	63
Junij	96,0	<13 (20)	<45 (20)	<16 (35)	70
Julij	82,0	7 ± 3,5	24 ± 11	<7 (36)	65
Avgust	89,4	19 ± 4	≤8 (20)	<2 (50)	88
September	111,3	22 ± 5,5	≤9 (42)	<2 (70)	44
Oktober	142,3	12 ± 3	! 73 ± 11	<1 (70)	47
November	39,4	<14 (20)	! <38 (20)	<3 (22)	52
December	150,6	43 ± 4	! 23 ± 2	<3 (23)	56

Opombe: (-) številka v oklepaju je statistična napaka v procentih
≤ pomeni da ima izmerek več kot 50 % statistično napako, ali pa številka predstavlja ocenjeno zgornjo vrednost izmerka
< pomeni spodnjo mejo detekcije pri danem ozadju
! pomeni prisotnost Am-241 v vzorcu

Vse navedene napake so standardne deviacije σ.

ZAKLJUČEK

Uporabljana radiokemična obdelava vzorcev in ločitev Pu z ionsko izmenjavo se je izkazala kot primeren postopek za vzorce z malo maso matrice, uporaben tudi za podobne analize, ki niso vezane za okolje. Doseženi povprečni izkoristek 55 %, je kljub nekaterim variacijam (ki gredo delno na račun preizkusov) zadovoljivo visok, vzorci pa so kazali relativno čiste spektre Pu izotopov.

Pri uporabljani elektronski instrumentaciji in sprotni procesni obdelavi ter hranjenju spektrov, je bilo brez naporov mogoče raztegniti meritev na 400 ur in doseči spodnjo mejo detekcije $\sim 10^{-4}$ Bq.m^{-3} ($\sim 10^{-2}$ Bq.m^{-2}).

ABSTRACT In the begining of 1982 an alpha-spectrometric method of determination of Plutonium isotopes in monthly samples of rainfall and fallout was introduced in Slovenia. Experience gained with chosen method of Pu separation and preparation of electrodeposited samples is discused. Descriptions of developed necessary measuring equipment as well as procedures used for absolute marker activity determination and evaluation of alpha spectra are given. The results of monthly samples measured since 1982 are presented for one location.

LITERATURA

(1) HASL-300; HASL Procedures Mannual , Ed. J.H.Harley, Health and Safety Laboratory, US Atomic Energy Commission, NY 10014, 1972 An annual revisions

(2) H.Mussalo, T.Jaakola, J.K.Mieltinen, Health Phys. 39(1980)245

XII. JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 juni 1983

D. Srdoč, B. Obelić, Ines Krajcar i Nada Horvatinčić
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Bijenička c. 54

MJERENJE KONCENTRACIJE TRICIJA U PODRUČJU OD 0.2 DO 1 Bq/l BEZ ELEKTROLITSKOG OBOGAĆIVANJA

SAŽETAK: Opisan je uredaj za mjerenje vrlo niskih aktivnosti tricija bez elektrolitskog obogaćivanja pomoću višežičanog proporcionalnog brojača. Efikasnost rada sistema povećana je optimalnim izborom energetskih granica. Utvrđeno je da mjerenje aktivnosti tricija u području od 1.1 do 9.7 keV daje optimalni faktor dobrote sistema i obuhvaća 95% svih raspada. Primijenjeno je nekoliko korekcija kojima se povećava preciznost mjerenja niskih koncentracija tricija, kao npr. korekcije za tlak i temperaturu radnog plina, kao i za atmosferski tlak. Paralelno s mjerenjem aktivnih uzoraka istim se uredajem prate vrijednosti osnovnog zračenja u energetskom intervalu iznad maksimalne energije tricija. Ove se vrijednosti uspoređuju s vrijednostima aktivnosti aerosola, kako bi se utvrdilo koje radioaktivne komponente u zraku najviše utječu na fluktuaciju osnovnog zračenja.

UVOD

Mjerenje aktivnosti tricija zaslužuje posebnu pažnju zbog uklapanja tog izotopa u molekulu vode, kao i ulaska u organska tkiva. Osim što nastaje prirodnim putem u gornjim slojevima atmosfere, dio tricija se stvara umjetnim putem kao produkt fisije u nuklearnim reaktorima, a naročito putem nuklearnih i termonuklearnih eksplozija koje su šezdesetih godina uvećale koncentraciju ovog izotopa u atmosferi za tri reda veličine.

Prestankom nadzemnih nuklearnih eksplozija koncentracija tricija počela je opadati i dosegla je razinu koju je nemoguće detektirati scintilacijskim brojačem, odnosno proporcionalnim brojačem niske efikasnosti, bez elektrolitskog obogaćivanja. Uz obogaćivanje uzoraka vezano je niz dodatnih teškoća, prvenstveno uz nabavku skupe opreme, zatim povećanje opsega rada prilikom pripreme uzoraka, te povišenje pogreške rezultata.

OPIS UREĐAJA

Sistem za mjerenje aktivnosti tricija na Institutu "Ruđer Bošković" sastoji se od višežičanog proporcionalnog brojača, čiji je vanjski plašt promjera 130 mm građen od nerđajućeg čelika, aktivne duljine 460 mm. U sredini brojača napeta je anodna žica promjera 25 μm, dok se uokolo nalazi 15 anodnih žica promjera 50 μm koje čine antikoincidentni prsten. Između tih anoda nema nikakovih pregrada, već su odvojene jedino uzemljenim žicama. Brojač se puni metanom koji je priređen na relativno jednostavan način reakcijom Al_4C_3 s uzorkom vode čiju aktivnost želimo mjeriti, prema postupku razvijenom u Bernu (1). Pritisak metana u brojaču iznosi $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Radni napon iznosi 4.4 kV, a jednak je za centralni i okolne brojače, čime se uštedilo na visokonaponskim izvorima. Prigodnim izborom promjera brojača i anoda nastojalo se postići slično plinsko pojačanje u centralnom brojaču i u antikoincidentnom prstenu, što nije lako izvedivo zbog suženog izbora promjera anodne žice. Razlike u plinskom pojačanju koje se u praksi pojavljuju, kompenziraju se elektroničkim pojačanjem. Iz centralnog brojača signali se vode na brojilo, dok signali iz okolnih brojača, koji su vezani zajedno na isto pretpojačalo i pojačalo, predstavljaju antikoincidentnu branu.

Posebna pažnja obraćena je na stabilnost plinskog pojačanja i elektronike. Brojač je savršeno vakuumski nepropusan, a dugotrajno ispumpavanje prije punjenja novim uzorkom, kao i pomno čišćenje svakog uzorka u plinovitom stanju, osiguravaju stabilnost plinskog pojačanja. Prije svakog mjerenja snima se spektar fotoelektrona iz ^{55}Fe, te kontrolira položaj vrha i rezolucija. Prostorija u kojoj je smješten uređaj je termostatirana, a sam brojač, zajedno s pretpojačalima, smješten je u oklop koji ga zaštićuje od prašine i vlage, a okružen je olovnim oklopom, te smjesom borne kiseline i parafina, kako bi se osnovno zračenje još više smanjilo. Mjerenje aktivnosti pojedinog uzorka traje u prosjeku jedan dan. Impulsi koje bilježi brojilo registriraju se u polsatnim vremenskim intervalima, te se statistički obrađuju, što omogućuje eliminaciju svih onih impulsa koji zbog nekog vanjskog utjecaja (većinom strujnih smetnji) odstupaju od kriterija χ^2-testa.

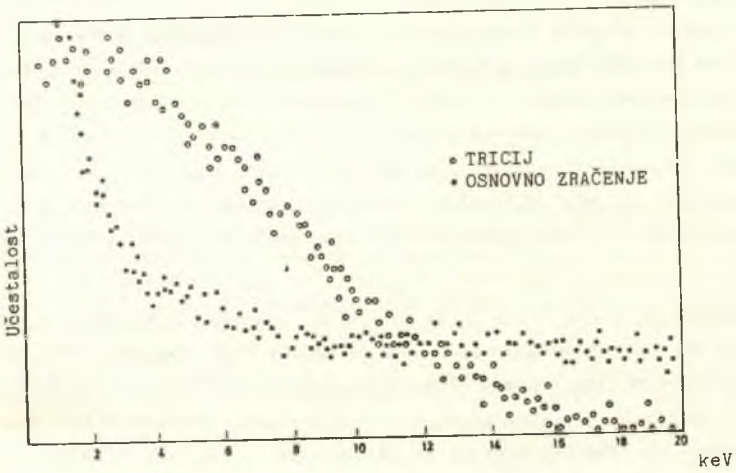
OPTIMIZACIJA SISTEMA

Optimizacija sistema za mjerenje aktivnosti tricija sastoji se u povećanju efikasnosti sistema, te smanjenju donje granice detekcije.

Efikasnost rada sistema određena je tzv. faktorom dobrote:

$$D = \frac{S^2}{B} \qquad (1)$$

gdje je netto učestalost otkucaja aktivnog uzorka jednaka S= C - B;(B učestalost otkucaja osnovnog zračenja, C učestalost otkucaja aktivnog uzorka).Učestalost otkucaja proporcionalna je površini ispod snimljenog spektra u energetskim granicama koje su određene diskriminatorom. Spektar koji odgovara triciju prostire se do maksimalne energije od 18 keV, a vrh mu je na energiji od 6 keV, dok je spektar osnovnog zračenja položenijeg oblika, ali se prostire do visokih energija određenih apsorpcijom kozmičkog zračenja u brojaču. Oba spektra snimljena u antikoincidentnoj tehnici prikazana su na slici br. 1.



Sl. 1

Energetski spektar tricija i osnovnog zračenja u proporcionalnom brojaču

Različitost oblika ovih spektara omogućuje određivanje optimalne energetske granice za najefikasnije mjerenje aktivnosti tricija. Oba spektra snimljena su višekanalnim analizatorom, a rezultati su obrađeni na elektroničkom računalu. Variranjem gornje i donje granice diskriminatora dobiven je optimalni faktor dobrote. Rezultati te optimizacije prikazani su na tablici 1. Ograničenjem gornje granice detekcije na 9.7 keV gubi se samo oko 10% brutto otkucaja aktivnog uzorka, a čak 40% osnovnog zračenja. Faktor dobrote D je time povećan gotovo dva puta.

1) U.Siegenthaler, H.Oeschger, U.Schotterer, K.Hänni: Int.J.Appl.Radiat.Isot. 26 (1975), p.459.

2) P.Povinec: Int.J.Appl.Radiat.Isot. 32 (1981), p. 729.

TAB br. 1 Rezultati optimizacije

Energetsko područje (keV)	Učestalost otk. osn.zračenja (min^{-1})	Učestalost otk. standarda (min^{-1})	F ($Bq\ l^{-1} min^{-1}$)	$D = \frac{S^2}{B}$
1.1 - 18.0	2.36 ± 0.04	16.72 ± 0.20	3.72	87
1.1 - 9.7	1.44 ± 0.02	14.85 ± 0.20	3.98	125

Na gornjoj tablici je F kalibracioni faktor dobiven na osnovu mjerenja broja otkucaja uzoraka poznatih aktivnosti.

Smanjenje donje granice detekcije u neposrednoj je vezi s fluktuacijom osnovnog zračenja. Kako bi se ova snizila, izvršene su korekcije u odnosu na atmosferske prilike, posebno atmosferski tlak, s obzirom da o njima ovisi količina kratkoživućih izotopa u okolišu (npr. radon), kao i fluks kozmičkog zračenja.

Korigirana vrijednost osnovnog zračenja dobije se primjenom tzv. barometarske formule:

$$B_{corr.} = B_{mjer.} - k \cdot (p - p_o) \qquad (2)$$

gdje je koeficijent k određen korelacijom između atmosferskog tlaka i učestalosti otkucaja ($k = -0.0036\ min^{-1}\ mbar^{-1}$), dok su p i p_o atmosferski tlak za vrijeme mjerenja, odnosno godišnji srednjak atmosferskog tlaka nad Zagrebom ($p_o = 997.3$ mbar). Pokazalo se da se primjenom barometarske korekcije fluktuacija osnovnog zračenja (σ_B) smanjuje od 0.03 min^{-1} na 0.02 min^{-1}, osim u vrijeme kada u atmosferi vladaju posebni uvjeti, kao inverzije i nagle promjene vremena. Naime, osim apsorpcije kozmičkog zračenja određene slojem zraka iznad uređaja, izgleda da određenu ulogu igra i raspored i sastav zračnih masa.

Meteorološke prilike utječu na broj otkucaja osnovnog zračenja prilikom tipičnih inverzija s maglom, bez vjetra. U tom slučaju zbog "ustajalosti" atmosfere poraste radioaktivnost okoline, što se na našem uređaju očituje kao porast učestalosti otkucaja i do 10%. Ovaj efekt zaostaje za oko jedan dan (build up) iza uspostavljanja navedenih atmosferskih prilika, a nestaje promjenama u atmosferi kao što su vjetar, razvedravanje i slično.

Korekcijom osnovnog zračenja s obzirom na promjene atmosferskog tlaka, te izborom najboljeg energetskog područja, smanjena je granica detekcije, dobivena prema relaciji:

$$A_{min} = 1.64 \cdot \sqrt{2} \cdot F \cdot \sigma_B \qquad (3)$$

sa 0.3 Bq/l na 0.2 Bq/l.

Uslijed spomenutih fluktuacija pokazalo se nužnim stalno praćenje osnovnog zračenja za vrijeme mjerenja. Kako u tu svrhu ne bi trebalo graditi novi brojački uređaj s pripadnom elektronikom koji bi bio punjen inaktivnim uzorcima, iskorišten je postojeći brojač, s time da se posebno mjeri učestalost otkucaja u energetskom intervalu iznad 18 keV, što znači iznad energetskog područja β-čestica koje nastaju uslijed radioaktivnog raspada tricija. Na taj način se mjeri sam efekt kozmičkog zračenja i radioaktivnost u okolišu (2). Koncentracija aktivnosti tricija računa se prema relaciji:

$$A = F \; (C_{corr} - B_{corr}) \; e^{\lambda t} \qquad (4)$$

gdje je C_{corr} učestalost otkucaja u minuti korigirana za atmosferski tlak i temperaturu:

$$C_{corr} = (C_{mjer} - B_{mjer}) \frac{T_{mjer}}{T_{stand}} + \overline{B}_{corr} \qquad (5)$$

gdje se B_{mjer} (osnovno zračenje u času mjerenja aktivnog uzorka) može dobiti iz relacije (2). Umjesto da se za $\overline{B}_{corr}$ uzima korigirana vrijednost iz (2) kao srednjak izračunat tokom nekog duljeg vremenskog intervala, moguće je uzimati korekciju osnovnog zračenja koja je u neposrednoj vezi s trenutno izmjerenom vrijednošću u intervalu iznad 18 keV:

$$B_{mjer} = a \, B_{>18} + b \qquad (6)$$

gdje je $B_{>18}$ vrijednost osnovnog zračenja u energetskom intervalu iznad 18 keV, dok su a i b koeficijenti korelacije između učestalosti otkucaja osnovnog zračenja u energetskom intervalu od 1.1 do 9.7 keV i intervalu iznad 18 keV.

Od znanstvenog je interesa da se utvrdi uzrok navedenih fluktuacija osnovnog zračenja, posebno da li je efekt porasta učestalosti otkucaja za vrijeme inverzija u korelativnoj vezi s porastom aktivnosti radona koji se kao produkt raspada niza prirodnih radionuklida nalazi posvuda uz tlo. Za vrijeme inverzija koncentracija Rn i produkata njegovog raspada znatno poraste. U tu svrhu je osposobljen uređaj za monitoriranje radioaktivnosti aerosola u okolišu (EAR 620, francuske proizvodnje) koji radi na principu sakupljanja radioaktivne prašine na filtar papiru. Pokazalo se da postoji korelacija između učestalosti otkucaja osnovnog zračenja u intervalu iznad 18 keV i intenziteta izmjerenog na monitoru radioaktivnosti okoliša.

REZULTATI MJERENJA

U tablici 2. prikazano je više rezultata mjerenja koncentracija tricija u podzemnim vodama, dakle onih aktivnosti koje su ispod granice detekcije komerci-

jalnih uređaja bez prethodnog obogaćivanja uzorka pomoću elektrolize.

TAB br. 2: Rezultati nekih mjerenja vrlo niskih aktivnosti tricija u podzemnim vodama

Br.	Šifra	N a z i v u z o r k a	Koncentracija tricija (Bq/l)
SR Hrvatska			
1.	T-345	Topusko,	0.57 ± 0.27
2.	T-398	Sv. Jana	0.92 ± 0.28
3.	T-399	Podgrađe	1.75 ± 0.28
4.	T-402	Topusko, jezero Perna	0.35 ± 0.28
5.	T-412	Sutinske toplice	0.92 ± 0.21
SR Bosna i Hercegovina			
6.	T-165	Tuzla	0.33 ± 0.20
7.	T-166	Tuzla	0.35 ± 0.19
8.	T-226	Gradačac	0.41 ± 0.24
9.	T.227	Banja Kulaši	0.73 ± 0.24
10.	T-230	Banja Kozica, Tepića voda	1.25 ± 0.27
11.	T-347	G. Šeher, Šaranovića haus	1.31 ± 0.31
12.	T-379	M. Kladuša, Grabovac ilidža	0.53 ± 0.27
13.	T-381	G. Šeher, Osmačevića haus	1.12 ± 0.28
14.	T-388	G. Šeher, Trokino vrelo	0.98 ± 0.27
15.	T-389	G. Šeher, Gušića haus	1.57 ± 0.28
16.	T-390	Tomašica, Šiljezi	0.94 ± 0.28
17.	T-391	Čakarovo, Šeher	0.46 ± 0.27
18.	T-392	M. Kladuša, izvor "Ilidža"	0.92 ± 0.28
19.	T-405	Cerovice	1.23 ± 0.22
20.	T-406	M. Kladuša	0.62 ± 0.20
21.	T-407	Gata	1.29 ± 0.22
22.	T-409	Slatina	0.24 ± 0.20
SR Slovenija			
23.	T-340	Rogaška	0.38 ± 0.29

ABSTRACT: A system for low level tritium measurement without electrolytic enrichment is described. The wall-less proportional counter of Oeschger type, surrounded by several tons of lead and a layer of boron-loaded paraffine is filled with 2 10^5 Pa of methane, obtained by reaction of sample water with aluminum carbide. The efficiency of the system is increased by adjusting the upper and the lower discriminator level to give the highest figure of merit S^2/B (S= net sample count, B= background count) without prolonging the routine counting time. By measuring tritium activity in the energy range between 1.1 and 9.7 keV a lower limit of detection equal to 0.2 Bq/l is obtained, after corrections for fluctuations of background counting rate. A correlation between the atmospheric pressure and the background counting rate was found, which enabled us to apply the correction factor to compensate for the changes of atmospheric pressure. Part of the background counting rate fluctuations is due to the variable radon content of the air in the counting room. A radon monitor gives data on its concentration in the laboratory which is also compared with the background counting rate, showing a positive correlation. An attempt is made to correlate the background counting rate below and above 18 keV, which would enable us to use the actual background count for each individual measurement of samples, instead of an average background counting rate.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

M.Šmelcerović, D.Paligorić, Lj.Dobrilović, R.Ilić*, M.Simović*, D.Glišović*
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
*VTI - Beograd

MERENJE SPECIFIČNE ALFA I BETA AKTIVNOSTI METODOM DEBELIH IZVORA

U radu je prikazana metoda merenja specifične alfa i beta aktivnosti debelih izvora. Analizirane su greške merenja i date su vrednosti minimalne specifične alfa i beta aktivnosti, koje se mogu meriti realizovanim prenosnim laboratorijama.

UVOD

U akcidentalnim i drugim vanrednim situacijama potrebno je na brojnim uzorcima izvršiti merenja specifične alfa i beta aktivnosti. Merenja služe prvenstveno da se uoče jako kontaminirani materijali i da se isti učine bezopasni postupkom obeležavanja ili odlaganja. Oni uzorci za koje se merenjem utvrdi da im je specifična aktivnost manja od propisane, šalju se dalje na radiohemijsku preparaciju i merenje specifičnih aktivnosti pojedinih radionuklida. Tek posle detaljnih analiza i sagledavanja svih parametara situacije, odlučuje se o daljem postupku sa kontaminiranim materijalima. U odredjenim situacijama, rezultati merenja ovako grubim metodama mogu se primeniti i za odredjivanje upotrebljivosti vode, hrane ili drugih materijala.

Metoda merenja ukupne specifične alfa odnosno beta aktivnosti na debelom uzorku odabrana je zbog jednostavnosti u pripremi uzorka (terenski uslovi rada) i zbog relativne jednostavnosti elektronskih mernih instrumenata, koji pored ostalog treba da rade uz malu potrošnju energije.

Relativno velika greška merenja specifične aktivnosti (i do 50%) zanemarljiva je u odnosu na ogromne razlike koje se javljaju pri uzorkovanju (primer vreća brašna iz kontaminiranog skladišta). Neke procene o veličini greške pri uzorkovanju daju odnos minimalne i maksimalne aktivnosti pri uzorkovanju od 10 puta, pa je početno tvrdjenje jasno. Veliki broj uzoraka koji se može analizirati usvojenom metodom merenja ukupne specifične alfa, odnosno beta aktivnosti, opravdava uvodjenje ove metode u prvom i najmasovnijem nivou merenja u akcidentalnim uslovima rada. Radi ilustracije navedimo primer u kome je 10^4 km^2

površine potencijalno kontaminirano, što uz prosečnu gustinu naseljenosti daje cifru od 10^6 potencijalno ugroženih ljudi, koji za najviše 8 časova moraju imati pouzdan rezultat o upotrebljivosti vode, hrane, lekova i drugog sa stanovišta kontaminacije radioaktivnim materijalom. Ako se uzme maksimalno rastojanje od 10 km za dopremanje upotrebljivih namirnica, sledi da bi na pomenutom području moralo da radi bar 10^2 stanica za merenje specifičnih aktivnosti. Broj uzoraka koje bi te stanice morale da obrade u toku prvih 8 časova rada, može se proceniti na oko 20 (uz pretpostavku momentalne organizacije centralizovanog snabdevanja vodom i hranom), a u slučaju neorganizovanosti broj uzoraka se ne može ni predvideti. U slučaju upotrebe nuklearnih oružja (klasičnih) odnos specifičnih beta i alfa aktivnosti može da dostigne i 10^4, odakle se može pretpostaviti da je u prvom intervalu vremena aktuelna selekcija uzoraka prema specifičnoj beta aktivnosti, dok je u kasnijem periodu potrebno i odredjivanje specifične alfa aktivnosti.

Za primenu radiohemijskih metoda separacije aktivnih izotopa i spektrometrijskih merenja alfa, beta i gama zračenja sa primenom računara za obradu rezultata merenja, potrebno je oko 20 puta duže vreme, 10 puta skuplji instrumenti i visokoobrazovan kadar. Teško da bi iko pristao da u opremanje zemlje mrežom mernih stanica za odredjivanje specifične kontaminacije radionuklidima uloži vrednost od oko dve milijarde dolara (za nabavku uglavnom strane opreme) i angažuje oko 100.000 ljudi sa najvišim kvalifikacijama (fizičari, fizikohemičari, hemičari, elektroinženjeri i sl.) za opsluživanje potrebnog broja laboratorija. Zato je neophodno imati brzu i jednostavnu metodu za merenje specifične alfa odnosno beta aktivnosti. Pri primeni ove metode i pratećih instrumenata u redovnom stanju, njih treba prihvatiti samo kao alarmni sistem koji ukazuje da je neophodno dalje merenje na kontaminiranom materijalu.

MERENJE UKUPNE SPECIFIČNE ALFA AKTIVNOSTI METODOM DEBELOG IZVORA

Merenje alfa aktivnosti u debelim izvorima zasniva se na merenju ukupnog broja alfa čestica koje napuštaju površinu izvora poznate debljine i površine sa energijom dovoljnom da mogu biti detektovane. Zbog malog dometa alfa zračenja u tečnostima i čvrstim materijalima ($\leq$0,01 cm) efikasnost za detekciju alfa zračenja zavisi od debljine izvora, ako je debljina manja od dometa alfa zračenja u materijalu izvora. Za izvore debljine veće od dometa alfa zračenja (beskonačno debeli izvori) fluks alfa čestica na površini izvora ostaje konstantan sa daljim povećanjem debljine izvora. Za "beskonačno" debele izvore, homogeno rasporedjene aktivnosti, broj detektovanih alfa čestica N $|imp \cdot s^{-1}|$ proporcionalan je specifičnoj aktivnosti materijala uzorka, A_{sa} $|Bq \cdot kg^{-1}|$, od koga je pripremljen izvor /1, 5/. Veza izmedju A_{sa} i N data je sledećom jednačinom

$$A_{sa} = F \cdot N \tag{1}$$

F je faktor efikasnosti i dat je sa

$$F = \frac{4}{R_i \cdot (1-h/R_v)^2} \cdot \frac{1}{S \cdot E \cdot \omega} \tag{2}$$

gde je: R_i - domet alfa zračenja u materijalu izvora; R_v - domet alfa zračenja u vazduhu; h - debljina vazdušnog sloja od izvora do osetljive zapremine detektora uključujući i debljinu prozora detektora; S - površina izvora; E - energetska efikasnost, ω - odnos prostornog ugla u kome se vrši merenje prema 2π prostornom uglu.

Po jednačini (1) može se apsolutno odrediti specifična aktivnost izvora beskonačne debljine ako su svi parametri poznati ili se mogu eksperimentalno odrediti.

Pri koncentrovanju aktivnosti u uzorku specifična aktivnost polaznog materijala data je sledećom jednačinom

$$A_{sa} = \frac{F \cdot N}{K \cdot P} \tag{3}$$

gde je: K - faktor koncentrovanja aktivnosti, P - prinos postupka koncentrovanja aktivnosti koji je manji od jedinice zbog gubitka aktivnosti u toku postupka koncentrovanja.

U većini slučajeva hemijski sastav materijala izvora nije tačno poznat, što ograničava primenu jednačine (1) za apsolutno odredjivanje specifične aktivnosti. Zbog toga se metoda merenja beskonačno debelih izvora često koristi kao metoda za relativna merenja. Za nepoznatu smešu alfa radionuklida u intervalu energija od 4-8 MeV, za kalibraciju se obično koristi alfa zračenje Pu^{239} od 5,16 MeV /2/ pri čemu se kalibracioni faktor može razlikovati najviše za 2 puta.

Na osnovu opisane metode apsolutnog merenja specifične alfa aktivnosti realizovana je alfa laboratorija koja je pridodata laboratoriji za beta merenja LARA-10. U laboratoriji kao detektor alfa zračenja koristi se Si poluprovodnički detektor sa površinskom barijerom, čija je debljina aktivne zapremine optimizirana tako da detektor meri selektivno, alfa zračenje u prisustvu beta- gama zračenja /6, 7/. U laboratoriji se može vršiti koncentrovanje aktivnosti polaznog materijala metodom uparavanja i mokrog spaljivanja, što povećava osetljivost mernog uredjaja od 10 do 500 puta u zavisnosti od polaznog materijala /4, 5/.

Za dati merni uredjaj i kontaminirani materijal sa Pu^{239} poznatog hemijskog sastava izvršeno je eksperimentalno i teorijski odredjivanje faktora efi-

kasnosti F. Rezultati za oba slučaja se dobro slažu i razlikuju se do 10% /5/. Ukoliko nije poznat hemijski sastav izvora, specifične aktivnosti mogu se razlikovati do 50% u zavisnosti od polaznog materijala.

Za vreme merenja od 1000 s, faktor koncentrovanja 25 i grešku od 20%, osetljivost alfa laboratorije iznosi 1000 $Bq \cdot kg^{-1}$ /5/.

MERENJE UKUPNE SPECIFIČNE BETA AKTIVNOSTI METODOM DEBELOG IZVORA

Poznato je da je u slučaju kontinuiranih beta spektara iz debelog uzorka izlazi fluks beta čestica sa osnovnom karakteristikom da za njega uz upotrebu filtra važi eksponencijalni zakon samoapsorpcije i specifična raspodela fluksa u zavisnosti od ugla u odnosu na površinu uzorka /10 /. Zahvaljujući toj karakteristici fluksa beta čestica iz debelog uzorka, bilo je moguće merenjem koeficijenta apsorpcije u fultru, odrediti koeficijenat samoapsorpcije u materijalu nosiocu aktivnosti i na osnovu toga odrediti koeficijenat popravke. Nalaženjem geometrijske efikasnosti i korekcijama u odnosu na samoapsorpciju i apsorpciju u prozoru GM brojača, dobijaju se svi potrebni podaci za apsolutno merenje /16 /. Merenje brzine brojanja detektora sa i bez filtra daju dovoljne podatke da se odredi koeficijenat srazmernosti F /12 /, tako da ukupna specifična beta aktivnost mernog uzorka je data sa

$$A_{sb} = F \cdot N \qquad (4)$$

gde je: A_{sb} - ukupna specifična beta aktivnost merenog uzorka, $|Bq \cdot kg^{-1}|$
F - koeficijenat srazmernosti,
N - brzina brojanja mernog uredjaja $|imp \cdot s^{-1}|$.

Za smešu fisionih produkata stariju od 10 dana, potrebno je odrediti i "ekvivalentnu starost" radi odredjivanja stepena toksičnosti. Zbog toga se vrši još merenje apsorpcije uz upotrebu debelog filtra /14 / i na osnovu toga se može preporučiti postupak sa izmerenim uzorkom. Greška metode merenja procenjuje se na oko 40%, ako je nepoznati sastav smeše fisionih produkata, a u slučaju da je poznat emiter,greška merenja se može učiniti malom do reda 1% / 15 /.

Na osnovu opisane metode realizovana je radiometrijska laboratorija LARA-10 / 8 / koja je prvenstveno namenjena merenju u akcidentalnim uslovima rada. Za "mladu" smešu fisionih produkata i vreme merenja od 30 minuta postiže se uz grešku od 40% osetljivost metode od 4 000 $Bq \cdot kg^{-1}$. Jasno je da se uparavanjem ili drugim pogodnim postupcima preparacije uzoraka može povećati osetljivost merenja do oko 10^3 puta, što ovu laboratoriju čini primenljivom i za svakodnevnu kontrolu aktivnosti okoline.

ZAKLJUČAK

Iznete su osnovne postavke metoda merenja ukupne specifične alfa i beta aktivnosti uzoraka hrane, vode i dr. Metode i prateći uredjaji su prilagodjeni radu u vanrednim situacijama, kada brzina davanja rezultata ima prioritetnu važnost. Obe metode su apsolutne. Uredjaji koji su konstruisani na osnovu ovih metoda merenja imaju dobru selektivnost merenja u odnosu na prateća zračenja iz uzoraka. Posebno kod uredjaja za merenje specifične alfa aktivnosti ostvarena je dobra selektivnost u odnosu na beta zračenja i neosetljivost na polje gama zračenja iz okoline, odnosno iz uzorka. Ukupna masa uredjaja i celog inventara laboratorije za merenje alfa i beta aktivnosti metodom debelog izvora od oko 200 kg. omogućava da se iste prenesu i razviju na najpogodnijem mestu rada. Greške merenja od 40% za merenje ukupne specifične beta aktivnosti i 50% za merenje specifične alfa aktivnosti su prihvatljive, s obzirom na namenu laboratorija. Postignuti nivoi merenja su sasvim zadovoljavajući za merenje u akcidentalnim uslovima, dok je za merenje u normalnim uslovima neophodno primenom radiohemijskih metoda izvršiti koncentrovanja aktivnosti i prema potrebi eventualno izdvajanje pojedinih radionuklida.

MEASUREMENT OF SPECIFIC ALPHA AND BETA ACTIVITIES BY THE THICK SOURCES METHOD

The method of alpha and beta activities measurements of thick sources is presented in this paper. The values of minimal alpha and beta specific activities that can be measured by the radiometrical laboratory for in field measurements are given. The errors of measurements are analysed.

LITERATURA

/1/ Troubl M., CEA-R-3098, 1967.

/2/ NCRP Report No.50: Environmental Radiation Measurements (1976), p.182.

/3/ Glišović D., Muždeka S., Šmelcerović M., Detekcioni sistemi za merenje specifične alfa aktivnosti metodom debelog uzorka, VII simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Kaštel Stari, 22-26, oktobar 1973.

/4/ Simović M., Paligorić D., Feruh J., Odredjivanje ukupne alfa aktivnosti u uzorcima biljnog i životinskog porekla primenom H_2O_2/Fe^{2+} postupka mokrog spaljivanja za koncentrovanje aktivnosti, IX simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Jajce, 31.V. do 3.VI.1977.

/5/ Dobrilović Lj., Šmelcerović M., Paligorić D., Simović M., Bojović T., Drndarević V., Measurement of Total Alpha Activities in Thick Samples by Means of Si Semiconductor Detector, 7th Meeting of Yugoslav Nuclear and Particle Physicists Herceg Novi, November 25-2 1981.

/6/ Šmelcerović M., Simović M., Drndarević V., Dobrilović Lj., Bošković D., Paligorić D., Couting Device with Si Semiconductor Detector for Selective Alpha Activities Measurements, 7th Meeting of Yugoslav Nuclear and Particle Physicists, Herceg Novi, November 25-2, 1981.

/7/ Dobrilović Lj., Šmelcerović M., Simović M., Drndarević V., Paligorić D., Optimizacija merenja alfa aktivnosti u prisustvu beta i gama zračenja Si detektorom, XI jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Portorož, 21-24 april 1981.

/8/ Muždeka S., Šmelcerović M., Laboratorija za merenje i pripremu uzoraka u akcidentalnim uslovima, VI jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Ohrid, 25-28 april 1972.

/9/ Stamenković B., Muždeka S., Koturović A., Damljanović D., Šmelcerović M., Kostić P., Brojački komplet za merenje uzorka. VI jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Ohrid, 25-28 april 1972.

/10/ Baranov V.: Dozimetrija elektronskog zračenja, Atomizdat, Moskva, 1974.

/11/ Marmier P., Sheldon E.: Physics of Nuclei and Particles, V.1. Academic Press, New York and London, 1969.

/12/ Šmelcerović M., Ilić R., Muždeka S.: Merenje aktivnosti fisionih produkata metodom debelog uzorka, VI jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Ohrid, 25-28 april 1972.

/13/ Šmelcerović M., Muždeka S., Ilić R.: Merenje niskih specifičnih beta aktivnosti radiometrijskom laboratorijom tipa LARA-10, VIII simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi, maj 1975.

/14/ Bojović T., Šmelcerović M., Muždeka S., Pejušković B. , Vučić S.: Prepoznavanje i odredjivanje specifične aktivnosti beta aktivnih izotopa merenjem na debelom uzorku, VIII simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Herceg Novi, maj 1975.

/15/ Šmelcerović M. Muždeka S. Djurić G., Petrović B.: Brza procena specifične beta aktivnosti hrane i drugog materijala na uredjaju LARA-GS, IV simpozijum jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, 31.V.-3.VI.1977, Jajce.

/16/ Šmelcerović M.: Merenje specifične beta aktivnosti metodom debelog uzorka, Interna publikacija Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič", IBK-1350, 1975.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

Mr Aleksandar Milić, dipl.ing.
Mr Mirko Obradović, dipl.ing.
Institut za nuklearne nauke "B.Kidrič"
OOUR Institut za elektroniku "EL"
Beograd - Vinča

BROJAČKI KOMPLET STV-4

REZIME. U radu su prikazane osnovne funkcije brojačkog kompleta koji pored izvora napajanja visokog napona neophodnog za rad detektora zračenja sadrži brojačka kola koja pružaju mogućnost merenja sa predodredjenim vremenom u širokim granicama i sa tačnošću odredjenom kvarcnim kristalom. Uredjaj je ostvaren korišćenjem integrisanih brojačkih i mikrologičkih kola, što je omogućilo poboljšanje karakteristika i povećanje pouzdanosti.

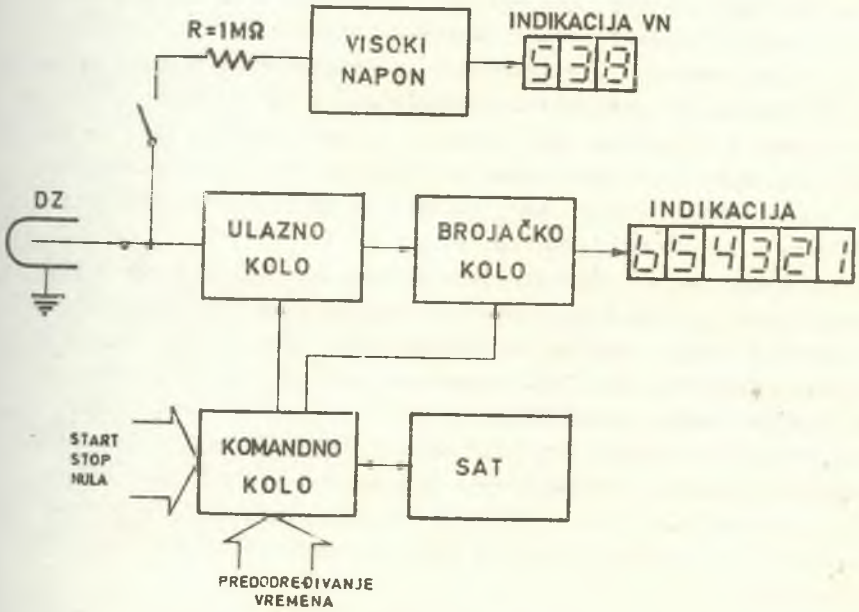
1. UVOD

Konstrukcija i složenost elektronskih uredjaja, koji služe za merenje sa detektorima radioaktivnog zračenja, zavise od tipa detektora, uslova pod kojima se merenje vrši, funkcije koje pri merenju treba obaviti i načina na koji treba rezultate merenja prikazati ili obraditi. Medjusobnim povezivanjem modularnih jedinica moguće je obaviti najrazličitija i najsloženija merenja pri čemu je stepen iskorišćenja pojedinih modula mali a samim tim i cena velika.

U velikom broju slučajeva kada se najčešće u pogledu funkcija i mogućnosti postavljaju jednostavniji zahtevi vezani za rad sa jednom vrstom detektora za merenje je bolje koristiti merni komplet nemodularnog tipa. Posebnu prednost za izolovane korisnike elektronske opreme predstavlja činjenica da ne moraju vršiti nikakva medjusobna povezivanja funkcionalnih jedinica, već da sve zahteve ostvaruju postavljanjem komandi na prednjoj ploči jednog instrumenta.

U ovom radu je opisan uredjaj koji pruža mogućnost merenja broja impulsa dobijenih iz halogenih detektora zračenja. Kriterijumi pri projektovanju ovog uredjaja su proistekli iz dosadašnjeg dugogodišnjeg iskustva sa ranije razvijenim i široko korišćenim uredjajima, posebno skalerima SKT-5 i STV-1. Poboljšanje karakteristika je bilo omogućeno pažljivim projektovanjem i korišćenjem savremenih integrisanih kola u uredjaju.

2. OSNOVNE FUNKCIJE. Blok šema uredjaja prikazana je na sl.1.



SLIKA 1

Pošto je uredjaj isključivo namenjen za rad sa GM brojačima, a s obzirom da ovi pri svom radu kao detektori zračenja uvek koriste radni otpornik vrednosti 1 MΩ, to je u cilju što jednostavnijeg rukovanja ovaj otpornik ugradjen u sam uredjaj. Pri ovome se radni napon uključuje na detektor zračenja pomoću posebnog prekidača na prednjoj ploči instrumenta. Podešavanje radnog

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

R.Martinčič, B.Pucelj
Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

MOBILNI EKOLOŠKI LABORATORIJ

POVZETEK V primerih onesnaženja okolja je samo s hitro in učinkovito akcijo možno preprečiti hude posledice. Zato smo na Institutu "Jožef Stefan" osnovali "Ekološki laboratorij z mobilno enoto", ki je namenjen hitri identifikaciji nevarnih kemikalij in/ali radioaktivnih snovi v okolju. Tu podajamo kratek opis organizacije in opremljenosti Ekološkega laboratorija in njegove Mobilne enote.

UVOD

Na Institutu "Jožef Stefan" je bil leta 1981 osnovan "Ekološki laboratorij z mobilno enoto". Po zasnovi in opremi je laboratorij namenjen hitri identifikaciji nevarnih kemikalij in (ali) radioaktivnih snovi v okolju. Funkcionalno je sestavljen iz dveh organizacijsko povezanih delov:

a) iz mobilne enote (intervencijske ekipe), ki ustrezno opremljena, lahko v nekaj urah posreduje v razdalji do 200 km iz Ljubljane in

b) iz stacionarnih laboratorijev, ki s svojim širokim strokovnim ozadjem ter vrhunsko opremo omogočajo temeljito analizo "dogodka".

Takšna celovita analiza je za uspešno imobilizacijo nezgode, za ugotavljanje dejanske škode, posledic in odgovornosti vsekakor potrebna, možna pa le z interdisciplinarnim strokovnim pristopom v laboratorijih.

mensko upravljanje merenjem. S obzirom na ovo brojački komplet može da radi u režimu predodredjenog vremena, kada meri broj impulsa koje detektor daje u unapred definisanom vremenskom intervalu.

3. ZAKLJUČAK

Prikazan brojački komplet STV-4 je veoma pogodan za merenja sa halogenim detektorima radioaktivnog zračenja. Merenje sa ovim uredjajem je vrlo jednostavno. Korisnik jedino mora da priključi svoj detektor na uredjaj i nakon odredjivanja predodredjenog vremena u granicama od 1 s do 99 s merenje može početi. Rezultati merenja su dati u cifarskom obliku pri čemu je maksimalni kapacitet primljenih impulsa 999999. Karakteristike i konstrukcija u uredjaju su takve da ga čine veoma pogodnim u svim merenjima sa halogenim detektorima a posebno je pogodan pri obuci kadrova u školama i fakultetima.

THE STV-4 COUNTING SET

The article presents essential functions of the counting set which, besides the supply source of high voltage necessary for operating the radiation detector, contains counting units that make it possible to measure with predetermined time in wide limits and with the precision determined by the quartz crystal. The apparatus was realized by applying integral counting and micrological circuits, which enabled the improvement of characteristics and increase of reliability.

LITERATURA

1. M.Obradović, A.Milić, J.Šerbanović, Brojački komplet STV-4, Tehnika br.2, Beograd, 1978.

2. Grupa autora, Radioaktivni izotopi i zračenja, Naučna knjiga, Beograd, 1969.

3. M.Vojinović, M.Obradović, N.Lero, P.Frantlović, Brojački komplet STV-1, Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti, Baško Polje, 1969.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

R.Martinčič, B.Pucelj
Institut "Jožef Stefan", Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

MOBILNI EKOLOŠKI LABORATORIJ

POVZETEK V primerih onesnaženja okolja je samo s hitro in učinkovito akcijo možno preprečiti hude posledice. Zato smo na Institutu "Jožef Stefan" osnovali "Ekološki laboratorij z mobilno enoto", ki je namenjen hitri identifikaciji nevarnih kemikalij in/ali radioaktivnih snovi v okolju. Tu podajamo kratek opis organizacije in opremljenosti Ekološkega laboratorija in njegove Mobilne enote.

UVOD

Na Institutu "Jožef Stefan" je bil leta 1981 osnovan "Ekološki laboratorij z mobilno enoto". Po zasnovi in opremi je laboratorij namenjen hitri identifikaciji nevarnih kemikalij in (ali) radioaktivnih snovi v okolju. Funkcionalno je sestavljen iz dveh organizacijsko povezanih delov:

a) iz mobilne enote (intervencijske ekipe), ki ustrezno opremljena, lahko v nekaj urah posreduje v razdalji do 200 km iz Ljubljane in

b) iz stacionarnih laboratorijev, ki s svojim širokim strokovnim ozadjem ter vrhunsko opremo omogočajo temeljito analizo "dogodka".

Takšna celovita analiza je za uspešno imobilizacijo nezgode, za ugotavljanje dejanske škode, posledic in odgovornosti vsekakor potrebna, možna pa le z interdisciplinarnim strokovnim pristopom v laboratorijih.

STROKOVNA ORGANIZIRANOST

V ekološkem laboratoriju so organizacijsko povezani vsi tisti odseki znotraj Instituta "Jožef Stefan", katerih dejavnost je povezana z ugotavljanjem radioaktivnih, kemičnih in bioloških onesnaževalcev v okolju. Tako so v sestavi ekološkega laboratorija naslednji specializirani laboratoriji IJS:

a) za radiološke meritve laboratoriji za:
- visokoločljivostno spektrometrijo gama
- ugotavljanje površinske kontaminacije s sevalci α in β, absorpcijsko spektrometrijo
- specifične analize (radiokemijske metode: α -spektrometrija transuranidov, Sr-90, H-3, Rn in potomci Ra)
- dozimetrijo

b) za kemijsko analizo laboratoriji za:
- nevtronsko aktivacijsko analizo
- plinsko in tekočinsko kromatografijo
- masno spektrometrijo
- atomsko absorpcijsko spektrometrijo

c) za oceno posegov v okolje:
- SEPO (skupina za oceno posegov v okolje).

Od drugih specializiranih strokovnih institucij v SR Sloveniji je trenutno v ekološki laboratorij vključen le Ribiški zavod SRS. V teku pa so pogovori z Meteorološkim zavodom SRS, Zavodom za varstvo pri delu ter Onkološkim institutom.

O vsakokratni podrobni sestavi mobilne enote odloči dežurni vodja ekološkega laboratorija z mobilno enoto po vnaprej pripravljenem planu ter na osnovi podatkov organov javne varnosti in drugih podatkov. Vsekakor pa intervencijska enota ne sme biti sestavljena iz manj kot 3 sodelavcev. Maksimalno število sodelavcev v intervencijski ekipi je smiselno omejeno na število 6.

OPREMLJENOST

V sestavi Mobilne enote oziroma Ekološkega laboratorija sta preurejeno vozilo TAM 60 A5 ter terensko vozilo LADA-NIVA. Obe vozili imata status vozil s prednostjo.

O vsakokratni opremi intervencijskega vozila odločita dežurni vodja Ekološkega laboratorija ter vodja intervencijske

ekipe na osnovi operativnega načrta ter na osnovi vseh dosegljivih podatkov o nezgodi.

Mobilna enota trenutno razpolaga z naslednjo opremo:

- zaščitnimi sredstvi in oblekami
- osebnimi dozimetri
- merilniki za potrebe radiološke zaščite
- prenosnim spektrometrom gama za hitro kvalitativno in kvantitativno identifikacijo sevalcev gama (z mikroračunalnikom za sprotno obdelavo podatkov)
- plinskim kromatografom za organske onesnaževalce z računalnikom
- prenosnim laboratorijem za anorganske onesnaževalce
- pH metrom
- opremo za zbiranje, filtriranje, fiksiranje in hranjenje vzorcev
- meteorološko postajo s procesnim računalnikom
- telefonsko radijsko zvezo
- električnim generatorjem
- črpalkami za zrak
- signalizacijo in opozorilno opremo
- žarometi za osvetlitev terena
- opremo za lovljenje in seciranje poginulih rib.

Telefonsko-radijska zveza je speljana preko Republiškega centra za obveščanje. Na ta način je omogočena povezava do poljubne telefonske ali radijske številke.

TRENUTNA USPOSOBLJENOST

Ekološki laboratorij z mobilno enoto deluje na osnovi svojega "OPERATIVNEGA načrta" ter na osnovi organizacijske sheme aktiviranja in delovanja.

Mobilna enota je trenutno usposobljena opraviti naslednje naloge: ob obvestilu o onesnaženju (nezgodi) bo takoj odšla na kraj nezgode in tam

- zbrala in fiksirala vzorce zraka, vode, zemlje in bioloških materialov za preliminarne analize v mobilnem laboratoriju ter za podrobnejše nadaljnje raziskave v laboratorijih ekološkega laboratorija,
- določila osnovne radiološke in (ali) kemijske parametre,
- določila osnovne meteorološke parametre,

- določila nekatere specifične onesnaževalce
- identificirala posamezne radionuklide.
- zavarovala onesnaženo mesto in v skladu z inšpekcijskimi in upravnimi službami pripravila ukrepe za dekontaminacijo,
- obveščala o poteku akcije odgovorne upravne organe.

V stacionarnih laboratorijih Ekološkega laboratorija je nato napravljena podrobna in temeljita analiza "dogodka".

Svoj krst je Mobilna enota doživela 10.10.1982, ko je prišlo do izlitja kurilnega olja iz cisterne osnovne šole na Brdu pri Lukovici. Od tedaj pa do danes je Mobilna enota posredovala že v več kot 20 primerih onesnaženj okolja: 14 krat je šlo za kemijska onesnaženja, 10 krat za pomore rib in 1 krat za izgubljen radioaktivni izvor. 7 krat je že prikazala svoje delovanje slovenski in tudi širši javnosti.

Iz tega je razvidno, da Ekološki laboratorij in njegova Mobilna enota praktično že delujeta skoraj v celoti. Slabše imata trenutno pokrito le področje biološkega onesnaženja.

ABSTRACT Because of increasing concern for the quality of the environment and its preservation a central ecological laboratory, capable of analysing any kind of samples from the environment was needed and established at the J. Stefan Institute. A short description of the organisation and equipment of the ecological laboratory with a mobile unit is presented.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

Vujo R.Drndarević, Aleksandar M.Koturović
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Beograd

DŽEPNI MONITOR GAMA ZRAČENJA SA POLUPROVODNIČKIM DETEKTOROM I DIGITALNOM INDIKACIJOM

REZIME Koriste se mogućnosti pogodnih karakteristika komercijalno raspoloživih poluprovodničkih detektora u svrhu gradnje monitora gama zračenja, malih dimenzija i male potrošnje. Razvijen je instrument u kome su povezane te pogodne karakteristike poluprovodničkih detektora sa mogućnostima koje pruža usvojen jednostavan sistem obrade signala i digitalne indikacije. Tako ostvareno rešenje džepnog monitora gama zračenja ima dobre operativne karakteristike, a domen primene odredjen upotrebljenim poluprovodničkim detektorom. Sa detektorom BPX 1400 proizvodnje Videoton-Remix moguće je meriti jačinu ekspozicione doze 1 $\mu Ckg^{-1}s^{-1}$. Relativna osetljivost realizovanog monitora manja je od +6% za temperaturne promene u opsegu od -10°C do +40°C. Za promene napona napajanja od 3,3 V do 4,7 V relativna osetljivost nalazi se izmedju -4% i +0,5%. Analizirane su osobenosti prikazanog rešenja, ono je uporedjeno sa slučajevima kada se koristi GM cev, a izneti su zaključci o primenljivosti rešenja posmatranog tipa.

UVOD

U ličnoj dozimetriji, u domenu dozimetarske instrumentacije, postoji stalna potreba za džepnim monitorima. Od monitora zračenja, uopšte, zahteva se da bude merač jačine ekspozicione doze opremljen elementima za upozorenje (optičko ili akustičko) da je jačina gama zračenja prešla neku predodredjenu vrednost, koja se može podesiti |1|. Zahtevi za malim dimenzijama i što manjom potrošnjom u realizaciji džepnih monitora posebno se nameću. Da se u džepnom monitoru ostvare brojne operativne mogućnosti, kao što su: cifarska indikacija jačine ekspozicione doze, optička i zvučna indikacija alarma čiji se nivo jednostavno precizno postavlja i menja, postaje moguće tek upotrebom savremenih elektronskih komponenata.

Mali napon napajanja, jednak potrebnom naponu napajanja za elektronska kola, vrlo mala potrošnja i male dimenzije izabranog poluprovodničkog detektora BPX-1400 (Videoton-Remix) uz njegove dobre merne karakteristike, bili su odlučujući faktori za realizaciju monitora koji je prikazan u ovom radu.

REŠENJE MONITORA I NJEGOVE OSOBINE

Blok šema realizovanog monitora prikazana je na sl.1. Za pojačanje signala iz poluprovodničkog detektora (PPD), do nivoa neophodnog za dalju obradu, koriste se pretpojačavač naelektrisanja (PP) i pojačavač sa uobličavačkom mrežom (P/U), koji osim funkcije pojačanja služe poboljšanju odnosa signal/šum uz očuvanje dobrih karakteristika u pogledu brzine brojanja |2|. Integralni diskriminator (ID) odvaja koristan signal od šuma i svim korisnim impulsima daje istu amplitudu. Na ovaj način sačuvana je informacija o brzini brojanja koja je jedino potrebna za merenje jačine ekspozicione doze. Formirani impulsi vode se u tri bloka. Četvorodekadni brojač sa tajmerskim kolom (B/T) registruje impulse u toku odredjenog vremena. Period registracije bira se na osnovu željene tačnosti i odabrane jedinice u kojoj se izražava merena veličina |3|. Rezultat se prikazuje na displeju sa tečnim kristalom (LCD). Zvučna indikacija impulsa vrši se pomoću piezo-keramičkog elementa (PE) i oscilatora zvučnih učestanosti (OZU). Alarmni blok daje signal alarma ukoliko je brzina brojanja iznad cifarski zadate granice. Alarm se indicira zvučno i preko displeja, u isto vreme.

Proverene su osobine monitora u odnosu na promene napona napajanja i temperature okoline. Za napajanje se koriste tri baterije tipa R6 čiji napon u toku upotrebe opada od 1.6 do 1.1 V. Na osnovu toga izmerena je relativna osetljivost monitora u odnosu na nominalni napon od 4.5 V, a u opsegu od 3.3 V do 4.7 V (sl.2a).

Osetljivost na temperaturne promene ispitana je u opsegu od $-10^{o}C$ do $+40^{o}C$ (sl.2b). Granice temperaturnih promena odredjene su dopustivim granicama rada upotrebljenih komponenata, a one odgovaraju i normalnim maksimalnim granicama rada džepnih uredjaja civilne namene.

Zavisnost osetljivosti S_m mernog sistema od energije gama zračenja ispitana je u intervalu energija od ~100 keV do ~1300 keV korišćenjem radionuklida ^{57}Co, ^{137}Cs i ^{60}Co. Rezultati ovih merenja, za različite nivoe diskriminacije E_d integralnog diskriminatora, predstavljeni su na sl.3.

Ukupna potrošnja, koja je od bitnog značaja za džepne instrumente napajane baterijama, u ostvarenom monitoru manja je od 14 mW, što obezbedjuje dug rad sa jednim baterijskim kompletom.

S obzirom na kapacitet četvorodekadnog brojačkog kola i osetljivost upotrebljenog poluprovodničkog detektora |4|, za period merenja od 1,4 s monitorom može da se registruje jačina ekspozicione doze u opsegu od 1x10 do 9999x10 $pC \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$. Karakteristike detektora i realizovana elektronska kola, uz izbor pogodnog perioda registracije, dopuštaju merenje jačine ekspozicione doze do 1 $\mu C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$.

ZAKLJUČAK

Poredi li se izneto rešenje sa sličnim koje bi bilo ostvareno sa GM cevi može se izvesti nekolko zaključaka. Za rešenje sa poluprovodničkim detektorom nije potrebno obezbediti visoki napon napajanja, a ukupna potrošnja detektorskog dela neuporedivo je manja. Sa druge strane, opseg u kome se mogu vršiti merenja sa poluprovodničkim detektorom znatno je širi nego sa ekvivalentnom GM cevi. Medjutim, za iskorišćenje dobrih karakteristika koje poluprovodnički detektor poseduje neophodno je upotrebiti složenija elektronska kola nego za slučaj primene GM cevi.

Prikazani monitor zračenja sa komercijalno raspoloživim poluprovodničkim detektorom je dobrih operativnih mogućnosti, srednje osetljivosti, a jednostavnim izmenama može da postane kvalitetan lični dozimetar. Svojim malim dimenzijama i vrlo malom potrošnjom ispunjava zahteve koji se za džepni instrument postavljaju.

Imajući u vidu rezultate postignute realizovanim monitorom, prednosti koje pružaju poluprovodnički detektori, kao i njihov brz tehnološki razvoj, opravdano je očekivati da će se sve veća pažnja posvećivati njihovoj upotrebi u dozimetarskoj instrumentaciji, a u džepnoj i prenosivoj posebno.

*

Autori se zahvaljuju dr A.Kukoču, koji je svojim angažovanjem i sugestijama pružio dragocenu pomoć.

SUMMARY For designing small size, low power consumption gamma ray monitor the possibilities of suitable characteristics of comercial available semiconductor detectors are used. The instrument is developed which unites possibilities of adopted simple signal processing system and data indication. Realised pocket gamma ray monitor has good operating characteristics, and domain of use determined by the applied detector. Measurement of dose rate under 1 $\mu C \cdot kg^{-1} s^{-1}$ is possible with BPX 1400 semiconductor detector made by Videoton-Remix. Relative sensitivity of realised monitor in temperature range of $-10^{o}C$ to $+40^{o}C$ is less thon 6% For voltage supply change of 3.3 V to 4.7 V relative sensitivity lies between -4% and +0.5%. Characteristics of this solution are analised and compared with cases when the GM tube is used, and conclusion concerning the use of this type of solution are given.

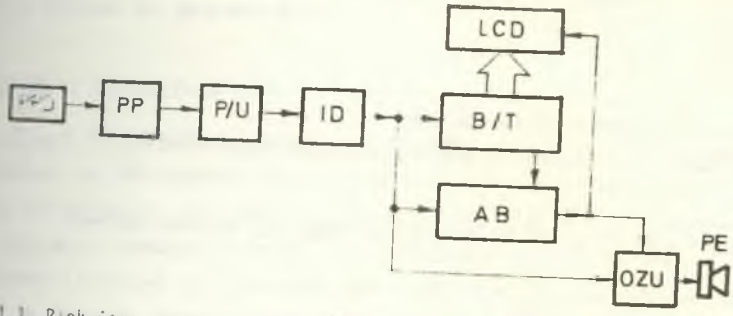
LITERATURA

|1| JUS L.G7.501 Prenosni merači i monitori jačine ekspozicione doze zračenja, koji se koriste u zaštiti od zračenja.

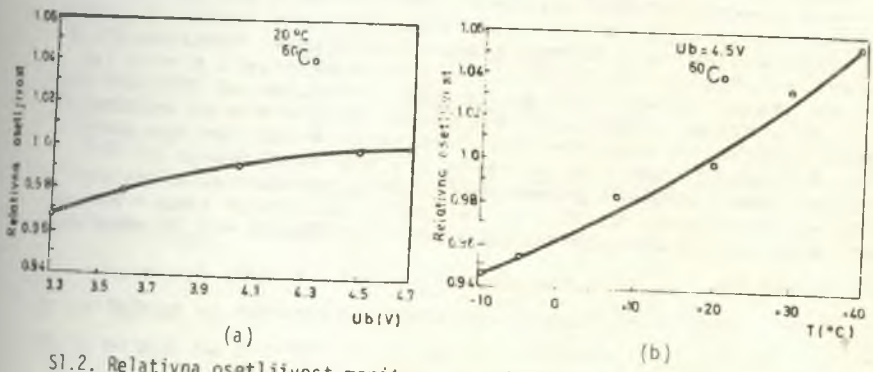
|2| Drndarević V.: Niskošumni pojačavač naelektrisanja vrlo male potrošnje pogodan za prenosne spektrometre sa poluprovodničkim detektorima. Biće publikovano u toku 1983. god.

|3| A.M.Koturović: Digitalni rejtmetri proste tačnosti Publikacija IBK-1538, Vinča, 1981.

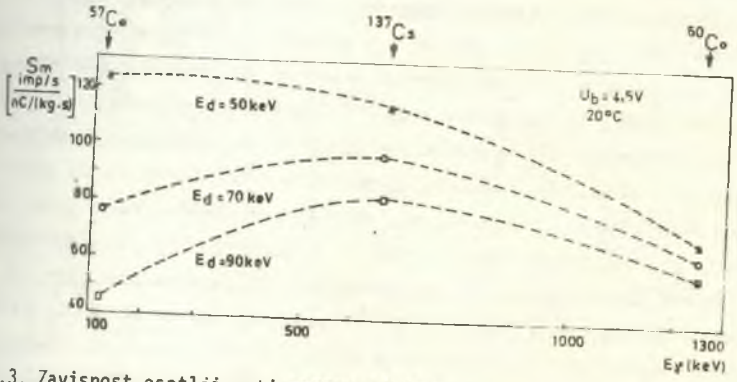
|4| Lithium Drifted Silicon Radiation Detectors, katalog proizvodjača Videoton-Remix, Madjarska.



Sl.1. Blok šema realizovanog monitora zračenja sa poluprovodničkim detektorom.



Sl.2. Relativna osetljivost monitora u zavisnosti od napona napajanja (a) i temperatura (b).



Sl.3. Zavisnost osetljivosti mernog sistema od energije gama zračenja za različite vrednosti nivoa diskriminacije integralnog diskriminatora.

XII. ЈУГОСЛОВЕНСКИ СИМПОЗИУМ ЗА ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ
Охрид, 31 мај - 3 јуни 1983

Ц. Гавровски, Т.Ановски, Д.Качурков
Центар за примена на радиоизотопи во стопанството "Скопје"- Скопје

ЛИЧЕН АЛАРМЕН УРЕД ЗА ГАМА И Х-ЗРАЧЕЊЕ СО ЗВУЧЕН СИГНАЛ

РЕЗИМЕ: Користејќи субминијатурна GM-цевка и седумстепен бинарен бројач, како делител (C-MOS техника), реализиран е електронски алармен уред за индикација на γ и Х-зрачење. Вкупната тежина на уредот е 105 g, вклучувајќи ја и батеријата за напојување. Напојувањето е со стандардна батерија IEC 6F22 (9V), а потрошувачката е мала (во отсуство на звучен сигнал I=35 μA, а при активирање на звучниот сигнал I=2,5 mA). Истиот овозможува проценка на брзината на експозиционата доза давајќи по еден тон (бип) на секои 5 секунди при експозиција од 180 pA/kg, односно на секои 2 s при експозиција од 600 pA/kg. Акустичниот аларм е јасен тон (4 kHz) со доволен интензитет (80 dB|A| на растојание од 30 cm), а бројот на бипови така е избран што може лесно да се контролира од страна на лицето кое го користи уредот.

ВОВЕД

Се помасовната употреба на јонизационите зрачења како за потребите на стопанството (радиографија, изотопски мерачи и др.), така и за други цели од една страна, и општите настојувања за максимална заштита на лицата кои работат со извори на јонизационо зрачење, согласно со ALARA принципот од друга страна, наметнува постојана грижа за усовршување и употреба на уредите за контрола и мерење на експозиционата доза. На личните дозиметри оправдано им се дава соодветен третман, како во поглед на нивната примена, така и во поглед на нивното усовршување. Иако личните дозиметри од електрометарски тип или филм-дозиметрите ги задоволуваат барањата како што се надежност, мали димензии и тежина, релативно ниска цена и сл. сепак еден битен факт може да се смета како недостаток на истите. Регистрирањето присуство на зрачење не е проследено со звучен или евентуално светлосен сигнал. Овој факт психички го оптоварува лицето кое го употребува дозиметарот, затоа што информацијата што ја добива од овие типови дозиметри го опоменува многу подоцна од актуелниот момент. Електронските алармни дозиметри овозможуваат анулирање на спо-

менатиот недостаток и го ослободуваат корисникот од ангажирање како што е читање на дозиметарот.

РЕШЕНИЕ И КАРАКТЕРИСТИКИ НА УРЕДОТ

Електричната принципска шема на уредот е прикажана на сл.1 Сигналот од GM-давачот претставува влезен сигнал на еден делител на број на импулси. На излезот од делителот се добива импулс дури кога GM-цевката генерира толкав број импулси кој одговара на најмалата избрана количина на доза за регистрација |1|. Во случајов како делител се користи еден седумстепен бинарен бројач изведен во еден чип (CD4024AE) чии равенки на излезните состојби се:

$$Q_{2out} = \overline{R}\ (Q_1 \oplus Q_2)$$

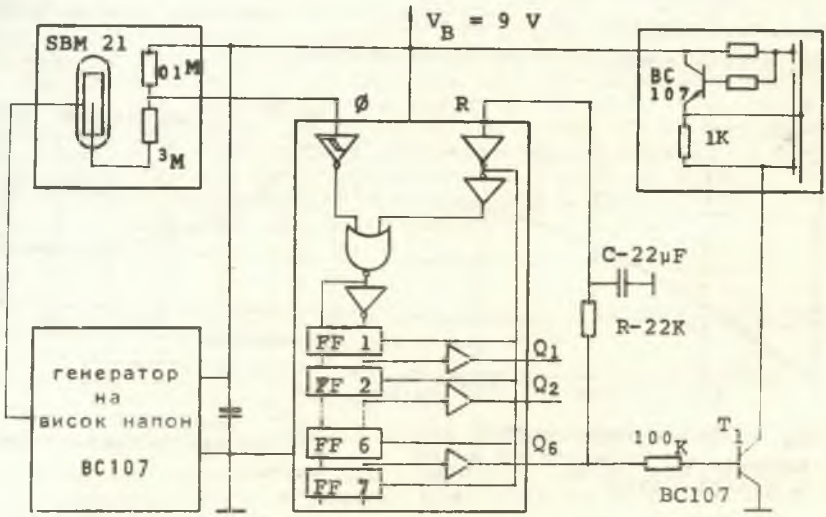
$$Q_{3out} = \overline{R}\ (Q_1 Q_2 \oplus Q_3)$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$Q_{6out} = \overline{R}\ (Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 \oplus Q_6)$$

каде што: $Q_{out} = Q\ (nT + T)$, а $Q(nT) = Q$

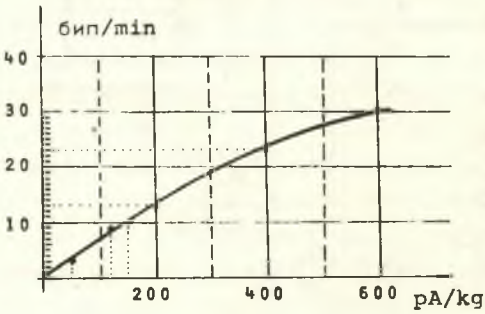
во конкретниот случај се користи излезот $Q_6(V_o^6)$, што значи дека како последица на влезниот сигнал на излезот се добива импулс по секој 64-ти импулс од низата ексцитациони импулси.



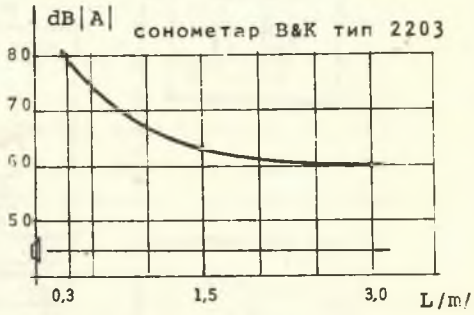
Сл. 1 Електрична принципска шема на уредот

Сигналот Q_6 доаѓа на базата од транзисторот T_1 во чиј колекторски круг се наоѓа индикаторска звучна плочка комбинирана со едноставен осцилатор (4KHz) за да се добие чист тон, што ќе се јави кога во уредот ќе се акумулира избрана основна единица на доза. Бинарниот бројач-делител има можност да се ресетира на логичка состојба нула со високо ниво на ресет влезот. Импулсот што се појавува на Q_6 се интегрира со RC членот за да се овозможи ресетирање на делителот на фреквенција по време Δt. Значи, на T_1 делува импулс со широчина Δt, па на секои 64 импулси од GM цевката звучниот индикатор ќе произведе еден краток тон. Генераторот на висок напон е класично изведен DC-конвертор |2|, со исправувач, вдвојувач кој дава потребен работен напон за субминијатурната нисконапонска GM цевка за β и γ зрачење|3|.

Уредот е тестиран со секундарен стандард гама монитор SGM-29 IJS-Љубљана и RK-67 "POLON"-полско производство во поле на јонизационо зрачење на ^{60}Co |4|. Добиената зависност на бројот на звучни сигнали (бип/min) од брзината на експозиционата доза е прикажана на сл.2. Истата овозможува проценка на брзината на експозицијата. При експозиција од 180 pA/kg (2,5 mR/h) се добива по 1 бип на секои 5 s, односно 1 бип на секои 2 s во поле од 600 pA/kg. Зависноста на интензитетот на звучниот сигнал од растојанието измерена со помош на сонометар B&K тип 2203 филтер A и октавен филтер B&K 1613 е прикажана на сл.3. Од резултатите се гледа дека сигналот не може да биде маскиран и во бучна средина.



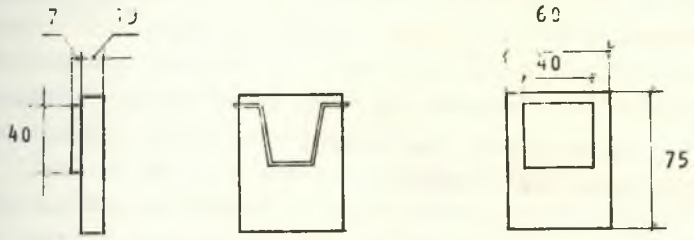
Сл. 2 Зависност на број зв. сигнали од брзината на експозиционата доза



Сл.3 Зависност на интензитетот на зв. сигнал од растојанието

Напојувањето на уредот е со стандардна батерија IEC 6F22 (9V), а потребната струја за работа на уредот кога не се јавува звучен аларм е 35 μA, додека максималната струја (импулсен режим - само кога се појавува звучен сигнал изнесува 2,5 mA.

Реализираниот уред, вклучувајќи ја и батеријата, е со вкупна тежина од 105 гр. Надворешните димензии и изгледот на истиот се прикажани на сл.4.



Сл. 4 Изглед и димензии на уредот

ЗАКЛУЧОК

Реализираниот џепен алармен уред овозможува предупредување со кратки звучни тонови дека корисникот се наоѓа во зона на јонизационо зрачење. Од бројот на звучните сигнали кој е погодно одбран лесно може да се даде проценка за брзината на експозиционата доза. Звучните сигнали се со доволен интензитет и овозможуваат употреба на уредот во средина со зголемена бучава. Малата тежина и малата потрошувачка на ел. енергија, исто така го прават уредот погоден за употреба во личната дозиметрија.

ABSTRACT. A pocket warning device for acoustic warning against gamma and X-ray radiation with a total weight of 105 g. including battery, by using of subminiature components (GM-counting tube, seven stage ripple counter C-MOS-technique) has been constructed. In the same time it enables us to determine the rate of exposition dose giving one bip per every five seconds in the field of 180 pA/kg i.e. one bip per every two seconds in the field of 600 pA/kg. The acoustic alarm is clear tone (4 kHz) with good intensity (80 dBA, at 30 cm distance) and the number of bips is chosen in such a way that it can be easily controlled. Having in mind its characteristics this device is very suitable for field work and noisy ambient.

ЛИТЕРАТУРА

|1| A.M.Koturović: Osvrt na elektronske digitalne lične dozimetre X-JUZZ- Arandjelovac, 1979

|2| Transistor Circuit Design-Texas Instruments Incorporated Part 4, 1963

|3| Счетчики ядерных излучений-каталог - Technabexport-SSSR 1980

|4| JUS L.G7.501 Prenosni merači i monitori jačine ekspozicione doze zračenja, koji se koriste u zaštiti od zračenja

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

S. Miljanić, I. Dvornik i D. Šunduković
Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

SPEKTROFOTOMETRIJSKA METODA ODREĐIVANJA DOZE DOZIMETARA DL-M4

Opisana je spektrofotometrijska metoda određivanja doze kemijskog dozimetra DL-M4. Diskutirane su greške mjerenja te prednosti i nedostaci prema kolorimetrijskoj metodi mjerenja doze. Reproducibilnost i točnost određivanja apsorbirane doze omogućavaju uvođenje ove metode kao komplementarne metode kod primjene dozimetra DL-M4 za istraživanja u radiobiologiji i radioterapiji.

UVOD

Lični dozimetar DL-M4 namijenjen je primjeni u akcidentalnim i ratnim radijacionim uvjetima. Osjetljiv je na neutrone i gama zračenje a odziv na neutrone približno je jednak odzivu na gama zračenje u tkivo-gray jedinicama[1]. Doza se mjeri čitačima doza, ČDL-M4, vizuelnim kolorimetrima. U čitaču su montirane 33 ampule-etalona s bojama od žute do ljubičasto crvene koje odgovaraju dozama od 0 do 12.2o Gy. Greška mjerenja je manja od ±20% u cijelom opsegu doza, a u opsegu od 2.5 do 10 Gy je manja od ±10%. Takav dozimetrijski sistem rezultat je optimizacije u kojoj su točnost i reproducibilnost dozimetra određeni taktičkim, tehnološko-proizvodnim i ekonomskim zahtjevima dozimetrije masovnog karaktera.

Mogućnosti primjene dozimetra DL-M4 za istraživanja u radiobiologiji i radioterapiji te kao "transfer" dozimetar u neutronskoj dozimetriji postavljaju i veće zahtjeve, prije svega na točnost i reproducibilnost mjerenja.

Istraživanja u radiobiologiji i radioterapiji pokazala su da razlike od 10% u apsorbiranoj dozi daju jasno vidljive promjene u biološkom odgovoru. ($\pm$10% doze oko LD_{50} daje $\pm$15 do $\pm$20% razlike u smrtnosti[2].) Zato se predlaže točnost (ukupna nesigurnost) od $\pm$5% i preciznost (reproducibilnost) od $\pm$2% u određivanju doze[3]. Kod "transfer" dozimetra za mjerenje ukupne doze (neutronske i gama) potrebna je točnost od $\pm$10% [4].

Iako je analiza greške očitavanja pokazala da se kolorimetrijskom metodom uz korekciju sistematske greške očitavanjem etalona mogu postići zadovoljavajući rezultati[5], uvođenje dodatne metode određivanja doze predstavljalo bi korak dalje u razvoju dozimetrijskog sistema.

EKSPERIMENTALNI DIO

Uzorci

Kemijski sistem klorbenzen-etanol-trimetilpentan (TMP) ima sastav (u volumnim procentima): 10% klorbenzena, 10% etanola, 80% 2,2,4-trimetilpentana i indikator timolsulfonftalein do $3x10^{-5}$M. Pojedinosti o kvaliteti kemikalija i pripremi sistema opisane su ranije[6],[7]. Ozračenjem, radiolitički nastala HCl mjeri se promjenom ekstinkcije (E) na valnoj dužini 552 nm. U kivetama od 10 cm promjena od 0.171E odgovara dozi od 1 Gy (točnost $\pm$1.5%, preciznost oko 0.5%[7]) na 20°C.

Dozimetri DL-M4 su staklene ampule (serijske proizvodnje) od borosilikatnog stakla, vanjskog promjera 5 mm, debljine stijenke 0.5 mm i dužine 128 mm, napunjene sistemom TMP u dužini 101$\pm$8mm. Smještene su u penkali od ABS plastike.

Etaloni boja također su staklene ampule istih dimenzija, napunjene otopinom boja slabo osjetljivih na zračenje. Etalon s vrijednošću "0" Gy odgovara vrijednosti E^{20}_{552}=0.210 (u kivetama od 10 cm) a povećanje vrijednosti za 1 Gy odgovara promjeni E^{20}_{552} za 0.171.

Ozračivanje

Uzorci od po 10 dozimetara i kiveta od 10 cm zračeni su na izvoru gama zračenja ^{60}Co panoramskog tipa u Institutu "Ruđer Bošković". Dozimetri i kiveta bili su pričvršćeni na zakrivljenom kartonskom stalku na udaljenosti 1 m od osi izvora. Homogenost polja ispitana je ranije[5].

Metode

Optička gustoća sistema u kivetama mjerena je prije i poslije zračenja na spektrofotometru Beckman Model DU uz termostatiranje na 20°C.

Etaloni i dozimetri DL-M4 mjereni su na spektrofotometru CARY Model 17 uz termostatiranje na 24°C. Zbog optičkih nesavršenosti, ampule punjene sistemom iste optičke gustoće pokazuju različite vrijednosti mjerenja. Radi toga svaki etalon i dozimetar mjeren je na dvije valne dužine, valnoj dužini maksimuma apsorpcije crvene boje sistema (552 nm) i valnoj dužini na kojoj ni žuta ni crvena boja ne apsorbiraju (650 nm). Tako se umjesto E^{24}_{552} za sva mjerenja koristio podatak $\Delta E^{24} = E^{24}_{552} - E^{24}_{650}$. Karakteristike mjerenja ispitane su na uzorku etalona. Etaloni su također poslužili za izradu baždarnog dijagrama za određivanje doze.

REZULTATI

Reproducibilnost spektrofotometrijskog mjerenja etalona

Četiri grupe sa po pet etalona u svakoj, mjerene su 20 puta u toku 45 dana. Rezultati su prikazani u TAB br 1.

Fotometrijska reproducibilnost instrumenta prema podacima proizvođača iznosi ±0.002 E u području od 0 do 1 E. Prema tome za mjerenja na dvije valne dužine trebala bi biti $\pm 2.8 \times 10^{-3}$E (ukupna nesigurnost jednaka je kvadratnom korijenu sume kvadrata pojedinih nesigurnosti). Rasipanja mjerenja pojedinih etalona su veća od te vrijednosti (kolona 3) i pripisujemo ih optičkim nepravilnostima ampula. Reproducibilnost srednjih vrijednosti za 5 etalona približava se statistički očekivanom rasipanju (kolona 4). Standardne devijacije srednjih vrijednosti pet etalona mjerenih po 20 puta pokazuju razlike između pojedinih etalona. One su posljedica dijelom optičkih razlika ampula a dijelom različite visine stupca sistema u njima (kolona 1). Zato je opravdana korekcija rezultata na standardnu visinu stupca od 10 cm (kolona 5) te se ona primjenjivala i na sva kasnija mjerenja.

Točnost određivanja doze

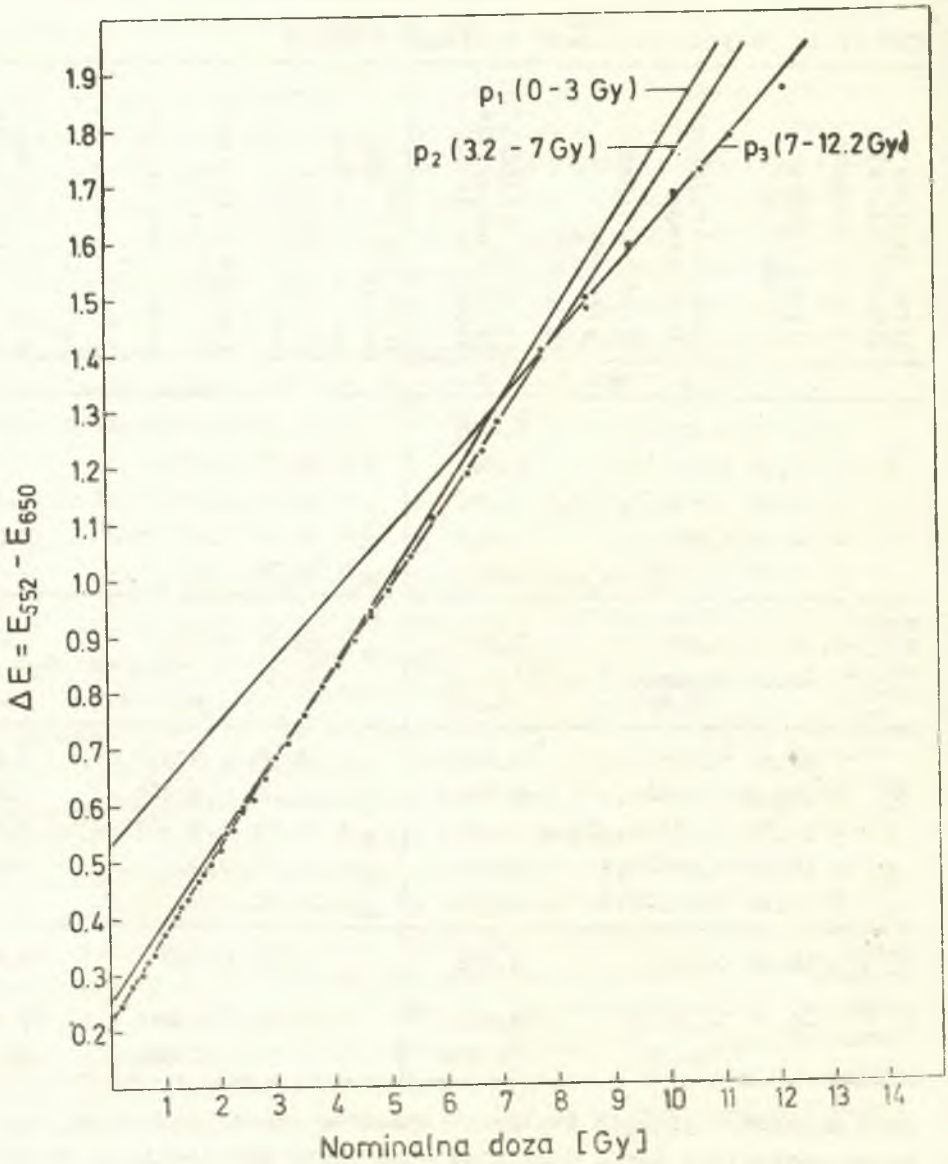
Za izradu baždarnog dijagrama mjereni su svi etaloni iz čitača (po 5 komada iste nominalne vrijednosti). Baždarna krivulja prikazana je na slici 1. Zbog nesigurnosti grafičkog određivanja doze krivulja je podijeljena na tri područja i za svako je izrač-

TAB br 1 Reproducibilnost mjerenja etalona

šifra etalona i nom.vrijed./cGy/	red.br. etalona	visina stupca sistema (cm)	srednja vrijednost 20 mjerenja	stand. devijacija (s) x 10^3	$s_{\bar{x}}$ x 10^3	srednja vrijedn.(2) korigirana na vis. stupca od 10 cm
	1	2	3	4		5
E 15 - 280	1	10.89	0.693±5.2			0.636
	2	10.94	0.705±3.7			0.644
	3	10.90	0.694±3.7	±2.4		0.637
	4	10.88	0.695±3.5			0.639
	5	10.97	0.703±3.9			0.641
sred. vrijed.		10.92	0.698			0.639
stand. devij.		±0.04	±5.6x10^{-3} (0.8%)			±3.3x10^{-3} (0.5%)
E 18 - 350	1	10.80	0.827±3.9			0.766
	2	10.80	0.838±5.1			0.776
	3	10.70	0.838±5.4	±3.4		0.783
	4	10.89	0.830±5.3			0.762
	5	10.84	0.830±5.8			0.769
sred. vrijed.		10.81	0.833			0.771
stand. devij.		±0.07	±4.9x10^{-3} (0.6%)			±8.4x10^{-3} (1.1%)

šifra etalona i nom.vrijed./cGy/	red.br. etalona	visina stupca sistema (cm)	srednja vrijednost 20 mjerenja	stand. devijacija s x 10^3	$s_{\bar{x}}$ x 10^3	srednja vrijedn.(2) korigirana na vis. stupca od 10 cm
	1	2	3	4		5
E 19 - 380	1	10.89	0.874±3.6			0.803
	2	10.85	0.871±4.9			0.803
	3	10.53	0.849±3.7	±2.9		0.806
	4	10.82	0.875±3.6			0.809
	5	10.78	0.875±4.0			0.812
		10.77	0.869			0.806
		±0.14	±11.2x10^{-3} (1.3%)			±3.9x10^{-3} (0.5%)
E 20 - 410	1	10.75	0.920±2.9			0.856
	2	10.84	0.918±4.3			0.847
	3	10.75	0.922±3.9	±3.0		0.858
	4	10.75	0.909±4.1			0.846
	5	10.81	0.916±3.8			0.847
		10.78	0.917			0.851
		±0.04	±5.0x10^{-3} (0.5%)			±5.6x10^{-3} (0.7%)

nata metodom najmanjih kvadrata jednadžba pravca koja daje odnos ΔE prema nominalnoj dozi. Prosječna standardna devijacija za uzorke etalona iste nominalne vrijednosti, za vrijednosti ΔE od 0.209 do 1.214 iznosi $(6.5 \pm 3.5) \times 10^{-3} \Delta E$ a od 1.232 do 1.906 iznosi $(28.5 \pm 15.7) \times 10^{-3} \Delta E$. Ti podaci mogu poslužiti za ocjenu ujednačenosti osjetljivosti uzorka dozimetara. Dozimetri su jednake osjetljivosti (unutar greške metode) ako je standardna devijacija razlika srednjih vrijednosti optičke gustoće poslije i prije zračenja, $\overline{\Delta E} = (\overline{\Delta E})_D - (\overline{\Delta E})_O$, unutar 9.2 ± 4.9 za dozimetre koji prije i poslije zračenja imaju



Slika 1. Baždarna krivulja - rezultati mjerenja na spektrofotometru etalona poznate nominalne vrijednosti

imaju $\overline{\Delta E} < 1.200$ ili unutar 29.2 ± 16.1 za one kojima je nakon zračenja $\overline{\Delta E} > 1.200$.

Rezultati zračenja i mjerenja dozimetara i sistema u kivetama prikazani su u TAB br 2. Standardne devijacije (s) za ($\overline{\Delta E}$) u koloni 5 pokazuju da su dozimetri jednako osjetljivi unutar greške

mjerenja.

TAB br 2 Rezultati zračenja i mjerenja dozimetara i sistema u kivetama

vrijeme zračenja /min/	$(\overline{\Delta E})_0$	$(\overline{\Delta E})_D$	$(\overline{\Delta E})=(\overline{\Delta E})_D-(\overline{\Delta E})_0$	$s \times 10^3$ (s u %)	$(D_d)_r$ /cGy/	D_k /cGy/
1	2	3	4	5	6	7
10	0.355	0.557	0.202	±6.3 (3.1%)	128.9	120.8
20	0.341	0.742	0.401	±7.5 (1.9%)	255.4	244.7
30	0.353	0.945	0.592	±11.5(1.9%)	386.0	370.2
40	0.339	1.115	0.775	±15.0(1.9%)	510.8	493.3
50	0.353	1.310	0.957	±26.0(2.7%)	626.5	-
60	0.339	1.453	1.114	±30.0(2.7%)	751.1	-
70	0.353	1.623	1.270	±40.0(3.1%)	894.0	-
80	0.339	1.734	1.395	±23.0(1.6%)	1002.2	-

U 6. koloni nalaze se izračunate vrijednosti doza $(D_d)_r$ prema baždarnom dijagramu. Za $(\overline{\Delta E})_0$ korišten je pravac 1, a za $(\overline{\Delta E})_D$ ovisno o vrijednosti pravac 2 ili 3. U 7. koloni date su vrijednosti doza (D_k) dobivene zračenjem sistema TMP u kivetama od 10 cm.

Srednja brzina doze određena dozimetrima DL-M4 iznosi 12.65 ±0.15 cGy/sek a kivetom 12.34±0.12 cGy/sek. Odnos ovih vrijednosti je 1.025 što se može objasniti različitim temperaturama na kojima su spektrofotometrijska mjerenja za dozimetre i kivete vršena (temperaturni koeficijent za promjenu ekstinkcije sistema TMP iznosi -0.8% po stupnju celzija oko 20°C(6), dok za etalonski sistem nije eksperimentalno određen).

ZAKLJUČAK

Reproducibilnost mjerenja ampula na spektrofotometru bolja je od ±1% a granice pouzdanosti srednje vrijednosti doza uzoraka od 10 dozimetara sa 95%-tnom vjerojatnošću, L (95.10), kreću se od 1.1% do 2.3%, što je dovoljno za primjenu dozimetra u radiobiologiji i radioterapiji, uz preciznu kalibraciju za tražena polja zračenja.

Prednosti ove metode prema kolorimetrijskoj (iako su ukupne nesigurnosti približno jednake (5)) su u većoj preciznosti mjerenja (pogodno za vremensko praćenje svojstava dozimetara) i rad kod konstantne temperature. Nedostaci su potreba za skupim instrumentom i složenije izračunavanje doze.

ABSTRACT

The use of spectrophotometric method for dose determination using DL-M4 chemical dosemeter is described. This method is compared with colorimetric one. The reproducibility as well as the accuracy in absorbed dose determination by this method warrant successful use of DL-M4 dosemeters in radiobiological and radiotherapeutical research.

LITERATURA

1. I. DVORNIK, M. ŽIVADINOVIĆ, S. MILJANIĆ i M. RANOGAJEC
Lična dozimetrija zračenja nuklearnog oružja. I Hemijski dozimetar DL-M4 na bazi sistema klorbenzen-etanol-trimetilpentan, Naučno-tehnički PREGLED, Vol. XXXII, br 6, 3-17 (1982).

2. B.L. GOZEMBUK et al., Dozovaja nagruzka na čeloveka v poljah gamma-nejtronogo izlučenija,
ATOMIZDAT, Moskva, (1978).

3. J. ZOETELIEF, Dosimetry and biological effects of fast neutrons. Thesis, University of Amsterdam, (1981).

4. D. GREENE and J. MILES, A transfer instrument for neutron dosimetry. Int. J. Appl. Radiat. Isotop. 27, 239-255(1976).

5. S. MILJANIĆ, I. DVORNIK i M. RANOGAJEC-KOMOR,
Greške očitavanja doza dozimetara DL-M3 na čitaču ČDL-M3, Zbornik radova XI jugoslovenskog simpozija o zaštiti od zračenja, 439-445, Portorož, (1981).

6. I. DVORNIK, U. ZEC, A. ANIĆ and F. RANOGAJEC,
Solid state and chemical radiation dosimetry in medicine and biology (Proc. Symp., Vienna, 1966), 273-280, IAEA, Vienna, (1967).

7. I. DVORNIK, U. ZEC, M. BARIĆ and D. RAŽEM, Handling of radiation accidents (Proc. Symp., Vienna, 1969), 225-233, IAEA, Vienna, (1969).

XII JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid,31.maj - 3 jun 1983.

Mladen Novaković,Hrvoje Cerovac,Dragan Kubelka
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Zagreb,M.Pijade 158

MJERENJE MALIH INTENZITETA EKSPOZICIJE TERMOLUMINISCENTNIM DOZIMETRIMA

SAŽETAK Zbog svoje visoke kumulativosti termoluminiscentni dozimetri predstavljaju pogodan sistem za mjerenja malih intenziteta ekspozicije (prirodno zračenje,transport radioaktivnih izvora, radioaktivni gromobrani i sl.).Na uzorku od 50 dozimetara CaF_2:Mn u staklenoj ampuli (EG&G TL-15 TLD) ispitano je niz parametara: točnost,linearnost,interno samoozračenje,aneling,osjetljivost i fading.Pouzdanim determiniranjem baždarnog faktora i internog samoozračenja pojedinog dozimetra CaF_2:Mn u staklenoj ampuli se može koristiti za takva mjerenja.

UVOD

Termoluminiscentna dozimetrija postala je jedan od uobičajenih načina mjerenja ionizirajućeg zračenja.Visoka osjetljivost točnost,te velika pouzdanost pored niza drugih preferirajućih osobina razlog su sve šire upotrebe ovakvih sistema za mjerenje zračenja od izvora s malim intenzitetom ekspozicije.TL dozimetar u relativno dugom vremenskom intervalu integrira male doprinose od radioaktivnog izvora,pa je jedna od vrlo važnih osobina tog sistema stabilnost,tj.očuvanje autentičnog signala.Zbog praktično neograničene intrinsične stabilnosti za vrijeme upotrebe i očitanja CaF_2:Mn predstavlja podoban sistem za mjerenja malih intenziteta ekspozicije.

OPIS SISTEMA

Dozimetar koji je nizom laboratorijskih i terenskih testova proučavan je EG&G dozimetar Model TL-15(detektor TL-35 i zaštitna

metalna kapsula TL-52) i čitač Victoreen Model 2800.Termoluminiscentni mterijal u dozimetru je CaF_2:Mn u obliku dviju jednakih sintriranih pločica zajedno vezanih za metalnu grijaću nit.Pločice i nit su zataljeni u staklenu kapsulu s CO_2 pod atmosferskim tlakom.Pri upotrebi detektor se nalazi unutar metalne zaštitne kapsule od cinka,aluminija i olova koja reducira preosjetljivost CaF_2:Mn na gama zrake ispod 100 keV.

Čitač Victoreen Model 2800 električki zagrijava CaF_2:Mn pri prolazu struje grijaćom niti u svjetlosno izoliranoj komorici.Zagrijani kristal emitira svjetlost,proporcionalnu ekspoziciji,koju mjeri fotomultiplikatorska cijev.Rezultat u mR,u digitalnoj formi, prikazuje se na displeju.Izvor svjetla iste konfiguracije kao i TL-15 dozimetar služi za provjeru stabilnosti elektroničkog sklopa i podešavanje visokog napona fotomultiplikatora radi postizanja reproducibilnosti.

BAŽDARENJE DOZIMETARA

Budući je očitanje svakog dozimetra dano u proizvoljnim jedinicama potrebno je odrediti baždarni faktor radi konverzije tih jedinica u mR koji se direktno očitaju na displeju čitača.Kao baždarni izvori u reproducibilnim uvjetima korišteni su radij-226 , aktivnosti 0,74 MBq i cezij-137,aktivnosti 3,7 GBq.Ekspozicije su išle od 258 nC/kg do 258 μC/kg (1 mR do 1 R).Svaki dozimetar je izložen poznatim ekspozicijama i očitan deset puta.Iz tih mjerenja određena je za svaki dozimetar srednja vrijednost baždarnih faktora i standardna devijacija.Srednje vrijednosti baždarnih faktora su varirale između 0,21 i 0,43 mR/jedinica čitača.Takva varijacija nalaže pomno baždarenje svakog pojedinog dozimetra.Za uzorak od 50 ispitanih dozimetara osnovni činilac koji je utjecao na varijacije pojedinačnih očitanja za danu dozu bio je podešavanje čitača:podešavanje visokog napona fotomultiplikatora i njegove tamne struje.

INTERNO SAMOOZRAČENJE DOZIMETRA

Interno samoozračenje TL dozimetra potiče od radioaktivnih tvari sadržanih u materijalu od kojih je dozimetar načinjen,a određeno je pohranom dozimetra,prethodno podvrgnutog anelingu, u olovni kontejner s poznatim prirodnim intenzitetom ekspozicije

Anelirani dozimetri su 148 sati držani u kontejneru prije očitanja. Dobiveno očitanje predstavlja zbroj internog ozračenja samog dozimetra i prirodnog zračenja u kontejneru. Naravno, oduzimajući to prirodno zračenje dobije se interno samoozračenje. Za svaki dozimetar načinjeno je 5 mjerenja. Iz tih su rezultata određene srednje vrijednosti intenziteta internih ekspozicija i standardne devijacije. Srednje vrijednosti intenziteta internih ekspozicija kretale su se od 1,6 nC/kgh do 6,1 nC/kgh. Relativno širok interval intenziteta internih ekspozicija zahtijeva striktno određivanje tog parametra za svaki pojedini dozimetar. Inače, glavni doprinos internom ozračenju dozimetara daje kalij-40 iz stakla od kojeg su načinjene ampule.

FADING

Poslije ozračenja signal pohranjen u dozimetru blijedi s vremenom. Ispitivanje fadinga provedeno je kod 18°C sobne temperature. Opaženo je da najveći dio signala izblijedi u prvih 24 sata, a najveći gubitak iznosio je 3 %. Pri kvantificiranju fadinga moguća su dva pristupa. Prvo, pri baždarenju dozimetra vrijeme između ozračenja i očitanja dozimetra uzmemo da je manje od jedan sat. U tom slučaju kod dugotrajnog mjerenja moramo uvesti korekcioni faktor za fading. Ako, naprotiv, pri baždarenju vrijeme između ozračenja i očitanja bude veće od 24 sata, fading i korekcioni faktori se mogu zanemariti.

Preliminarna ispitivanja ukazuju i na efekt starenja TL dozimetra koji uzrokuje povećanje baždarnog faktora, tj. smanjenje osjetljivosti. Efekt je vremenski i nije utjecan upotrebom. To je potvrđeno ozračenjem grupe novih dozimetara 10 puta u 3 dana koji nisu pokazali naknadno nikakvu promjenu baždarnog faktora. Druga grupa je ozračena i očitana 10 puta u toku 6 mjeseci i pokazala je za oko 5 % povećanje baždarnog faktora.

ZAKLJUČAK

Termoluminiscentni dozimetri CaF_2:Mn u staklenoj ampuli mogu se koristiti za mjerenja malih intenziteta ekspozicija s velikom pouzdanošću, ako se točno odredi interno samoozračenje i baždarni faktor za pojedini dozimetar. Fading je karakterističan za sve dozimetre u uzorku, a efekt starenja zahtijeva godišnju reviziju baž-

darnih faktora. Dosadašnja ispitivanja potvrđena su komparativnim mjerenjem prirodnog zračenja na nekoliko lokacija, kao i mjerenjem ekspozicija od zatvorenih izvora koji se koriste pri karotažnim istarživanjima na istražnoj platformi "Zagreb 1".

MEASUREMENT OF SMALL EXPOSURE RATES WITH GLASS-ENCAPSULATED CaF_2:Mn THERMOLUMINESCENT DOSIMETERS

Because of its high sensitivity thermoluminescent dosimeters are suitable systems for measurement of small exposure rates. 50 glass-encapsulated CaF_2:Mn thermoluminescent dosimeters were subjected to extensive laboratory and field tests. Various parameters were ivestigated: such as sensitivity, self dosing, fading and aging.

By proper calibration and determination of self dosing characteristics dosimeters of this type can be used for accurate determination of radiation levels arising from small exposure rate sources.

LITERATURA:

1. G.de Planque Burke: Investigation of a CaF_2:Mn Thermoluminescent Dosimetry System for Environmental Monitoring, USAEC Report HASL-252 (1972)

2. G.de Planque Burke and J.E.McLaughlin: Performance Criteria for Environmental Radiation Monitoring with TLD Systems, IEEE Trans. on Nuclear Science, NS-21, 444 (1974)

3. A.S.Pradhan: Thermoluminiscence Dosimetry and its Applications, Radiation Protection Dosimetry, Vol.1 No.3, Nuclear Technology Publishing

IX с е к ц и ј а : ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊЕ ВО НУКЛЕАРНАТА ЕНЕРГЕТИКА И ИНДУСТРИЈАТА

XII. JUGOSLAVENSKI SIMPOZIJ O ZAŠTITI OD ZRAČENJA

Ohrid, 31. maj - 3. jun, 1983.

S. Lulić, K. Košutić, K. Kvastek i K. Lazarić
Institut "Rudjer Bošković". OOUR Centar za istraživanje mora Zagreb,
Bijenička 54, Zagreb

MONITORING TEKUĆIH ISPUŠTANJA ZA NE KRŠKO

SAŽETAK: Nadzor ispuštanja radionuklida iz nuklearnih elektrana osnovano je brojnim mjerama. Najvažnija od sviju mjera je dobra izgradnja nuklearne elektrane a nakon toga stroga kontrola ispuštanja radionuklida. Ova ispuštanja su konačno kontrolirana mjerenjima radioaktivnosti okoline. Zadnji korak je izvještaj za javnost o rezultatima mjerenja radioaktivnosti okoline i proračun ozračenja stanovništva radom nuklearne elektrane.

U ovom radu prikazane su priroda i količina radionuklida ispuštenih iz nuklearne elektrane, metode mjerenja tekućih eflunata koji dospijevaju u okolinu i proračun potencijalnih puteva ozračenja stanovništva za Nuklearnu elektranu Krško.

1. UVOD

Količina ispuštenih radionuklida u tekućim efluentima iz nuklearnih elektrana i njihova kontrola su odredjene nacionalnim zakonodavstvom. Pošto je princip ozračenja stanovništva na granici dozvoljenog, količina tekućih ispuštanja radionuklida iz nuklearnih elektrana je strogo ograničeno. Na taj način, dobra izvedba nuklearne elektrane će uzrokovati minimizaciju rutinskog ispuštanja ili u slučaju moguće nezgode i jednostavnijoj kontroli ispuštanja radioaktivnih efluenata. Odredjivanjem tehničkih specifikacija za ispuštanje radioaktivnih efluenata služiti će za proračun ozračenja stanovništva, koji će uzeti u obzir najvažnije puteve ozračenja za sve radionuklide ispuštene u okolinu.

2. IZVORI I PUTEVI ISPUŠTANJA RADIOAKTIVNOSTI

2.1. Općenito

Općenito, ispusti, putevi ispuštanja i očekivani radionuklidi dani su u sigurnosnim izvještajima (Safety Report) Nuklearne elektrane Krško i kritičnom osvrtu stručnjaka.

2.2. Nastajanje radionuklida u vodom hladjenih reaktora

Nastanak radionuklida u reaktorima je zavisno o izotopnom sastavu svih individualnih elemenata nepromjenjivog sadržaja u gorivu, hladiocu i strukturi materijala koji služi za izgradnju nuklearne elektrane.

Općenito, gotovo svi radionuklidi nastali u gorivu će biti sadržani unutar košuljice goriva. Glavni izvor radioaktivnosti u vodi primarnog kruga će biti kratko-živući aktivacioni plinovi, ^{16}N. Ostali aktivacioni produkti (^{17}N, ^{19}O, ^{13}N i ^{18}F) će nastati u manjim količinama.

Fisioni produkti će nastati u primarnoj vodi samo zbog površinske kontaminacije gorive košuljice sa uranom.

Nuklidi od najveće praktične važnosti su radionuklidi joda. Visok postotak iskorištenja pri fisiji, srednje vrijeme poluraspada, velike brzine taloženja i procesi obogaćenja u okolini sve to čini da ^{131}I je najvažniji limitirajući radionuklid u reaktoru.

Mnogi drugi fisioni i aktivacioni produkti će biti prisutni u primarnoj vodi, otopljeni u ionskom ili koloidnom stanju ili suspendirani kao partikule (^{54}Mn, ^{56}Mn, ^{51}Cr, ^{64}Cu, ^{55}Fe, ^{59}Fe, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{65}Zn, ^{110m}Ag, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{140}Ba, ^{140}La, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{132}Te, ^{124}Sb, ^{125}Sb). Količina ovih radionuklida će ovisiti o kemijskoj pripremi primarne vode, dodatkom kemikalija, vrsti materijala (čistoći i korozivnim produktima) i dr.

U primarnoj vodi takodjer će biti prisutan ^{239}Np, ^{239}Pu i drugi aktinidi. Ovi radionuklidi su jedan od indikatora puknuća goriva.

3. MONITORING

3.1. Općenito

Da bi se udovoljilo Zakonu o zaštiti od ionizirajućeg zračenja, koncentracije radioaktivnih supstanci u tekućem efluentu iz Nuklearne elektrane Krško su odredjene tako da ne prelaze maksimalno dozvoljene koncentracije za vodu, dane Pravilnikom o maksimalno dopuštenim granicama radioaktivne kontaminacije čovjekove okoline i o obavljanju dekontaminacije. Na osnovu gore spomenutog

Pravilnika maksimalno dozvoljene koncentracije za pojedini radionuklid ili za smjesu radionuklida mogu biti korištene. Poznato je da su za pojedine radionuklide različiti putevi ozračenja stanovništva.

Pri monitoringu tekućih efluenata pokazala se metoda mjerenja smjese radionuklida kao najuspješnija. Vrlo je važno da monitoring efluenata u okolini se sprovodi kontinuirano, jer na taj način može se odrediti i nivo akcidentalnog ispuštanja. Takodjer podaci monitoringa služe za proračun ozračenja stanovništva.

3.2. Monitoring Nuklearne elektrane Krško

Monitoring NE Krško kontrolira potpuno ispuštanje radionuklida u plinovitim i tekućim efluentima.

Program monitoringa NE Krško sačinjen je na osnovu:
- pretpogonskih mjerenja radioaktivnosti u okolini NE Krško,
- kontrole normalnog rada NE Krško i
- odredjivanja akcidentalnih ispuštanja radioaktivnosti u okolinu.

Metode uzorkovanja i mjerenja u monitoringu okoline za vrijeme normalnog rada uključuje:

1. kontinuirano mjerenje gama zračenja u zraku - in situ (mjesta za uzorkovanje),
2. mjerenjem gama zračenja zraka - in situ (mjerenjem na terenu),
3. kontaminirano uzorkovanje in situ i mjerenje uzoraka u laboratoriju (mjesta za uzorkovanje),
4. uzorkovanje in situ i mjerenje uzetih uzoraka ili mješanih uzoraka (mjerenjem na terenu),
5. laboratorijska mjerenja specijalnih uzoraka okoline.

Monitoring NE Krško podijeljen je u slijedeće grupe:

I zrak i precipitacija
II zemlja i vegetacija
III prehrambeni lanci na zemlji
IV površinske i podzemne vode
V prehrambeni lanac u vodi.

Mi ćemo se u ovom radu ograničiti samo na grupe IV i V monitoringa NE Krško što ćemo prikazati u vidu tablice.

IV Površinske i podzemne vode

Vrsta mjerenja	Način mjerenja i uzorak	Učestalost
a) β-aktivnost	kontinuirano - voda rijeke Save - suspendirana tvar Save	dnevna
b) β-aktivnost γ-aktivnost	voda, suspendirana tvar rijeke Save	mjesečna
c) ^{3}H, $^{89,90}Sr$, α-aktivnost	voda rijeke Save	kvartalno
d) γ-aktivnost	suspendirana tvar rijeke Save	polugodišnje
e) β-aktivnost γ-aktivnost ^{3}H, $^{89,90}Sr$ α-aktivnost	podzemna voda	kvartalno

V Prehrambeni lanac u vodi

Vrsta mjerenja	Uzorak	Učestalost
β-aktivnost γ-aktivnost $^{89,90}Sr$ α-aktivnost	ribe sediment* biološki uzorci iz prehrambenog lanca riba	polugodišnje

*α-aktivnost

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu takovog sprovedenog monitoringa programa, predpogonskih mjerenja i podataka o količinama ispuštenih radionuklida iz Nuklearne elektrane Krško u mogućnosti smo da odredimo doze ozračenja stanovništva, odnosno sam rad nuklearne elektrane Krško i njenog pridržavanja tehničkih ograničenja.

ABSTRACT

Surveillance of radionuclides released from nuclear power plants is based on a number of different measures. First of all, a good design of the plant to minimize releases will have been asked for. Then, a strict emission control is provided. This emission control is completed by environmental measurements. The final step is to report to the public the results of the measurements and the calculated potential radiation exposure of the public.

In this work the nature and the amount of radionuclides released from nuclear power plants, methods of monitoring the liquid effluents in the environment, and the calculation of the potential radiation exposure of the public for nuclear power plant Krško are discussed.

5. LITERATURA

1. J. Schwibach et al., Surveillance of Radionuclides Released from Nuclear Power Plants.
2. Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja, Sl. list SFRJ, 54/76.
3. Pravilnik o maksimalno dopuštenim granicama radioaktivne kontaminacije čovjekove okoline i o obavljanju dekontaminacije, Sl. list SFRJ, 32/79.
4. Final Safety Analysis Report, NE Krško.

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

R. Simović
V. Stančić

Institut za nuklearnu energetiku
i tehničku fiziku, NET IBK
P. Fah 522, 11001 Beograd

PRORAČUN PROSTIRANJA ZRAČENJA U NUKLEARNIM REAKTORIMA RA I RB PRIMENOM PROGRAMA SABINE-3

REZIME Primenom programa SABINE-3 za jednodimenzijalni proračun reaktorske zaštite, analizirano je prostiranje neutronskog i gama zračenja u nuklearnim reaktorima RA i RB u Vinči.

UVOD

U svetu je danas u upotrebi veći broj računarskih programa za proračun prostiranja neutronskog i gama zračenja od izvora različitih vrsta. NET IBK biblioteka računarskih programa poseduje neke od ovih kodova (ANISN, REDIFFUSION, DOT, SABINE i TIMOC), dok su drugi (QAD, TWOTRAN) već naručeni od NEA -DATA BANK te se njihova upotreba uskoro očekuje.

Selekciju među kodovima moguće je izvršiti bilo prema kompleksnosti geometrije problema koji se njima može rešiti (jednodimenzijalni i višedimenzijalni programi), ili prema metodološkom postupku koji je u osnovi proračuna (difuziona metoda sa presekom uklanjanja, rešavanje transportne jednačine metodom diskretnih ordinata, Monte Karlo metoda, integracija tačkastog izvora, itd.). Sa stanovišta brzine proračuna prednost imaju jednostavniji kodovi koji aproksimativno rešavaju transportnu jednačinu neutrona postupkom kombinovanja difuzione metode i fluksa neuklonjenih neutrona, a transport gama zračenja reprezentuju nesudarenim fluksom korigovanim empirijski određenim faktorima ugradnje.

U ovom radu biće prikazani rezultati primene programa SABINE

-3 na proračun prostorne raspodele nuklearnog zračenja i jačine ekvivalentne doze zračenja u reaktorima RA i RB u Vinči. Prostorna raspodela neutronskog fluksa verifikovana je dvodimezijalnim difuzionim kodom FOTO (NET IBK verzija programa TWENTYGRAND).

OSOBINE PROGRAMA SABINE-3

SABINE-3 /1/ je treća verzija programa za jednodimenzijalni proračun zaštite od nuklearnog zračenja. Program izračunava prostorne raspodele sledećih fizičkih veličina:

- neutronskog fluksa u 26 energetskih grupa;
- jačine ekvivalentne doze neutrona;
- integrala po energiji proizvoda neutronskog fluksa i različitih funkcija odziva (brzine reakcija, aktivacije);
- gama fluksa u 7 energetskih grupa;
- jačine ekvivalentne doze i energije deponovane gama zračenjem.

Dopuštene su sve tri geometrije izvora i štita (ravna, sferna i cilindrična) i ukupno 22 materijalno homogene različite zone (2 za izvor i 20 za štit). U slučaju cilindrične geometrije postoji i opcija aksijalnog proračuna, to jest štita u obliku diska.

Proračun neutronskog fluksa zasniva se na kombinovanoj teoriji difuzije i preseka za uklanjanje, a gama zračenja na fluksu nesudarenih čestica, korigovanom empirijskim faktorima ugradnje koji zavise od materijala i energije.

SABINE-3 raspolaže sopstvenom bibliotekom nuklearnih podataka. Za brze neutrone, fisionim spektrom i energetski zavisnim presecima za uklanjanje, a za difuzioni proračun potrebnim mikroskopskim grupnim presecima. Za proračun gama zračenja biblioteka je snabdevena podacima o gama fisionom spektru, faktorima konverzije fluksa u ekvivalentnu dozu, grupnim mikroskopskim presecima i faktorima ugradnje za najčešće korišćene materijale štita. Ukupan broj elemenata i materijala zastupljenih u biblioteci je 33.

Program je zapisan u Fortran - IV jeziku, a instalisan je na računaru IBM - 370/3031.

PRORAČUN PROSTIRANJA NUKLEARNOG ZRAČENJA U REAKTORIMA RA I RB

Radi verifikacije programa SABINE-3 izvršen je komparativan proračun reaktora RB u Vinči.

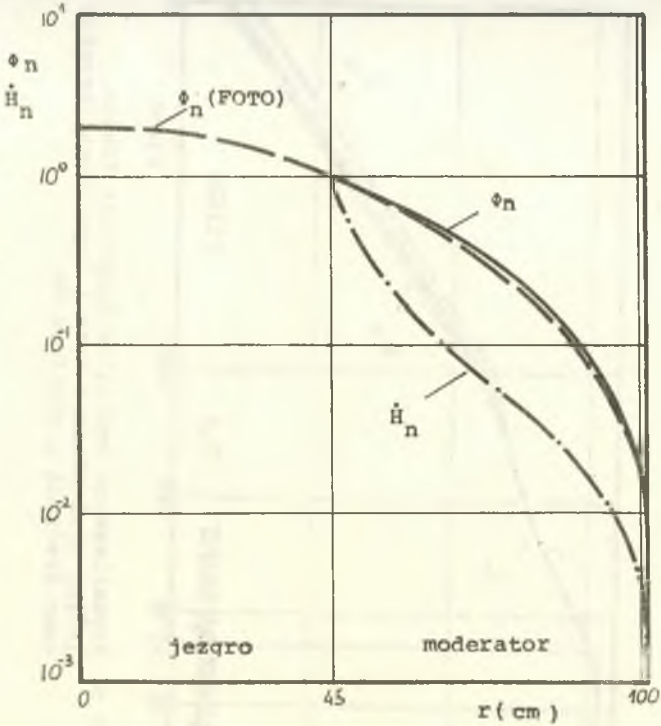
RB je teškovodni goli sistem nulte snage i jednostavne geometrije u obliku trozonog cilindra (jezgro, moderator i reaktorski

sud) konačne visine. Za analizu izabrano je jezgro poluprečnika 45 cm, sačinjeno od od 37 gorivnih kanala sa 80% obogaćenim gorivom u kvadratnoj rešetki koraka 13 cm. Dvodimenzijalnim difuzionim kodom FOTO (NET IBK verzija programa TWENTYGRAND) /2/, određena je radijalna raspodela fluksa u reaktoru, a potom je programom SABINE-3 proračun ponovljen za zonu moderatora (koji je shvaćen kao deo štita) i reaktorski sud (Slika 1). Pri ovome su radijalne i aksijalne raspodele fluksa neutrona i gustine izvora neutrona i gama zračenja, dobijeni programom FOTO, korišćeni za ulazne podatke programa SABINE-3. Slaganje rezultata je zadovoljavajuće, a neznatno precenjivanje fluksa dobijeno programom SABINE-3, predstavlja odstupanje u povoljnom smeru. Na istoj slici prikazana je i radijalna raspodela jačine ekvivalentne neutronske doze. Slika 2 predočava normalizovane raspodele fluksa i jačine ekvivalentne doze gama zračenja.

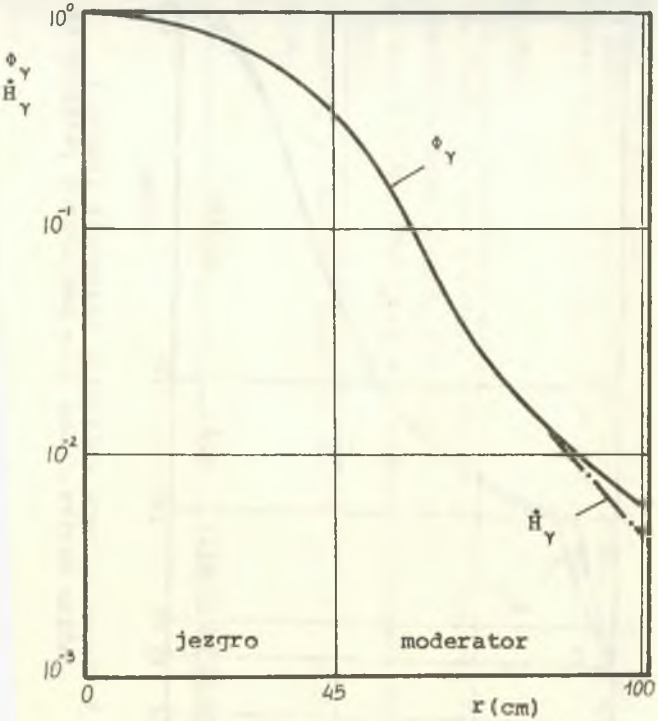
Za proračun prostiranja zračenja u reaktoru RA izabrana je konfiguracija jezgra sa centralnim reflektorom poluprečnika 22 cm i gorivnim slojem debljine 33 cm, sačinjenim od 44 kanala 80% obogaćenog goriva u rešetki koraka 13 cm. Ostali podaci o geometriji i materijalnom sastavu reaktora preuzeti su iz raspoložive dokumentacije /3/.

Programom SABINE-3 izračunato je radijalno slabljenje neutronskog fluksa i jačine ekvivalentne doze kroz pet cilindričnih slojeva (teška voda, aluminijumski sud, grafitni reflektor, lakovodna i betonska zaštita) reaktora. Rezultati su prikazani na Slici 3. Degradacija fluksa, jačine doze i deponovane energije gama zračenja pokazani su na Slici 4.

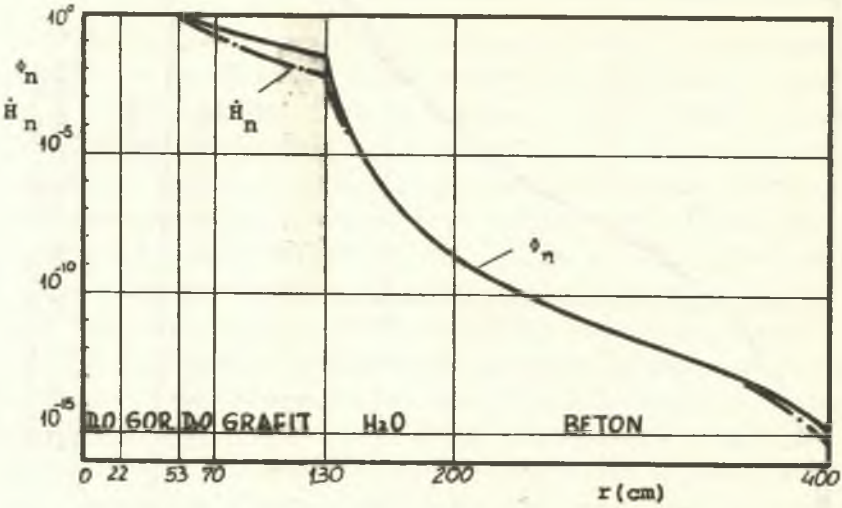
I ovim proračunima potvrdilo se da su jednostavnost formiranja ulaznih podataka i brzina rada odlike koda SABINE-3. Konačan sud o preciznosti proračuna prolaza zračenja kroz debele slojeve zaštite, kakav je slučaj upravo kod štita reaktora RA (posebno kada je u pitanju transport gama zračenja), može se dati jedino posle upoređenja sa vrednostima dobijenim merenjem ili proračunom pomoću preciznijih transportnih kodova.



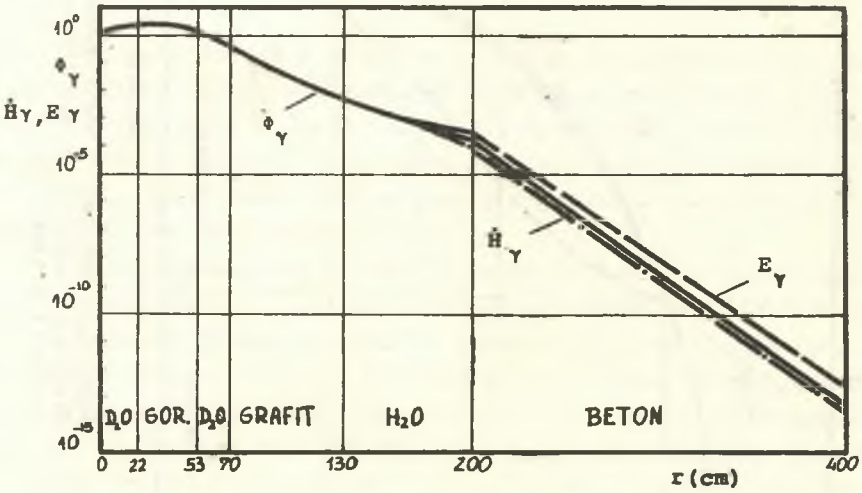
Slika 1. Normalizovane radijalne raspodele fluksa i jačine ekvivalentne doze neutrona u reaktoru RB



Slika 2. Normalizovane radijalne raspodele fluksa i jačine ekvivalentne doze gama zračenja u reaktoru RB



Slika 3. Normalizovane radijalne raspodele fluksa i jačine ekvivalentne doze neutrona u reaktoru RA



Slika 4. Normalizovane radijalne raspodele fluksa, jačine ekvivalentne doze i deponovane energije gama zračenja u reaktoru RA

ABSTRACT The one-dimensional code for reactor shielding calculations, SABINE-3, is applied to analise neutron and gamma-rays transport through the nuclear reactors RA and RB at Vinča.

LITERATURA

/1/ C. Ponti, R. Van Heusden, Sabine-3, An Improved Version of the Shielding Code SABINE, EUR 5159 e, 1974.

/2/ A. Kocić i dr, "Uputstvo za korišćenje programa FOTO", IBK-1374, 1977.

/3/ Directory of Nuclear Reactors, Vol.V, p. 217, IAEA, Vienna, 1964.

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

D.Altiparmakov
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

EFEKTI APROKSIMACIJE ANIZOTROPIJE RASEJANJA NEUTRONA U MULTIGRUPNIM PRORAČUNIMA ZAŠTITE OD ZRAČENJA

REZIME: Razvoj preseka za rasejanje neutrona u red po Ležandrovim polinomima od ugla rasejanja pretstavlja jedan od ustaljenih postupaka u rešavanju problema transporta neutrona. Zbog velikih prostornih gradijenata neutronskog fluksa, efekti ove aproksimacije dolaze do posebnog izražaja u proračunima zaštite od zračenja. U ovom radu, prikazana je jedna metoda proračuna prostiranja zračenja, koja uračunava anizotropiju rasejanja neutrona. Na osnovu proračuna jednostavnih problema, za osnovne zaštitne materijale, utvrdjena je optimalna aproksimacija anizotropije rasejanja sa aspekta tačnosti i brzine proračuna.

1. UVOD

Prostiranje neutronskog zračenja u zaštitnim materijalima nuklearnog reaktora opisuje se istim matematičkim aparatom (Boltzmannova transportna jednačina) kao i u samom jezgru reaktora. Medjutim, zbog jakog slabljenja intenziteta zračenja sa rastojanjem proračun zaštite pretstavlja poseban problem.

Zahtev za brzim proračunima postavlja pitanje optimalnog izbora pojedinih aproksimacija i usaglašavanja njihovih tačnosti. U izboru metode rešavanja mora se poći od sledećih specifičnosti prostiranja zračenja u zaštiti:

- značajne promene energetskog spektra neutrona,
- jako slabljenje neutronskog fluksa,
- izražena anizotropija neutronskog fluksa i
- nezanemarljiv uticaj anizotropije rasejanja neutrona.

U ovom radu izložena je jedna metoda za proračun prostiranja neutronskog zračenja u jednodimenzionoj pločastoj geometriji (najčešće korišćeni model u zaštiti), koja uračunava anizotropiju rasejanja neutrona. U ovoj metodi, energetska zavisnost se rešava primenom multigrupne aproksimacije, dok se prostorno-ugaona zavisnost odredjuje rešavanjem integralne transportne jednačine sa anizotropnim rasejanjem.

2. APROKSIMATIVNO REŠAVANJE MULTIGRUPNE TRANSPORTNE JEDNAČINE

Prostorno-energetska raspodela ugaonih harmonika neutronskog fluksa u multigrupnoj aproksimaciji transportne jednačine opisuje se sledećim sistemom integralnih jednačina /1/:

$$\phi_{gn}(x) = \sum_{g'=1}^{g} \sum_{n'=0}^{N} \frac{2n'+1}{2} \int_0^d \phi_{g'n'}(x') \Sigma_{s,n'}^{g'\to g}(x') T_{g,nn'}(x,x')dx' + S_{gn}(x), \quad (1)$$

$$(g=1,\ldots G;\ (n=0,\ldots N))$$

u kome veličine imaju sledeći oblik:

$$T_{g,nn'}(x,x') = [\mathrm{sgn}(x-x')]^{n+n'} \int_0^1 \frac{P_n(\mu)P_{n'}(\mu)}{\mu} e^{-\tau_g(x,x')/\mu} d\mu , \quad (2)$$

$$\tau_g(x,x') = \left| \int_{x'}^{x} \Sigma_{tg}(x'')dx'' \right| , \quad (3)$$

$$S_{gn}(x) = \int_0^1 P_n(\mu) f_g(\mu) e^{-\tau_g(x,0)/\mu} d\mu . \quad (4)$$

Veličine u jednačinama (1-4) imaju sledeće značenje:

g, g' - indeksi energetskih grupa neutrona,
G - ukupni broj energetskih grupa,
n, n' - indeksi ugaonih harmonika,
N - ukupni broj ugaonih harmonika, koji je uslovljen aproksimacijom anizotropije rasejanja neutrona,
$P_n(\mu)$ - Ležandrov polinom stepena n,
d - debljina sistema u kome se rešava transport zračenja,
ϕ_{gn}, S_{gn} - n-ti harmonici fluksa i izvora neutrona,
$\Sigma_{s,n}^{g'\to g}$ - n-ti harmonik preseka za rasejanje neutrona iz grupe g' u g
$\Sigma_{t,g}$ - totalni presek za reakoiju neutrona grupe g.

U jednačini (4), koja opisuje izvor neutrona, pretpostavljeno je da zračenje dolazi samo sa jedne spoljašne površine (x=0) i sa ugaonom raspodelom $f_g(\mu)$.

Označavajući sa $c_m^{n,n'}$ koeficijente polinoma koji se dobijaju proizvodom Ležandrovih polinoma $P_n(\mu)$ i $P_{n'}(\mu)$. posle integracije po kosinusu ugla, podintegralna funkcija (2) (analogno i funkcija izvora neutrona (3)) može da se pretstavi u obliku linearne kombinacije eksponencijalnih integralnih funkcija $E_m(t)$ na sledeći način:

$$T_{g,nn'}(x,x') = \sum_{m=0}^{n+n'} c_m^{n,n'} E_{m+1}(\tau_g(x,x')) \quad . \tag{5}$$

Za odredjivanje prostorne raspodele ugaonih harmonika fluksa primenjeno je aproksimativno rešavanje integralnih jednačina metodom kvadraturnih formula interpolacionog tipa /2/. U svakoj materijalnoj zoni indeksa z i prostornih granica X_{z-1} i X_z pretpostavi se I_z interpolacionih čvorova $x_{z,i}$. Pod pojmom materijalna zona podrazumeva se jedna ploča od homogenog materijala. Sada, ugaoni harmonici fluksa i izvora neutrona mogu da se aproksimiraju interpolacionim polinomima po njihovim (nepoznatim) vrednostima u čvorovima na sledeći način:

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{gn}(x) \\ S_{gn}(x) \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^{I_z} \begin{Bmatrix} \Phi_{gnzi} \\ S_{gnzi} \end{Bmatrix} \omega_{z,i}(x), \quad \omega_{z,i}(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{I_z} \frac{x - x_{z,j}}{x_{z,i} - x_{z,j}}, \quad x \in [X_{z-1}, X_z] \tag{6}$$

gde je korišćena sledeća notacija: $\Phi_{gnzi} = \Phi_{gn}(x_{z,i})$ i $S_{gnzi} = S_{gn}(x_{z,i})$, a $\omega_{z,i}(x)$ su funkcije uticaja interpolacionih čvorova.

Koristeći aproksimaciju (6), kada se sistem integralnih jednačina(1) napiše za sve interpolacione čvorove, dobija se sledeći sistem linearnih algebarskih jednačina, koji odredjuje skelet aproksimacije transportne jednačine:

$$\Phi_{gnzi} = \sum_{g'=1}^{g} \sum_{n'=0}^{N} \frac{2n'+1}{2} \sum_{z'=1}^{Z} \Sigma_{s,z,n'}^{g'\to g} \sum_{i'=1}^{I_{z'}} T_{gnzi,g'n'z'i'} \Phi_{g'n'z'i'} + S_{gnzi} \quad , \tag{7}$$

$$(g=1,\ldots G;\ (n=0,\ldots N;\ (z=1,\ldots Z;\ (i=1,\ldots I_z))))$$

ili u sledećem matričnom obliku:

$$\Phi = A\,\Phi + S \quad , \qquad (7$$

gde su ϕ i S vektori dimenzija $G\cdot N\cdot I$ $(I=\sum_{z=1}^{Z} I_z)$, a A je kvadratna matrica dimenzija $(G\cdot N\cdot I)\times(G\cdot N\cdot I)$. Zbog izuzetno velikih dimenzija (broj jednačina može dostići vrednost od nekoliko hiljada), direktno rešavanje sistema jednačina (7) je praktično nemoguće.

Usled rasejanja na jezgrima sredine neutroni mogu samo da izgube deo svoje energije, te je matrica rasejanja donje-trougaona. Kao posledica toga, matrica A ima donje-trougaonu blok-strukturu. Na osnovu toga, sistem (7) može da se rešava sukcesivno po grupama, počev od prve pa naniže. Izdvajanjem dela jednačine koji sadrži rešenje za više grupe u vektor slobodnih članova, dobija se sledeći sistem matričnih jednačina:

$$\phi_g = A_{gg}\phi_g + U_g\ , \quad U_g = \sum_{g'=1}^{g-1} A_{gg'}\phi_{g'} + S_{g'}\ , \quad (g=1,\ldots G) \tag{8}$$

gde su ϕ_g, U_g i S_g vektori dimenzija $N\cdot I$, a $A_{gg'}$ odgovarajuće komponente matrice A.

Dalje pojednostavljenje rešavanja sistema (7) postiže se iteracijom ugaonih harmonika fluksa. Imajući u vidu činjenicu da izotropno rasejanje u odredjenim slučajevima (mali prostorni gradijenti fluksa ili male debljine zaštitnog sistema) pretstavlja dobru aproksimaciju, može se očekivati (i bez strože matematičke analize) da će ovakva iteracija brzo konvergirati. Primenom metode sukcesivnih blok-relaksacija, rešavanje sistema (7) svodi se na rešavanje sledećih sistema matričnih jednačina:

$$\phi_{gn}^{(k+1)} = A_{gn,gn}\,\phi_{gn}^{(k+1)} + V_{gn}^{(k+1)}\ , \quad V_{gn}^{(k+1)} = \sum_{n'=0}^{n-1} A_{gn,gn'}\,\phi_{gn'}^{(k+1)} + \sum_{n'=n+1}^{N} A_{gn,gn'}\,\phi_{gn'}^{(k)} + U_{gn}\ , \tag{9}$$

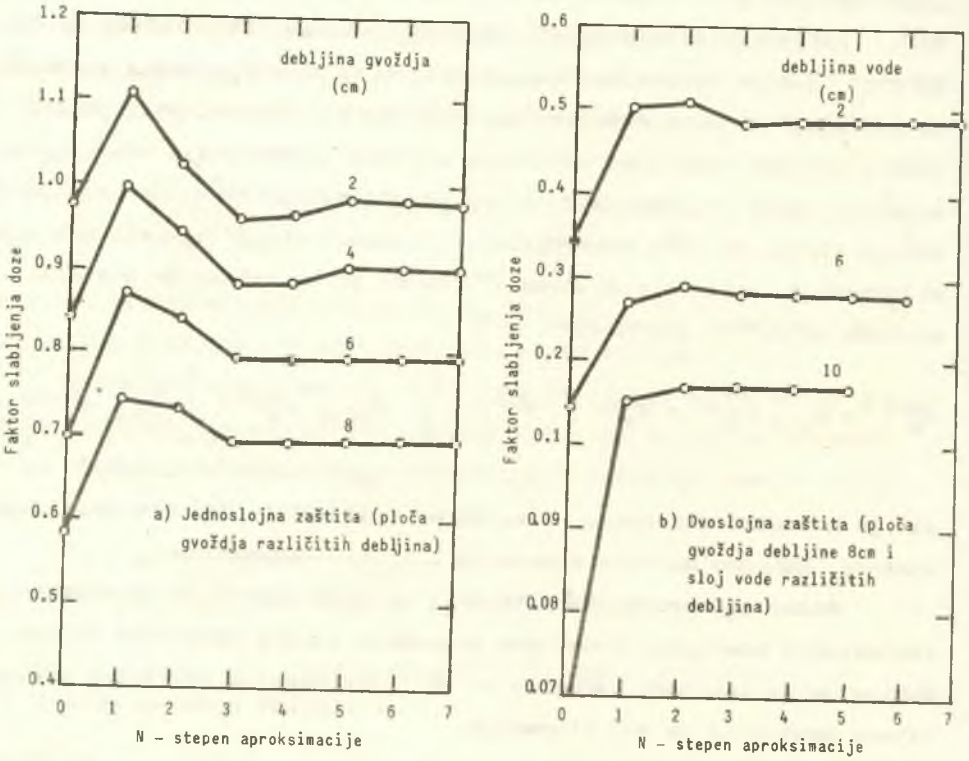
$$(g=1,\ldots G;\ (n=0,\ldots N))$$

gde je k indeks iteracije, a veličine u jednačini (9) pretstavljaju vektore, odnosno matrice dimenzija I i $I\times I$, respektivno.

Rezultati proračuna potvrdili su očekivanu brzu konvergenciju iterativnog postupka. Prostorna raspodela nultog harmonika fluksa dobija se sa lokalnom tačnošću od 10^{-4} (kriterijum završetka iterativnog postupka) sa 4-6 iteracija.

3. REZULTATI PRORAČUNA

Izložena metoda realizovana je računarskim programom ITTASPG (Integral Transport Theory with Anisotropic Scattering in Plane Geometry), koji je napisan u programskom jeziku FORTRAN IV za računsku mašinu CDC-3600. Program je testiran serijom proračuna transporta neutrona u zaštitnom sistemu od gvoždja i vode (osnovni materijali biološkog štita nuklearnog reaktora). Proračuni su izvršeni u 27-grupnoj aproksimaciji, koristeći kombinaciju multigrupnih konstanti iz ref. /3,4/. Radi eventualnog poredjenja sa eksperimentalnim rezultatima, kao izvor neutrona pretpostavljen je konvertor neutronskog fluksa na reaktoru RB /5/. Analiza efekata aproksimacije anizotropije rasejanja izvršena je pomoću jednog integralnog rezultata - faktora slabljenja doze (odnos doza iza i bez zaštitnog sistema). Rezultati proračuna za ploču gvoždja, kao i za ploču gvoždja sa slojem vode prikazani su na Sl.1.



Sl.1: Faktor slabljenja doze u zavisnosti od stepena aproksimacije anizotropije rasejanja

ZAKLJUČAK

Metodom koja je predložena u ovom radu omogućava se veoma tačno izračunavanje prostiranja neutronskog zračenja (ili zračenja drugih neutralnih čestica) kroz zaštitne materijale. Polazeći od integralne transportne teorije, ova metoda egzaktno uračunava anizotropiju neutronskog fluksa. Medjutim, radi postizanja što veće brzine proračuna, a još uvek sa potrebnom tačnošću, neophodno je da se usaglase ostale aproksimacije. Greške (netačnosti) koje se unose multigrupnom aproksimacijom direktno su uslovljene bibliotekom multigrupnih podataka i njihovom pripremom. S druge strane, primena polinomijalnih aproksimacija prostorne zavisnosti fluksa omogućava postizanje visoke tačnosti (sa malim brojem nepoznatih) i pored velikih prostornih gradijenata. Dakle, ostaje da se odredi stepen aproksimacije anizotropije rasejanja, koji je potreban za postizanje željene tačnosti i dovoljne brzine proračuna. Iz prikazanih rezultata, uočava se da sa povećanjem debljine zaštite, greška faktora slabljenja doze rapidno raste. Medjutim, vidi se da već P_3 aproksimacija daje dovoljno dobre rezultate.

EFFECTS OF THE SCATTERING ANISOTROPY APPROXIMATION IN MULTIGROUP RADIATION SHIELDING CALCULATIONS

ABSTRACT: Expansion of the scattering cross-sections into Legendre series is the usual way of solving the neutron transport problems. Because of the large space gradients of the neutron flux, the effects of that approximations becom especially remarcable in the radiation shielding calculations. In this paper, a method taking into account the scattering anisotropy is presented. From the point of view of the accuracy and computing speed, the optimal approximation of the scattering anisotropy is established for the basic protective materials on the basis of simple problem calculations.

REFERENCE:

1. B.R.Bergeljson, A.P.Suvorov, B.Z.Torlin: "mnogogrupovie metodi rasčeta zaštiti ot nejtronov", Atomizdat, Moskva, 1970.
2. V.I.Krilov, V.V.Bobkov, P.I.Monastirnij: "Vičisljiteljnie metodi" Tom II, Izd. "Nauka", Moskva, 1976.
3. T.A.Germogenova i dr.:"Perenos bistrih nejtronov v ploskih zaštitah", Atomizdat, Moskva, 1971.
4. L.P.Abagjan i dr.: "Grupovie konstanti dlja rasčeta jadernih reaktorov", Atomizdat, Moskva, 1964.
5. P.Strugar i dr.: "Konvertor neutrona na reaktoru RB", XXI Konferencija ETAN-a, 1977.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

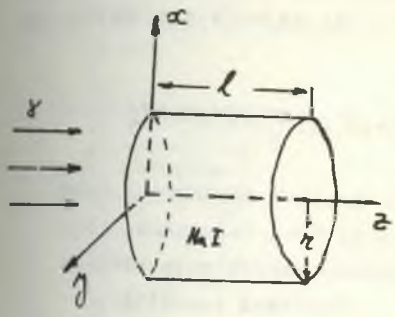
Antanasije Kocić
Our Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku "NET"

PROŠIRENE MOGUĆNOSTI MONTE KARLO PROGRAMA TRANSFER I VINRAM

REZIME U radu se razmatraju mogućnosti Monte Karlo programa TRANSFER i VINRAM pogodnih za analizu različitih problema zaštite i neutronskih problema fisionih i hibridnih sistema.Osnovne verzije programa su poboljšane i njihove nove mogućnosti su:analiza odziva scintilacionih detektora (TRANSFER) i proračun neutronske zaštite kontejnera i proračun hibridnih sistema (VINRAM).

1.UVOD - Monte Karlo metoda našla je najširu primenu u analizi kritičnosti /3/ kao i u problemima proračuna zaštite /4/,gde je,pored S_N metode,praktično jedina šire primenjena metoda.U poslednje vreme i za proračun hibridnih sistema takođe se primenjuje Monte Karlo metoda.Program TRANSFER,koji je prvobitno pisan za proračun fisionih konvertora,najpre je dopunjen mogućnošću za analizu prolaza neutrona kroz debele slojeve materijala /6/,a u ovom radu će biti reči o novoj mogućnosti analize odziva scintilacionih detektora. Program VINRAM je u osnovi pisan za proračun kritičnosti kompaktnih brzih fisionih sistema,a njegove mogućnosti proširene su na proračun geometrijski komplikovanih kontejnera kao i na proračun hibridnih sistema.Sve ove tri mogućnosti biće u kratkim crtama prokazane u radu.

2.PRORAČUN EFIKASNOSTI NaI DETEKTORA - Za interpretaciju eksperimentalnih rezultata koji se dobijaju korišćenjem NaI kristala važni parametri su detekciona efikasnost i veličina odzivnog impulsa.Za određivanje ovih parametara Monte Karlo metoda je vrlo pogodna.U Monte Karlo programu TRANSFER postoji mogućnost tretiranja cilindričnog sistema na čiju osnovu pada neutronski snop.Ova mogućnje iskorišćena tako da se sada posmatra snop -zraka koji pada na



Sl.1.

NaI kristal. Energije γ-izvora su u u opsegu 15KeV do 2oMev. Osim ove mogućnosti uvedena je i nova mogućnost tretiranja uniformnog elipsoidnog izvora proizvoljnih dimenzija koji leži u ravni paralelnoj sa osnovom cilindra, a ciji centar može biti bilo gde u datoj ravni. Posmatraju se sledeće reakcije: a)koherentno rasejanje, b)fotoelektrični efekat, c)Comptonovo rasejanje, d)stvaranje parova, e)usporavanje naelektrisanih čestica-i f)bremsstralung zračenje.

U Tabeli I dati su rezultati proračuna poređeni sa rezultatima iz literature (/7/ i /8/).

TABELA I. Poređenje proračuna sa eksperimentalnim vrednostima

E(MeV)	TRANSFER	/7/	/8/	E(MeV)	TRANSFER	/7/	/8/
0,323	0,634	0,59	0,58	1,52	0,167	0,19	0,16
0,662	0,34o	0,34	0,35	1,85	0,139	-	0,13
1,17o	0,2o9	0,2o	0,2o	2,75o	0,o98	-	0,o89
1,33o	0,187	0,19	0,16	3,13o	0,o83	-	0,o76

3.PRORAČUN KRITIČNOSTI BRZIH SISTEMA - Jedna od najefikasnijih primena Monte Karlo metode je proračun kritičnosti brzih fisionih sistema i uočena je već u najranijoj primeni ove metode /9/ i najopštije posmatrano i u programu VINRAM korišćen je isti prilaz. Kao i u prethodnom slučaju izostavićemo opisivanje metode, već ćemo navesti samo mogućnosti i neke od dobivenih rezultata. Sistem može da bude u obliku lopte ili konačnog cilindra. Cela energetska oblast podeljena je na 2o energetskih grupa. Za ilustraciju mogućnosti posmatraćemo četiri "benchmark" zadatka: JEZEBEL, GODIVA, TOPSY i POPSY ,/1o/. Specifikacije ovih sistema date su u TABELI II. Za ove sisteme izvršen je proračun veličina Keff i Λ (srednje vreme života generacije), gde je Λ definisano kao

$$\Lambda = \frac{\langle \phi^* v^{-1} \phi \rangle}{\langle F\phi^*, \nu \Sigma_f \phi \rangle}$$

sa v- neutronskom brzinom, F - fisionim spektrom, Φ^*- adjungovanim i Φ- neutronskim fluksom, a Keff je definisano kao najveća svojstvena vrednost integralne jednačine

$$n(R,\Omega,E) = \frac{1}{K_{eff}} \sum_j \int \eta_j(R,E') K(R',\Omega',E' \to R,\Omega,E) n(R',\Omega',E') dR' d\Omega' dE'$$

sa n(R,Ω,E) funkcijom gustine verovatnoće gustine neutrona u tački faznog prostora $\{R,\Omega,E\}$, $\eta(R,E)$ je srednji broj trenutnih fisionih neutrona, a $K(R',\Omega',E' \to R,E,\Omega)$ je gustina verovatnoće prelaza iz tačke $\{R',\Omega',E'\}$ u tačku $\{R,\Omega,E\}$. Dobiveni rezultati prikazani su u TABELI III.

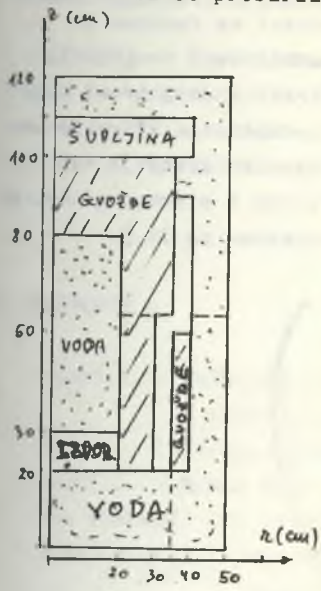
TABELA II. Karakteristike "benchmark" sistema.

JEZEBEL		GODIVA	
Plutonijumska lopta		Uranijumska lopta	
Kritična masa	16,45kg	Kritična masa	52,o2kg
Gustina	15,82g/ccm	Gustina	18,75g/ccm
Poluprečnik	6,284cm	Poluprečnik	8,717cm
Obogaćenje	95,5o%	Obogaćenje	93,5o%
Koncentracije izotopa		Koncentracije izotopa	
Pu239	0,o38o762o	U235	0,o45447
Pu240	0,oo178669	U238	0,oo256o
TOPSY		**POPSY**	
Uranijumska lopta sa uranijumskim reflektorom		Plutonijumska lopta sa uranijumskim reflektorom	
Poluprečnik jezgra	6,o4cm	Poluprečnik jezgra	4,44cm
Spoljašnji polupr.	26,6ocm	Spoljašnji polupr.	28,54cm
Gustina jezgra	18,75g/ccm	Gustina jezgra	15,79g/ccm
Obogaćenje jezgra	94,1o%	Obogaćenje jezgra	93,5o%
Gustina reflektora	18,8og/ccm	Gustina reflektora	18,8og/ccm
Koncentracija izotopa		Koncentracija izotopa	
- Jezgro		- Jezgro	
U235	0,o45228o6	Pu239	0.o372o81o
U238	0,oo28ooo2	Pu24o	0,oo257588
- Reflektor		- Reflektor	
U235	0,ooo344o9	U235	0,ooo344o9
U238	0,o4724478	U238	0,o4724478

TABELA III. Vrednosti Keff i Λ za posmatrane sisteme

Parametar \ Sistem	JEZEBEL	GODIVA	TOPSY	POPSY
Keff	1,oo114	1,ooo95	1,oo565	1,oo345
	2,8426	5,1o9o	17,8351	12,93oo

4.PRORAČUN ZAŠTITE KONTEJNERA - Kao i u slučaju sa programom TRANSFER i ovde su iskorišćene već postojeće geometrijske mogućnosti programa VINRAM da bi se proširile njegove mogućnosti primene.Naime, program kao jednu od mogućnosti ima prilaz sa zadatim neutronskim izvorom i cilindričnom geometrijom.Ova mogućnost je iskorišćena uz izmenu dela programa koji se odnosi na simulaciju neutronske istorije.Naime,zbog velike apsorpcione sposobnosti konstruktivnih materijala bilo je neophodno u originalnoj verziji ili vrlo veliki broj istorija ili nisku kritičnu vrednost za ruski rulet,što je eneormno povećavalo vreme računanja.Iskorišćena je metodologija prezentirana u ref./6/,i dobiveni rezultati se razumno slažu sa rezultatima dobivenim difuzionim kodom CARATE /12/.Posmatrani sistem prikazan je na SL.2.Za detaljnije prikazivanje i poređenje rezultata bilo bi neophodno znatno više prostora nego što nam je na raspolaganju,tako da smo se ovde zadržali samo na opštem opisu ove mogućnosti programa,pogotovu što je prilaz još uvek u razvoju,a dobiveni rezultati su samo preliminarni.



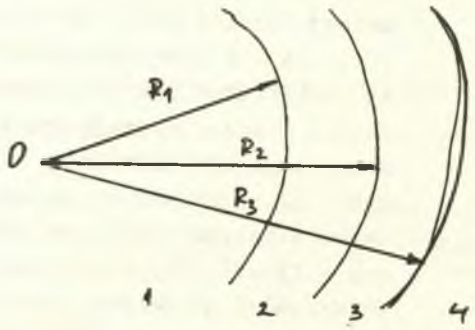
Sl. 2.

5.PRORAČUN HIBRIDNIH SISTEMA - Pod hibridnim sistemom podrazumevamo svaki sistem u kome su i fisione i fuzione reakcije važne sa tačke gledišta energetskog bilansa,a važnu ulogu igraju i oplodne karakteristike sistema.Drugim rečima,sistem u kome se moraju posmatrati reakcije prikazane u TABELI IV.

TABELA IV. Reakcije u hibridnim sistemima

1.Brza i termalna fisija	2.Brza fisija
U235 + n -- (FP) + n	Th232 + n -- (FP) + n
Pu239 +n -- (FP) + n	U238 + n -- (FP) + n
2.Fuzija	4.Oplodnja
D+T -- n +	Th232 + n -- Pa233 -- U233
D +D -- He3 + n	U238 + n -- Np239 -- Pu239
T + p -- (D+T-- +n)	
D+D -- He3+n--(D+He3-- +p)	Li6 + n -- + T
T + p -- (D+T -- + n)	Li7 + n -- + T + N

Osnovni problem koji se pojavljuje pri adaptaciji programa VINRAM za proračun ovakvih sistema su efikasni preseci za fuzione i oplodne reakcije.Osnovna biblioteka koju sadrži ovaj program je dvadesetogrupna i jednostavno se može proširiti.U ovoj prvoj fazi proširenja mogućnosti programa neophodne vrednosti za efikasne preseke uzeli smo iz raspoložive literature /13/.Korišćena je već postojeća mogućnost programa sa zadatim izvorom i sfernom geometrijom ,a proračun vršen za hibridni sistem prikazan na Sl.3.



Sl. 3.

Zona 1 je vakum sa centralnim izvorom 14MeV neutrona.Zona 2 je fisiona oplodna zona,zona 3 je zona za proizvodnju tricijuma,dok je zona 4 vakum.Sa koncentracijama materijala kao u ref./13/ dobivena je vrednost za Keff = 0,3o u odnosu na 0,28 datoj u istoj referenci.Za detaljniju analizu ovakvih sistema neophodno je program dopuniti i modulom za izgaranje,jer su za ovakve sisteme od posebne važnosti parametri koji se odnose na proizvodnju plutonijuma,tricijuma i ukupni energetski bilans.

6.ZAKLJUČAK - U ovom radu osnovni cilj bio je da se u obimu kojem to prostor dozvoljava izlože nove mogućnosti Monte Karlo programa TRANSFER i VINRAM,kao i da se istovremeno ukaže na oblasti u kojima se radi u vezi sa primenom Monte Karlo metode,te se stoga nismo zadržavali ni na detaljnijem opisu metodologije ni na detaljnijoj analizi rezultata dobivenih korišćenjem ovih programa.

7.ABSTRACT - Improvement of the Monte Carlo codes TRANSFER and VINRAM is considered in this paper.The new possibilities are: detection efficiencies and pulse-height responses for NaI crystal, neutron shielding calculations and hybrid reactor calculations.

8.REFERENCE -

1.Kocić,A. - Rešavanje transportne jednačine Monte Karlo metodom i njena primena u zadacima proračuna biološkog štita, IX Simpozijum JDZZ,Jajce (1977).

2.Kocić,A. - Monte Karlo program za proračun sfernih i cilindričnih sistema, IBK -1459,(1978).

3.Hammersley,J. - Monte Carlo methods, London,Methueu and Co.,LTD.

4.Schaeffer,N.M. - Reactor schielding for nuclear engineers, USAEC,(1973)

5.Kocić,A. - Fuziono-fisioni hibridni sistemi,Tehnička fizika-Journal of Engineering Physics,XIII(1975),51-58.

6.Kocić,A. - Primena dvostrukog odabiranja u Monte Karlo prilazu proračuna biološkog štita,XI Simpozijum JDZZ,Portorož,(1981).

7.Green,R,M., - Nucl.Inst. and Meth.,45(1966)125.

8.Chinglia ,B., - Nucl.Inst and Meth.,34(1966)72.

9.Kahn,H., - Applications of Monte Carlo,RM-1237 (1954)

1o.Jarvis,G.A., - Nucl.Sci.Eng. 8(196o)525.

12.Kocić,A. . CARATE dvodimenzionalni ,višegrupni difuzioni program (neobjavljeno)

13.Lee,J.D., - Neutronic Analysis of a 25ooMWth Fast Fission Uranium Blanket for DT Fusion Reactor,CONF-74o4o2-P1 (1974).

XII JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
OHRID 31.maj-3.juni 1983.

M.PEŠIĆ,D.ANTIĆ
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za nuklearnu energetiku i
tehničku fiziku - NET, p.f. 522, 11001 Beograd

RADIJACIONA KONTROLA I SIGURNOST POSTROJENJA SA BRZIM REAKTOROM

SADRŽAJ - Prikazane su osnovne aktivnosti potrebne za adekvatno obezbedjenje radijacione kontrole i sigurnosti, službe koje ih obavljaju na postrojenju brzog reaktora sa gorivom različitog nuklidskog sastava i dat je prikaz osnovnih sistema koji obezbedjuju navedenu kontrolu i sigurnost u kontrolisanoj zoni oko postrojenja, posebno s obzirom na toksičnost pojedinih vrsta nuklearnog goriva. Naglasak je dat na one osobenosti postrojenja odredjene karakteristikama brzog reaktora.

1. UVOD

Do sada su u našim naučno-tehničkim krugovima razmatrana pitanja radijacione kontrole i sigurnosti uglavnom za postrojenja sa termičkim reaktorima. Ovaj rad ima za cilj da ta razmatranja proširi i na postrojenja sa brzim reaktorima, zato što rad na njima predstoji u okvirima razvoja i osvajanja nuklearnih tehnologija. I pored velike sličnosti u tretiranju radijacione kontrole i sigurnosti u postrojenjima sa obe vrste reaktora, termičkim i brzim, kod brzih reaktora postoje neke bitne karakteristike na koje se obraća posebna pažnja u ovom tekstu, a naročito za slučaj korišćenja mešanih goriva na bazi uranijuma i plutonijuma.

Prikazane su osnovne aktivnosti za adekvatno obezbedjenje radijacione kontrole i službe koje ih obavljaju, dat je prikaz osnovnih sistema koji obezbedjuju tu kontrolu i radijacionu sigurnost u kontrolisanoj zoni oko postrojenja.

2. SPECIFIČNOSTI POSTROJENJA SA BRZIM REAKTOROM U POGLEDU RADIJACIONE KONTROLE I SIGURNOSTI

Problemi radijacione kontrole i sigurnosti kod postrojenja sa brzim reaktorom su slični problemima kod postrojenja sa termičkim reaktorima /3,4/, uz izvestan broj dodatnih problema koji su uslovljeni specifičnim osobinama ovakvog postrojenja. U brzim reaktorima

je dominantan brz neutronski spektar čiji je biološki efekat izraženiji nego kod termičkih reaktora. Ovakav spektar neutrona uslovljava postojanje drugačijih konstruktivnih i zaštitnih materijala, kao i dozimetrijske opreme. Odredjene specifičnosti se javljaju i kod γ dozimetrije i zaštite. U zavisnosti od vrste brzog reaktora (pre svega tip goriva i reflektora, zatim snaga i zaštita) ovi problemi se različito tretiraju i adekvatno rešavaju.

Zbog male inherentne stabilnosti brzog reaktora sigurnosni zahtevi su oštri /5/ što daje poseban zadatak radijacionoj kontroli i sigurnosti. Ona mora biti u svakom trenutku (posebno u akcidentalnim situacijama) u stanju da sa ostalim sigurnosnim sistemima zaštiti pogonsko osoblje i okolinu od radijacije i da spreči rasturanje radioaktivnog materijala . Ovo je naročito značajno u slučaju plutonijumskog goriva, zbog izražene α aktivnosti i toksičnosti /2,4/.

3. RADIJACIONA KONTROLA I SIGURNOST

U skladu sa zakonskim propisima i normama o HTZ merama i jonizujučem zračenju kontrola radijacione sigurnosti treba da uključi u sebe merenja /1,7/:

1) individualnih doza osoblja;
2) intenziteta γ zračenja i gustine fluksa β čestica;
3) gustine fluksa i intenziteta ekvivalentne doze neutrona;
4) koncentracije i nuklidskog sastava radioaktivnih gasova i aerosola u vazduhu;
5) nivoa zagadjenja radioaktivnim materijalima površina radnih uredjaja, alata, odeće i obuće osoblja i sl.;
6) aktivnosti i nuklidskog sastava radioaktivnih materijala koji se ispuštaju u atmosferu ili odnose kao tečni otpaci;
7) nivoa zagadjenja transportnih sredstava, prilaznih puteva i mikrookoline reaktora;
8) sadržaja radioaktivnih materijala (nuklidski sastav) u organizmu osoblja.

U cilju efikasnog odvijanja ovih aktivnosti potrebno je da postoji sistem radijacione kontrole koji obuhvata sledeće službe:

1) <u>Operativna dozimetrija i radiometrijska kontrola</u> - pomoću stacionarnog dozimetrijskog sistema kontroliše se nivo gama i neutrona, koncentracija gasova i aerosola, pomoću prenosne dozimetrijske aparature meri se navedeno zračenje u odredjenim mernim tačkama.

2) <u>Tehnološka radiometrijska kontrola</u> - vrši kontrolu komponenti aktivne zone sistema i hermetičnosti zaštitnih barijera.

3) Individualna dozimetrijska kontrola - vrši se kontrola doza gama i neutronskog zračenja koje prima osoblje.
4) Kontrola radioaktivnosti koja se ispušta u spoljnu sredinu - preko ventilacionog dimnjaka i kroz otpadne vode ili materijal, kao i kontrola uzoraka materijala iz spoljašnje okoline.
5) Obezbedjenje lične higijene osoblja - korišćenje sredstava individualne dozimetrijske zaštite i obezbedjenje uslova za primarnu ličnu dekontaminaciju.
6) Radiometrija i spektrometrija - radiometrijska i spektrometrijska analiza uzoraka različitih sredina u posebno opremljenim laboratorijama specijalizovanim za takvu aktivnost.
7) Remont dozimetrijske i radiometrijske opreme - obezbedjuje stalnu ispravnost i upotrebljivost aparatura sa gore navedenom namenom.

Sa stanovišta dozimetrijske kontrole mikrolokacija postrojenja sa brzim reaktorom se deli na kontrolisanu zonu, u kojoj se vrši intenzivna kontrola radioaktivnosti i važi poseban režim kretanja i zonu koje je okružuje, u kojoj se vrši povremena kontrola.

U kontrolisanoj zoni za obezbedjenje radijacione kontrole i sigurnosti potrebno je da postoje:

(A) u toku rada reaktora

1) Stacionarni dozimetrijski sistemi kojima se regulise nivo gama zračenja (jonizacione komore, scintilacioni detektori), neutronskog zračenja (proporcionalni brojači), koncentracije i nuklidskog sastava radioaktivnih gasova i aerosola u vazduhu, prostorijama i filtru dimnjaka, kao i monitori zračenja (inpulsni brojači), stacionarni akcidentalni dozimetrijski sistem vezan za sigurnosni sistem i svetlosna i zvučna signalizacija i alarmni sistem vezan za odredjeni nivo zračenja.
2) Pokretni dozimetrijski sistemi (monitori brzine doze gama i neutronskog zračenja, monitori aerosola i monitori alfa i beta zračenja).

(B) u toku pripreme sistema za rad i kretanje osoblja

1) Ulazak i napuštanje kontrolisane zone mora da se vrši na specijalno opremljenim "propusnim stanicama" za osoblje. One treba da poseduju stacionarni monitor celog tela ili više različitih delova tela, pokretni monitor zračenja za delove tela i opremu, prostorije za presvlačenje odeće i obuće koja se nosi u kontrolisanoj zoni, prostorije za privremeno odlaganje ozračenih delova odeće, obuće ili opreme, prostorije za primarnu dekontaminaciju ozračenog osoblja, odeće, obuće i opreme.
2) Individualna dozimetrijska kontrola za rad u kontrolisanoj zoni

koja uključuje nošenje posebne odeće i obuće, korišćenje rukavica i maske za lice pri manipulisanju sa gorivnim elementima, filmove ili TL dozimetre osetljive na gama i/ili neutronsko zračenje, penkalo dozimetre za gama zrake i brze neutrone (sa mogućnošću postavljanja praga za zvučni i svetlosni alarm), obavezno korišćenje monitora ne utronskog i alfa zračenja i aerosola pri manipulisanju gorivom, lični akcidentalni dozimetrijski komplet (set folija-film) ili "pojas" izradjen od specijalnog neutronsko osetljivog materijala.

Dozimetrijska kontrola van kontrolisane zone treba da obuhvata povremeno, naročito kad reaktor radi, sledeće aktivnosti: kontrolu zagadjenosti vazduha aerosolima na izlazu ventilacionog dimnjaka i oko zgrade reaktora, kontrolu zagadjenosti ispusnih voda, kontrolu prilaznih puteva i sredstava transporta i kontrolu uzoraka okoline.

4. PROTIVPOŽARNE MERE I ZAŠTITA

Požari predstavljaju jedan od ozbiljnijih problema kod nuklearnog postrojenja. Posle kvarova na sistemu za paru i reaktoru, požari predstavljaju najčešći uzrok zastoja kod nuklearnog postrojenja (čak 11,7%),/6/.

Saglasno tome, a u okviru propisa o HTZ merama i protivpožarnoj zaštiti u zgradi reaktora,kao i u neposrednoj mikrolokaciji potrebno je da postoje stacionarni sistem za automatsko gašenje požara, kao i boce sa odgovarajućim sredstvom za gašenje. Ovaj sistem treba da poseduje automatske javljače požara i da bude uključen u sigurnosni sistem reaktora. S obzirom na karakteristike inherentne stabilnosti brzog reaktora potrebno je da sistem za automatsko gašenje požara, u slučaju potrebe, reaguje veoma brzo (za nekoliko desetina milisekundi) na prve indikacije o požaru.

Isto tako, u neposrednoj okolini reaktorske zgrade mora postojati "protivpožarni punkt" koji je opremljen kompletnim sredstvima i alatima koji su neophodni za gašenje. U blizini ovog punkta treba da postoji i lako dostupan hidrant odgovarajućeg kapaciteta.

U okviru navedenih protivpožarnih mera najviše zgrade postrojenja brzog reaktora (ventilacioni dimnjak, zgrada kontejmenta) treba da budu opremljene gromobranom.

5. ZAKLJUČAK

Definisani su osnovni problemi koji se javljaju u pogledu radijacione kontrole i sigurnosti kod postrojenja sa brzim reaktorom. Rešavanje ovih problema predstavlja jedan od zadataka u okviru razvo

ja i osvajanja nuklearnih tehnologija. Prikazane su osnovne aktivnosti, sistemi i službe potrebne za adekvatno rešavanje ovih problema.

SUMMARY - The fundamental activities for safeguard of radiation control and safety and the neccessary staff for them, for fast reactor plant are shown. The basic systems for the plant radiation control are counted,specialy with regards to poisoning of some fuel materials. The particular characteristics of the plant radiation control determined by the fast reactor are pointed out.

REFERENCE

/1/ J.A.Jegorov,"Osnovi radiacionoj bezopasnosti atomnih elektrostanciji",Energoizdat, Moskva, 1982.

/2/ W.Stoll, "Plutonium - Eigenschaften und Möglichkeiten", Seminar "Aktuelle Themen der Kernenergie" (jül-Conf-24),Jülich, 1977.

/3/ G.Heusener, "Schnelle Brutreaktoren", Seminar "Perspektiven der Kernenergie" (Jül-Conf-32), Jülich, 1979.

/4/ D.Bünemann,"Faktensamlung zur Kerntechnik", KTG, Bonn, 1981.

/5/ D.Antić, "Sigurnosni aspekti istraživačkih reaktora na brze neutrone", rad prijavljen za XXVII Konferenciju ETAN,Struga, 1983.

/6/ L.Bruzzi, "Conferenza internazionale Nuclear Power Experience - (NPE) - Vienna, 13.-17. IX 1982.", prikaz, Bologna, 1982.

/7/ NRB-76 i OSP-72/80, Energoizdat, Moskva,1981.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

PEŠIĆ M., MARKOVIĆ M., ŠOKČIĆ M., MIRIĆ I., PROKIĆ M., STRUGAR P.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
p. fah 522, 11001 Beograd

MODIFIKOVANI GORIVNI KANAL ZA OZRAČIVANJE UZORAKA NA REAKTORU RB

REZIME Na reaktoru RB modifikovan je gorivni kanal od 80% obogaćenog UO_2 tako da je u njemu moguće ozračivati brzim neutronima uzorke prečnika do 2.5 cm i dužine do 100 cm.

Komponenta spektra neutrona u domenu visokih energija je jako uvećana, te čini pretežni deo neutronske doze, odnosno 0.29 Gy za 1 Wh rada reaktora. prema 0.05 Gy i 0.07 Gy za epitermičke i termičke neutrone, respektivno. Pri tome doza gama zračenja iznosi 0.35 Gy, na istom mestu, u centru kanala.

Realizovani uredjaj ima široku mogućnost primene, od ozračivanja elektronskih i drugih komponenti u cilju ispitivanja njihove otpornosti na radijaciono oštećenje brzim neutronima, do testiranja dozimetara i različitih fisibilnih materijala u polju neutronskog zračenja sa povećanim prinosom brzih neutrona.

1. UVOD

Na reaktoru RB se niz godina odvija aktivnost na ostvarenju polja u kojima je prinos brzih neutrona značajan. Dominantan spektar neutrona u reaktoru i van njega je termički. Korišćenjem 80% obogaćenog goriva mogu se ostvariti i zone sa brzim neutronskim fluksom. Rad na tome je započet još 1976. godine, kada je ostvaren vanreaktorski konvertor neutrona.Sada se na njemu ispituju mogućnosti ostvarenja različitih spektara neutrona pomoću dodatnih nefisibilnih ekrana.

Nastavak ovih istraživanja u pravcu većih intenziteta gustine neutronskog fluksa sličnih spektralnih osobina je realizacija modifikovanog gorivnog kanala i rad na unutrašnjem konvertoru neutrona. Ovi uredjaji unutar aktivne zone reaktora RB treba da daju dobro definisana neutronska i gama polja za izvodjenje eksperimenata iz oblasti dozimetrije, radiobiologije, radijacione otpornosti materijala, fizike mešovitih radijacionih polja i slično.

2. MODIFIKOVANI GORIVNI EKSPERIMENTALNI KANAL - GEK

Prilikom realizacije gorivnog eksperimentalnog kanala (GEK) korišćena su iskustva stečena prilikom izrade kanala VISA-2 na reaktoru RA pre dvadeset godina /2/. Za razliku od kanala VISA-2 koji je

bio izradjen od 2% obogaćenog metalnog uranijumskog goriva, GEK je realizovan modifikacijom gorivnog kanala reaktora RB koji koristi 80% obogaćeni UO_2.

GEK čini standardni aluminijumski gorivni kanal reaktora RB. To je cev prečnika 41/43 mm, zatvorena na dnu i napunjena sa 10 izmenjenih gorivnih segmenata od 80% obogaćenog UO_2 (sl.1.).

Prilikom formiranja GEK-a iz gorivnih segmenata su odstranjeni centralni odstojnici sa obe zvezdice i nanizani su na aluminijumsku cev prečnika 27/28 mm, a potom stavljeni u gorivni kanal prečnika 41/43 mm. Ovako pripremljeni GEK se postavlja u jezgro reaktora RB na odredjenu poziciju (sl.2.). Jezgro reaktora je izabrano tako da odnos gustina epitermičkog i termičkog fluksa neutrona u okolini GEK-a bude najpovoljniji. Kritični nivo moderatora, D_2O, iznosi 110 cm za ovakvu konfiguraciju aktivne zone.

Unutar GEK-a smeštena je pokretna, Al cev, prečnika 25/27 mm sa unutrašnjim nosačima uzoraka i odstojnicima izradjenim od Al. Pokretljivost unutrašnjeg dela GEK-a omogućuje da se postavljanje i vadjenje uzoraka i detektora vrši van reaktora.

3. MERENJA I PRORAČUNI KARAKTERISTIKA NEUTRONSKOG I GAMA POLJA

Proračun ćelije GEK-a i ćelija jezgra reaktora obavljen je programom VESNA, koji koristi sopstvenu biblioteku višegrupnih mikroskopskih podataka NEDA /3/. Na sl.3. je prikazana prostorna, radijalna, četvorogrupna raspodela gustine neutronskog fluksa u ćeliji GEK-a, dobijena programom VESNA. Raspodela je normalizovana tako da je na granici ćelije gustina termičkog fluksa neutrona 1 $n/cm^2/s$. Proračun reaktora RB sa konfiguracijom jezgra koje koristi GEK izvršen je višegrupnim, dvodimenzionalnim, difuzionim programom FOTO, /4/.

Na GEK-u je obavljen niz merenja karakteristika polja zračenja i uporedjeni su rezultati sa proračunatim vrednostima.

Prva merenja su obuhvatila odredjivanje apsolutne vrednosti gustine fluksa termičkih neutrona u centru GEK-a, aktivacijom folija od Au. Merenje njihove apsolutne aktivnosti izvršeno je na 4π-GM brojaču sa protokom metana.

Iz aktivnosti odredjene su vrednosti gustine fluksa termičkih i epitermičkih neutrona /5/ u centru GEK-a, pri snazi reaktora od 1W:

$\Phi_{th}=2.22\ 10^6\ n/cm^2/s/W$, za $E<0.625$ eV

$\Phi_{epi}=5.07\ 10^5\ n/cm^2/s/W$, za $0.625\ eV<E<0.1$ MeV

Vrednost srednje gustine fluksa brzih neutrona u centru GEK-a

odredjena je ozračivanjem pastila S i merenjem njihove apsolutne aktivnosti pomoću kalibrisanog GM brojača. Fluks fisionih neutrona je odredjen primenom standardne relacije /6/, pri čemu je srednji mikroskopski presek S za korišćeni spektar neutrona iznosio 5.5 10^{-30} m^2. Za snagu reaktora od 1 W dobijena je sledeća vrednost:

Φ_b=2.70 10^6 $n/cm^2/s/W$, za 0.1MeV < E < 10MeV

Merenje aksijalne raspodele gustina termičkog i epitermičkog fluksa neutrona u GEK-u obavljeno je sa Au folijama uz upotrebu Cd kutijica. Rezultati merenja, normalizovani na vrednost termičkog fluksa neutrona u centru GEK-a, prikazani su na slici 4.

Aksijalna raspodela srednje gustine fluksa brzih neutrona u GEK-u izmerena je ozračivanjem pastila S u Cd kutijicama. Rezultati merenja normalizovani na vrednost termičkog neutronskog fluksa u centru kanala, prikazani su na sl.4.

Cd odnos u centru GEK-a iznosi R_{Cd}= 2.02±0.10.

Programom VESNA je izračunat spektar neutrona u vazdušnom otvoru GEK-a u 45 energetskih grupa i prikazan na sl.5. u obliku $\Phi(E)$. .E/ΔE. Na istoj slici je prikazan i izmereni spektar brzih i epitermičkih neutrona.

Za eksperimentalno odredjivanje spektra brzih i epitermičkih neutrona primenjen je metod aktivacionih i fisionih detektora koji je razvijen u IBK /8/. Upotrebljeni detektori i najvažniji podaci za njihovo korišćenje dati su u Tab.1./6,7/.

Obradom aktivnosti ozračenih detektora, prema /8/, dobijene su sledeće karakteristike spektra neutrona:

(a) U opsegu energije od 0.4MeV do 14MeV spektar je praktično fisioni i može se prikazati kao funkcija: Φ_b=const$\sqrt{E}$ exp(-0.82E)

(b) Intermedijalni spektar u opsegu energija od 0.4 eV do 0.4MeV ima približno 1/E zavisnost.

Sa sl.5. se vidi da je slaganje proračunatog i izmerenog spektra neutrona u oblasti intermedijalnih i brzih neutrona dobro. Termički spektar neutrona, prikazan na sl.5., je proračunat programom VESNA i ima Maxwell-ov oblik sa neutronskom temperaturom od 340K.

Merenje doza gama zračenja je izvršeno pomoću dozimetara koji omogućuju precizno merenje ovih doza u mešovitim poljima neutronskog i gama zračenja. Korišćeni su TLD na bazi magnezijumborata, razvijeni u IBK, ($Mg^{11}B_4O_7$:RE(ML-11),/9/). Nizak mikroskopski presek ^{11}B za termičke neutrone, 50 $10^{-31}m^2$, uslovljava zanemarljivu osetljivost na termičke neutrone /10/ koja iznosi ekvivalentnih 0.6mC/kg za fluens termičkih neutrona od $10^{14}n/m^2$, dok je osetljivost na brze i intermedijalne neutrone za red veličine niža.

Izmerene vrednosti gama zračenja u GEK-u prikazane su na sl. 6. kao aksijalna raspodela brzine gama doze.

4. ZAKLJUČAK

Realizovani modifikovani gorivni kanal predstavlja novi doprinos proširenju mogućnosti ozračivanja u brzom spektru neutrona na reaktoru RB. Korišćenjem rezultata merenja, proračuna neutronskog spektra i faktora konverzije apsorbovana doza - neutronski fluks /7/, dobija se da je brzina apsorbovane doze u centru GEK-a, za 1Wh rada reaktora RB: $\dot{D}_n(tot)=0.41Gy/W/h$, pri čemu je udeo brzih neutrona veliki: $\dot{D}_{nf}=(0.28\pm0.01)Gy/W/h$. Istovremeno brzina gama doze u centru GEK-a iznosi: $\dot{D}_\gamma=0.35Gy/W/h$.

Na sl.6. prikazana je aksijalna raspodela brzine doze neutrona i gama zraka po visini GEK-a.

Prva preliminarna ozračivanja detektora, pojedinih dozimetara i nekih elektronskih komponenti su već izvršena, a rezultati zaslužuju posebnu anlizu. Očekuje se da će GEK u narednom periodu pored ostalog koristiti i za ispitivanje radijacione otpornosti istih.

SUMMARY Fuel channel of 80% enriched UO_2 at RB reactor in "Boris Kidrič" Institute of nuclear sciences is modified for sample irradiation in the fast neutron field. Maximum sample diameter is 25mm and lenght up to 1000mm.

Characteristics of neutron as well as gama radiation fields of this new experimental channel are investigated. In the centre of channel, the main contribution to the total neutron absorbed dose i. e. 0.29Gy per 1Wh of reactor operation, is due to the fast neutron spectrum component. Only 0.05Gy and 0.07Gy in the total neutron absorbed dose are due to epithermal and thermal neutrons respectively. At the same time gama absorbsion dose is 0.35Gy.

The developed experimental fuel channel GEK has wide possibility for utilization, from electronic components fast neutron studies dosimeters testing, up to crossection measurements for the fast neutron energies.

REFERENCE

/1/ P. Strugar et al., Kernenergie,Bd.24.H.3,1981.

/2/ H. Marković, M. Pavićević, IZ.(I-V),120-0192,165-0268-1962,Vinča

/3/ M. Milošević, biblioteka programa NET, biće objavljeno.

/4/ A. Kocić et al., IBK-1374, Vinča, 1977.

/5/ Technical Reports Series, No.107, IAEA, Vienna, 1970.

/6/ E.A.Kramer-Ageev et al.,"Aktivacionie metodi spektrometrii neitronov", Atomizdat, Moskva 1976.

/7/ Technical Reports Series No. 211, IAEA, Vienna, 1982.

/8/ I. Mirić et al., Naučno-tehnički pregled, vol. XXXII,br.10,1982.

/9/ M.Prokić, Health Physics, vol.42, No.6, pp 849, June 1982.

/10/ M.Prokić, Proc. of XXII Congress A.I.R.P.,June 1981.

[illegible] termičkog spektra

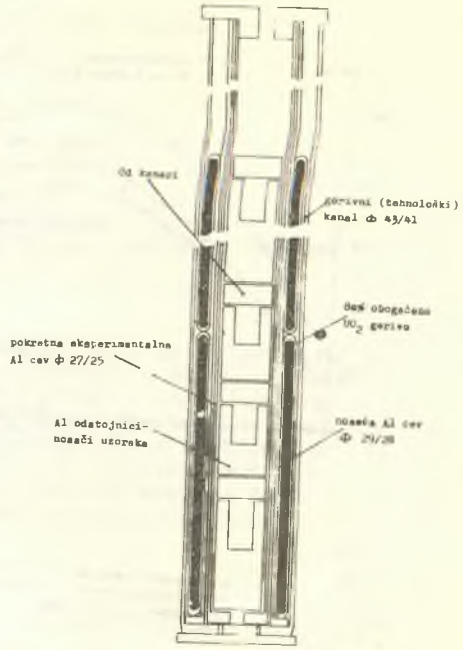
[illegible] spektar

[illegible]	[illegible]	[illegible]	$\bar{\sigma}$ (mb)	[illegible]	Šta se meri	Na čemu se meri
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	fisioni tragovi	mikroskop
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 535keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	fisioni tragovi	mikroskop
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	β, 1.7MeV	Gm-brojači
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 811keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 835keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 846keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 847keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 1.368MeV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 1.369MeV	NaJ (Tl)

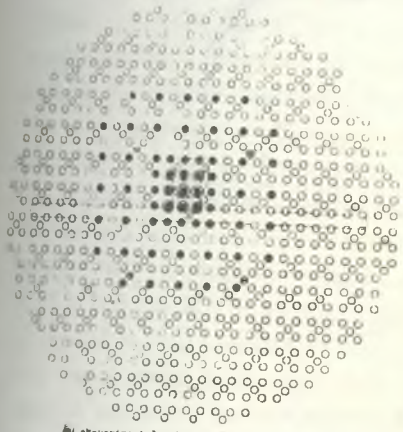
(b) Bitermički spektar

[illegible]	[illegible]	RI (b)	$T_{1/2}$	Šta se meri	Na čemu se meri
[illegible]	[illegible]	[illegible]	54.17min	γ 356keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 412keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 847keV	NaJ (Tl)
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	γ 511keV	NaJ (Tl)

[illegible]



Sl. 1 Šematski prikaz [illegible] kanala G E K



(●) eksperimentalni kanal G E K

● gorivni kanali sa 80% obogaćenim UO_2 bez D_2O

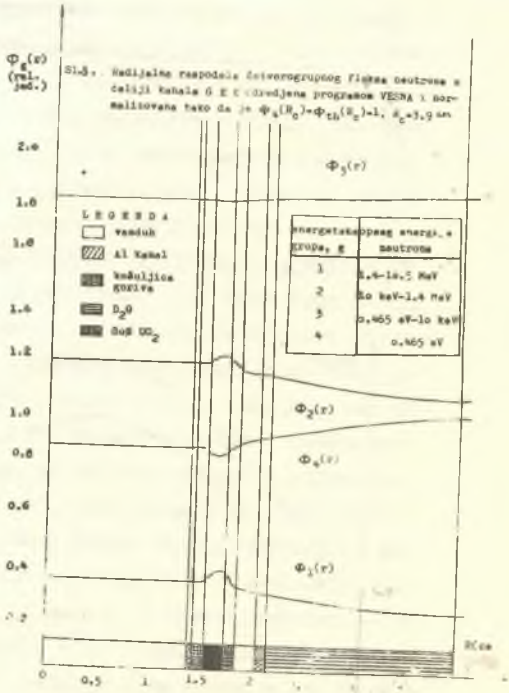
● gorivni kanali sa 2% obogaćenim U

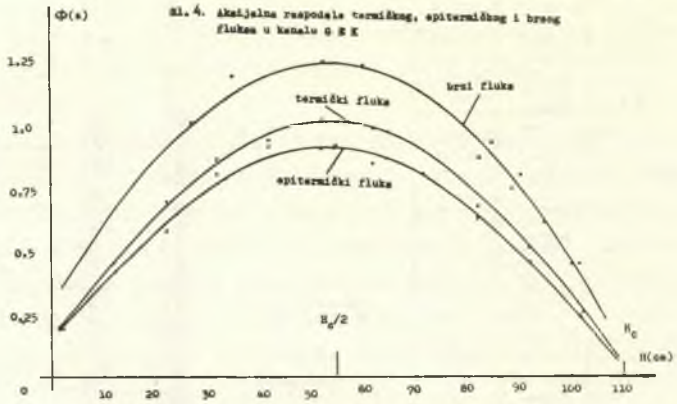
○ otvori za gorivne kanale ϕ 43/41

⊕ položaj kontrolne šipke (KŠ)

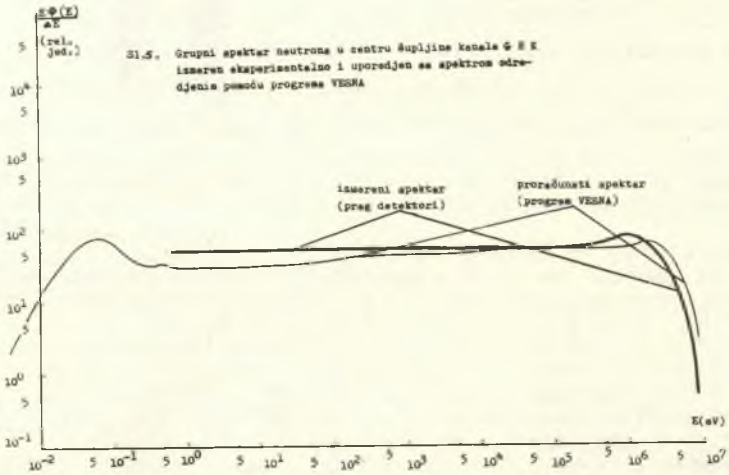
⊗ položaji sigurnosnih šipki (ŠŠ1, ŠŠ2, PŠ)

Sl. [illegible] Konfiguracija rešetka reaktora RB osnovno korak [illegible] cm sa kanalom G E K

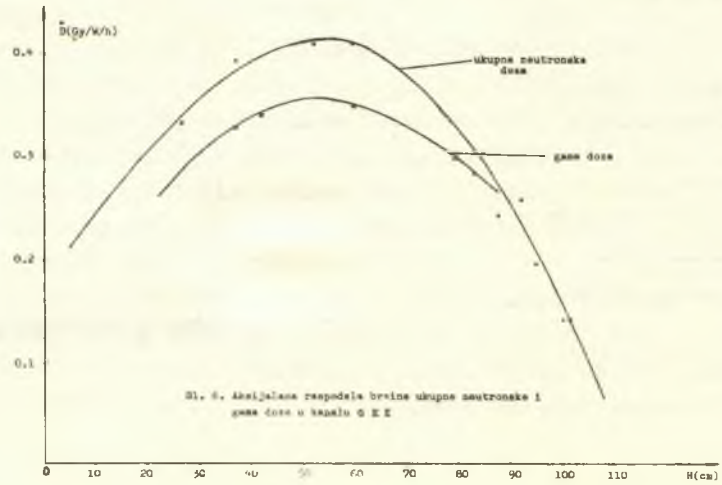




Sl. 4. Aksijalna raspodela termičkog, epitermičkog i brzog fluksa u kanalu G E K



Sl.5. Grupni spektar neutrona u centru šupljine kanala G E K izmeren eksperimentalno i upoređen sa spektrom određenim pomoću programa VESNA



Sl. 6. Aksijalna raspodela brzine ukupne neutronske i gama doze u kanalu G E K

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Svetozar MUSIĆ
Institut "Ruđer Bošković"
41001 Zagreb

KOROZIJA U NUKLEARNIM ELEKTRIČNIM CENTRALAMA - Radiološki problemi uvjetovani korozijom

Stvaranje korozijskih produkata u nuklearnim električnim centralama je veoma ovisno o kemiji vode, temperaturi, pritisku i svojstvima konstrukcijskih materijala. Korozijski produkti postaju radioaktivni zbog neutronske aktivacije nuklida u konstrukcijskim materijalima i sorpcije radionuklida. Radioaktivni korozijski produkti nakon napuštanja metalne površine i sedimentacije u generatorima pare, cijevima, ventilima, filterima i pumpama uvjetuju povećanje nivoa radioaktivnog zračenja. To otežava rukovanje i održavanje spomenutih uredaja i komponenti.

UVOD

U nuklearnim električnim centralama osnovu konstrukcijskih materijala čine nerđajući i perlitni čelici, legure aluminija, cirkonija i titana, te legure s visokim sadržajem nikla i bakra. Stvaranje korozijskih produkata na površinama tih materijala uvjetovano je kemijskim sastavom medija, pH, sadržajem kisika, visokom temperaturom, pritiskom, protokom hladila i intenzitetom korištenja sistema. Korozijski produkti postaju radioaktivni neutronskom aktivacijom nuklida u konstrukcijskim materijalima i sorpcijom radionuklida. Delaminacija korozijskih produkata, migracija i njihova sedimentacija u generatorima pare, cijevima, ventilima, filterima i pumpama uvjetuje mehaničke probleme i povećava nivo radioaktivnog zračenja na spomenutim mjestima.

Dosadašnje iskustvo u eksploataciji nuklearnih elektrana je pokazalo da tip reaktora koji se hladi vodom pod pritiskom (Pressurized Water Reactor ili skraćeno PWR) je izrazito osjetljiv na koroziju materijala, a kritičan dio sistema u istom smislu je generator pare. U primarnom rashladnom krugu voda zagrijana na visokoj temperaturi pod pritiskom predaje toplotu napojnoj vodi na sekundarnoj strani generatora. Napojna voda pretvorena u zasićenu vodenu paru služi za pokretanje turbine. Korozija cijevi za izmjenu toplote i njihov lom uvjetuje radioaktivnu kontaminaciju sekundarnog rashladnog kruga. Ozbiljnost problema najbolje se može ilustrirati cijenom koštanja zamjene generatora pare zbog korozije na reaktorima blizancima Surry-1 i Surry-2 (Gravel Neck, Va.). Reaktori su bili izvan pogona približno jednu godinu, a cijena popravka u 1980 godini za obadva reaktora je iznosila 112 mil. $ US + izgubljena električna energija. Troškovi zamjene generatora pare, takodjer zbog korozije, na reaktoru Turkey-3 (Turkey Point, Fla.) su procijenjeni na 68 mil. $ US u 1981 godi-

ni, dok je novčani ekvivalent za izgubljenu električnu energiju procijenjen na 750000 $ US dnevno. Očekuje se da će samo zamjena generatora pare na reaktoru Son Onofre-1 (San Clemente, Ca.) zbog istog problema koštati 60 mil. $ US. Spomenute elektrane su zahvaćene problemom korozije na početku radnog vijeka koji normalno treba trajati 30-40 godina. U svim nuklearnim elektranama u SAD koje su zahvaćene problemom korozije hitno se poduzimaju dodatne mjere zaštite od korozije.

STVARANJE KOROZIJSKOG PRODUKTA

Tipični korozijski proces može se prikazati na primjeru reakcije željeza s HCl u vodenom mediju pod anaerobnim uvjetima [1]

$$Fe^{0} + 2HCl = FeCl_2 + H_2(p)$$

ili tačnije

$$Fe^{0} + 2H^{+}(aq) + 2Cl^{-}(aq) = Fe^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq) + H_2(p)$$

da se pokaže kako su reaktanti i produkti korozije uglavnom u ionskom stanju. Napisana reakcija zahtijeva da željezni atomi na površini i hidratizirani protoni i kloridi u medjufazi posjeduju odgovarajuću energetsku i steričku povoljnost za stvaranje Fe^{2+} iona i H_2 molekula. Dozvoljeno je pretpostaviti da se ta reakcija zbiva u dva nezavisna stupnja i to u obliku anodne reakcije

$$Fe - 2e = Fe^{2+}(aq)$$

i katodne reakcije

$$2H^{+}(aq) + 2e = H_2(p)$$

Na jednoj strani postoji gubitak elektrona, a na drugoj dobitak. Ta jednostavna zamisao nezavisne anodne i katodne reakcije je osnova elektrokemijskog mehanizma korozije i može se primijeniti na tumačenje korozijskih procesa. Veliki dio nauke o koroziji posvećen je traženju odgovora na pitanje , kako i zašto anodna i katodna reakcija su odvojene na površini metala izloženog elektrolitnoj otopini . Elektrokemijsko mjerenje tendencije metala da oslobodi elektrone izraženo u obliku elektrodnog potencijala može služiti kao osnovni kriterij korozivnosti metala.

U nuklearnim reaktorima hlađenim vodom [2] željezo korodira pri povišenim temperaturama do nastanka magnetita (Fe_3O_4) prema sveukupnoj reakciji

$$3Fe + 4H_2O = Fe_3O_4 + 4H_2 .$$

Željezni atomi termodinamički nestabilni prema vodi nastoje stvoriti Fe^{2+} ione i elektrone. Stvaranje željezo(II) hidroksida kao korozijskog međuprodukta je prikazano reakcijom

$$Fe + 2H_2O = Fe(OH)_2 + H_2$$

$Fe(OH)_2$ transformira u magnetit prema slijedećoj reakciji

$$3Fe(OH)_2 = Fe_3O_4 + H_2 + 2H_2O$$

Ove reakcije predstavljaju pojednostavljen pristup koroziji željeza i njegovih legura i mogu se smatrati tačnim, ako se proces svede na ishodni materijal i magnetit kao krajnji korozijski produkt. U toku procesa korozije željeza u nuklearnim električnim centralama nastaju različiti željezni hidroksidi, oksihidroksidi i oksidi kao međuprodukti. Tako na primjer, analiza rđe u cijevima za toplotnu izmjenu u nuklearnoj električnoj centrali pomoću Mössbauerove spektroskopije je pokazala prisutnost stehiometrijskog Fe_3O_4 (95.19%) i male količine γ-FeOOH (4.81%) u adherentnom sloju [3]. Studij korozije lijevanog željeza u vodi (pH 7.6, 18ppm O_2, 50° C) je pokazao [4] da pod zadanim uvjetima nastaju zelena rđa ($Fe(OH)_2$ /$Fe(OH)_3$), Fe_3O_4 i γ-FeOOH, a pri 0.03 ppm O_2 dokazana je zelena rđa i Fe_3O_4. Kod pH 6.0 korozijski produkt su činili Fe_3O_4 i γ-FeOOH, a nakon deoksigenacije (0.03 ppm O_2) bio je prisutan samo Fe_3O_4. U procesu je došlo do otapanja γ-FeOOH. Ovi rezultati su pokazali da $Fe(OH)_2$ ili zelena rđa nisu uvijek potrebni za nastanak Fe_3O_4. Transformacija γ-FeOOH u Fe_3O_4 može se tumačiti mehanizmom otapanja γ-FeOOH i ponovnog taloženja, dok je vjerojatnost za direktnu transformaciju u čvrstom stanju veoma mala. Mehanizam stvaranja Fe_3O_4 može se šematski prikazati na slijedeći način

$$\begin{array}{l} 2\,\gamma\text{-FeOOH} \longrightarrow 2Fe(OH)_2^+ \searrow \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad Fe_3O_4 \\ Fe \longrightarrow Fe(OH)^+ \nearrow \end{array}$$

Takodjer, moguće je otapanje γ-FeOOH s djelomičnom redukcijom i stvaranje Fe_3O_4 prema slijedećoj šemi

$$\begin{array}{l} 5\,\gamma\text{-FeOOH} \longrightarrow 4Fe(OH)_2^+ + Fe(OH)^+ \searrow \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad 2Fe_3O_4 \\ Fe \longrightarrow Fe(OH)^+ \nearrow \end{array}$$

Kemija vode, a posebno prisutnost različitih anorganskih iona ima dominantan utjecaj na fazni sastav korozijskog produkta željeza, odnosno čelika. Za studij utjecaja anorganskih aniona na korozijski proces često se koriste modelni sistemi. U tom smislu je studirana hidroliza Fe^{3+} iona u prisutnosti različitih aniona i predložen odgovarajući mehanizam stvaranja željezo(III) oksihidroksida i oksida pri povišenoj temperaturi [5,6]. Hidroliza Fe^{3+} iona u nitratnoj i kloridnoj otopini dovodi do stvaranja monomera i dimera Fe^{3+} iona i nastavlja se njihovom polimerizacijom. Kod polimera nastalih u nitratnoj otopini NO_3^- ioni služe samo za neutralizaciju naboja polimernog lanca, dok polimeri nastali u kloridnoj otopini sadrže atome klora umjesto dijela kisikovih atoma. U slijedećem stupnju stvaraju se oksi-mostovi u polimernom lancu i dolazi do razvoja α-FeOOH strukture u nitratnoj otopini, odnosno β-FeOOH strukture u kloridnoj

otopini. α-FeOOH transformira internom kristalizacijom u α-Fe_2O_3. β-FeOOH se otapa u kloridnoj otopini, a rastu α-FeOOH kristali na prethodno stvorenim nukleusima. U sulfatnoj otopini stvara se $FeSO_4^+$ kompleks koji potiskuje polimerizaciju Fe^{3+} iona i taloženje oksihidroksida i oksida. Umjesto toga talože bazični željezo(III) sulfati. Ovakav tip fundamentalnog studija može se dovesti u neposrednu vezu s procesom korozije. Na primjer, stvaranje korozijskog produkta ugljičnog čelika u atmosferi jako zagađenoj sumpornim plinovima veoma je slično procesu taloženja γ-FeOOH i α-FeOOH·nH_2O iz suspenzije $Fe(OH)_3/FeSO_4$ u blago kiselom mediju [7].

Tokom procesa korozije u reaktorskom rashladnom krugu nastaju i spineli [8]. Ispitivanje korozije nerđajućeg čelika SS 18-8 (sastav izražen kao % težine: 0.06 C, 0.81 Si, 1.66 Mn, 0.035 P, 0.011 S, 9.10 Ni, 18.42 Cr, 0.30 Mo) kod pH 6.8 uz prisutnost 8 gr O_2/l i na temperaturi od 300° C pokazalo je stvaranje $(Cr,Fe)_2O_3$ + α-Fe_2O_3 u početku procesa. Nakon 24 sata došlo je do stvaranja $NiFe_2O_4$. Magnetit je bio osnovni korozijski produkt kod pH 9-10 . Korozijom aluminija i njegovih legura nastaju odgovarajući hidroksidi, oksihidroksidi i oksidi. U području pH<4.5 dolazi do njihovog otapanja, a otapanjem kod pH>8.4 nastaju aluminatni kompleksi. Pri temperaturi 180-250° C uz prisutnost 5 mg/l fosforne kiseline nastaje $2Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 3H_2O$, dok u vodi koja sadrži 0.1 % silicijeve kiseline (s obzirom na SiO_2) pri temperaturi 260-300° C nastaju površinski spojevi $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ i $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Korozijom cirkonija i njegovih legura nastaje na površini monoklinska modifikacija bijelog i crnog ZrO_2 , dok korozijom titana i njegovih legura nastaju različiti površinski oksidi, kao na primjer TiO, Ti_2O_3 i TiO_2 ili Ti_5O_9-Ti_6O_{11} u neutralnom pH mediju. Titan i njegove legure su otporni na koroziju.

U SAD u reaktorima hlađenim vodom pod pritiskom minimalni sadržaj kisika uglavnom se održava uvođenjem određene količine plinovitog vodika, dok se u SSSR-u suvišak vodika u reaktorima regulira hidrazinom koji se dekomponira u neutronskom polju uz oslobađanje amonijaka i atomarnog vodika [9]. Zbog opasnosti hidrogenacije cirkonijskih legura i nisko legiranih čelika i posljedično njihove lomljivosti ne ide se na potpuno uklanjanje kisika u sistemu. Neizbježna prisutnost određenih količina kisika traži strogu kontrolu koncentracije kloridnih i fluoridnih iona. Kloridi i fluoridi u prisutnosti kisika izazivaju naponsku koroziju nerđajućeg austenitičnog čelika. Prisutnost borne kiseline povećava brzinu korozije i prijenosa korozijskih produkata u hladilo.

Korozija metala i legura u sistemima tekući metal/čvrsti metal (legura) je prisutna u određenim tipovima nuklearnih postrojenja. Pokretačka sila za taj oblik korozije je tendencija čvrste faze da se otopi u tekućem metalu (litij, natrij) [10,11], a ne razlika potencijala lokalnog galvanskog članka. Specifični oblici korozijskog djelovanja tekućeg metala uključuju : (a) jednostavno otapa-

nje čvrstog metala, (b) stvaranje kemijskog spoja, (c) intergranularni atak i (d) selektivnu ekstrakciju jedne ili više komponenti čvrste faze (legure). Postojanje temperaturnog ili koncentracijskog gradijenta u sistemu tekući metal/čvrsti metal (legura) dovodi do složenog procesa korozijskog razaranja u toplotnim izmjenjivačima kroz koje struji hladilo u obliku tekućeg metala. U vrućoj zoni toplotnog izmjenjivača dio čvrste faze odlazi u tekući metal, dok na hladnijem mjestu se smanjuje topljivost i dolazi do taloženja na zidovima cijevi za toplotnu izmjenu. Radni vijek ovih cijevi je kratak bez dodatka inhibitora.

KOROZIJSKI PRODUKT KAO NOSAČ RADIONUKLIDA

Kemijska čistoća reaktorske vode nije samo važna u smislu korozije već i radioaktivacije nuklida u neutronskom polju. Za vrijeme rada reaktora osnovni izvor radioaktivnosti u aktivnoj zoni reaktora su kratkoživući radionuklidi nastali radioaktivacijom nečistoća i same vode. Većina radionuklida nastala radioaktivacijom onečišćenja reaktorske vode ima meko β-zračenje (^{28}Si, ^{32}P, ^{35}S, ^{37}S, ^{36}Cl, ^{45}Ca, ^{49}Ca). Dva radionuklida, ^{38}Cl i ^{27}Mg su β,γ emiteri s kratkim poluvremenom života, tako da im aktivnost opada ubrzo nakon gašenja reaktora. Radionuklid ^{24}Na karakterizira snažno gama zračenje. Smanjenje koncentracije Na^+ iona u reaktorskoj vodi postiže se prethodnom demineralizacijom na principu H^+/Na^+ izmjene. Umjesto NaOH za povećanje pH u sistemu se koristi LiOH ili NH_4OH , odnosno amonijak koji nastaje razgradnjom hidrazina u neutronskom polju.

Pored nečistoća u vodi i same vode, radioaktivnom zagađenju hladila doprinosi i neutronska aktivacija nuklida u konstrukcijskim materijalima. Tipični radionuklidi nastali na taj način su ^{60}Co, ^{59}Fe, ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{51}Cr, ^{56}Mn, ^{64}Cu, ^{95}Zr, ^{124}Sb, ^{65}Zn, ^{110m}Ag, ^{99}Mo, ^{181}Hf, ^{187}W, ^{182}Ta i drugi. Pucanje košuljica gorivnih elemenata uslijed korozije dovodi do znatne prisutnosti α-emitera i fisionih radionuklida u reaktorskoj vodi.

Korozijski produkti su tipični nosači navedenih radionuklida u sistemima nuklearne elektrane. Prijelaz korozijskih produkata u hladilo, njihova migracija i sedimentacija utječu na raspodjelu radioaktivnosti u nuklearnoj elektrani. Otapanjem korozijskih produkata u hladilu dolazi do oslobađanja radionuklida koji se mogu opet sorbirati na čvrstoj fazi. Veliki broj parametara koji odreduju raspodjelu radioaktivnosti u sistemu čini matematičko modeliranje procesa veoma složenim [8]. Normalno, vjernost modela je točnija što je određeni parametar preciznije definiran. Raspodjela radioaktivnosti u sistemima nuklearne električne centrale velikim je dijelom ovisna o sorpcijskom ponašanju korozijskih produkata. Kako su korozijski produkti pretežno u obliku hidroksida i oksida to će rezultati istraživanja sorpcijskih zakonitosti biti navedeni za taj tip nosača. U istraživanju [12-21] su upotrebljeni nosači $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_2$, $Al(OH)_3$ i α-Fe_2O_3 , a kao radioaktivni indikatori $^{152,154}Eu$, ^{106}Ru , ^{97}Ru, ^{67}Ga, ^{60}Co , ^{65}Zn i

^{131}I. Metalni ioni sorbata bili su kao kationi, a jod u obliku jodida i jodata.

Sorpcija metalnih kationa i različitih aniona na oksidnom nosaču je veoma ovisna o pH otopine. Općenito, sorpcija kationa raste s povećanjem pH, dok se sorpcija aniona smanjuje. Rezultati sorpcije metalnih kationa su interpretirani u smislu elektrostatskog i kemijskog procesa. Elektrostatsko odbijanje između metalnog kationa i pozitivno nabijene površine oksidnog nosača može se smatrati vjerojatnim kod malih pH vrijednosti. Postoje dva moguća objašnjenja za porast sorpcije s povećanjem pH. Za prvo objašnjenje može se usvojiti model ionske izmjene. S povećanjem pH metalni kationi postaju sposobni da izmjene H^+ ione na oksidnoj površini. Druga mogućnost je hidroliza metalnog kationa koja prethodi hidrolitičkoj adsorpciji. Publicirani podaci [13,16-18] o hidrolizi Eu(III), Ru(III,IV) i Co(II) i sorpcijskoj pH ovisnosti idu u prilog drugoj mogućnosti. Treba istaknuti da sorpciju tragova i malih količina sorbata na oksidnom nosaču nije moguće studirati pH-metrijskom titracijom. Ta metoda koristi se u području visokih koncentracija sorbata.

Sorpcijska ravnoteža također je ovisna o starosti hidroksidnog taloga i vremenu trajanja kontakta između sorbata i sorbenta. U pravilu, sorpcija metalnih kationa, jodida i jodata se povećava, ako talog nastaje u prisutnosti mikrokomponente. Intenzitet vremenske promjene sorpcije ovisi o pH vrijednostima. S vremenom starenja taloga dolazi do površinskih (gustoća naboja) i strukturnih (kristalizacija i rekristalizacija) promjena koje imaju odraz na sorpcijsku sposobnost nosača.

Istraživanje utjecaja kompleksirajućih agensa na sorpciju Eu^{3+}, Ga^{3+} i Co^{2+} na α-Fe_2O_3 je pokazalo da prisutnost organskog liganda općenito potiskuje stvaranje hidroksi kompleksa tih kationa i smanjuje njihovu sorpciju [15,17-19]. Sposobnost organskog liganda da spriječi stvaranje hidroksi kompleksa ovisi o tipu organskog liganda, relativnim koncentracijama i pH. Sorpcija ispitivanih metalnih kationa u vodenom mediju koji je sadržavao različite kompleksirajuće agense direktno je povezana sa stabilnošću odgovarajućih kompleksa.

Često, sorpcija se povećava, ako metalni kation ima niži oksidacijski broj. Na primjer, redukcija do elementarnog stanja je značajna za sorpciju Se, dok redukcija Sb, As, Mo, Ru i Tc iona s visokim oksidacijskim brojem doprinosi povećanju sorpcije na oksidnom nosaču. Ovaj parametar je ispitan [13,16] na primjeru sorpcije rutenija na $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ i α-Fe_2O_3. U eksperimentima su upotrebljeni ^{106}Ru i ^{97}Ru kao radioaktivni indikatori. Ru(III,IV) je 100 % sorbiran s 5.0×10^{-2} M $FeCl_3$ kod pH > 4.7, dok rutenij u obliku RuO_4^- i RuO_4^{2-} nije kvantitativno sorbiran na $Fe(OH)_3$ talogu. Sorpcijska mjerenja su pokazala da se radionuklid rutenija kvantitativno sorbira s 1.0×10^{-2} M $FeSO_4$ kod pH > 8.5 . Sorpcija jodida je neznatna i ograničena na površinu oksidnog nosača. Oksidacijom jodida do jodata moguća je skoro kvantitativno nošenje radioaktivnog joda s želje-

zo(III) hidroksidom [21]. Rezultati sorpcije jodata objašnjeni su u smislu izmjene jodata i -OH grupa. Također, izmjeren je efekt kationa u "neutralnom" elektrolitu na sorpciju jodata [22]. Navedene činjenice treba u svakom slučaju uzeti u obzir kod razmatranja radioloških problema uvjetovanih korozijom u nuklearnoj električnoj centrali. Isto tako one su važne u procesu obrade radioaktivnog otpada koji uključuje i radioaktivne korozijske produkte.

The formation of corrosion products in nuclear power plants is strongly dependent on the water chemistry, temperature, pressure and the properties of constructional materials. The corrosion products become radioactive owing to the neutron activation of nuclides in constructional materials and by the sorption of radionuclides. When released from the metal surface they cause radiation fields to grow on pipes, valves, filters, pumps and steam generators. These radiation fields restrict maintenance and operation of equipment even when the reactor is shut down.

LITERATURA

1. H. Leidheiser, Jr., Corrosion Science and Technology, Lehigh University, Bethlehem 1982., Pennsylvania.
2. Westinghouse Nuclear Training Operations, Station Nuclear Engineer s Text, Section VIII-Plant Chemistry.
3. S. Musić, rezultati nisu publicirani.
4. D.C. Smith, B. McEnaney, Corrosion Sci., 19 (1979) 379.
5. S. Musić, A. Vértes, G.W. Simmons, I. Czakó-Nagy, H. Leidheiser, Jr., Radiochem. Radioanal. Letters, 49 (1981) 315.
6. S. Musić, A. Vértes, G.W. Simmons, I. Czakó-Nagy, H. Leidheiser, Jr., J. Colloid Interface Sci., 85 (1982) 256.
7. H. Leidheiser, Jr., S. Musić, Corrosion Sci., 22 (1982) 1089.
8. I.K. Morozova, I.K. Gromova, V.V. Gerasimov, V.A. Kučerjaev, V.V. Demidova, V'inos i otloženija produktov korozii reaktorn'ih materialov, Atomizdat, Moskva 1975.
9. T. Margulova, Nuclear Power Stations, Mir Publishers, Moscow 1978.
10. H.U. Borgstedt, G. Frees, Werkstoffe und Korrosion, 30 (1979) 91.
11. H.U. Borgstedt, Mater. Sci., 5 (1980) 95.
12. S. Musić, J. Šipalo-Žuljević, M. Vlatković, Isotopenpraxis, 13 (1977) 243.
13. S. Musić, R.H.H. Wolf, J. Šipalo-Žuljević, Mikrochim. Acta (Wien) 1978 II, p. 303.
14. S. Musić, J. Šipalo-Žuljević, R.H.H. Wolf, Isotopenpraxis, 15 (1979) 93.
15. S. Musić, R.H.H. Wolf, Mikrochim. Acta (Wien) 1979 I, p. 87.
16. S. Musić, M. Gessner, R.H.H. Wolf, Mikrochim. Acta (Wien) 1979 I, p. 95.
17. S. Musić, M. Gessner, R.H.H. Wolf, Mikrochim. Acta (Wien) 1979 I, p. 105.
18. S. Musić, M. Gessner, R.H.H. Wolf, J. Radioanal. Chem., 50 (1979) 91.
19. S. Musić, M. Gessner, R.H.H. Wolf, Radiochim. Acta, 26 (1979) 51.
20. R. Despotović, S. Musić, B. Subotić, R.H.H. Wolf, Decontamination of Radioactiove Isotopes in Decommissioning of Nuclear Facilities, IAEA,

Vienna 1979., p. 307.

21. S. Musić, J. Šipalo-Žuljević, R.H.H. Wolf, Radiochem. Radioanal. Letters, 45 (1980) 235.

22. S. Musić, J. Šipalo-Žuljević, Radiochim. Acta, 27 (1980) 61.

Nikola Kallay

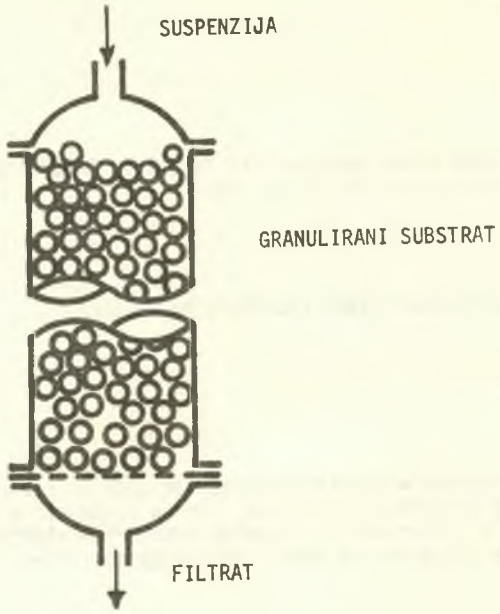
Fizičko-kemijski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 41001 Zagreb, Marulićev trg 19, P.O.B. 163

BRZA FILTRACIJA RADIOAKTIVNOG KOLOIDNOG MATERIJALA

Kolona napunjena s pogodnim zrnatim materijalom može se rabiti za efikasno i brzo filtriranje koloidnog materijala. To je značajno za otklanjanje radioaktivnog materijala u rashladnim sistemima nuklearnih elektrana. Diskutirana je efikasnost prijanjanja te efekti zasićenja površine i otpuštanja čestice sa substrata.

Pri visokim temperaturama, u rashladnom sistemu nuklearnih elektrana, dolazi do korozije. Nastaju produkti koji su manje ili više koloidnih dimenzija. Izmjenom iona te čestice postaju radioaktivne. Poznato je da pod odredjenim uvjetima (sastav medija, karakteristike protoka) dolazi do prijanjanja čestica na površinu a takodjer i do njihovog otpuštanja. Ova dva fenomena imaju dvojako značenje za rad nuklearnih elektrana. Prijanjanje i otpuštanje koloidnih radioaktivnih čestica uzrokuje akumuliranje radioaktivnosti na pojedinim mjestima protočnog sistema. S druge strane, moguće je pojavu prijanjanja (adhezije) koristiti za uklanjanje koloidnih čestica iz suspenzije. Moguće je kolonom, npr. cilindrom napunjenim s kuglama od nekog pogodnog materijala, gotovo potpuno ukloniti koloid iz suspenzije. Ovakvi "filtri" karakterizirani su velikim porama, kugle mogu biti veće od koloidnih čestica i više od 100 puta. Pore se ne začepljuju a protok može biti velik u odnosu na proticanje kroz klasične filtre s porama manjim od koloidnih čestica. Na slici 1 je takva kolona prikazana shematski. Kod ovakvog uredjaja javljaju se dva pitanja i to: efikasnost pročišćavanja te zasićenje kolone.

Efikasnost prijanjanja odredjena je brzinom prijanjanja i mogućeg



Slika 1. Shematski prikaz kolone za uklanjanje koloidnih čestica.

otpuštanja. Efekt zasićenja kolone javlja se zato što je brzina prijanjanja na površinu djelomično ili potpuno prekrivenu s koloidnim materijalom različita od brzine prijanjanja na čistu površinu substrata. To se takodjer odnosi i na brzinu otpuštanja.

PRIJANJANJE

Prijanjanje čestica na površine iz koloidne suspenzije koja protiče karakterizirano je s više mehanizama. To su: sudaranje, gravitacijski efekti kao sedimentacija, inercija te difuzija. S izuzetkom difuzije svi će navedeni efekti biti to jače izraženi što su koloidne čestice veće. Difuzijsko prijanjanje će biti to jače izraženo što je koeficijent difuzije koloidnih čestica veći odnosno što su čestice manje. Zavisnost ukupne brzine prijanjanja o veličini koloidnih čestica pokazat će minimum.[1] U prvom će dijelu funkcija brzine prijanjanja vs. veličine čestice padati. U tom dijelu će prevladavati difuzijski mehanizam pa će porast veličine čestica prouzročiti smanjenje brzine prijanjanja. Nakon minimuma čestice su već toliko velike da prevladava inercijsko, gravitacijsko i sudarno prijanjanje što je jače izraženo za veće čestice. Ispitivanja su našla da se minimum za uobičajene sisteme (voda -

- čvrste koloidne čestice) nalazi u području veličine 0,5 do 1 μm. I u minimumu funkcije brzina je još uvijek znatna, naravno ukoliko se sve čestice koje dotaknu površinu i vežu za nju.

Promjena koncentracije koloidnih čestica C u suspenziji[2] može se opisat ovim izrazom

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{A_s}{V} \cdot k_a \cdot C \qquad (1)$$

(t = vrijeme, A_s = površina kolektora, V = volumen suspenzije, k_a = konstanta brzine prijanjanja odnosno koeficijent prijenosa mase).

Razmotri li se odnos ulazne C_{in} i izlazne C_{out} koncentracije čestica za propuštanje suspenzije kroz filter - kolonu napunjenu s kuglicama dobije se

$$\ln(C_{in}/C_{out}) = \frac{3m}{\rho\, r_s\, \dot{V}} \cdot k_a \qquad (2)$$

gdje je m masa kugli radiusa r_s i gustoće ρ s kojima je napunjena kolona, a $\dot{V}$ (volumni) protok suspenzije.

Za difuzijsko prijanjanje koloidnih čestica, uz odsustvo interakcijskih sila, tj. kada površina privlačenjem ili odbijanjem ne utječe na brzinu prijanjanja, teorija[1-7] daje

$$k_a(\mathrm{diff}) = 0{,}624\, D^{2/3}\, r_s^{-2/3}\, (\beta\, v)^{1/3} \qquad (3)$$

gdje je D difuzijski koeficijent koloidnih čestica, npr. za okrugle čestice

$$D = k_B T / 6\pi\eta r \qquad (4)$$

(k_B = Boltzmannova konstanta, T = termodinamička temperatura, η = viskoznost, r = radius koloidnih čestica),
v je ulazna brzina strujanja suspenzije

$$v = \dot{V}/S \qquad (5)$$

i

$$\beta = [1-(1-\phi)^{5/3}]/[1-1{,}5(1-\phi)^{1/3}+1{,}5(1-\phi)^{5/3}-(1-\phi)^2] \qquad (6)$$

(ϕ = volumni udjel praznog prostora u koloni, S = površina presjeka kolone)
Izrazi (2-6) omogućuju izračunavanje omjera ulazne i izlazne koncentracije koloidnih čestica za slučaj da difuzijski proces nije utjecan interakcijskim silama. Ti izrazi daju efikasnost filtriranja, kazuju koliko će se puta smanjiti broj čestica s prolazom suspenzije kroz kolonu. Pokazano je da se u praksi mogu vrlo dobro primijeniti[8,9] za sisteme kod kojih ne postoji elektrostatsko

odbijanje, a takodjer i za sisteme kod kojih postoji elektrostatsko privlačenje. Poznato je da se različitim adsorpcijskim i disocijacijskim mehanizmima površine električno nabijaju i da iznos i predznak naboja zavise o aktivitetu (koncentraciji) iona koji odredjuju potencijal. Za oksidne i metalne površine u vodenoj sredini to su H^+ i OH^- ioni. Interakcijske sile ne će znatno utjecati na brzinu prijanjanja kada su površine obrnuto nabijene (privlačenje) ili kada u otopini imade dovoljno elektrolita da kompenzira djelovanje mogućih odbojnih sila. Prema tome se pogodni uvjeti za prijanjanje postižu podešavanjem sastava otopine (pH, elektrolit) i izborom pogodnog substrata. Npr. površina stakla je gotovo uvijek negativno nabijena, površina čelika je pozitivna kod pH < < 5,5 a negativna kod pH > 5,5. Hematitne čestice (α-Fe_2O_3) su pozitivno nabijene kod pH < 7,5 a negativno kod pH > 7,5. Prema tome će hematit prijanjati na staklo pri pH < 7,5 a na čelik pri 5,5 < pH < 7,5. Ta ograničenja važe za niske koncentracije elektrolita. Pri dovoljno visokim koncentracijama elektrolita hematit će prijanjati pri bilo kojoj pH vrijednosti. Ako su čestice jednakog naboja kao i substrat na kojeg prijanjaju i ako je elektrolitna koncentracija (ionska jakost) niska, onda će prijanjanje biti znatno otežano. Konstanta brzine prijanjanja će biti daleko manja od k_a(diff). To se može izraziti koeficijentom efikasnosti sudaranja α ili koeficijentom stabilnosti W

$$\alpha = W^{-1} = k_a(\text{diff}) \qquad (7)$$

Ako je poznata interakcijska energija (kao funkcija razmaka) onda teorija[3] omogućuje računanje W odnosno α. Za prijanjanje su važne elektrostatske[10,11] i disperzijske sile[12,13] (London - van der Waals). Suma odgovarajućih interakcijskih energija može se za neke slučajeve računati ako je poznata Hamekerova konstanta, ionska jakost i ako su izmjereni elektrokinetički potencijali površina. Takav račun ne daje točne vrijednosti, ali omogućuje razumijevanje rezultata i procjenu pogodnih uvjeta za prijanjanje, tj. filtraciju. Pogodne uvjete za rad filter kolone i izbor granulata treba odrediti eksperimentalno. Prijanjanje koloidnih čestica na granulatu u filter koloni dovodi do prekrivanja površine što može utjecati na efikasnost prijanjanja. Razlozi za to su različiti. Električno nabijene koloidne čestice mogu promijeniti prvotni naboj površine. Naboj nakupljenog koloidnog materijala može prevladati nad nabojem substrata pa površina počinje odbijati nadolazeće čestice. Taj je slučaj izražen kod niske ionske jakosti i zavisi o gustoći naboja koloidnih čestica.[8,14,15] Drugi je razlog ometanje nadolaženja čestica od strane već prionutih čestica.[16,17] Za filtraciju je povoljna mogućnost višeslojnog prijanjanja.[18] Rano zasićenje filter kolone zahtijeva učestalu regeneraciju.

OTPUŠTANJE

Čestice koje se nalaze na nekoj površini mogu se otpustiti[19-22] bilo djelovanjem strujanja bilo difuzijom. Strujanje uzrokuje mehaničke sile koje potpomažu odvajanje čestica od površine. Difuzijsko otpuštanje prouzročeno je Brownovim gibanjem čestica koje omogućuje savladavanje energetske barijere koja je zbroj van der Waalsovih i elektrostatskih djelovanja. Otpuštanje je obično kinetički proces prvog reda, a interpretaciju otežava raznolikost jakosti veza čestica-površina. često se jedan dio čestica veže ireverzibilno i ne može se odvajati od površine. Otpuštanje je značajno samo u slučaju elektrostatske odbojnosti, a za kovine i kovinske okside dogadja se kod niske ionske jakosti i u području $10 < pH < 12$. Pokazano je[23] da su procesi prijanjanja i otpuštanja pri visokim temperaturama kao 210 ^{o}C podjednaki onim pri niskoj temperaturi. Razlika je u stupnju ireverzibilnosti što znači da će se čestice na površini sekundarnim procesima vezati toliko čvrsto da se s nje neće odvajati.

RAPID FILTRATION OF RADIOACTIVE COLLOIDAL MATERIAL

Rapid filtration of colloidal suspensions could be provided by column packed with granular material. Such a filtration may be used for removal of radioactive substances in cooling system of nuclear power plants. The effects of surface saturation and reintrainment on deposition efficiency were discussed.

REFERENCIJE

1. K.M. Yao, M.T. Habibian and R. O'Melia, Env. Sci. Technol. 5 (1971) 1105.
2. E. Matijević and N. Kallay, Croat. Chem. Acta, u tisku.
3. E. Ruckenstein and D.C. Prieve, in Testing and Characterization of Powders and Fine Particles, (ed. J.K. Beddow and T.P. Meloy), Heydon and Sons, London 1980.
4. E. Ruckenstein, Chem. Eng. Sci. 19 (1964) 131.
5. E. Ruckenstein and F. Westfried, C.R. Acad. Sci. Paris 251 (1960) 2467.
6. J. Happel, A.I.Ch.E. J. 4 (1958) 197.
7. R. Pfeffer, Ind. Eng. Chem. Fundam. 3 (1964) 380.
8. N. Kallay, J.D. Nelligan and E. Matijević, J.C.S. Faraday Trans. I, u tisku.
9. G. Thompson, N. Kallay and E. Matijević, Chem. Eng. Sci., u tisku.
10. R. Hogg, T.W. Healy and D.W. Fuerstenau, Frans. Faraday Soc. 62 (1966) 1638.

11. E. Barouch, E. Matijević, T.A. Ring and M. Finlan, J. Colloid Interface Sci. 67 (1978) 1; 70 (1979) 400.
12. H.C. Hamaker, Physica (Utrecht) 4 (1937) 1058,
13. E.J. Clayfield, E.C. Lumb and P.H. Mackey, J. Colloid Interface Sci. 37 (1971) 382.
14. W.J. Wnek, D. Gidaspow and D.T. Wasan, J. Colloid Interface Sci. 59 (1977) 1.
15. P. Chowdiah, D.T. Wasan and D. Gidaspow, A.I.Ch.E. J. 27 (1981) 975.
16. J.-S. Kim and R. Rajogopalan, Colloids and Surfaces 4 (1982) 17.
17. E. Ruckenstein and D.C. Prieve, J.C.S. Faraday Trans. II 69 (1973) 1522.
18. R.K. Iler, J. Colloid Interface Sci. 21 (1966) 569.
19. E. Matijević, N. Kallay and M.A. Hubbe, Advan. Colloid Interface Sci., predano za tisak.
20. E.J. Clayfield and E.C. Lumb, Disc. Faraday Soc. 42 (1966) 285.
21. G. Thompson, N. Kallay and E. Matijević, Chem. Eng. Sci., predano za tisak.
22. J.D. Nelligan, N. Kallay and E. Matijević, J. Colloid Interface Sci. 89 (1982) 9.
23. N. Kallay and E. Matijević, Corrosion 39 (1983) 15.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

J.Raičević, J.Bjelanović, M.Ninković
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča,Beograd

ISKUSTVA IZ ZAŠTITE OD ZRAČENJA KOD POSTROJENJA ZA RADIJACIONU STERILIZACIJU

REZIME U ovom radu su izložena osnovna iskustva iz zaštite od zračenja stečena tokom izgradnje,puštanja u rad i redovne eksploatacije prvog postrojenja za radijacionu sterilizaciju na industrijskom nivou u našoj zemlji. Prikazane su osnovne komponente postrojenja sa posebnim aspektom na radioaktivni izvor, zaštitni bazen i bunker za ozračivanje. Prateći izgradnju postrojenja i njegovu eksploataciju od početka, dati su rezultati merenja topografija zračenja u radnoj i životnoj sredini, za specifične faze izgradnje i uslove eksploatacije.

UVOD

U institutu "Boris Kidrič" u Vinči nedavno je ušla u redovnu eksploataciju radijaciona jedinica. Ovo radijaciono postrojenje namenjeno je prvenstveno za industrijsku sterilizaciju medicinske opreme za jednokratnu upotrebu.(1) Izvor zračenja koji se u njoj koristi je Co-60, sa početnom aktivnošću od 3,7 PBq. U toku rada ove jedinice bilo je dopunskih nabavki izvora,tako da se trenutna aktivnost procenjuje na oko 7 PBq. Gradjevinski deo projekta postrojenja i uredjaji koji su njemu ugradjeni (zaštitni zidovi,konvejer,bazen sa vodom za odlaganje izvora)projektovani su tako da se aktivnost izvora,a prema tome i proizvodni kapacitet može prema razvoju potreba povećavati do 37 PBq bez ikakvih i[illegible] u sistemu zaštite ili osnovnom režimu eksploatacije.

OSNOVNE TEHNOLOŠKE I ZAŠTITNE KOMPONENTE JEDINICE

Ozračivanje predmeta koji se sterilišu vrši se u ćeliji za ozračivanje(odnosno bunkeru)automatizovanom spregom izvora zračenja i konvejera,koji prenosi predmete kroz radijaciono polje. Predmeti se

pre ozračivanja pakuju u kartonske kutije standardnih dimenzija koje odgovaraju konvejerskim nosačima,a čija je zapremina oko 0,1 m^3. Kapacitet ovog uredjaja raste linearno u zavisnosti od aktivnosti izvora Co-60, i računajući 8.000 radnih časova godišnje, kreće se od oko 30.000 kutija (za aktivnost izvora od 3,7 PBq) do oko 300.000 kutija (za aktivnost izvora od 37 PBq).

U sklopu ovog postrojenja izradjeni su posebni sistemi čija je primarna namena da obezbede siguran i bezopasan rad postrojenja po radno osoblje i okolinu. Sigurnosno - zaštitne sisteme čine:

a) Kontrolno merni sistem, koji sadrži detektore i merne linije za dobijanje informacija o nivoima zračenja u radijacionoj jedinici, i obezbedjivanje neophodnih signala za sistem zaštite i sigurnosti. Sam komandni sto sastoji se iz dva dela. Prvim delom se komanduje sa kretanjem konvejera,a drugi deo se odnosi na izvor i dodatne sisteme.

b) Bezbednosni sistem, izradjen na bazi električnih, elektromehaničkih i mehaničkih elemenata ima za cilj da onemogući dovodjenje izvora u radni položaj dok se predhodno ne ispune svi sigurnosni uslovi i da označi način pristupa ćeliji odgovarajućim signalima.

c) Ventilacija je u ćeliji za ozračivanje izvedena iz dva razloga: radi hladjenja izvora (dolazi u obzir kod aktivnosti preko 18 PBq) i radi izbacivanja ozona i azotovih oksida stvorenih dejstvom zračenja. Filtriranje vazduha koji se izbacuje vrši se radi izbegavanja i najmanje verovatnoće zagadjenja okoline u slučaju prskanja košuljice u radnom položaju.

d) Bazen sa vodom, koji je namenjen za smeštaj izvora kada se ovaj ne koristi. Voda u bazenu se permanentno reciklira kroz demineralizator. Tako se postiže niska provodljivost što znatno smanjuje mogućnost korozionih procesa i time umanjuje verovatnoću narušavanja hermetičnosti izvora. S druge strane,kontrola radioaktivnosti jonoizmenjivačkih kolona omogućuje brzo otkrivanje kontaminacije vode u bazenu.

e) Zaštitni zidovi. Ćelija za ozračivanje - bunker,okružena je zaštitnim zidovima od betona debljine 150-180 cm i gustine 2,35 t/m^3. Ona je dovoljna da intenzitet doze

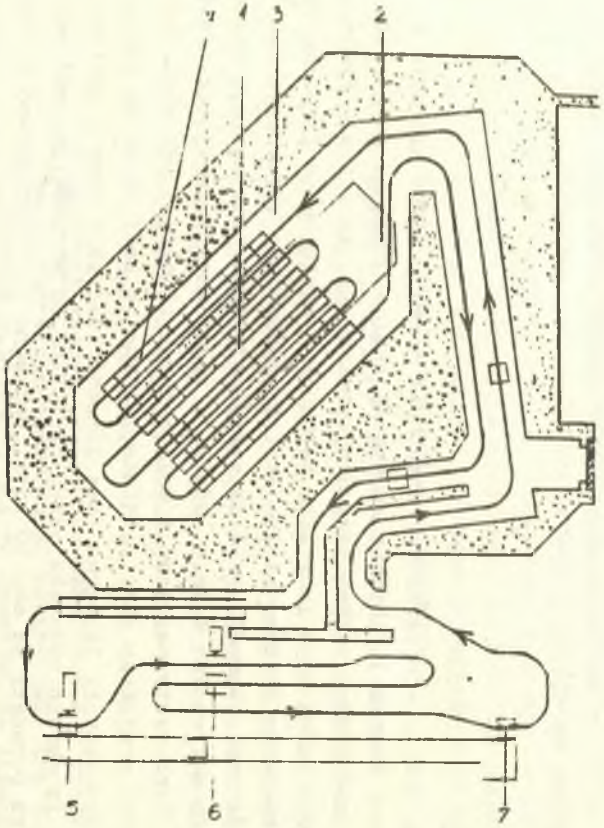
na spoljnoj površini zida svede na vrednost manju od 0,25 m Sv/h. Iznad izvora odloženog u bazen, zaštitnu barijeru čini sloj vode debljine 5 m, koja kao i zidovi od betona, smanjuje nivoe zračenja u uslovima eksploatacije odnosno mirovanja na prihvatljive vrednosti.

REZULTATI KONTROLE NIVOA ZRAČENJA

Da bi se proverilo u kojoj meri zaštitni zidovi ispunjavaju svoju namenu, izvršena su detaljna merenja topografija zračenja [2] unutar radijacione jedinice, kao i spolja, u njenoj neposrednoj okolini. Neki od rezultata ovih merenja dati su na priloženim crtežima. Pri tome je radi celovitosti i kompletnosti rezultata, kao i radi mogućeg poredjenja, data topografija sa oba položaja izvora, tj. sa izvorom u radnom položaju i izvorom u bazenu. Posebnu teškoću u merenjima predstavljala je činjenica što se u neposrednoj okolini radijacione jedinice nalazi prostor za sakupljanje, razvrstavanje i delimičnu obradu čvrstih i tečnih radioaktivnih otpadnih materijala. Nivoi zračenja na ovom prostoru su zbog toga stalno povišeni i promenljivi u vremenu, što se može videti na priloženim topografijama (povišen nivo doza sa jugozapadne strane objekta). Kako je ceo projekat zaštite izradjen za oko 5 ili 10 puta veće aktivnosti od onih pri kojima su vršena merenja, morao se koristiti posebno osetljivi instrument [3] sa kojim su se pouzdano mogli meriti nivoi gama zračenja reda veličine od 0,1 do 1 μSv/h.

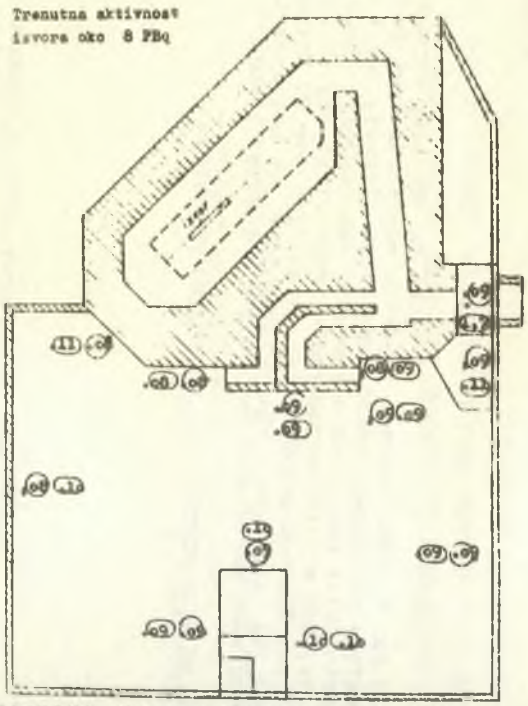
ZAKLJUČAK

Na kraju, analizirajući rezultate merenja nivoa zračenja u svim fazama izgradnje objekta za sterilizaciju, može se zaključiti da zaštitna moć zidova zadovoljava projektni zahtev sa znatnim faktorom sigurnosti. Usled toga je i bilo teško uspostaviti neku linearnu vezu izmedju trenutne aktivnosti izvora i izmerene doze izvan objekta: varijacije fona su mnogo veće od varijacija doza koje nastaju usled različitih aktivnosti izvora. Odatle i sledi gornji zaključak. Jedini izuzetak čine vrata na ulazu u ćeliju za ozračivanje, gde nivo zračenja prelazi projektnu granicu (interesantno je reći da se na tom mestu može uspostaviti linearna veza izmedju izmerenih doza i aktivnosti izvora). Iz mernih podataka jasno proističe da se zaštitna moć ovih vrata mora povećati za oko 10 puta. Naknadno je konstatovano da vrata nisu izvedena do kraja prema projektnom zahtevu, te da je to osnovni



Sl.1. Horizontalni presek radijacione jedinice: 1. ploča izvora, 2. bazen, 3. ćelija za ozračivanje, 4. nosači za kutijama, 5. pražnjenje, 6. promena nivoa, 7. punjenje.

Sl.2. Topografija zračenja na lokaciji pre izgradnje objekta (Izmerene doze zračenja date su u uSv/h).

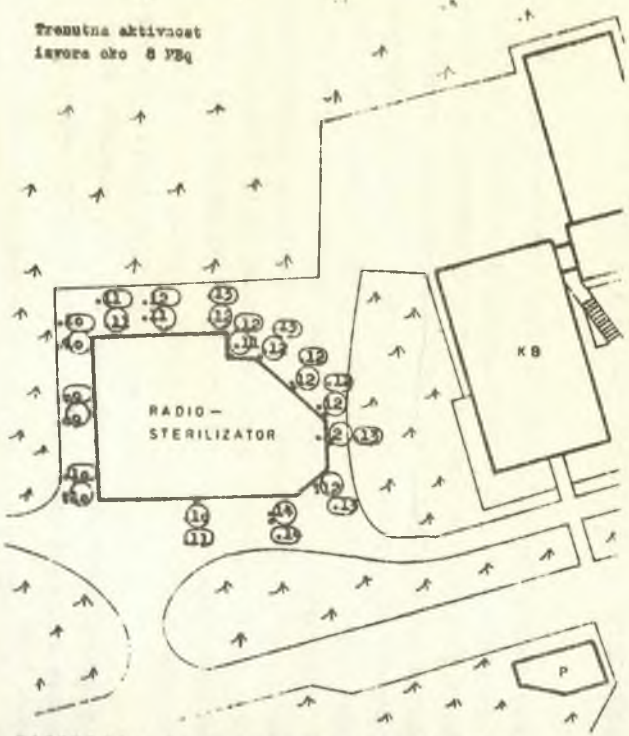


NAPOMENA: Brojke u pojedinim mernim tačkama na crtežu date su u μSv/h

izvor u bazenu

izvor u radnom položaju

Sl.3. Topografija zračenja u objektu sa izvorom zračenja u bazenu, odnosno u radnom položaju.



NAPOMENA: Brojke u pojedinim mernim tačkama na crtežu date su u μSv/h

izvor u bazenu

izvor u radnom položaju

Sl.4. Topografija zračenja oko objekta sa izvorom zračenja u bazenu, odnosno u radnom položaju.

razlog povećanog nivoa zračenja na tom mestu.

ABSTRACT

RADIATION PROTECTION EXPERIENCE WITH RS PLANT

Basic radiation protection experience have been acquired, by construction and exploatation the first plant for radiation sterilization on the industrial level in our country are given. Description of the basic plant's components with a special emphasize on the radioactive source, protective basin and irradiation space are given also. Finally, there were given results of radiation dose topography measuring, for diferent source activity and position inside and outside near the RS unit.

REFERENCE

1. R.Eymery, CEA CEN Grenoble, Opis radijacione jedinice u izgradnji u institutu u Vinči, Interna dokumentacija IBK.

2. I.Ninković, J.Djelanović, Z.Mininčić, Izveštaji o kontroli nivoa zračenja kod radijacione jedinice od 1978-1982.,Interna dokumentacija IBK

3. J.A.De Campo, H.L.Beck, P.D.Raft; High pressure Argon Ionisation chamber systems for the measurement of environmental radiation exposure rates, HASL-260, New York 1972.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Dj. Ristić, P.Marković, R. Smiljanić
RO Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
"Zaštita", p.fah 522., 11001 Beograd

O PODOBNOSTI ZA MASOVNU UPOTREBU JONIZACIONOG JAVLJAČA POŽARA SV-1 SA GLEDIŠTA ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

REZIME U radu su ukratko prikazani rezultati ispitivanja polja zračenja jonizacionog javljača požara SV-1, kao i mogućnost nastanka radioaktivne kontaminacije u normalnim i vanrednim uslovima korišćenja ovog uredjaja.

UVOD

Korišćenje radioaktivnih izvora u uredjajima za otkrivanje požara je sve masovnije kako po broju tako i po raznovrsnovrsnosti ovih uredjaja. Ovakvi uredjaji danas su poznati kao jonizacioni javljači požara. Do danas je u našoj zemlji ugradjeno preko dve stotine hiljada jonizacionih javljača požara. S toga, ovi izvori, i ako pojedinačno malih aktivnosti, predstavljaju izvesnu opasnost u pogledu spoljašnjeg ozračivanja ljudi, tako i u pogledu radioaktivne kontaminacije radne sredine i ljudi. Zbog toga smo preduzeli nešto detaljnije ispitivanje radijacionih karakteristika jonizacionog javljača požara SV-1, proizvodnje "SLAVIJAELEKTRO", Beograd. U dalejm tekstu ovog saopštenja dati su neki rezultati tih ispitivanja.

1. NEKE KARAKTERISTIKE JONIZACIONOG JAVLJAČA POŽARA SV-1

U jonizacioni javljač požara (JJP) SV-1 ugradjena su

dva izvora jonizujućih zračenja, oba ^{241}Am. Aktivnosti ova dva izvora su 22,2 kBq (o,6 μCi) i 177,6o kBq (4,8o μCi). Izvori su trakastog oblika, pri čemu je ^{241}Am elektrolitički nanesen na tanku podlogu od srebra i prekriven slojem zlata i paladijuma, tako da u izvesnom smislu predstavlja zatvoren izvor zračenja. No, i pored toga postoji izvesna verovatnoća skidanja ili otiranje radioaktivnog ^{241}Am pri čišćenju uredjaja ili požara.

Radioaktivno jezgro ^{241}Am ima sledeće relevantne radijacione karakteristike:

- Emituje alfa čestice energija 5,43 MeV-a i 5,37 MeV-a i splet gama zraka različitih energija, od kojih je najvažnija energije o,o6 MeV. Vreme poluraspada je 458 godina.
- Ovaj radionuklid pripada klasi radionuklida visoke toksičnosti. Maksimalno dozvoljeno godišnje unošenje ovog radionuklida u organizam čoveka gutanjem iznosi $3 \cdot 10^4$ Bq (o,81 μCi) a inhalacijom 56o Bq (o,o15 μCi).

2. JAČINA DOZE ZRAČENJA OKO JJP SV-1

Detaljno su izmerene jačine ekspozicionih doza u blizini javljača požara SV-1. Na slici 1. prikazana je grafički jačina ekspozicione doze od JJP SV-1 u zavisnosti od rastojanja od njegove čeone površine. Sa grafika se vidi da je na rastojanju od oko o,4m jačina ekspozicione doze od JJP SV-1 manja ili daleko unutar granica varijacija ekspozicionih doza od prirodnog fona.

Imajući ovo u vidu može se reći da se, sa gledišta spoljanjeg ozračivanja ljudi, jonizacioni javljači požara mogu ugradjivati u tavanice prostorija gde ljudi borave u okviru svog radnog vremena. Za ljude koji rade na održavanju javljača požara SV-1 jedna procena, koja predpostavlja da se posao obavlja onako kako to odgovarajući propisi predvidjaju, pokazuje da je ekvivalentna doza koju ta lica mogu da prime, i to uglavnom lokalno u predelu očiju ispod o,o5 mSv godišnje po pojedincu. Ovo je takodje daleko unutar varijacija ekvivalentne doze od prirodnog fona.

3. OPASNOST RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE OD JJP SV-1

U normalnim uslovima korišćenja jonizacionih javljača požara ne postoji nikakva opasnost kontaminacije sredine, a to znači da ne postoji nikakva opasnost od unošenja radioaktivnog mater-

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Dj. Ristić, P.Marković, R. Smiljanić
RO Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
"Zaštita", p.fah 522., 11001 Beograd

O PODOBNOSTI ZA MASOVNU UPOTREBU JONIZACIONOG JAVLJAČA POŽARA SV-1 SA GLEDIŠTA ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

REZIME U radu su ukratko prikazani rezultati ispitivanja polja zračenja jonizacionog javljača požara SV-1, kao i mogućnost nastanka radioaktivne kontaminacije u normalnim i vanrednim uslovima korišćenja ovog uredjaja.

UVOD

Korišćenje radioaktivnih izvora u uredjajima za otkrivanje požara je sve masovnije kako po broju tako i po raznovrsnovrsnosti ovih uredjaja. Ovakvi uredjaji danas su poznati kao jonizacioni javljači požara. Do danas je u našoj zemlji ugradjeno preko dve stotine hiljada jonizacionih javljača požara. S toga, ovi izvori, i ako pojedinačno malih aktivnosti, predstavljaju izvesnu opasnost u pogledu spoljašnjeg ozračivanja ljudi, tako i u pogledu radioaktivne kontaminacije radne sredine i ljudi. Zbog toga smo preduzeli nešto detaljnije ispitivanje radijacionih karakteristika jonizacionog javljača požara SV-1, proizvodnje "SLAVIJAELEKTRO", Beograd. U dalejm tekstu ovog saopštenja dati su neki rezultati tih ispitivanja.

1. NEKE KARAKTERISTIKE JONIZACIONOG JAVLJAČA POŽARA SV-1

U jonizacioni javljač požara (JJP) SV-1 ugradjena su

dva izvora jonizujućih zračenja, oba ^{241}Am . Aktivnosti ova dva izvora su 22,2 kBq (o,6 μCi) i 177,6o kBq (4,8o μCi). Izvori su trakastog oblika, pri čemu je ^{241}Am elektrolitički nanesen na tanku podlogu od srebra i prekriven slojem zlata i paladijuma, tako da u izvesnom smislu predstavlja zatvoren izvor zračenja. No, i pored toga postoji izvesna verovatnoća skidanja ili otiranje radioaktivnog ^{241}Am pri čišćenju uredjaja ili požara.

Radioaktivno jezgro ^{241}Am ima sledeće relevantne radijacione karakteristike:

- Emituje alfa čestice energija 5,43 MeV-a i 5,37 MeV-a i splet gama zraka različitih energija, od kojih je najvažnija energije o,o6 MeV. Vreme poluraspada je 458 godina.
- Ovaj radionuklid pripada klasi radionuklida visoke toksičnosti. Maksimalno dozvoljeno godišnje unošenje ovog radionuklida u organizam čoveka gutanjem iznosi $3 \cdot 10^4$ Bq (o,81 μCi) a inhalacijom 56o Bq (o,o15 μCi).

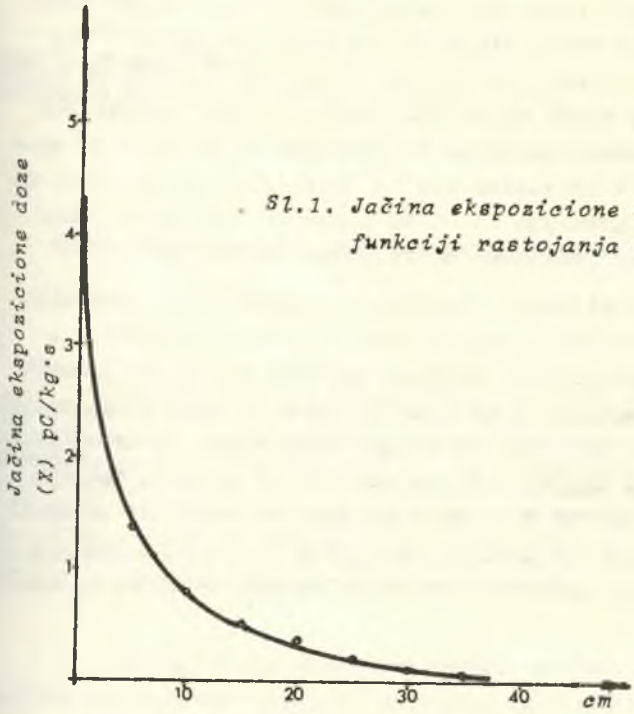
2. JAČINA DOZE ZRAČENJA OKO JJP SV-1

Detaljno su izmerene jačine ekspozicionih doza u blizini javljača požara SV-1. Na slici 1. prikazana je grafički jačina ekspozicione doze od JJP SV-1 u zavisnosti od rastojanja od njegove čeone površine. Sa grafika se vidi da je na rastojanju od oko o,4m jačina ekspozicione doze od JJP SV-1 manja ili daleko unutar granica varijacija ekspozicionih doza od prirodnog fona.

Imajući ovo u vidu može se reći da se, sa gledišta spoljanjeg ozračivanja ljudi, jonizacioni javljači požara mogu ugradjivati u tavanice prostorija gde ljudi borave u okviru svog radnog vremena. Za ljude koji rade na održavanju javljača požara SV-1 jedna procena, koja predpostavlja da se posao obavlja onako kako to odgovarajući propisi predvidjaju, pokazuje da je ekvivalentna doza koju ta lica mogu da prime, i to uglavnom lokalno u predelu očiju ispod o,o5 mSv godišnje po pojedincu. Ovo je takodje daleko unutar varijacija ekvivalentne doze od prirodnog fona.

3. OPASNOST RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE OD JJP SV-1

U normalnim uslovima korišćenja jonizacionih javljača požara ne postoji nikakva opasnost kontaminacije sredine, a to znači da ne postoji nikakva opasnost od unošenja radioaktivnog mater-



Sl.1. Jačina ekspozicione doze od JJP u funkciji rastojanja od čela JJP SV-1

APSTRACT

This paper deals widh results od an investigation of the radiation field of the ionizing smoke detector SV-1. The posibility of the radioactive contamination is considered too.

ijala u organizam osoba koje rade u prostorijama gde su javljači požara ugradjeni. Izvesna potencijalna opasnost za radioaktivnu kontaminaciju postoji pri čišćenju izvora zračenja tkaninom navlaženoj rastvaračem. Ispitivanja koja smo preduzeli uzivanjem vlažnih briseva sa površine većeg broja izvora pokazuju da se ^{241}Am otire u iznosu, srednje uzev, oko 11,5o Bq ($3 \cdot 10^{-4}$ μCi) po pojedinačnom brisu. Ovo su dosta niske količine i ako se poslovi oko održavanja javljača požara sprovode na propisan način onda je opasnost unošenja ^{241}Am u organizam zaista mala, a i ako bi došlo do unošenja onda analiza pokazuje da bi to mogao da bude samo jedan zanemarljiv procenat od godišnjeg dozvoljivog unošenja.

U okviru ispitivanja mogućnosti radioaktivne kontaminacije pri korišćenju JJP SV-1, ispitivano je njegovo ponašanje u uslovima sličnom požaru. Izvor zračenja zajedno sa aluminijumskim držačem žarenje na temperaturi od 12oo°C. Ustanovljeno je da se pri tome izvor zračenja sa podlogom od srebra sjedinjuje sa istopljenim nosačem i na taj način manje, više za spoljašnje objekte postaje izvor gama zračenja. Jačina ekspozicione doze na površini ovako oformljenog izvora u požaru ne prelazi 14,5 $pCkg^{-1}$ s^{-1} (oko 2oo μR po času). Bris sa zgure pokazuje aktivnost od oko 143,5 Bq ($3 \cdot 10^{-3}$ μCi).

4. ZAKLJUČAK

Uporedjivanjem izloženih podataka o ekspozicionim dozama i nivoima moguće radioaktivne kontaminacije pri korišćenju JJP SV-1, sa odgovarajućim granicama za doze i kontaminaciju, moguće je reći da ovaj tip javljača požara sa ugradjenim izvorom jonizujućeg zračenja ^{241}Am navedene aktivnosti može da se koristi kao uredjaj u masovnoj upotrebi. Pri tome treba naglasiti da su periodična kontrola i korišćenje ovih izvora striktno po postojećim propisima sastavni deo njihove bezbedne upotrebe.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983.

Tasić R., Novković D., Ristić Dj.
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča

PRIMENA RADIOAKTIVNIH IZVORA KOD JONIZACIONIH DETEKTORA DIMA

Jonizacioni detektori dima sadrže radioaktivne elemente. Ova činjenica se mora uzeti u razmatranje kada se projektuju i postavljaju u objekte. Radioaktivni izvor koji se danas koristi u gotovo svim komercijalnim jonizacionim detektorima je americijum 241. Studije koje su pravljene na bazi većeg broja instaliranih jonizacionih detektora pokazuju, da ljudi koji borave u neposrednoj blizini detektora prime neuporedivo manju ekspozicionu dozu od prirodnog fona. Drugi aspekat koji se mora uzeti u razmatranje je rizik kod inhalacije pri akcidentalnim uslovima. Višegodišnje analize su pokazale da je rizik znatno manji u odnosu na druge neradijacione opasnosti.

Jonizacioni detektori dima koriste male količine radioaktivnog materijala, najčešće americijum 241, koji jonizuje vazduh usled čega se u električnom polju detektora uspostavlja jonizaciona struja. Kada čestice dima stignu u osetljivu zapreminu detektora, dolazi do promene jonizacione struje usled efekta vezivanja jona (molekula) za čestice. Kada promena jonizacione struje predje unapred predodredjenu vrednost, pogodnim električnim kolom uključuje se zvučna i svetlosna signalizacija požara. Blagovremeno otkrivanje prisustva čestica koje se oslobadjaju pri sagorevanju je posebno važno kod automatskih sistema za signalizaciju požara, zbog čega je upotreba jonizacionih detektora dima najviše zastupljena kod gotovo svih proizvodjača. Njihova primena je pobudila veliko interesovanje kako kod pojedinaca, tako i kod različitih institucija koje vode računa o zaštiti čovekove sredine. Tako je u toku poslednje dekade, izvršen veliki broj ispitivanja i analiza opravdanosti upotrebe izvora zračenja kod jonizacionih detektora dima. Argumente sa kojima protivnici korišćenja jonizacionih detektora najčešće istupaju, možemo da svrstamo u tri glavne grupe:

- Prvo, takvi uredjaji nemaju prednosti u odnosu na alternativu, koja je sa stanovišta zaštite potpuno bezbedna, tj. na optičke detektore dima koji su isto tako efikasni.

- Drugo, osoblje koje boravi u neposrednoj blizini zračenja, nepotrebno je izloženo zračenju, kao i vatrogasci koji po izbijanju požara vrše intervenciju na objektu u kome su postavljeni detektori.

- Na kraju, nisu izvršena nikakva ispitivanja moguće kontaminacije u slučaju požara ili oštećenja kod same njihove proizvodnje.

Ukoliko su ove tvrdnje tačne, opravdanost upotrebe jonizacionih detektora se ozbiljno dovodi u pitanje. Medjutim, postavlja se pitanje da li su ove tvrdnje tačne.

Pre svega, proizvoljno tvrdjenje o mogućoj zamni jonizacionih detektora sa optičkim je pogrešno. Oni se ne razlikuju samo po načinu rada (kod optičkog detektora, signal alarma nastaje kada se svetlost rasejava na česticama dima), već što je mnogo bitnije, zbog njihovog odgovora na različite tipove požara. Kod požara otvorenog plamena, ta razlika je posebno uočljiva, a upravo ti tipovi požara zahtevaju brzi odgovor detektora.

Uzimajući u obzir da se danas kod gotovo svih komercijalno proizvedenih detektora koristi ^{241}Am i mnogo radje ^{226}Ra u veoma malim količinama (10^4 - 10^5Bq), opasnost od nepotrebnog zračenja može u potpunosti da se zanemari jer i u najnepovoljnijim slučajevima ne dostiže granicu prirodnog fona.

Pošto se radi o veoma toksičnim radioaktivnim izvorima, neophodno je detaljnije razmatranje poslednje tvrdnje, za koju smatramo da može da ima i najviše opravdanja. Kolika je realna nepovredivost sadržaja radioaktivnog elementa, upakovanog u foliju, koja se ugradjuje u jonizacione detektore?

Iz literaturnih podataka proizvodjača, vidimo da se radioaktivni materijal na folijama ugradjuje hemijski i fizički, najčešće kao deo tankih listića od zlata tehnikom metalurgije praha. Takvi listići se zatim stavljaju u "sendvič" različitih slojeva zlata i srebra i valjanjem se dobijaju tanke folije. Aparature za sečenje folija kod originalnog procesa proizvodjača, očigledno potpomažu hermetičko zatvaranje folija hladnim varom. Dodatna zaštita se postiže nanošenjem tankog sloja zlata ili paladijuma. U novije vreme koristi se postupak koji je jednostavniji, jeftiniji i ne zahteva upotrebu posebne aparature. Na metalnu podlogu deponuje se tanak sloj radionuklida i zatim se tako prekrivena podloga podvrgava oksidaciji. Na taj način dobija se neaktivna obloga sačinjena od sloja oksida metala koji se koristi kao podloga. Sloj metalnog oksida koji sačinjava podlogu, širi se difuzijom kroz slojeve atoma koji čine aktivnu površinu, a zatim takodje difuzijom kroz sloj oksida u formiranju. Tako je aktivni sloj radionuklida uvek izmedju slojeva metal-oksid metala. Pored pomenutih prednosti drugog postupka za dobijanje radioaktivnih izvora zračenja koji se koriste pri proizvodnji jonizacionih detektora dima, vredno je pomenuti

procese koji nastaju u akcidentalnim uslovima, kod požara, kada se nastavlja proces oksidacije metalne podloge. Sloj radioelementa je zaštićen sve debljim slojem oksida, čime se postiže efekat samozaštite izvora u slučaju požara.

Ispitivanja koja su vršena na izvorima dobijenim prvom opisanom metodom, trebalo je da pokažu koliko su izvori obezbedjeni od moguće kontaminacije detektora i okoline i odnose se na detektore koji su bili u upotrebi 5 - 10 godina. Neke od folija su prilikom demontaže oštećene tako da je bilo moguće izvršiti poredjenje sa neoštećenim folijama. Sva merenja su vršena relativno, na deset proizvoljno izabranih detektora dva proizvodjača (jednog domaćeg i jednog inostranog) sa briseva. Merenja su vršena za različite uslove okoline (93% RH pri 40°C, 14 dana) ili potapanjem u vodu i izlaganjem temperaturi (300°C) u trajanju od 1 sata.

Na osnovu dobijenih rezultata, možemo da zaključimo sledeće:

- Na detektorima koji su bili u upotrebi 5 - 10 godina, nadjena je α aktivnost samo u tragovima i to na površinama u blizini folija, što pokazuje da se aktivni materijal ne rastura po površinama detektora koje okružuju izvor.

- Kontaminacija aktivne površine na neopštećenim folijama se može zanemariti dok je kod oštećenih folija iznad dozvoljene. Aktivnost merena na brisevima oštećenih folija, potiče najvećim delom usled skidanja površinskog sloja. Prolaz aktivnosti kroz zlatni zaštitni sloj difuzijom je veoma spor proces kod temperatura ambijenta, tako da se može zanemariti.

- Neopštećene folije koje su izlagane povećanoj vlažnosti i temperaturi nisu pretrpele neka bitna oštećenja kao i kod potapanja u vodu, dok su oštećene folije kontaminirale vodu u kojoj su bile potopljene.

- Kod temperaturnog testa, pojedine folije pokazuju manja oštećenja zaštitnog sloja koja se javljaju usled veće poroznosti.

Različite vrste ispitivanja i posmatranja nisu pokazali da je zaštita sadržaja radioaktivnog materijala u folijama nedovoljna pri normalnim uslovima eksploatacije u periodu od 5 - 10 godina od dana proizvodnje. Odsustvo znatnog efekta starenja na foliji pokazuje da se aktivni materijal može adekvatno sačuvati pri normalnim uslovima i tokom dužeg perioda vremena.

Inisation smoke detector contain radioactive elements. This fact nust be taken into account during the design and instalation in buidings. Radioactive source which is today used in almost all commercial ionisation detectors is americium 241. The studies made on the great number of instalated ionisation detectors have shown that the residents, being in the close surrounding of the detector, may take radiation much less comparing to background. The another aspect which must also be taken into account is risk of inhalation during the accidental events. The analysis results of the several years have shown that this rask is much less comparing to the other non-radiation risk. In this contribution the toxicity of americium 241 being very high is also examined.

XII. JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O ZAŠTITI OD ZRAČENJA
Ohrid, 31 maj - 3 jun 1983

Slobodan Gnjatović
RO Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič"-Vinča
OOUR Institut za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
"Zaštita", p.fah 522., 11001 Beograd

AKTUELNI PROBLEMI ZAŠTITE OD ZRAČENJA KOD PRIMENE JONIZACIONIH JAVLJAČA POŽARA

REZIME

U ovom radu razmatrani su neki problemi zaštite od zračenja kod primene radionuklida u jonizacionim javljačima požara i preporučene odredjene mere u cilju smanjivanja mogućnosti izlaganja štetnom dejstvu jonizujućih zračenja.

UVOD

Primena radionuklida u jonizacionim javljačima - detektorima dima i njihova upotreba nije novijeg datuma. Medjutim broj ugradjenih jonizacionih javljača požara u raznim sistemima dojave požara raste iz dana u dan tako da se slobodno može reći da je njihovo korišćenje ušlo u široku (masovnu) upotrebu.

Iako su aktivnosti upotrebljenih radionuklida u jonizacionim javljačima požara relativno niske masovnost njihovog ugradjivanja u radnoj i životnoj sredini nas tera da se problemu zaštite od zračenja posveti dužna pažnja.

DISKUSIJA

U javljačima požara koji se upotrebljavaju kod nas uglavnom su ugradjivani radionuklidi:

- Americijum - 241 (^{241}Am)

zračenje: α - energije 5,43 MeV (85%)
5,37 MeV (15%)

γ - energije 0,06 MeV (40%)

Vreme poluraspada: 458 godina

Vrlo visoka radiotoksičnost.

- Radijum - 226 (^{226}Ra)

zračenje: α - energije 4,58 MeV (5,7%)
4,77 MeV (94,3%)

γ - energije 0,188MeV (4%)

Vreme poluraspada: 1620 godina

Vrlo visoka radiotoksičnost.

Zavisno od tipa javljača upotrebljena aktivnost radionuklida po javljaču se kreće od 2,2 kBq do 2,6 MBq.

U Jugoslaviji se trenutno nalaze ili pripremaju za upotrebu oko 9 tipova jonizacionih javljača požara, bilo da se proizvode u zemlji ili uvoze iz inostranstva.

Značajno je konstatovati da većina njih nije ispitana - - atestirana sa aspekta zaštite od zračenja od strane ovlašćenih ustanova u našoj zemlji.

Sekcija za preventivnu dozimetriju i tehničku zaštitu Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja je na ovaj problem ukazala nadležnim organima. Takodje je preporučeno da se zbog moguće opasnosti pri korišćenju,servisiranju i stradanju u požaru iz upotrebe povuku jonizacioni javljači požara sa radijumom - 226 i isti zamene sa americijumom - 241.

Doprinos zračenja od jonizacionog javljača dozi prirodnog fona (osnovne aktivnosti) je za različite javljače različita i kreće se do 278 pGy/s kontaktno mereno na javljaču, do 27,8 pGy/s na 10 cm

udaljenosti i do 2,78 pGy/s na udaljenosti od 100 cm.

U praksi prilikom dozimetrijske kontrole javljača požara u radnim i drugim organizacijama nalaženi su, istina retko, javljači požara i za 1000 i više puta većim dozama od uobičajenih.

Preduzete su odgovarajuće mere da se isti odmah uklone i zamene ispravnim sa aspekta zaštite od zračenja i o tome izvešteni nadležni organi u cilju preduzimanja odredjenih mera i postupaka.

Iako postoje preporuke da se javljači požara ne postavljaju na visinama nižim od 2,50 cm isti se i dalje postavljaju niže od ove visine naročito u hotelima i pojedinim robnim kućama i prodajnom prostoru, te se dešava da dolazi do njihovog neovlašćenog skidanja - kradje.

Davanjem prethodne saglasnosti na projektnu dokumentaciju ili uvidom u činjenično stanje i insistiranjem kod proizvodjača na obezbedjivanju i onemogućavanju neovlašćenog demontiranja izbegavaju se ovi problemi.

Neophodno je takodje izvršiti dozimetrijska merenja nakon ugradnje javljača požara i vršiti redovna povremena merenja, prema potrebi, a najmanje jedanput u toku godine.

Masovnost primene jonizacionih javljača požara iziskuje potrebu izrade Izveštaja o uticaju na okolinu (radnu i životnu sredinu) za sadašnji broj i broj koji se predvidja da će biti postavljen u doglednoj budućnosti, za 10 ili 20 godina.

ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatrani su neki problemi zaštite od zračenja kod primene radionuklida u jonizacionim javljačima požara.

Konstatovana je potreba da se svi jonizacioni javljači požara, bilo da se proizvode u zemlji ili uvoze ispitaju - atestiraju od strane ovlašćenih ustanova u našoj zemlji, pre njihovog stavljanja u masovnu upotrebu.

Takodje je učeno da se u praksi ugradjuju jonizacioni javljači požara kod kojih su doze zračenja znatno veće od normalnih - uobičajenih, što opravdava zahtev iz prethodnog stava i ukazuje na

neophodnost redovnih povremenih dozimetrijskih kontrola.

Podržava se stav Sekcije za preventivnu dozimetriju i tehničku zaštitu Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja da se povuku iz upotrebe javljači požara sa radionuklidom radijum - 226.

ABSTRAKT

In this paper some problems of radiation protection from ionizing smoke detectors are considered. Procedures are recommended to reduce probability of exposure as well as the level of the exposure.

Adamov M. 154,156
Ajdačić N. 80
Altiparmakov D. 341,684
Andrić S. 307
Aničić S. 554
Anovski T. 92,656
Antić D. 696
Ardeljan J. 270,569

Bačić S. 486
Bajlo M. 100,266
Banovčanin B. 560
Barjaktarević N. 307
Bauman A. 97,100,120,261,266
420,446
Baumštark M. 261
Begović J. 317
Besarabić M. 276
Bjelanović J. 721
Bojović P.S. 12
Bojović T. 142
Boreli F. 348
Brajnik D. 59,64
Briski B. 34
Bunji I. 47
Byrne T. 628

Cerovac H. 420,446,667
Cesar D. 97,417,420,423

Ćosić M. 233

Červenjak Z. 257
Čremošnik-Pajić P. 270,581
Črnivec R. 286

Danilović M. 331
Dašić N. 341
Deanović Ž. 41,193,239
Despotović Lj. 468,490
Despotović R. 468,490.496,507
Dobrilović Lj. 391,397,638
Draganović B. 116
Dramlić D. 537
Drašković R. 92
Dražić G. 383,389
Drčar F. 389
Drndarević V. 397, 652
Droljc S. 528
Dvornik I. 34,108,440,660

Djordjević Z. 560
Djurić G. 116,142,148,159

Ferber B. 417,423
Ferle-Vidović A. 239
Filipović-Vinceković N. 501

Gavrovski C. 656
Gajić D. 317
Gal V. 209
Garaj-Vrhovac V. 292,297
Glišović D. 638
Grgićević D. 189
Gregoran A. 440
Gršić Z. 163
Gruden N. 226
Gnjatović S. 735

Hajduković D. 86
Hadžievski Lj. 92
Hasanbašić D. 104,124,132,
197,282
Hebrang A. 302,575
Horšić E. 104,124,132,136
197,201,282
Horvat Dj. 292,297,302
Horvatinčić N. 68,632

Ilić R. 638

Janković O. 128
Janković-Zagorčić A. 543,548
Jeremić M. 313,409
Jernej B. 253
Jeršić A. 59
Joksić G. 307
Jovanović-Kurepa J. 537
Jovanovski D. 354
Južnić K. 59,511

Kačurkov,D. 92,656
Kallay N. 715
Kaluža F. 74
Kanduć M. 63
Karanović D. 243,247
Kargačin B. 222
Katušin-Ražem B. 34
Kljajić R. 104,124,132,136
197,201,282
Knežević Lj. 128
Kobal I. 59,63,74
Kocić A. 690
Korenika Dž. 440
Korun M. 64
Kostadinović A. 474,480,515
Kostial K. 222

Kostić S. 619
Kostić V. 307
Košutić G. 116
Košutić K. 673
Koturović A. 615,652
Kovač J. 120,266
Kovačević K. 397
Krajcar I. 68,632
Kristan J. 450
Križanović D. 428,569,599
Križman M. 63
Kubelka D. 302,667
Kubelka V. 175
Kvastek K. 175,673

Lazarić K. 673
Lazić S. 486,515
Levanat S. 193,253
Lokobauer N. 120,261
Lulić S. 30,175,673

Mačvanin N. 270
Maračić M. 261
Marković B. 313
Marković H. 701
Marković P. 331,360,369,727
Marković S. 413,432
Marković Z. 201
Marović G. 100
Martić M. 80
Martinčić R. 84,438,648
Matić G. 543
Mayer-Žitnik D. 496,501
Mihailović M. 59,63
Mihalj A. 104,124,132
Miklavžić U. 389,605,628
Milić A. 644
Milić O. 243
Milićević S. 554
Milivojević K. 216
Milošević Z. 104,124,132,136
197,201,282
Milovanović A. 233
Miljanić S. 253,440,660
Minčeva B. 92
Mirić I. 375,379,409,701
Mirić P. 391
Mitrović R. 142,148
Mladjenović M. 3
Modic S. 286
Mohar T. 511
Momčilović B. 230
Mudrinić P. 581
Musić S. 468,707
Muždeka S. 611,619

Nakićenović M. 619
Nikezić D. 331
Nikolova L. 354
Ninkov V. 243,247
Ninković M. 18,721
Novaković M. 302,420,446,667
Novković D. 391,397,731

Obelić B. 68,632
Obradović M. 624,644
Orlić M. 325,391,397
Osmak M. 185

Paligorić D. 391,397,638
Panevska M. 154,156
Panov D. 313
Patić D. 163,169
Pavelić J. 205
Pavlović M. 348
Pavlović P. 51
Pece R. 270
Pendić B. 307
Pendić Z. 307
Pešić M. 696,701
Petrović B. 142,148,159,560
Petrović D. 41,185,375,599
Pirš M. 528
Plećaš I. 474,480
Prokić M. 701
Pucelj B. 84,438,605,648
Pujić N. 243

Radalj Ž. 417,423
Račić J. 292,297
Radočaj D. 569
Radovanović R. 209,587,591,595
Radotić N. 247
Raičević J. 721
Radjenović B. 47
Ranogajec-Komor M. 440
Ražem D. 34,108
Ristić Dj. 360,369,727,731
Rozgaj R. 292,297
Ružić I. 175

Saračević L. 104,124,132
Savovski K. 243
Selak I. 201
Simorović J. 379,587,591,595
Simović M. 638
Simović R. 678
Slijepčević A. 68

Smerkolj Z. 59,
Smiljanić R. 163,169,375,727
Smodiš B. 59
Sokolović E. 420
Srdoč D. 68,632
Srećković M. 348
Stamenković B. 403
Stančić V. 47,678
Stanković S. 142,148
Stampf Dj. 97,
Stegnar P. 59
Stefanov A. 354
Stojanović D. 216
Strugar P. 341,701
Subotić B. 468

Škofljanec S. 74
Šmelcerović M. 403,611,638
Šobajić M. 624
Šokčić M. 701
Štupar J. 59
Šunduković D. 660

Tasić R. 731
Todorović D. 548
Todorović M. 480
Tomašević M. 587,591,595,599
Tomašić V. 507,
Tomić B. 521
Toplišek M. 528
Trajković D. 209
Trajković M. 257
Trontelj M. 383

Ubović Ž. 257
Udovč H. 605

Vasiljević Lj. 379
Vekić B. 440
Veličković D. 375,379,409
Velkov K. 354
Vidaković Z. 575
Vitale B. 189,205
Vojnović B. 521
Vučenik I. 189
Vujić J. 18,335
Vuković S. 360,369,413
Vuković Ž. 457,474,486,515

Zagorčić A. 317
Zarić M. 24

Žele M. 628
Češkov B. 154,156
Živanović A. 257